

Maximalisatie van opbrengsten groen gas met nieuwe modelbenadering

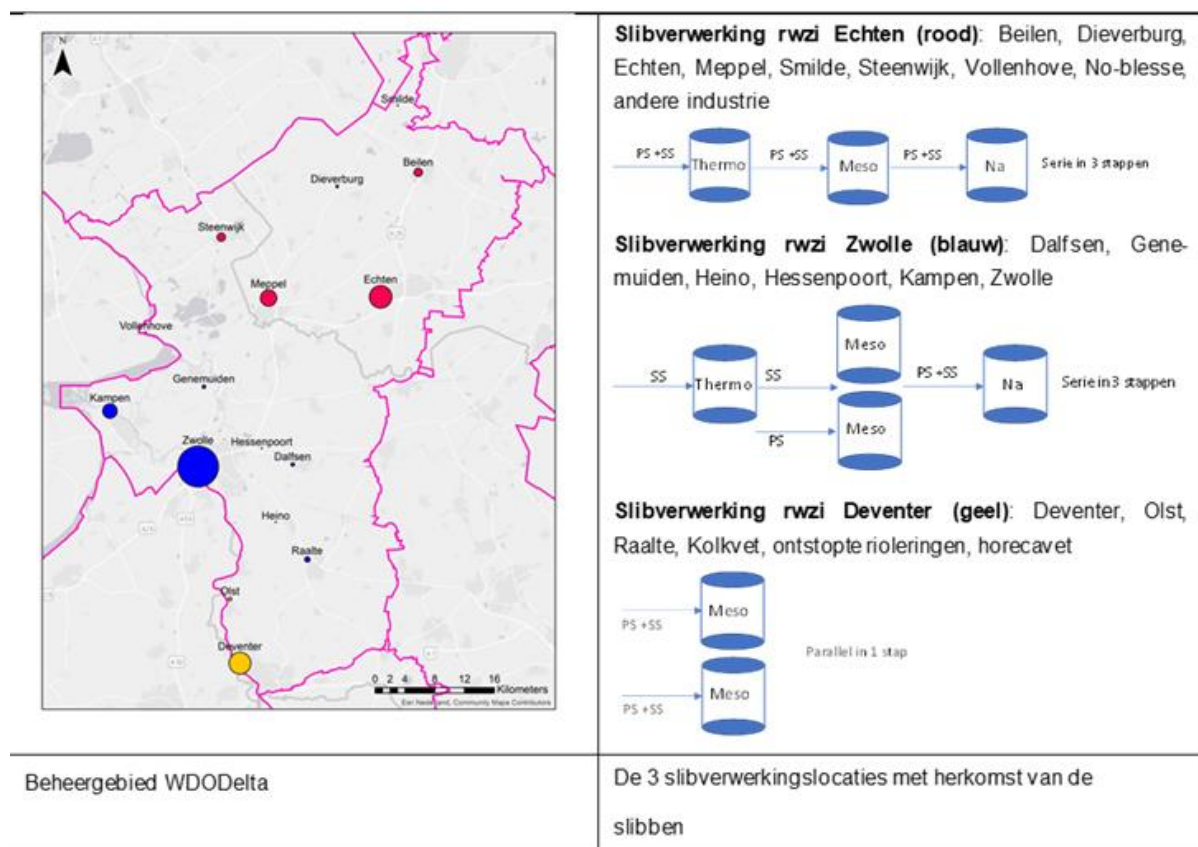
Berend Reitsma, Heleen Niele (TAUW), Amor Gaillard, Lucien Teune (waterschap Drents-Overijsselse Delta)

De sliblijn van de rwzi Echten zal worden herbouwd. Hierbij zal geen stroom worden opgewekt, maar groen gas worden uitgeleverd. Met een modelstudie is onderzocht hoe de opbrengsten voor het hele slibstelsysteem van het waterschap kunnen worden gemaximaliseerd. Het bleek goed mogelijk het rekenmodel van Chen & Hashimoto op maanddata per type gisting (thermofiel, mesofiel en serieschakeling) te kalibreren en daarmee vervolgens opbrengsten voor verschillende scenario's in 2028 te voorspellen. Het verplaatsen van slib van de rwzi's Raalte en Kampen van de andere verwerkingslocaties naar de rwzi Echten resulteert ondanks extra transport in maximale opbrengsten en een goede CO₂-voetafdruk.

Sinds het begin van 2019 is de slibgisting op de rwzi in Echten uit bedrijf, omdat niet voldaan werd aan de eisen die waterschap Drents Overijsselse Delta (WDODelta) stelt aan betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid. In april 2019 heeft het bestuur reeds besloten de slibgisting te herbouwen, volgens het voorkeursalternatief 'Echten Robuust'. De uitspraak van de Raad van State omtrent het Programma Aanpak Stikstof (PAS) stond de herbouw volgens dat besluit echter in de weg. Op 26 mei 2020 heeft het algemeen bestuur van het waterschap (onder voorwaarden) ingestemd met het aangepaste voorkeursalternatief 'Echten Groen gas+ en Circulair' [2]. Met deze bestuurlijke besluitvorming krijgt het waterschap er een nieuwe taak bij: verkoop van groen gas met bijbehorende opbrengsten. Het waterschap wil weten welke slibstromen het beste naar Echten kunnen worden verplaatst om een maximale opbrengst aan groen gