

**Agentschap NL
NL Energie en Klimaat**

**Biogasinventarisatie rwzi's
verdieping en analyses**

Witteveen+Bos
van Twickelostraat 2
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

**Biogasinventarisatie rwzi's
verdieping en analyses**

referentie UT580-2/hola/002	projectcode UT580-1-2	status definitief
projectleider dr.ir. A.F. van Nieuwenhuijzen	projectdirecteur ir. J.F. Kramer	datum 18 mei 2010

autorisatie goedgekeurd	naam dr.ir. A.F. van Nieuwenhuijzen	paraaf
-----------------------------------	---	---------------

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Achtergrond en projectbeschrijving	1
1.2. Doelstelling	1
1.3. Leeswijzer	1
2. THEORIE SLIBGISTING	2
2.1. Inleiding slibgistingproces	2
2.2. Gistingtanks	2
2.3. Co-vergisting	3
2.4. Procesparameters	3
2.5. Analyse afbraakprestaties slib versus verblijftijd en temperatuur	4
2.6. Analyse afbraakprestaties slib versus type slib	4
2.7. Analyse afbraakprestaties slib versus type fosfaatverwijdering	5
3. TOETSING MODEL: CHEN-HASHIMOTO FORMULE AAN DE NEDERLANDSE PRAKTIJK	7
3.1. Inleiding	7
3.2. Theorie Chen- Hashimoto formule	8
3.3. Toetsing aan praktijkwaarden	10
3.4. Toetsing Chen-Hashimoto aan specifieke rwzi's	12
3.4.1. Rwzi Harnaschpolder (HHD)	13
3.4.2. Rwzi Bath (WBD)	13
3.4.3. Amsterdam West (Waternet)	14
3.4.4. Rwzi Land van Cuijk (WAM)	15
3.4.5. Rwzi Willem Annapolder (WZV-WZE)	16
4. INVENTARISATIE BIOGASGEGEVENS PER SCHAP	18
4.1. Specifieke biogasproductie	18
4.2. Analyse afbraakprestaties versus verblijftijd	19
4.3. Biogasproductie	20
4.4. Afbraakprestaties: primair, secundair en gemengd slib	22
4.5. Analyse afbraakprestaties versus type fosfaatverwijdering	24
5. CONCLUSIE EN DISCUSSIE	26
6. REFERENTIES	27
laatste bladzijde	27

1. INLEIDING

1.1. Achtergrond en projectbeschrijving

De Unie van waterschappen heeft op 1 juli 2008 een meerjarenafspraken energie-efficiency (MJA3) met het ministerie van Economische Zaken getekend. Daarmee zetten de waterschappen een belangrijke stap voor het verbeteren van de energie-efficiency bij rioolwaterzuiveringen. De waterschappen hebben afgesproken om elk jaar de energie-efficiency met twee procent te verbeteren. De ambitie is om in 2020 dertig procent efficiënter te werken ten opzicht van het basisjaar 2005. De MJA-sector Zuiveringsbeheer heeft ondertussen een gebruikersgroep 'biogas' opgericht, die in 2009 reeds enkele gebruikersdagen heeft gekend. Witteveen+Bos heeft voor de gebruikersgroep Biogas in opdracht van Agentschap NL (voorheen Senter Novem) de eerste Inventarisatie Biogas rwzi's (project UT580-1-1) uitgevoerd.

Naar aanleiding van verzoeken uit de gebruikersgroep is in het voorliggende rapport een verdiepingsslag met aanvullende analyses uitgevoerd met betrekking tot de in 2009 uitgevoerde biogasinventarisatie.

1.2. Doelstelling

Het doel van de aanvullende analyses is het verschaffen van inzichten en het identificeren van kansen in de biogasproductie per waterschap. De gegevens uit de biogasinventarisatie uit 2009 dienen als benchmark ter identificatie van de biogasgegevens per waterschap. Daarnaast worden de afbraakprestaties van de organische stoffen geanalyseerd tijdens de biogasproductie in relatie tot de verblijftijd van het slib, het type slib en de toegepaste fosfaatverwijdering. Tot slot wordt de theoretische Chen-Hashimoto-formule getoetst aan de door de waterschappen opgegeven waarden.

1.3. Leeswijzer

In dit rapport zijn de uitkomsten van deze aanvullende inventarisatie beschreven. In hoofdstuk 2 is de theoretische achtergrond van de het gistingsproces en slibgistingsinstallaties toegelicht. In hoofdstuk 3 wordt het model van Chen-Hashimoto beschreven en getoetst aan de opgegeven praktijksituatie in de vorm van grafieken en de benodigde aanvullende beschrijvingen. In hoofdstuk 4 worden de biogasgegevens per waterschap verder inzichtelijk gemaakt. Tot slot worden in hoofdstuk 5 de bevindingen bediscussieerd en daar waar mogelijk conclusies getrokken.

2. THEORIE SLIBGISTING

2.1. Inleiding slibgistingproces

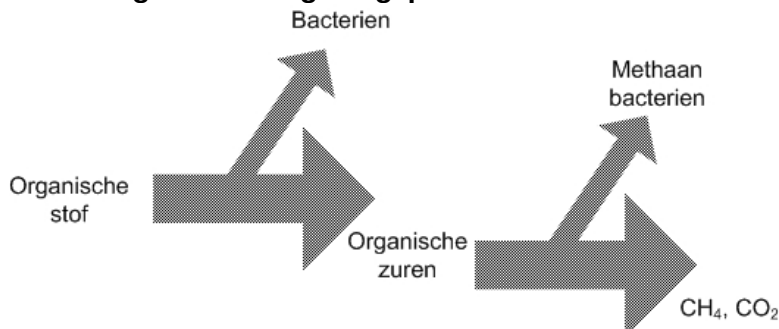
Slibgisting is een biologisch proces waarbij organische stoffen onder anaërobe omstandigheden grotendeels worden omgezet in methaan, kooldioxide en water. Methaan en kooldioxide vormen samen het gistingsgas. De voordelen van slibgistingsinstallaties liggen veelal in energierugwinning (hogere energie-efficiency), een betere ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib (minder chemicaliënverbruik ontwatering), het reduceren van het organisch materiaal (minder reststofproductie), eliminatie van stankproducerende componenten en een verbetering van de hygiënische kwaliteit.

Bij de anaërobe afbraak worden verscheidene eindproducten door bacteriën uitgescheiden, het betreft de volgende verbindingen:

- methaan (CH₄);
- zwavelwaterstofgas (H₂S);
- stikstofgas (N₂);
- waterstofgas (H₂);
- koolzuurgas (CO₂);
- water.

De slibgisting kan worden onderverdeeld in twee verschillende fasen. De eerste fase betreft de 'niet-methanogene fase' (zure gisting) en de tweede fase de methanogene fase (basische gisting). Deze basische gisting wordt bewerkstelligd door het gistingproces zelf als gevolg van een stijgende pH, het optimum ligt hierbij tussen de waarden 6,7 en 7,4. Deze fasen zijn tevens weergegeven in afbeelding 2.1.

afbeelding 2.1. Fasen gistingproces



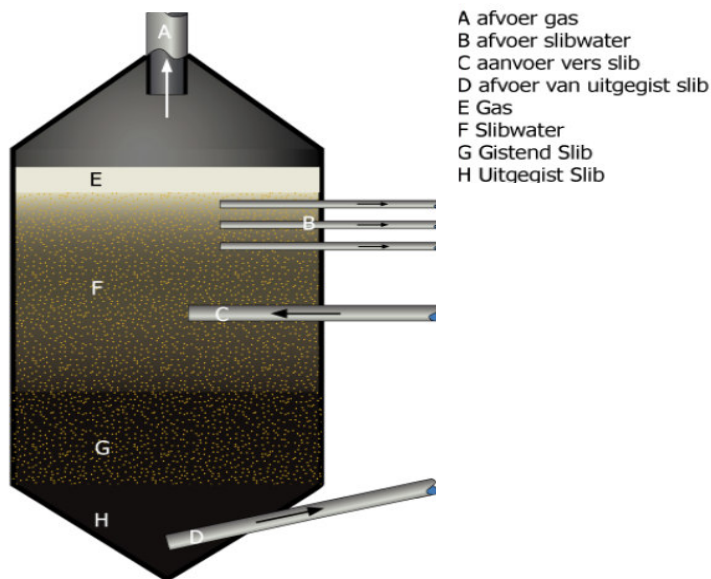
De eerste fase verloopt langzaam, de slibhoeveelheden worden nauwelijks kleiner en het slib stinkt als gevolg van de organisch gevormde zuren. Indien deze gisting ontstaat, schuimt de inhoud van de tank sterk omdat het viskeuzere slib gasbellen vasthoudt. Naast de organische stof hebben de bacteriën ook minerale voedingsstoffen nodig voor hun activiteit. Een verhouding van C:N van 10:16 is gunstig, de verhouding N:P moet ongeveer 7:1 zijn.

2.2. Gistingtanks

Een slibgistingsinstallatie bestaat veelal uit een cilindrische of eivormige tank. De temperatuur ten behoeve van de slibgisting ligt tussen de 30-55 °C. Binnen deze temperatuurrange kan er een onderverdeling worden gemaakt tussen mesofiele gisting (30-40 °C) en thermofiele gisting (> 50 °C). Mesofiele gisting is het meest toegepaste proces vanwege de stabiliteit. De rendementen van mesofiele gisting zijn echter lager in vergelijking tot thermofiele gisting. Vaak wordt geproduceerd biogas en/of warmte gebruikt voor de benodigde warmte van mesofiele- of thermofiele gisting. Andere operationele aspecten voor de slibgisting zijn te vinden in de verblijftijd welke varieert tussen 10 en 30 dagen. Het pH moet redelijk neutraal blijven tussen 6,8 en 7,2. Voorafgaand aan de gisting kunnen slibstromen mechanisch (bandindikker) of gravitair (indiktank) worden ingediktd, zodat gistingsreactoren

kleiner kunnen worden uitgevoerd. Een mogelijke uitvoering van een gistinginstallatie is nader toegelicht in afbeelding 2.2.

afbeelding 2.2. Schematische weergave van een slibgistinginstallatie [2]



De eindproducten van het gistingsproces, biogas en uitgegist slib, kunnen op verschillende wijze worden gebruikt en benut. De calorische waarde van het gas is afhankelijk van het percentage methaan (circa 65 %) en varieert van 23 tot 25 MJ/Nm³. Dit gas kan in een warmtekracht(koppeling)installatie (WKK) worden omgezet naar elektrische energie (30-40 % rendement) en warmte (50 % rendement) of worden opgewerkt tot hoogwaardig gas. Daarnaast kan de geproduceerde warmte ter plekke worden gebruikt. Uitgegist slib wordt verder ontwaterd voordat het veelal wordt opgehaald door een daarvoor bevoegd slibverwerkingsbedrijf.

2.3. Co-vergisting

Om extra biogas te produceren is het mogelijk om ook andere goed vergistbare reststromen te verwerken in de slibgistinginstallatie, de zogenaamde co-vergisting. Als goed vergistbare reststromen kan onder andere vet afkomstig uit vetvangers bij horeca of organisch afval uit de levensmiddelenindustrie worden gebruikt. In de praktijk is gebleken dat bij co-vergisting aanvullende technische voorzieningen noodzakelijk zijn, gezien de eigenschappen van het te vergisten materiaal. Ook zal het extra onderhoud aan de gistinginstallatie tot gevolg hebben. Daarnaast zijn er juridische en vergunningstechnische knelpunten om co-vergisting mogelijk te maken.

2.4. Procesparameters

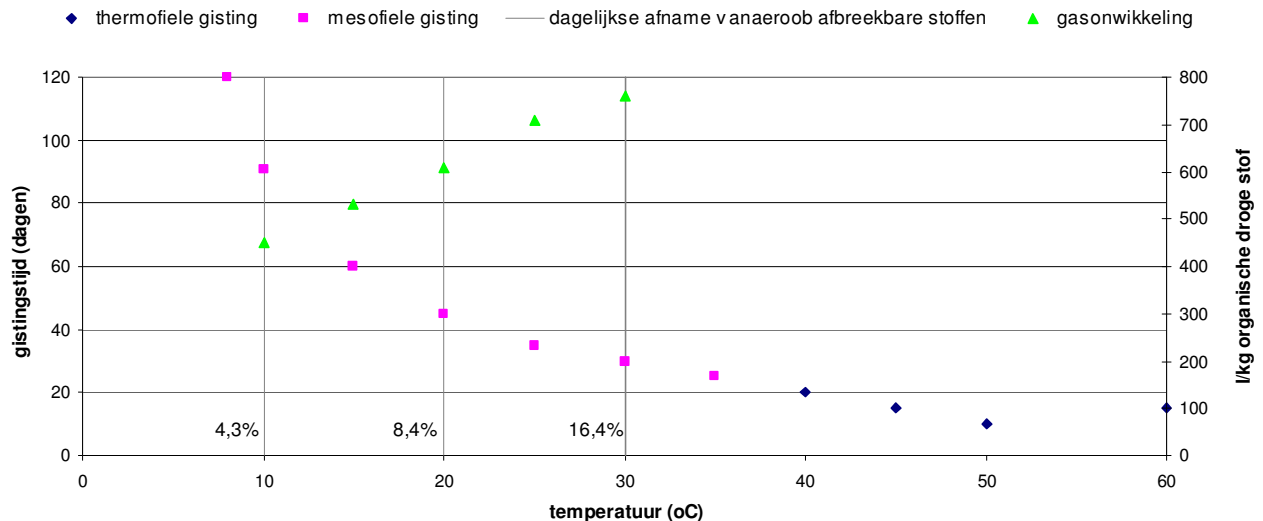
Een verminderde biogasproductie (minder dan het gemiddelde voor de desbetreffende rwzi) is vaak een eerste indicatie voor een verstoring van het slibgistingproces. Enkele voorbeelden van verstoorders kunnen zijn verzuring of overbelasting. Een goedwerkende reactor heeft een rendement van 80-95 % op CZV, daling van dit rendement kan duiden op verstoring.

Ruw slib bevat de volgende gewenste parameterhoeveelheden: vluchtige vetzuren 200-400 mg/l, alkaliteit 1.500 tot 3.000 mg/l (als CaCO₃) en een pH van circa 6,8. Het gehalte aan vrije vetzuren geeft aan in hoeverre alle vetzuren zijn omgezet in methaan en geeft daarmee een maat aan voor het evenwicht tussen de zuurvormende en methaanvormende processen. Het gehalte aan vrij vetzurende dient zodoende lager te zijn dan 5 meq/l (mmol/l). Wanneer de verhouding vluchtige vetzuren tot de alkaliteit gelijk of groter is dan 0,5, dan moet een buffer (bijvoorbeeld kalk) worden toegevoegd. Ook wanneer de pH lager wordt dan circa 6,8 dan dient bufferend basisch materiaal te worden toegevoegd.

2.5. Analyse afbraakprestaties slib versus verblijftijd en temperatuur

De mate van slibgisting is afhankelijk van de toegepaste temperatuur en verblijftijd. Het slib vergist sneller bij hogere temperaturen. Ook is de gasopbrengst bij hogere temperaturen per tijdseenheid hoger. Voor het genereren van deze hoge temperaturen is echter ook veel energie benodigd waardoor er een optimum moet worden gezocht tussen de warmte/energie toevoer en mate van slibgisting per tijdseenheid. In afbeelding 2.3 zijn deze factoren als de verblijftijd en de temperatuur van de slibgisting tegen elkaar uitgezet met daarbij de indicatieve biogasproductie (gasontwikkeling) in l/kg organische ds-afgebroken [1]. Bij temperaturen hoger dan 30 °C neemt de omzetting van organische drogestof naar biogas niet veel meer toe ongeacht de verblijftijd.

afbeelding 2.3. Relatie verblijftijd en temperatuur versus afbraakpercentages



De ervaring heeft geleerd dat temperaturen van 30-35 °C de beste resultaten geven. Bij een temperatuur iets boven 30 °C blijkt dat de gistingstijd voor de mesofiele gisting minimaal is. In de praktijk kan men rekenen op een gasopbrengst van 600-800 l/kg organische ds-afgebroken, wanneer de gistingstemperatuur gelijk is aan 30 °C. Bij 33-35 °C ligt de gasopbrengst tussen 800-1.100 l/kg organische ds-afgebroken. Voor mesofiele gisting neemt de gistingstijd weer toe als de gistingstemperatuur oploopt tot 40-45 °C, maar dan is de kans op verzuring groot. Het optimum voor thermofiele gisting ligt tussen 55-65 °C. Deze wordt echter niet veel toegepast omdat daar veel warmte en dus energie voor nodig is. In Nederland is thermofiele gisting alleen in de industriële slibgistingsinstallaties van toepassing.

Daarnaast geldt dat een constante bedrijfsvoering beter is voor de ontwikkeling van methaanbacteriën dan bij temperatuurschommelingen van al 2-3 °C. Grote temperatuurschommelingen kunnen leiden tot zure gisting met schuimvorming [1].

De intensiteit van het gistingsproces wordt behalve door verwarming ook bevorderd door intensieve menging van de inhoud van de tank. De gistingstijd zal daardoor afnemen omdat verscheidene processen worden gehomogeniseerd, ook worden zo afzettingen op de bodem zo voorkomen. Een nadeel van intensieve menging is dat een deel van het slib langer of korter dan de gewenste verblijftijd in de slibgistingsinstallatie verblijft. Een nagisting kan daardoor een oplossing zijn.

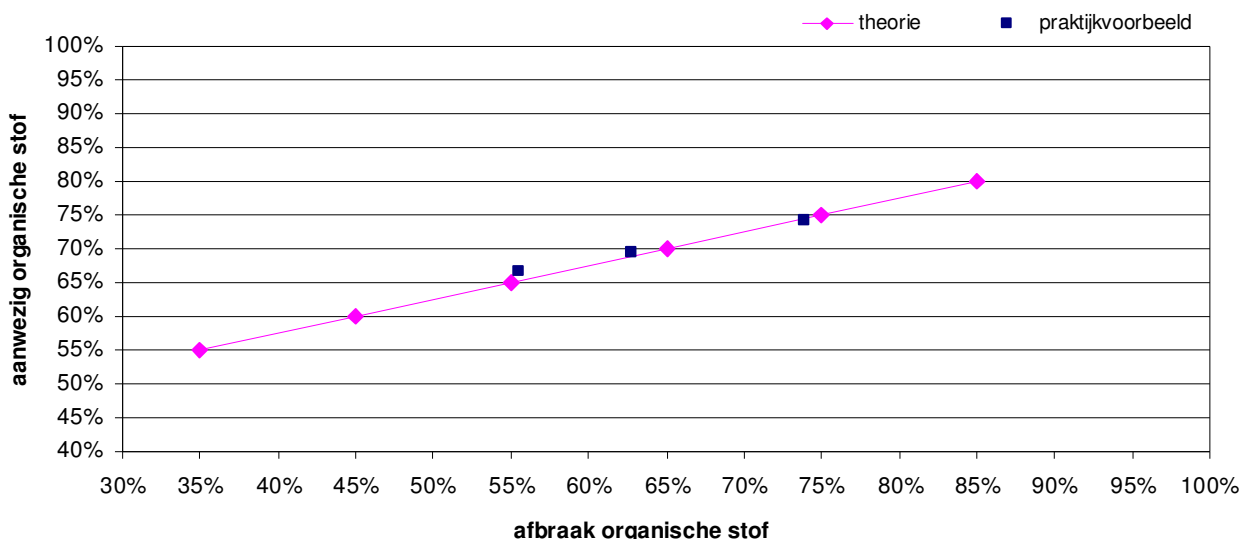
2.6. Analyse afbraakprestaties slib versus type slib

De gasopbrengst is in hoge mate afhankelijk van het gehalte aan organische stof. Vers slib bestaat voor ongeveer 70 % uit organisch materiaal. Uitgegist slib bevat ongeveer 45 % organische en 55 % aan anorganische bestanddelen. In de praktijk kan worden gerekend op 20 l gas per lozende persoon per dag [1] indien alleen het primaire slib wordt vergist. Wanneer zowel het primaire als het secundaire

slib wordt vergist kan de gasproductie oplopen tot circa 30 l gas per inwoner per dag. Het slib uit de nabezinktanks levert hierbij minder biogas omdat het slib reeds in de AT in meer of mindere mate aëroob is gemineraliseerd.

In afbeelding 2.4 is de theoretische relatie weergegeven tussen het aanwezige percentage organische stof en het maximale afbraakpercentage tijdens de gisting [1]. In de praktijk moet echter ook rekening worden gehouden met verliezen. Deze verliezen kunnen onder andere worden veroorzaakt doordat gisting voor een deel al kan optreden in de riolering.

afbeelding 2.4. Relatie aanwezig percentage organische stof tegen afbraakpercentage organische stof



De weergegeven relatie uit afbeelding 2.4 wordt getoetst aan de hand van een praktijkvoorbeeld, zie tabel 2.1. De uitkomsten zijn tevens weergegeven in afbeelding 2.4.

tabel 2.1. Voorbeeld: organische drogestofafbraak [1]

	totaal ds g/(inw.d)	organisch ds g/(inw.d)	anorganisch ds g/(inw.d)	uitgegist ds g/(inw.d)	vergist ds g/(inw.d)
primair	54	36	18	34	20
secundair	31	23	8	14	17
totaal	85	59	26	48	37

	totaal ds g/(inw.d)	organisch ds g/(inw.d)	anorganisch ds g/(inw.d)	uitgegist ds g/(inw.d)	vergist ds g/(inw.d)
primair	64 %	67 %	33 %	63 %	56 %
secundair	36 %	74 %	26 %	45 %	74 %
totaal	100 %	69 %	31 %	56 %	63 %

Van het verse slib bestaat 69 % uit organisch materiaal. In het primaire en secundaire slib zijn deze percentages respectievelijk 67 % en 74 %. Circa 63 % van het organisch materiaal wordt vergist. De hoeveelheid droge stof is na het gistingsproces 56 %.

2.7. Analyse afbraakprestaties slib versus type fosfaatverwijdering

Bij chemische precipitatie van fosfaat, door middel van toevoeging van anorganische metaalzoutoplossingen, in het zuiveringsproces wordt extra (chemisch) slib gevormd. Deze extra hoeveelheid anorganisch slib is afhankelijk van de plaats in het zuiveringsproces waar de chemicaliën

worden gedoseerd en de te doseren hoeveelheid. In de onderstaande tabel is de chemische slibproductie weergegeven bij simultane defosfatering met Fe-zouten [2]:

tabel 2.2. Chemische slibproductie door metaalzoutdosering

Me/P (mol/mol)	g ds/g P	g ds/g Fe	% toename spuislib
1,0	4,2	2,4	17
1,5	6,2	2,3	25
2,0	7,9	2,2	32

De extra slibproductie als gevolg van de chemische precipitatie door toevoeging van een ijzerzout kan globaal worden berekend met behulp van de volgende formule:

$$ds_{\text{extra}} = P_{\text{influent}} * Fe/P * 4,0$$

Bij het doseren van aluminiumzouten in plaats van ijzerzouten wordt er iets minder slib geproduceerd.

Bij een rwzi met biologische fosfaatverwijdering op de waterlijn kan het fosfaat weer in oplossing komen als gevolg van een anaerobe fase in de sliblijn (P-release). Dit kan resulteren in fosfaatrijke interne waterstromen. Om dit proces tegen te gaan wordt er vaak voor gekozen om tijdens de (water- of) slibbehandeling een ijzerzout te doseren. Het doseren van een ijzerzout als Fe aan de slibstroom heeft tevens als effect dat de hardheid (en dus ook de pH) van het water stijgt. Het is vernomen dat dit de kans op schuimvorming in de gisting kan tegengaan.

Door toevoeging van anorganisch materiaal aan het slib (het metaalzout) en de vorming van onvergistbaar anorganisch chemisch slib stijgt het asrestpercentage van het te vergisten slib en wordt de gistingcapaciteit voor het organische slibdeel verdrongen door het anorganische deel. Per kg ds aan totale slibaanvoer daalt de afbraakrendement aanzienlijk door het hogere anorganische deel. Maar ook per kg organische drogestof zal minder afbraak plaats vinden doordat de efficiënte verblijftijd voor organische stof in de gisting daalt. De mate van fosfaatverwijdering kan dus aanzienlijke effecten op de werking van de gisting hebben.

3. TOETSING MODEL: CHEN-HASHIMOTO FORMULE AAN DE NEDERLANDSE PRAKTIJK

3.1. Inleiding

In 2009 is er een rapport gepresenteerd waarin de gegevens van de inventarisatie biogas zijn opgenomen op landelijk niveau. Er is in dat rapport een inventarisatie gemaakt voor verschillende rwzi's die zijn uitgerust met een slibgistingsinstallatie. In het voorliggende rapport wordt er een inventarisatie gemaakt van de rwzi's per waterschap die zijn uitgerust met een slibgistingsinstallatie.

In tabel 3.1 is per waterschap aangegeven hoeveel rwzi's per waterschap zijn uitgerust met een slibgistingsinstallatie. Per waterschap is tevens aangegeven wat de gemiddelde slibbelasting van het actief slibproces is en de gemiddelde ontwerpbelasting van de desbetreffende rwzi's. Naast deze gegevens is tevens een afkorting per waterschap aangegeven die wordt gehanteerd in het vervolg van deze inventarisatie.

tabel 3.1. Rwzi's met slibgistingsinstallaties in Nederland

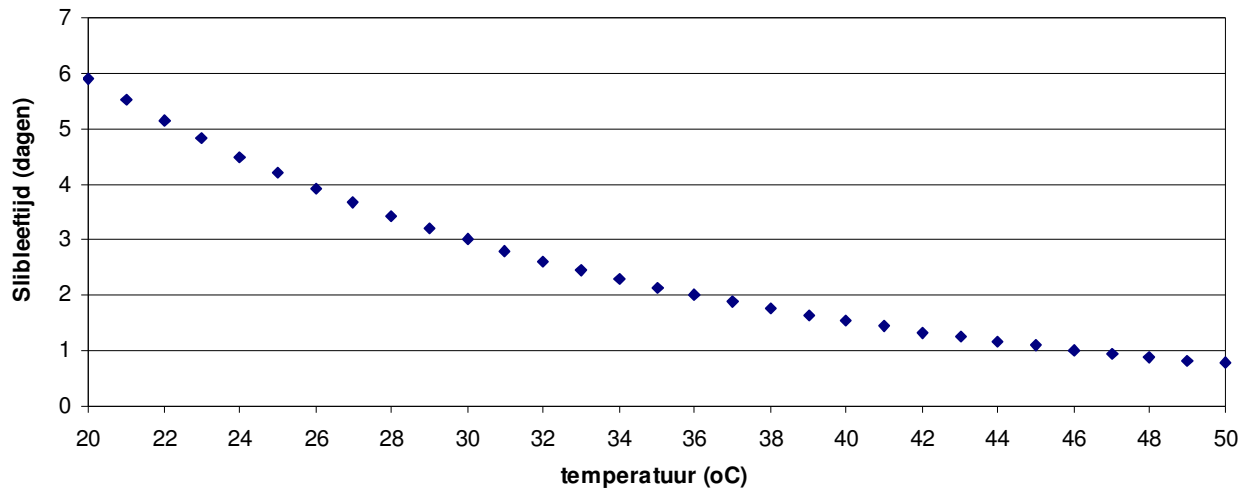
organisatie	afkorting	rwzi's met gisting [aantal]	slibbelasting rwzi [kg BZV/kg ds.dag]	ontwerpbelasting [i.e.]
Aa en Maas	WAM	3	0,03	199.000
Brabantse Delta	WBD	4	0,05	316.915
Delfland	HHD	3	0,03	598.333
De Dommel	WD	2	0,05	247.500
Fryslân	WF	4	0,04	120.750
Groot Salland	WGS	4	0,12	140.266
Hollands Noorderkwartier	HHN	5	0,13	146.920
Hollandse Delta	WHD	1	0,1	620.000
Hunze en Aa's	WHA	3	0,04	97.533
Limburg	WL	9	0,07	126.356
Noorderzijlvest	NZV	1	0,08	375.000
Reest en Wieden	RW	3	0,07	99.053
Regge en Dinkel	WRD	4	0,04	188.934
Rijn en IJssel	WRIJ	4	0,06	214.166
Rijnland	HHR	6	0,07	127.167
Rivierenland	WR	3	0,17	267.333
Schieland en Krimpenerwaard	WSK	1	0,05	360.000
Stichtse Rijnlanden	HHdSR	3	0,05	349.283
Vallei en Eem	WVE	6	0,05	196.500
Velt en Vecht	WVV	1	0,06	233.000
Veluwe	WV	4	0,04	195.000
Waternet	Wat	7	0,06	369.114
Zeeuws Vlaanderen	ZV	1	0,04	129.693
Zeeuwse Eilanden	WZE	2	0,07	150.000
Zuiderzeeland	WZZ	2	0,05	79.536
Landelijk gemiddelde		86	0,07	237.894

Waterschap Hollandse Delta, Noorderzijlvest, Schieland en Krimpenerwaard, Velt en Vecht en Zeeuws Vlaanderen tellen slechts 1 (centrale) slibgistingsinstallatie. Deze zuiveringen geven wel allemaal aan dat er in de desbetreffende gisting ook extern slib en slib van andere rwzi's wordt vergist.

3.2. Theorie Chen- Hashimoto formule

Volgens Chen-Hashimoto (1980) is de mate van biogasproductie afhankelijk van de minimale sibleeftijd in de slibgisting. Deze minimale sibleeftijd wordt weer bepaald door de toegepaste temperatuur in de slibgisting, de minimale slibverblijftijd en de zogenaamde afbraakconstante (fT). De temperatuur van de meeste slibgistingsinstallaties varieert over het algemeen van 30 tot 36 °C. Voor de berekening van de organische ds-afbraak is voor deze toetsing de minimale slibverblijftijd (SRT_{min}) gesteld op 3 dagen en de afbraakconstante op een vaste waarde van 1,07. De uiteindelijke sibleeftijd als gevolg van de temperatuur is uitgezet in afbeelding 3.1.

afbeelding 3.1. Sibleeftijd behorend bij de temperatuur ($fT=1,07$; $SRT=3$ d)



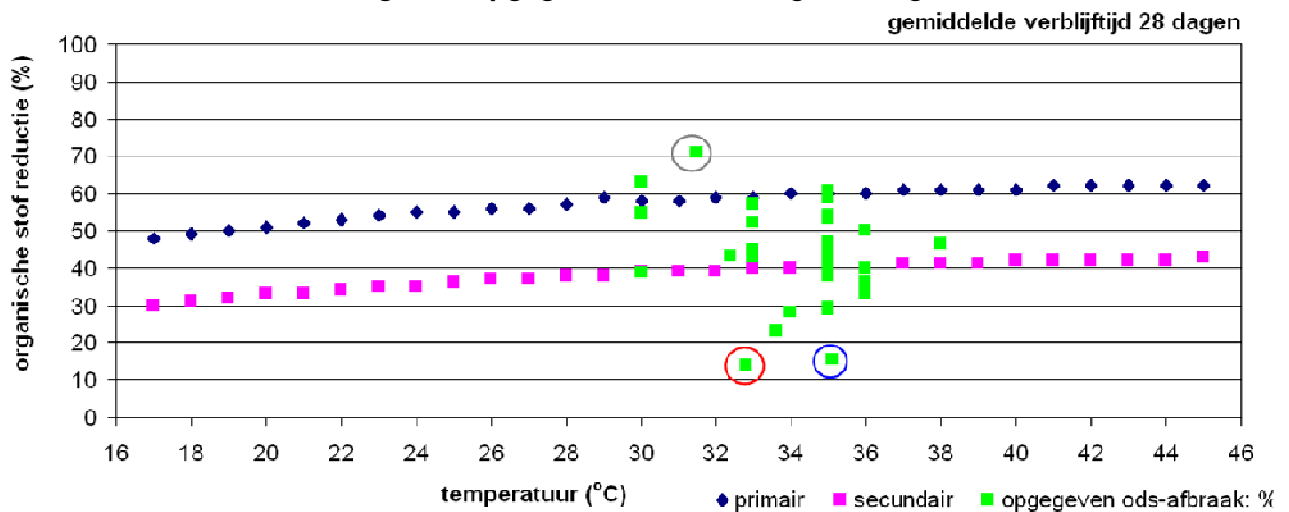
De minimale sibleeftijd heeft weer invloed op het afbraakpercentage voor organische stof en daarmee samenhangend het omzettingpercentage van organische stof naar biogas.

In het model van Chen-Hashimoto wordt de biogasproductie bepaald aan de hand van een omzetting organische stof naar biogas van primair slib en secundair slib op basis van maximaal respectievelijk 65 % en 45 %. De uiteindelijke organische ds-afbraak wordt bepaald door de verblijftijd en de temperatuur. In afbeelding 3.2 tot en met afbeelding 3.4 is deze relatie weergegeven, tevens zijn in deze grafieken de opgegeven waarden van de waterschappen weergegeven. In afbeelding 3.2 is de organische ds-afbraak uitgezet tegen de temperatuur in de slibgisting van zowel het primair als het secundair slib, ervan uitgaande dat de verblijftijd gemiddeld 28 dagen betreft. Hetzelfde is gedaan in afbeelding 3.3, in deze grafiek is de verblijftijd gevarieerd en de temperatuur constant gehouden op de gemiddelde waarde van 34 °C.

Uit afbeelding 3.2 en afbeelding 3.3 wordt opgemaakt dat volgens Chen-Hashimoto de organische ds-afbraak nog maar minimaal stijgt als de temperatuur hoger wordt dan 30-32 °C. Ook een slibverblijftijd langer dan circa 20 dagen levert weinig tot geen meerwaarde op voor de organische ds-afbraak.

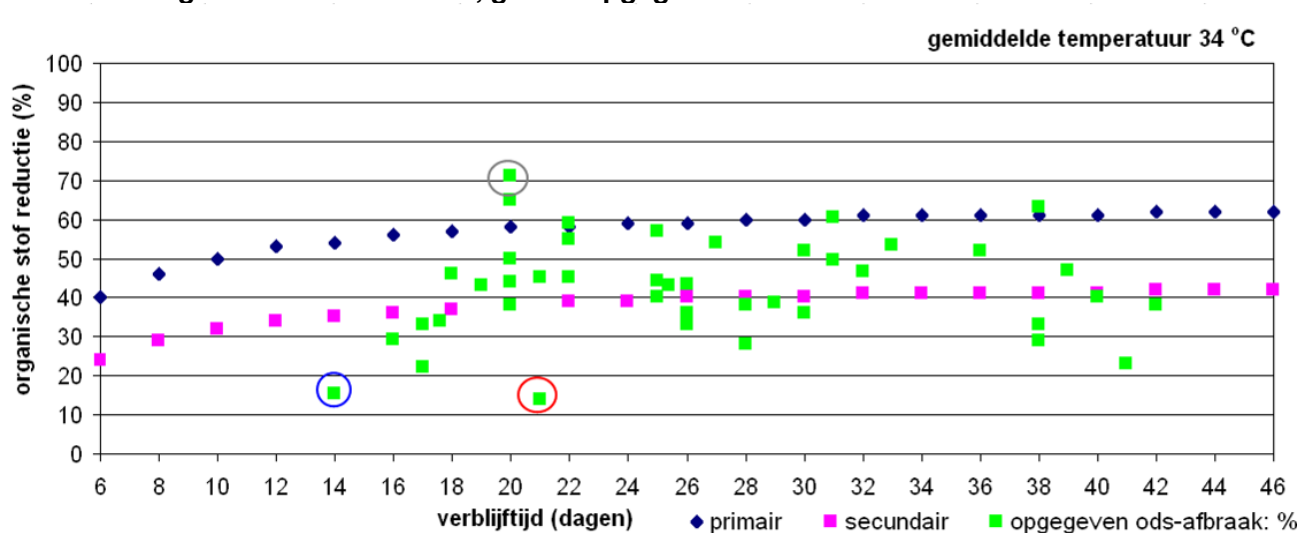
Ook zijn in afbeelding 3.2 en afbeelding 3.3 opgegeven afbraakreducties weergegeven van de verschillende slibgistingsinstallaties tegen zowel de bijbehorende temperatuur en verblijftijd. Voor deze waarden zijn de gemiddelde waarden voor de verblijftijd in afbeelding 3.2 en de temperatuur in afbeelding 3.3 dus niet van toepassing.

afbeelding 3.2. Organische ds-afbraak ten opzichte van de temperatuur, roze en blauw: volgens Chen-Hashimoto, groen: opgegeven waarden volgens Biogasinventarisatie 2009



In afbeelding 3.2 is te zien dat de toegepaste temperatuur in de slibgistingsinstallatie zich met name beperkt van 30 tot 38 °C. Een aantal slibgistingsinstallaties hebben een significante lagere of hogere organische ds-afbraak dan de berekende waarden volgens Chen-Hashimoto. De meest uitzonderlijke rwzi's zijn omcirkeld, de bijbehorende organische ds-afbraak wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de verblijftijd, zie ook afbeelding 3.3. Voor de andere rwzi's is het niet mogelijk hier een enkele specifieke of een gezamenlijk oorzaak voor te vinden. Het lijkt erop dat het een combinatie is van factoren, zoals een hoger as-gehalte in een slibgisting, een lage verblijftijd en de schaalgrootte.

afbeelding 3.3. Organische ds-afbraak ten opzichte van de slibverblijftijd, roze en blauw: volgens Chen-Hashimoto, groen: opgegeven waarden

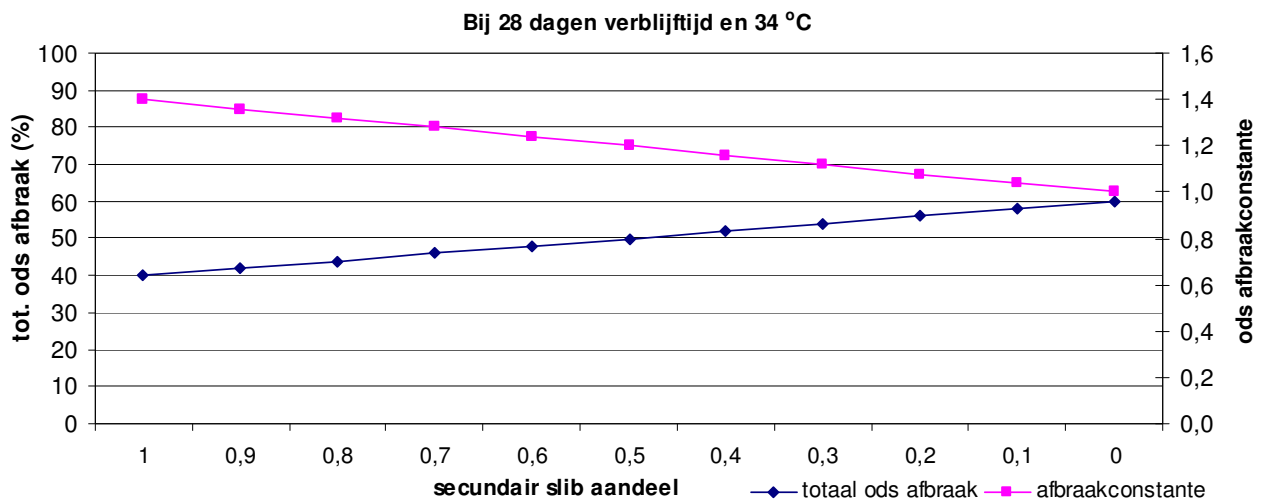


De opgegeven waarden in afbeelding 3.3 liggen redelijk binnen de theoretische waarden van Chen-Hashimoto. Ook is duidelijk te zien dat de range waarbinnen de verblijftijd varieert betrekkelijk groot is. Het lijkt opvallend dat de hele korte en hele lange verblijftijden tevens een lage organische ds-afbraak hebben. Voor hele korte verblijftijden (<18 dagen) lijkt dit te worden veroorzaakt door de lengte van de verblijftijd, die grotendeels afhankelijk is van de dimensionering van de slibgistingsinstallatie. De lage reductie bij de hele lange verblijftijden zijn mogelijk te wijden aan storingen of andere ongeregelheden.

In zowel afbeelding 3.2 als afbeelding 3.3 zijn de drie meest uitzonderlijke rwzi's omcirkeld. De rwzi met de hoogste organische ds-afbraak is aangegeven met een grijze cirkel (rwzi Arnhem-Zuid), en de rwzi's met de laagste organische ds-afbraak zijn blauw en rood omcirkeld voor respectievelijk rwzi Dongemond en rwzi Bath. De hoge reductie voor Arnhem-Zuid kan worden verklaard doordat ze slechts primair slib vergisten. Voor rwzi Dongemond is de verblijftijd in de gisting te kort om een afgerond proces te verkrijgen. Voor de lage reductie voor rwzi Bath was er geen directe aanleiding te vinden: de verblijftijd en de gistingstemperatuur liggen binnen de optimale marges. Eventueel is de menging onvoldoende of wordt op de rwzi Bath veel intert slib geproduceerd. Andere rwzi's die een hoge organische ds-afbraak hebben, zijn rwzi Meern (63 %) en rwzi Oldenzaal (65 %). rwzi Meern heeft als afwijkend ten opzichte van andere rwzi's dat het als mengtechniek in de gisting 'drukopbouw' toepast. Bij rwzi Oldenzaal wordt er betrekkelijk veel primair slib vergist ten opzichte van het secundair slibaandeel.

In afbeelding 3.4 is de totale organische ds-afbraak (primair+secundair), zie blauwe lijn tegen linker as, uitgezet tegen de verhouding secundair slib ten opzichte van de totale hoeveelheid slib. De roze lijn geeft een indicatie van de afbraakconstante die groter wordt naarmate het aandeel secundair slib groter wordt. Hoe groter deze afbraakconstante is des te kleiner wordt de uiteindelijke ds-afbraak. Het is duidelijk te zien dat naarmate het aandeel secundair slib groter wordt, de totale afbraak van organische drogestof ook lager wordt tot circa 40 %. Als het te vergisten slib bestaat uit slechts primair slib dan kan de totale afbraak oplopen tot circa 60 % (theoretisch tot circa 65 % volgens Chen-Hashimoto).

afbeelding 3.4. Organische ds-afbraak per aandeel secundair slib

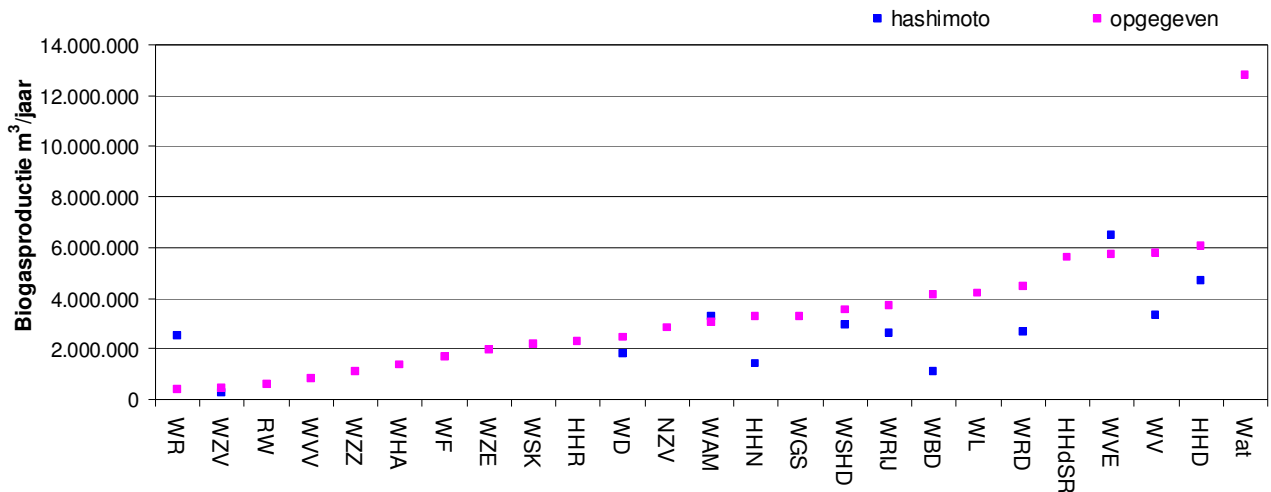


3.3. Toetsing aan praktijkwaarden

Aan de hand van de gegevens uit de ingevulde vragenlijsten vanuit de biogasinventarisatie 2009 [3], is via de methode van Chen-Hashimoto de totale biogasproductie per waterschap (som biogasproductie van de slibgistinginstallaties op rwzi's) berekend. In afbeelding 3.5 is de totale biogasproductie per waterschap voor de opgegeven waarden en de berekende waarde volgens Chen-Hashimoto weergegeven. Het was niet mogelijk om voor alle waterschappen deze waarden te berekenen aangezien niet alle benodigde gegevens waren opgegeven. De berekende biogasproducties van de waterschappen zijn veelal gebaseerd op incomplete datasets. Voor het construeren van de waarden van Chen-Hashimoto is in deze grafiek uitgegaan van een primair:secundair slibverhouding van 0,4:0,6.

Enkele waterschappen waarvan de opgegeven biogasproductie redelijk tot goed overeenkomt met de berekende waarden volgens Chen-Hashimoto zijn waterschap Zeeuws Vlaanderen, waterschap de Dommel, waterschap Hollandse Delta, waterschap Rijn en IJssel, waterschap Aa en Maas, waterschap Vallei&Eem en hoogheemraadschap Delfland.

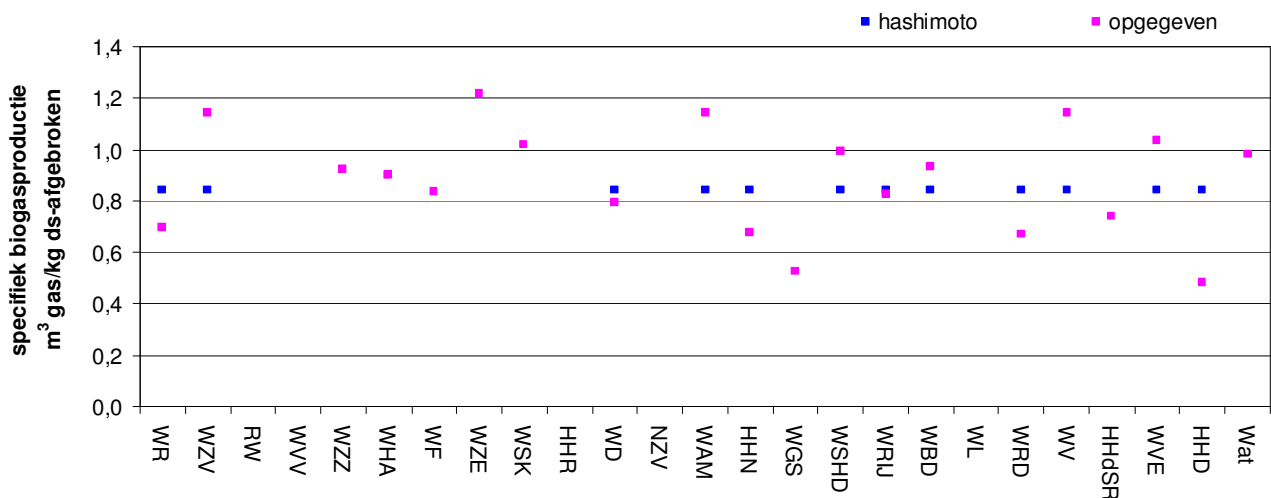
afbeelding 3.5. Berekende biogasproductie volgens Chen-Hashimoto versus de opgegeven biogasproductie



Voor sommige waterschappen zijn de verschillen tussen de opgegeven waarden en de berekende waarden aanzienlijk, zoals voor waterschap Brabantse Delta (WBD), waterschap Rivierenland (WR) en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHN). Bij de opgegeven biogasproductie van WR ontbreken de waarden van een gisting (Tiel). De gisting op rwzi Nijmegen heeft een aanzienlijkere biogasproductie dan theoretisch wordt berekend.

In afbeelding 3.6 is tevens de specifieke biogasproductie weergegeven. Het is duidelijk te zien dat de specifieke biogasproductie berekend met Chen-Hashimoto een vrij constante waarde heeft voor de verschillende waterschappen. In de praktijk variëren de opgegeven waarden tussen 0,5 - 1,2 Nm³ biogas/kg ds-afgebroken. Enkele duidelijke afwijkende waarden zijn gevonden voor waterschap Zeeuws Vlaanderen (WZV), WAM en waterschap Veluwe (WV) en hoogheemraadschap van Delfland (HHD). WZV betreft één gisting die een hogere specifieke biogasproductie heeft, er zijn voor WZV verder geen afwijkende waarden gevonden. WAM en WV hebben met name met de slibgistingsinstallaties op rwzi Land van Cuijk respectievelijk rwzi Terwolde een hoge specifieke gasproductie van circa 1,3 m³ gas/kg ds-afgebroken waarvan de gisting op rwzi Land van Cuijk een hoge ingaand ds-gehalte heeft (8,5 %).

afbeelding 3.6. Berekende specifieke biogasproductie volgens Chen-Hashimoto versus de opgegeven specifieke biogasproductie



3.4. Toetsing Chen-Hashimoto aan specifieke rwzi's

Het model van Chen-Hashimoto wordt verder gespecificeerd voor enkele specifieke rwzi's die zijn uitgerust met een grote (centrale)¹ slibgistinginstallatie en/of waarvan voldoende getallen aanwezig zijn om een betrouwbaar beeld te geven, dit zijn: rwzi Harnaschpolder (HHD), Amsterdam West (Waternet) en rwzi Bath (WBD). De slibgistinginstallaties van deze zuiveringen vergisten het gemengde slib. Ook rwzi Land van Cuijk (WAM) en Willen Annapolder (WZE-WZV) wordt getoetst. Voor rwzi Land van Cuijk is het aangegeven dat alleen het secundaire slib wordt vergist. Voor rwzi Willem Annapolder wordt de biogasproductie berekend aan de hand van de drogestofgehaltenes van de specifieke slibstromen.

De waarden die zijn ingevuld vanuit de opgegeven inventarisatie in tabel 3.2 tot en met tabel 3.6 zijn in het blauw aangegeven. De waarden die kenmerkend zijn voor Chen-Hashimoto zijn aangeduid met rood, de met zwart aangegeven waarden volgen uit de berekening en de met groen aangegeven waarden zijn aangenomen vaste parameters (**ingevuld via gegevens, berekend, vaste waarde Chen-Hashimoto, zelf ingevoerde vast waarde**). Er waren onvoldoende gegevens aanwezig om de as-gehaltenes van zowel de primaire als de secundaire slibstroom in detail weer te geven. Wel was het as-gehalte van de complete stroom bekend. Voor de berekening van de reductie van organische stof is het aangenomen dat dit as-gehalte geldt voor zowel de primaire als de secundaire slibstroom. Voor rwzi Willem Annapolder waren deze gegevens wel aanwezig, deze gegevens zijn dan ook gebruikt voor de berekening van de biogasproductie.

Via de ingevulde vragenlijsten konden de volgende waarden direct worden ingevuld:

- totaal DS In (ton/jaar);
- as-gehalte DS ex chemisch (%);
- drogestof (%) van de totale ingaande slibstroom;
- volume (m³/jaar);
- reductie org. stof (%), ter vergelijking van de totale stroom;
- ds reductie (%), ter vergelijking van de totale stroom;
- biogasproductie (ton/jaar), ter vergelijking van de berekende biogasproductie;
- biogas/kg ODS (m³/kg), ter vergelijking van de berekende specifieke biogasproductie;
- verblijftijd (d);
- temperatuur (°C).

Aan de hand van deze ingevulde parameters konden de met zwart aangegeven waarden worden berekend. Van deze waarden worden de volgende parameters vergeleken met de opgegeven waarden:

- **droge stof (%) van de totale ingaande stroom**, deze is berekend aan de hand van de berekende ds-gehalte van de afzonderlijke stromen en de opgegeven ingaande stromen qua volume;
- **reductie (organische) drogestof (%) van de totaal behandelde slibstroom**, deze waarde is berekend aan de hand van de jaarlijkse ingaande massa organische stof per slibstroom en de theoretisch maximaal haalbare reductie aan organische stof per slibstroom;
- **totaal (organische) drogestof uit (ton/jaar)**, deze waarde is op twee manieren berekend. In de kolom 'totaal' is het de som van de hoeveelheid organische stof van de verwerkte primaire en secundaire slibstroom. De massa organische stof in de kolom 'vergelijkende waarden' is berekend met behulp van het opgegeven percentage reductie organische stof en het ingaande slibvolume en de berekende massa totale organische stof in;
- **ds reductie (%)**, deze waarde is berekend met behulp van de opgegeven totaal ingaande massa drogestof en de berekende uitgaande massa droge stof;
- **biogasproductie (ton/jaar)**, de berekende biogasproductie wordt berekend aan de hand van de methaanproductie en het methaangehalte;
- **biogas/kg ODS (m³/kg)**, de berekende specifieke biogasproductie wordt berekend met behulp van de in- en uitgaande massa organische stof en berekende biogasproductie.

¹ Let wel, hierbij komt ook extern slib van andere installaties binnen.

3.4.1. Rwzi Harnaschpolder (HHD)

In de onderstaande tabel is het model van Chen-Hashimoto getoetst aan de slibgisting van rwzi Harnaschpolder. Het betreft een rwzi die uitgerust is met een van de grootste communale slibgistingsinstallaties in Nederland. De berekende reductie van organische stof is gelijk aan 51 %. Deze reductie is berekend met behulp van de ingaande hoeveelheid organische stof in ton/jaar en het berekende afbraakpercentage per slibstroom. De totale organische ds-afbraak die is opgegeven is gelijk aan 43 %. Dit zou betekenen dat de berekende biogasproductie hoger zou moeten zijn dan de opgegeven waarden, dat is echter niet het geval.

tabel 3.2. Berekening reductie organische stof tijdens gisting rwzi Harnaschpolder

parameter	eenheid	primair	secundair	totaal	vergelijkende waarden
aandeel van totaal	-	0,56	0,44	1,00	
totaal DS in	ton/jaar	8.200	6.513	14.713	
chemisch slib	ton/jaar	-	-	-	
DS exclusief chem. slib	ton/jaar	8.200	6.513	14.713	
as-gehalte DS ex chemisch	%			24	
droge stof	%	4,7	4,9	4,8	5,1
volume	m ³ /jaar	175.383	133.021	308.404	
org stof in	ton/jaar	6.229	4.947	11.176	
minimale SLT	d	2,14	2,14		
niet voorbehandeld					
maximale reductie	%	65	45	56	
afbraakconstante	-	1,00	1,40		
reductie org stof	%	60	40	51	43
totaal org stof uit	ton/jaar	2.521	2.975	5.496	6.370
DS uit	ton/jaar	4.492	4.541	9.033	
DS reductie	%	45	30	39	32
kg CZV/kg ODS	kg/kg	1,8	1,4	1,62	
methaanproductie	1.000*m ³ /jaar	2.336	966	3.302	
methaangehalte	%	65	65	65	
biogasproductie	m ³ /jaar	359.364	148.686	508.050	5.393.034
biogas/kg ODS	m ³ /kg	0,97	0,75	0,89	0,97
PARAMETERS VOOR BEREKENING AFBRAAK ORGANISCHE STOF TIJDENS SLIBGISTING					
ontleend aan Chen-Hashimoto 1986					
SRTmin	d	3,0			
fT	-	1,07			
volume gisting	m ³				
hvt	d	25,4			
temp	°C	35,0			

3.4.2. Rwzi Bath (WBD)

rwzi Bath is een betrekkelijk grote zuivering met een uitgebreide slibgisting installatie. De opgegeven organische ds-afbraak is opvallend veel lager dan de berekende reductie van organische stof. De opgegeven waarden lijkt onaannemelijk laag, in vergelijking tot de berekende waarden voor de hoeveelheid drogestof uit de slibgisting. De opgegeven waarde voor de hoeveelheid drogestof die de slibgisting uit komt is wel van dezelfde orde grootte als de berekende hoeveelheid drogestof die de slibgisting uitkomt. Als gevolg van deze verschillen is ook de uiteindelijke biogasproductie in de praktijk lager dan volgens de theorie van Chen-Hashimoto.

tabel 3.3. Berekening reductie organische stof tijdens gisting rwzi Bath

parameter	eenheid	primair	secundair	totaal	vergelijkende waarden
aandeel van totaal	-	0,52	0,48	1,00	
totaal DS in	ton/jaar	4.703	4.294	8.997	
chemisch slib	ton/jaar	-	-	-	
DS exclusief chem. slib	ton/jaar	4.703	4.294	8.997	
as-gehalte DS ex chemisch	%			37	
droge stof	%	5,8	4,1	5,0	4,8
volume	m ³ /jaar	80.880	103.834	184.714	
org stof in	ton/jaar	2.963	2.705	5.668	
minimale SLT	d	2,48	2,48		
niet voorbehandeld					
maximale reductie	%	65	45	55	
afbraakconstante	-	1,00	1,40		
reductie org stof	%	57	38	48	14
totaal org stof uit	ton/jaar	1.265	1.680	2.945	4.875
DS uit	ton/jaar	3.005	3.269	6.274	6.834
DS reductie	%	36	24	30	22
kg CZV/kg ODS	kg/kg	1,8	1,4	1,61	
methaanproductie	1000*m ³ /jaar	1.111	528	1.640	
methaangehalte	%	65	65	65	
biogasproductie	m ³ /jaar	1.645.981	772.687	2.418.668	2.016.766
biogas/kg ODS	m ³ /kg	0,97	0,75	0,89	0,92
PARAMETERS VOOR BEREKENING AFBRAAK ORGANISCHE STOF TIJDENS SLIBGISTING					
ontleend aan Chen-Hashimoto 1986					
SRTmin	d	3,0			
fT	-	1,07			
volume gisting	m ³				
hvt	d	21,0			
temp	°C	32,8			

3.4.3. Amsterdam West (Waternet)

In de onderstaande tabel is het model van Chen-Hashimoto getoetst aan de slibgisting van rwzi Amsterdam West. Het betreft een grote en nieuwe rwzi waarbij niet alleen het slib van de rwzi wordt behandeld maar ook externe slibstromen. De berekende reductie van organische stof is gelijk aan 50 %, de opgegeven waarde is gelijk aan 45 %. Dit zou betekenen dat de berekende biogasproductie hoger zou moeten zijn dan de opgegeven waarden, dat is echter niet het geval. De specifieke biogasproductie is echter ook hoger. Ook is het verschil mede te verklaren door het verschil in het ds-gehalte in de slibgisting, dat in de praktijk ruim een half procent hoger dan de theoretische waarde.

tabel 3.4. Berekening reductie organische stof tijdens gisting rwzi Amsterdam West

parameter	eenheid	primair	secundair	extern	totaal	vergelijkende waarden
aandeel van totaal	-	0,48	0,45	0,07	1,00	
totaal DS in	ton/jaar	13.398	12.594	1.915	27.907	
chemisch slib	ton/jaar	-	-	-	-	
DS exclusief chem. slib	ton/jaar	13.398	12.594	1.915	27.907	
as-gehalte DS ex chemisch	%				26	
droge stof	%	4,6	5,4	5,3	5,0	5,0
volume	m ³ /jaar	291.270	233.214	35.883	560.367	

parameter	eenheid	primair	secundair	extern	totaal	vergelijkende waarden
org stof in minimale SLT niet voorbehandeld	ton/jaar	9.915	9.319	1.417	20.651	
maximale reductie	%	65	45	85	57	
afbraakconstante	-	1,00	1,40	1,00		
reductie org stof	%	57	38	75	50	45
totaal org stof uit	ton/jaar	4.222	5.780	353	10.355	11.358
DS uit	ton/jaar	7.705	9.054	851	17.610	
DS reductie	%	42	28	56	37	34
kg CZV/kg ODS	kg/kg	1,8	1,4	1,8	1,62	
methaanproductie	1000*m ³ /jaar	3.587	1.734	670	5.991	
methaangehalte	%	65	65	65	65	
biogasproductie	m ³ /jaar	5.517.932	2.668.252	1.031.412	9.217.596	9.461.323
biogas / kg ODS	m ³ /kg	0,97	0,75	0,97	0,90	0,93
PARAMETERS VOOR BEREKENING AFBRAAK ORGANISCHE STOF TIJDENS SLIBGISTING						
ontleend aan Chen-Hashimoto 1986						
SRTmin	d	3,0				
fT	-	1,07				
volume gisting	m ³					
hvt	d	21,0				
temp	°C	33,0				

Het opgegeven volume van het secundaire slib, op basis waarvan het drogestof gehalte van de desbetreffende stroom wordt berekend, was als zeer groot opgegeven waardoor er een drogestof gehalte van circa 0,9 % ontstond. Zodoende is er voor gekozen het opgegeven secundair slibdebiet te delen door 6 zodat er een aannemelijkere drogestof gehalte ontstaat.

3.4.4. Rwzi Land van Cuijk (WAM)

In de slibgisting op rwzi Land van Cuijk wordt er alleen een secundaire slibstroom behandeld in de slibgisting. Het berekende percentage reductie (organische) stof is hoger dan de opgegeven waarden. De opgegeven biogasproductie is echter ook hoger dan de berekende biogasproductie. De opgegeven en berekende biogasproductie liggen echter nog wel in dezelfde orde grootte. Het ingaande ds-gehalte van 8,5 % is hoger dan gemiddeld. Hierdoor is er, ondanks dat het afbraakpercentage organische ds lager is dan berekend, toch een aanzienlijke hoeveelheid organische drogestof te zich vergisten. Ook is de opgegeven specifieke biogasproductie aanzienlijk hoger dan de berekende specifieke biogasproductie, wat mede een oorzaak is van de hogere opgegeven biogasproductie.

tabel 3.5. Berekening reductie organische stof tijdens gisting rwzi Land van Cuijk

parameter	eenheid	secundair	totaal	
aandeel van totaal	-	1,00	1,00	
totaal DS in	ton/jaar	2.497	2.497	
chemisch slib	ton/jaar	-	-	
DS exclusief chem. slib	ton/jaar	2.497	2.497	
as-gehalte DS ex chemisch	%		26	
droge stof	%	8,5	8,5	8,5
volume	m ³ /jaar	348.156	348.156	
org stof in	ton/jaar	1.848	1.848	
minimale SLT	d	2,14		
niet voorbehandeld				
maximale reductie	%	45	45	

parameter	eenheid	secundair	totaal	
afbraakconstante	-	1,40		
reductie org stof	%	42	42	29
totaal org stof uit	ton/jaar	1.080	1.080	1.312
DS uit	ton/jaar	1.730	1.730	1.834
DS reductie	%	31	31	21
kg CZV/kg ODS	kg/kg	1,4	1,40	
methaanproductie	1000*m ³ /jaar	376	376	
methaangehalte	%	65	65	
biogasproductie	m ³ /jaar	578.515	578.515	635.619
biogas/kg ODS	m ³ /kg	0,75	0,75	1,33
PARAMETERS VOOR BEREKENING AFBRAAK ORGANISCHE STOF TIJDENS SLIBGISTING				
ontleend aan Chen-Hashimoto 1986				
SRTmin	d	3,0		
fT	-	1,07		
volume gisting	m ³			
hvt	d	30,0		
temp	°C	36,0		

3.4.5. Rwzi Willem Annapolder (WZV-WZE)

Van de rwzi's van WZE en WZV zijn de drogestofgehaltenes van de verschillende stromen aangegeven waardoor het mogelijk is de biogasproductie te berekenen op basis van deze aangegeven drogestof gehaltenes. Ook is de chemisch slibproductie meegenomen in de berekening.

tabel 3.6. Berekening reductie organische stof tijdens gisting rwzi Willem Annapolder

parameter	eenheid	primair	secundair	extern	totaal	vergelijkende waarden
totaal DS in	ton/jaar	1.020	994	744	2.759	
chemisch slib	ton/jaar	329	329	329	986	
DS exclusief chem. slib	ton/jaar	691	666	416	1.773	
as-gehalte DS ex chemisch	%	33	29	32	31	
droge stof	%	7	5	9	6,0	6,6
berekende volume	m ³ /jaar	15.000	18.762	8.003	41.765	57.693
org stof in	ton/jaar	460	475	283	1.218	
minimale SLT	d	2,45	2,45	2,45	2,45	
niet voorbehandeld						
maximale reductie	%	65	45	75	60	
afbraakconstante	-	1,00	1,40	1,00		
reductie org stof	%	56	37	65	50	34
totaal org stof uit	ton/jaar	203	300	100	603	804
DS uit	ton/jaar	762	820	562	2.144	2.046
DS reductie	%	25	18	25	22	19,1
kg CZV/kg ODS	kg/kg	1,8	1,4	1,4	1,55	
kg CZV/kg ODS	kg/kg	1,8	1,4	1,4	1,55	
methaanproductie	m ³ /jaar	162	85	89	337	
methaangehalte	%	65	65	65	65	
biogasproductie	m ³ /jaar	249.709	131.305	137.555	518.569	596.397
biogas/kg ODS	m ³ /kg	0,97	0,75	0,75	0,84	1,55
PARAMETERS VOOR BEREKENING AFBRAAK ORGANISCHE STOF TIJDENS SLIBGISTING						
ontleend aan Chen-Hashimoto 1986						

parameter	eenheid	primair	secundair	extern	totaal	vergelijkende waarden
SRTmin	d	3,0				
fT	-	1,07				
volume gisting	m ³					
hvt	d	17,6				
temp	°C	33,00				

De opgegeven specifieke slibproductie qua volume is aanzienlijk hoger dan de berekende slibproductie. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door een verschil in volume in de externe slibproductie. Het is goed mogelijk dat het volume aan chemisch slib bij de opgegeven waarde is opgeteld. Een specifieke biogasproductie van circa 0,84 is echter een stuk aannemelijker dan een specifieke biogasproductie van 1,55.

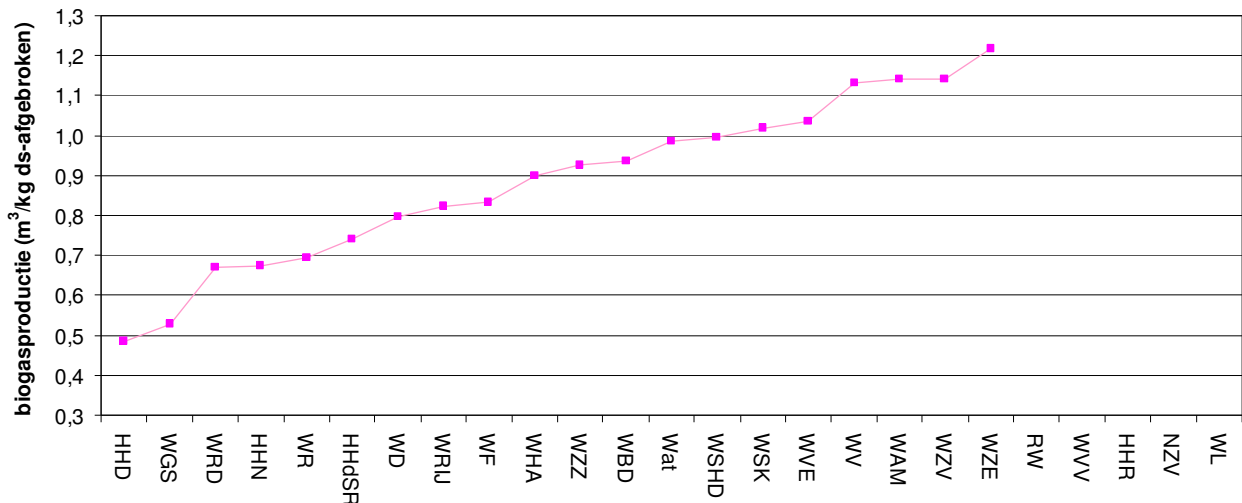
4. INVENTARISATIE BIOGASGEGEVENS PER SCHAP

4.1. Specifieke biogasproductie

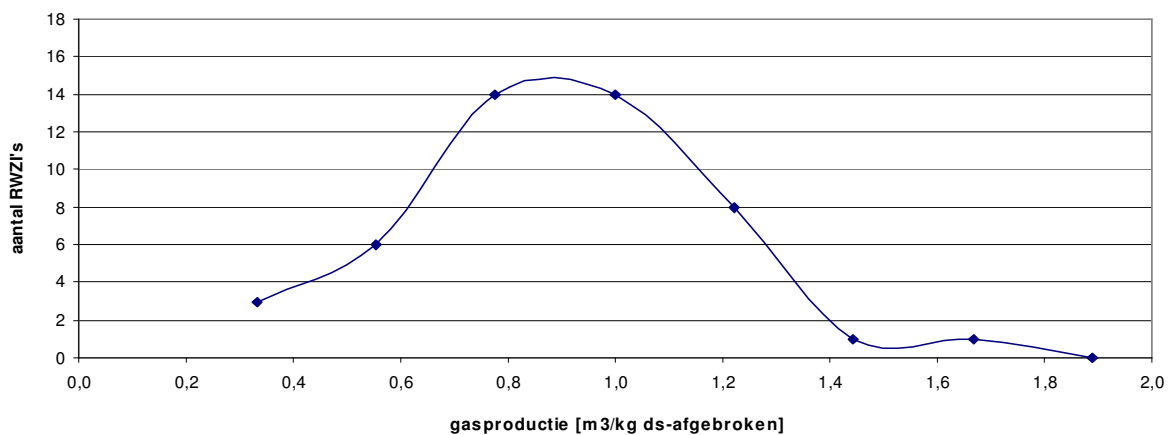
Om een inventarisatie te maken van de biogasgegevens per waterschap is er voor gekozen om een strategische verdeling te maken tussen gemiddelde en totale waarden van verschillende parameters. Deze parameters zijn inzichtelijk gemaakt in de onderstaande afbeeldingen. Niet alle waterschappen zijn terug te vinden in de afbeeldingen, dit is te wijten aan onvolledig ingevulde vragenlijsten.

In afbeelding 4.1 is de gemiddelde biogasproductie per kg afgebroken drogestof weergegeven van de verschillende zuiveringen per waterschap. De gemiddelde biogasproductie per kg afgebroken drogestof van waterschap Zeeuwse Eilanden is het hoogst, dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt doordat deze parameter een hoge waarde van 1,55 m³/kg ds-afgebroken heeft voor rwzi Willem Annapolder. Naar eigen zegge is deze waarde voor rwzi Waalwijk van waterschap Brabantse Delta bijna 3,0 m³/kg ds-afgebroken. In afbeelding 4.2 is deze specifieke biogasproductie uitgezet tegen het aantal rwzi's van alle waterschappen met die specifieke waarde. In deze afbeelding is te zien dat de specifieke gasproductie voor de verschillende rwzi's ligt tussen 0,3-1,5 m³/kg afgebroken drogestof, de meeste rwzi's hebben een specifieke gasproductie van gemiddeld 0,95 m³/kg afgebroken drogestof

afbeelding 4.1. Gemiddelde specifieke biogasproductie per waterschap



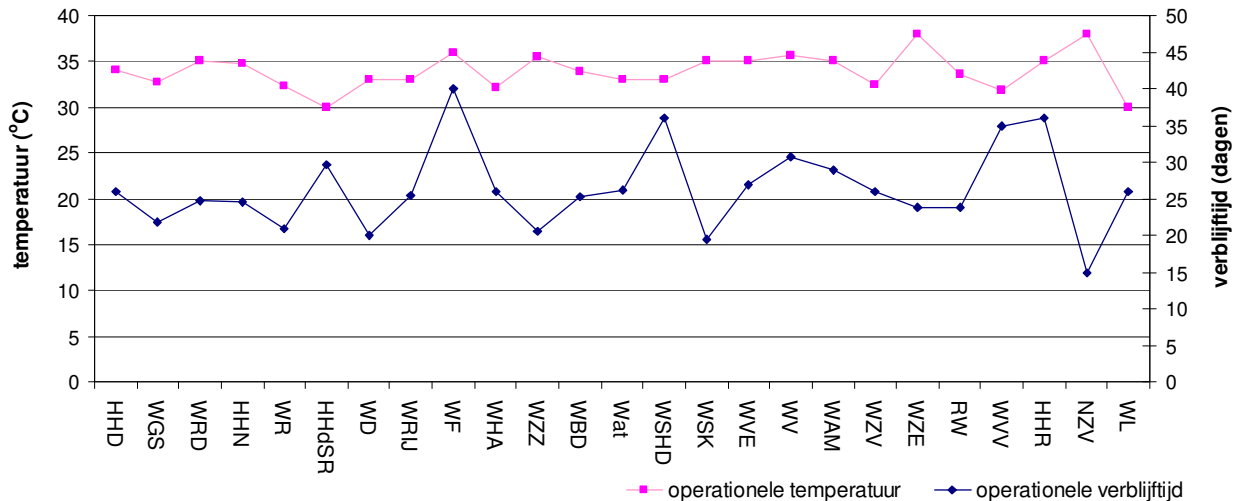
afbeelding 4.2. Gemiddelde specifieke biogasproductie voor het aantal bijbehorende rwzi's



4.2. Analyse afbraakprestaties versus verblijftijd

In afbeelding 4.3 is de gemiddelde operationele verblijftijd en de gemiddelde operationele temperatuur van de rwzi's per waterschap weergegeven. De operationele verblijftijd van de verschillende rwzi's varieert van 12 tot 45 dagen. De temperatuur in de slibgistingsinstallaties varieert over het algemeen van 30 tot 36 °C. Deze temperatuurrange komt overeen met mesofiele gisting. Slechts in enkele gevallen wordt warme, koude of gemengde gisting toegepast. Enkele waterschappen die aangeven voor bijna alle rwzi's warme gisting toe te passen zijn: waterschap Regge en Dinkel, waterschap Rijn en IJssel, hoogheemraadschap de Stichtse Rijlanden en waterschap Zuiderzeeland. Uit de opgegeven waarden blijkt dat er wel sprake is van mesofiele gisting voor de desbetreffende waterschappen. Koude gisting wordt bij geen enkel waterschap voor alle rwzi's toegepast.

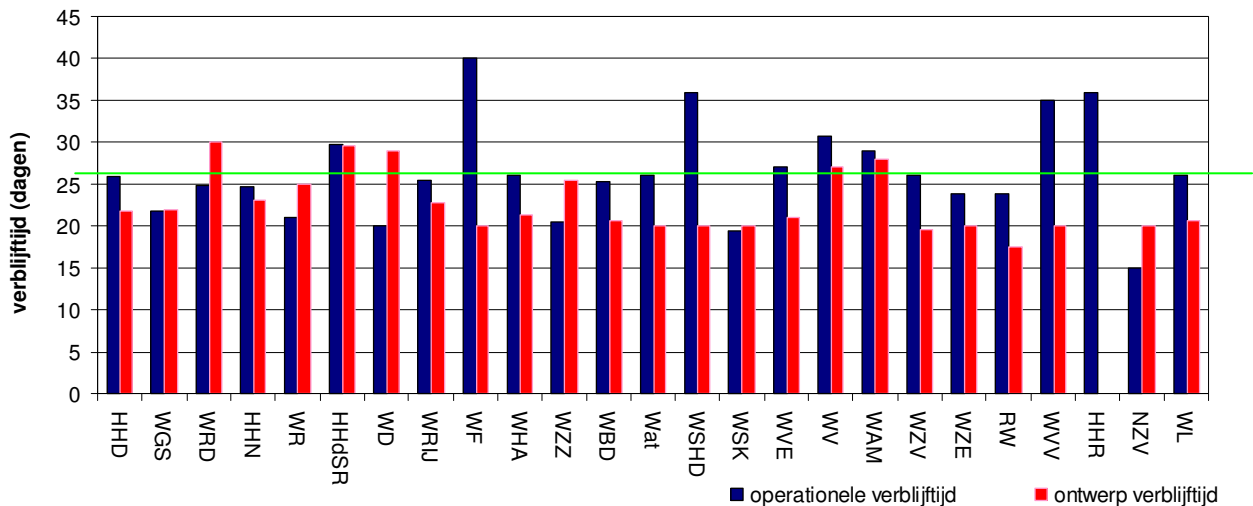
afbeelding 4.3. Gemiddelde verblijftijd en gemiddelde temperatuur per waterschap



De temperatuurspreiding is veel kleiner dan de spreiding van de verblijftijd. Uit afbeelding 3.2 kan worden opgemaakt dat de organische ds-afbraak nog maar minimaal stijgt als de temperatuur hoger wordt dan 30-32 °C. Alle waterschappen hanteren een gemiddelde temperatuur gelijk aan of hoger dan 30 °C.

In afbeelding 3.2 zijn de operationele verblijftijden ook uitgezet tegen de organische ds-afbraak in de slibgistingsinstallatie. Ook in hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3 is de theoretische invloed van de verblijftijd in de slibgisting weergegeven. In afbeelding 4.4 is de gemiddelde ontwerp verblijftijd samen met de operationele verblijftijd weergegeven voor de verschillende waterschappen. De gemiddelde ontwerpverblijftijd ligt rond de 22 dagen en de gemiddelde operationele verblijftijd rond de 27 dagen, zodoende is de gemiddelde reserveverblijftijd circa 5 dagen. Uit de theorie van Chen-Hashimoto volgt dat de organische stof maar minimaal verder reduceert wanneer de verblijftijd langer wordt dan circa 26 dagen (zie groene lijn in afbeelding 4.4). De meest optimale verblijftijd moet in ieder geval langer zijn dan circa 22 dagen, zie afbeelding 3.2. Uit afbeelding 4.4 blijkt dat de meeste waterschappen een operationele verblijftijd langer dan 22 dagen hebben. Enkele waterschappen die een beduidend langere verblijftijd hebben zijn wetterskip Fryslan, waterschap Hollandse Delta, waterschap Velt en Vecht en hoogheemraadschap Rijnland. Van WF heeft met name rwzi Burgum en Leeuwarden een hele lange operationele verblijftijd van 60 respectievelijk 40 dagen. Voor deze rwzi's is het bekend dat de gisting bestaat uit twee in serie geschakelde grote tanks, waarbij de laatste tank fungeert als een koude nagisting, zonder menging en verwarming. De lange verblijftijd van HHR is gebaseerd op slechts een enkele rwzi (Alphen Noord), hetzelfde geldt voor WSHD (Dokhaven-Sluisjesdijk). Noorderzijvest (Gisting Garmerwolde) heeft juist een betrekkelijk lage verblijftijd. De rwzi's met een lange operationele verblijftijd hebben mogelijk een slibgistingsinstallatie die groter is dan noodzakelijk of de slibstromen van het desbetreffende jaar waren kleiner.

afbeelding 4.4. Operationele- en ontwerpverblijftijden voor de verschillende waterschappen

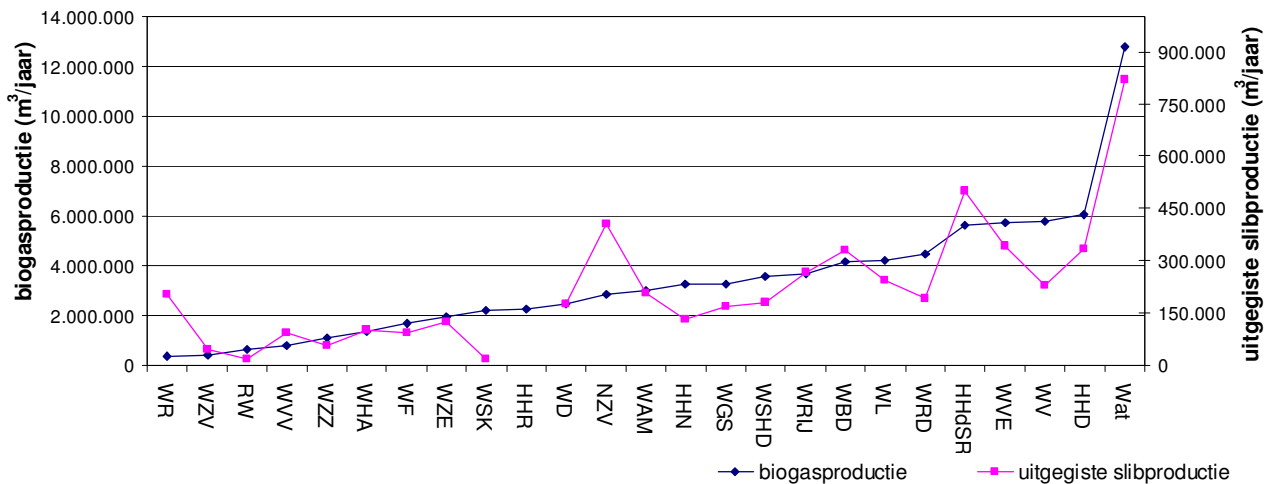


4.3. Biogasproductie

In afbeelding 4.5 is de som van de jaarlijkse biogasproductie van de verschillende waterschappen uitgezet tegen de totaal behandelde slibstromen in m³/jaar. In afbeelding 4.6 is de jaarlijkse biogasproductie uitgezet tegen de jaarlijkse organische ds-afbraak. Waternet heeft verruit de hoogste totale biogasproductie. Waternet is in het bezit van 7 grote slibgistingsinstallaties met als grootste gistingsinstallatie rwzi Amsterdam West. rwzi Amsterdam West heeft een zuiveringscapaciteit van 1.000.000 i.e en een slibverwerkingscapaciteit van 1.200.000 i.e.

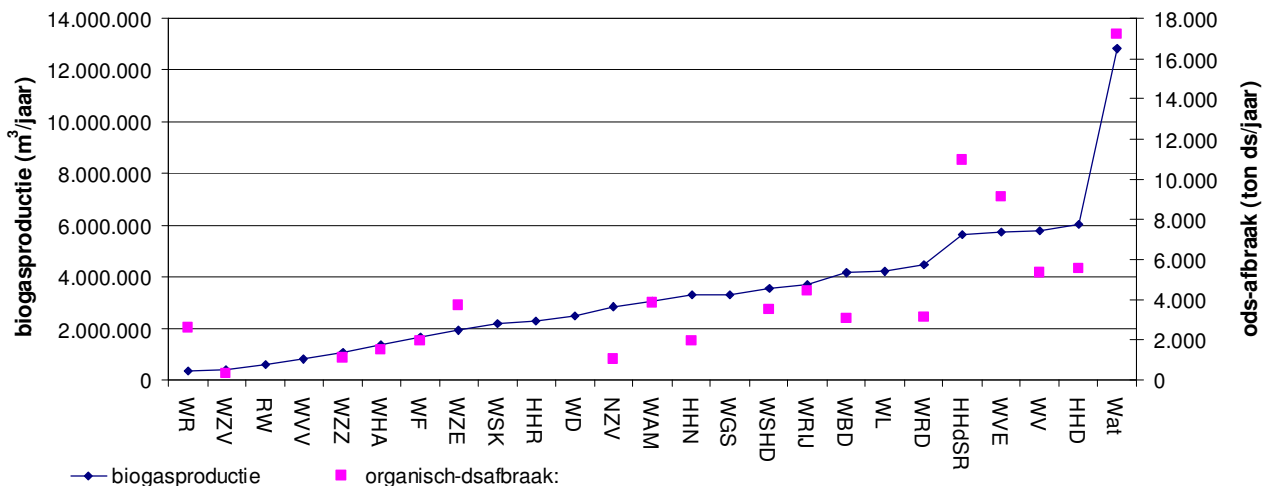
Niet alle rwzi's hadden de hoeveelheid uitgelist slib aangeleverd. In afbeelding 4.5 zitten enkele overduidelijke onregelmatigheden. Waterschappen die een hoge slibproductie hadden in vergelijking tot de biogasproductie waren Noorderzijlvest, waterschap Rivierenland en in mindere mate hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden. Waterschap Rivierenland heeft aangegeven dat vooral rwzi Arnhem-Zuid een hele lage specifieke biogasproductie van 0,22 m³/kg ds-afgebroken heeft. Noorderzijlvest geeft aan alleen maar secundair slib te vergisten, dit levert minder gas op dan wanneer er ook primair slib wordt vergist. Het hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (alleen rwzi Kralingse Veer) heeft juist een lage uitgeliste slibproductie in vergelijking tot de biogasproductie. Dit waterschap heeft aangegeven een zeer hoge primaire slibstroom (91.615 m³/jaar) te hebben in vergelijking tot de secundair slibstroom (52.195 m³/jaar), de massa drogestof in ton per jaar is voor beide stromen gelijk aan circa 2.900.

afbeelding 4.5. Totale biogasproductie uitgezet tegen de totale slibvolumina per waterschap



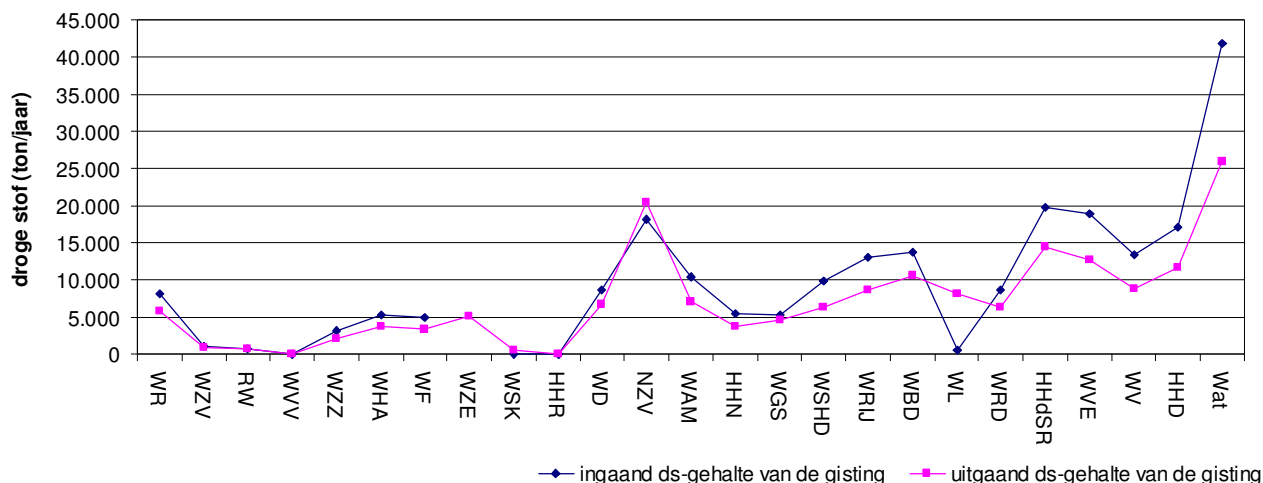
Het biogas wordt geproduceerd door de omzetting van organische stof. Zodoende is in afbeelding 4.6 de jaarlijkse biogasproductie uitgezet tegen de jaarlijkse organische ds-afbraak.

afbeelding 4.6. Totale biogasproductie uitgezet tegen de totale ods-afbraak per waterschap



In afbeelding 4.7 de totale hoeveelheid ingaande drogestof uitgezet tegen de totale hoeveelheid drogestof die overblijft na het vergisten. Deze stromen zijn berekend aan de hand van de opgegeven ingaande en uitgaande ds-gehalten en de opgegeven vergiste slibproductie in m³/jaar. Niet alle drogestof gehalten waren bekend waardoor er bijvoorbeeld bij waterschap Limburg een te lage ingaande drogestof vracht is weergegeven. Over het algemeen kan wel worden gesteld dat de waterschappen met de hogere biogasproducties een groter verschil hebben tussen de ingaande en uitgaande drogestof vracht.

afbeelding 4.7. Totale droge stof verwerking in de gisting per waterschap



4.4. Afbraakprestaties: primair, secundair en gemengd slib

primair en secundair slib

Volgens de theorie zouden de rwzi's die alleen secundair slib vergisten minder biogas produceren dan de rwzi's die dezelfde hoeveelheid aan primair of gemengd slib vergisten. Uit de tabellen in hoofdstuk 3, waarin een aantal rwzi's zijn getoetst aan de berekening volgens Chen-Hashimoto, is niet direct een verschil in biogasproductie te vinden als gevolg van verschillende vergistte slibstromen. Zodoende zijn de verschillende rwzi's die slechts primair of secundair slib vergisten met elkaar vergeleken. Deze gegevens zijn in tabel 4.1 en tabel 4.2 weergegeven.

In de tabellen is tevens, aan de hand van de ontwerpcapaciteit, de theoretische biogasproductie berekend uitgaande van 20 L per persoon per dag voor het vergisten van primair slib en 10 L per persoon per dag voor het vergisten van secundair slib.

tabel 4.1. Specificaties vergisting secundair slib

secundair	naam van de rwzi	ontwerpcapaciteit a 136 g TZV	10 L gas p/p per dag m ³ /jaar	ods-afbraak %	ds-uitgaand %	gasproductie m ³ /jaar	gasproductie m ³ /kg ds-	gasproductie m ³ /i.e.
WF	Burgum	73.000	266.450	40	4,4	152.842	0,82	4,40
HHR	Heemstede	49.000	178.850		1,61	83.975		
HHR	Leiden ZW	126.000	459.900					
WV	land van Cuijk	175.000	638.750	29	6,5	635.619	1,33	3,75
HHR	Leiden Noord	154.000	562.100			169.763		
WAM	Asten	80.000	292.000	36	3,5	366.605	1,10	6,4
gemiddeld				35	4,0		1,08	4,85

tabel 4.2. Specificaties vergisting primair slib

primair	naam van de rwzi	ontwerpcapaciteit a 136 g TZV	20 L gas p/p per dag m ³ /jaar	ods-afbraak %	ds-uitgaand %	gasproductie m ³ /jaar	gasproductie m ³ /kg ds-	gasproductie m ³ /i.e.
WV	Harderwijk	230.000	1.679.000	57	3,1	1.530.477	1,07	0,02
WD	Boxtel	120.000	876.000		4,15	326.464		0,01
RW	Meppel	121.760	888.848		2,50	204.415		1,83
WR	Arnhem-Zuid	230.000	1.679.000	71	2,2	356.283	0,22	1,74
Wat	Weesp	45.000	328.500		2,8	319.246	1,32	

primaire	naam van de rwzi	ontwerpcapaciteit	20 L gas p/p per dag	ods-afbraak	ds-uitgaand	gasproductie	gasproductie	gasproductie
WV	Elburg	160.000	1.168.000	33	3,75	1.129.594	1,15	0,02
	gemiddeld			54	3,08		0,94	0,72

Het is opmerkelijk dat bijna alle geselecteerde rwzi's die aangeven dat er slechts primair slib wordt vergist, deze ook een secundair-slibproductie hebben. Het is mogelijk dat dit secundaire slib direct wordt ingedikkt/ontwaterd zonder het te vergisten.

De waarden uit tabel 4.1 en tabel 4.2, die met elkaar kunnen worden vergeleken zijn de organische ds-afbraak en de specifieke biogasproductie. Wanneer de organische ds-afbraak van de verschillende te vergisten slibstromen met elkaar worden vergeleken dan is deze voor de secundair slibstromen gemiddeld 19 % lager dan voor de primair slibstromen. Het uitgaande ds-gehalte van het secundair slib is gemiddeld hoger dan het primair slib.

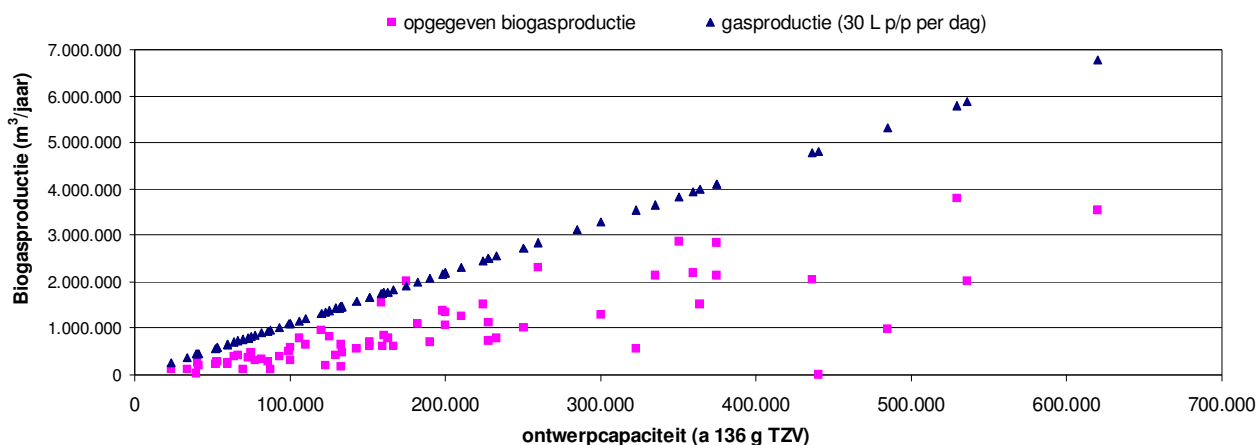
Het is echter opmerkelijk dat de gemiddelde specifieke gasproductie voor het secundair slib hoger is dan voor het primair slib. Aan de hand van de aanwezige gegevens zijn deze verschillen niet direct te verklaren. De lage specifieke gasproductie in m³/kg ds-afgebroken wordt voornamelijk veroorzaakt door de lage waarde van rwzi Arnhem Zuid.

De theoretische biogasproductie, berekend aan de hand van de ontwerpcapaciteit is voor bijna alle rwzi's is hoger dan de opgegeven biogasproductie.

gemengd slib

In afbeelding 4.8 is de opgegeven biogasproductie en de berekende biogasproductie van de verschillende rwzi's die gemengd slib vergisten, uitgezet tegen de bijbehorende ontwerpcapaciteit. Voor de berekende biogasproductie is uitgegaan van 30 l per persoon per dag, zie ook paragraaf 2.6. In de grafiek is de theoretische biogasproductie gebaseerd op de opgegeven ontwerpcapaciteit.

afbeelding 4.8. Theoretische biogasproductie voor gemengde gisting op basis van ontwerpcapaciteit



De theoretische biogasproductie is vaak groter en ligt overduidelijk aan de bovengrens van de hoeveelheden biogas die daadwerkelijk worden geproduceerd. Hetzelfde geldt voor de berekende biogasproducties uit tabel 4.1 en tabel 4.2. De oorzaak hiervoor is hem met name gelegen in het feit dat de ontwerpcapaciteit vaak groter is dan wat er gemiddeld wordt verwerkt op de rwzi. Een rwzi is vaak ontworpen op wat er maximaal binnen kan komen, daarnaast is er binnen een ontwerp vaak rekening

gehouden met toekomstige prognoses. Zodoende kan het toch worden aangenomen dat een gasproductie van circa 30 l per persoon per dag een aannemelijke waarde is.

4.5. Analyse afbraakprestaties versus type fosfaatverwijdering

In de theorie is reeds toegelicht dat het type fosfaatverwijdering invloed kan hebben de hoeveelheid geproduceerd slib. Chemische fosfaatverwijdering resulteert in meer slib met een hoger as-gehalte waardoor er minder ruimte in de slibgistinginstallatie overblijft voor het omzetten van organische stof. Deze informatie omtrent P-verwijdering en chemicaliëndosering van de verschillende rwzi's ontbrak aan de inventarisatie uit 2009. Zodoende is er nogmaals een aanvullende en korte vragenlijst verstuurd naar alle MJA-coördinatoren van de verschillende waterschappen om deze informatie te achterhalen.

In tabel 4.3 zijn de gegevens uiteengezet van de rwzi's die de aanvullende vragenlijst hebben beantwoord en die expliciet hebben aangegeven dat er een ijzerzout wordt gedoseerd ten behoeve van de fosfaatverwijdering of ter bestrijding van bijvoorbeeld P-release, schuim- en H₂S-vorming.

tabel 4.3. Chemicaliën dosering per rwzi

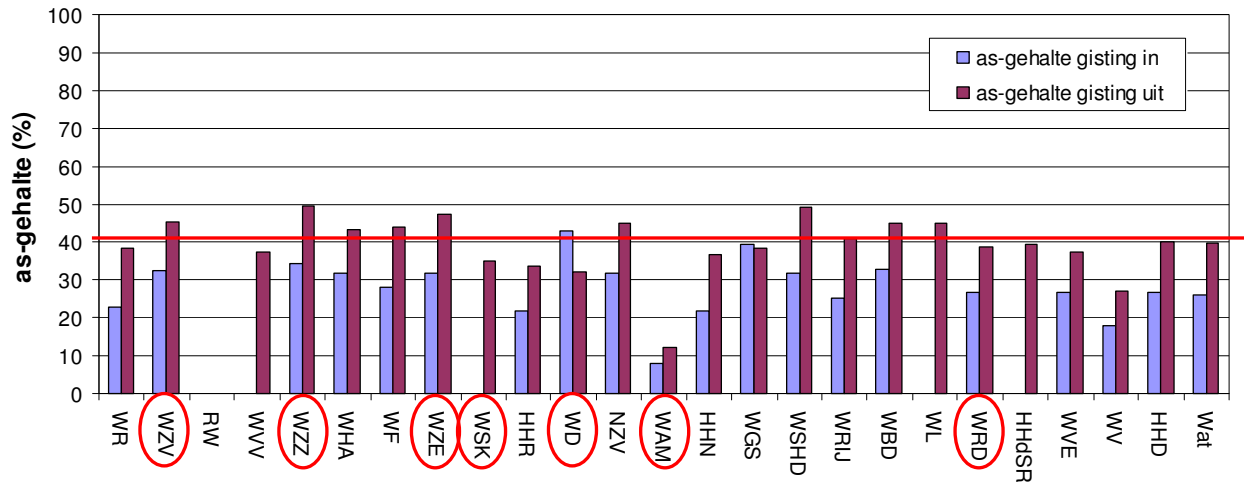
rwzi	waterschap	metaalzout	ton ds/jaar	opmerking
Tilburg	WD	Fe	458 + 18	P en H ₂ S- bestrijding
Dronten	WZZ	Al + hydroxideslib +Fe	91+75 +7,3	P verwijdering + aanvullend
Tollenbeek	WZZ	Fe + hydroxideslib +Fe	406 + 379	P verwijdering
Den Bosch	WAM	FeCl ₃ + Alcyl	737 + 11	P verwijdering + aanvullend
Land van Cuijk	WAM	FeCl ₃ + Alcyl	127 + 1	P verwijdering + aanvullend
Enschede	WRD	-	292 + 1	P- en schuimverwijdering
Hengelo	WRD	-	165	P verwijdering
Goor	WRD	-	24	P verwijdering
Oldenzaal	WRD	-	46	P verwijdering
Kralingse Veer	WSK	Cyaf + antischuim olie	-	P- en schuimverwijdering
Walcheren	WZE/WZV	ijzerslib+antischuim	243 + 2	P- en schuimverwijdering
Willem Annapolder	WZE/WZV	ijzerslib	241	P verwijdering
Terneuzen	WZE/WZV	FeCl ₃ + PAX-14	15+114	P verwijdering

Wanneer de gegevens uit tabel 4.3 worden vergeleken met de gegevens uit afbeelding 4.5, lijkt het doseren van de chemicaliën niet direct te resulteren in meer slib dan dat gemiddeld wordt geproduceerd bij een bepaalde biogasproductie. De uitgegiste slibproductie van WRD is zelfs lager ten opzichte van de andere waterschappen voor de bijbehorende biogasproductie, hetzelfde geldt voor WSK. Van NZV is bekend dat de rwzi Garmerwolde FeCl₃ doseert voor de fosfaatverwijdering, exacte getallen zijn echter niet bekend. Ook is in rwzi Garmerwolde een AB-systeem geïntegreerd dat resulteert in een hoge slibproductie. WF en WV geven aan geen chemicaliën te doseren aan de waterlijn of de sliblijn. De hoeveelheid uitgegiste slib ligt voor WF op dezelfde lijn als de biogasproductie. Voor WV geldt zelfs dat de biogasproductie betrekkelijk hoog is in vergelijking tot de uitgegiste slibproductie. Beide waterschappen hebben een hogere operationele verblijftijd dan de ontwerpverblijftijd. Ook wordt er bij WV co-vergisting toegepast waarbij het aannemelijk is dat dit stromen zijn met een hoog organische ds-gehalte. De slibgistinginstallatie van rwzi Den Bosch en Land van Cuijk hebben een gemiddelde operationele verblijftijd van respectievelijk 19 en 32 dagen. De ontwerpverblijftijd voor rwzi Land van Cuijk is 26 dagen, waardoor het slib langer kan worden vergist en de biogasopbrengst uiteindelijk ook hoger is en de slibproductie lager, zie ook tabel 3.5. In deze afbeelding is tevens te zien dat de gemiddelde operationele verblijftijd van WZZ 5 dagen lager ligt dan de ontwerpverblijftijd. De gemiddelde verblijftijden in de slibgistinginstallaties van WZV en WZE liggen, ondanks de chemische slibproductie, hoger dan de ontwerpverblijftijd.

In afbeelding 4.9 zijn de gemiddelde as-gehalten van de waterschappen weergegeven. De waterschappen die expliciet hebben aangegeven een ijzerzout te doseren zijn rood omsingeld. Het

gemiddelde uitgaande as-gehalte is gelijk aan 40 %, dit is aangegeven met de rode lijn. WD heeft een hoger ingaand as-gehalte in vergelijking tot het uitgaande as-gehalte, dit wordt veroorzaakt doordat er een waarde ontbreekt. Een aantal waterschappen hebben conform de theorie een hoger asgehalte dan gemiddeld, dit zijn WZE/WZV, WZZ en hoogstwaarschijnlijk WD.

afbeelding 4.9. Gemiddelde as-gehalten die de gisting ingaan en uitgaan



Het blijkt zeer lastig om op basis van deze gegevens een uitspraak te doen over de toename van de hoeveelheid slib en het as-gehalte. Deze parameters zijn afhankelijk van een groot aantal externe factoren die voor geen van de verschillende rwzi's gelijk is, hierdoor is het lastig deze parameters uit te sluiten.

5. CONCLUSIE EN DISCUSSIE

Voor deze aanvullende analyse op de biogasproductie en ds-afbraak per waterschap, zijn de gegevens gebruikt van de landelijke biogasinventarisatie 2009 [3]. In deze eerste inventarisatie werd hoofdzakelijk een beeld gegeven van de spreiding van de verschillende parameters. In de aanvullende analyse van de inventarisatie ligt de nadruk op de waarden die de verschillende waterschappen en rwzi's tijdens het gistingproces toepassen. Hiermee werd het mogelijk om de toegepaste parameters van de verschillende waterschappen met elkaar te vergelijken.

afbraak volgens methode Chen-Hashimoto

De biogasproductie volgens de theorie van Chen-Hashimoto geeft een theoretische waarde aan op basis van enkele vaste parameters en enkele ingevoerde waarden zoals het type slib, de verhouding primair versus surplusslib, het te vergisten ds-gehalte, de verblijftijd en de toegepaste temperatuur. De theoretisch berekende waarden zijn vergeleken met de opgegeven biogasproducties. Ook voor deze vergelijking geldt dat niet alle gewenste parameters kunnen worden ingevuld waardoor het voor sommige waterschappen niet mogelijk was de vergelijking te maken en voor andere waterschappen meer een vergelijking met een modellering betrof. Al met al bleek dat de biogasproductie goed benaderd kon worden in het geval er voldoende waarden aanwezig waren.

De specifieke biogasproductie berekend via de methode Chen-Hashimoto had voor alle rwzi's een redelijk constante waarde terwijl in de praktijk de specifieke biogasproductie voor de verschillende rwzi's een grotere range heeft.

inventarisatie biogasgegevens

Uit de analyse blijkt dat de opgegeven praktijkwaarden niet structureel aansluiten op de theorie. Deze discrepantie is deels te wijten aan het gebrek aan accurate informatie. Een andere oorzaak is dat iedere situatie weer anders is, en deze niet altijd gecontroleerd of beïnvloed kan worden.

Uit de verdere analyse van de biogasgegevens kan globaal worden gesteld dat de biogasproductie varieert van circa 0,6 tot 1,2 m³ gas/kg drogestof afgebroken. Hiermee worden de bevindingen uit 2009 bevestigd. Het waterschap Zeeuwse Eilanden heeft in dit opzicht gemiddeld de hoogste specifieke biogasproductie. Wanneer de biogasproducties van de verschillende rwzi's per waterschap worden gesommeerd heeft Waternet de hoogste totale biogasproductie. De gemiddelde operationele temperatuur van de verschillende waterschappen varieerde weinig en ligt over het algemeen rond de 34 à 35 °C. Voor de verblijftijd kan er voor sommige waterschappen een verbetering worden aangebracht, waarbij deze voor sommige waterschappen langer en voor andere van kortere duur kan worden. Bijvoorbeeld waterschap Reest en Wieden, deze kan een verbeteringslag behalen wanneer het de verblijftijd met enkele dagen kan verlengen.

6. REFERENTIES

1. Prof. ir. A.C.J. Koot, Behandeling van afvalwater, 1980
2. TU Delft. Prof.ir. J.H.J.M. van der Graaf, CT 3420 Inleiding Gezondheidstechniek deel Afvalwaterbehandeling
3. Agentschap NL (SenterNovem). UT580-1-1 Inventarisatie biogas rwzi's, 2009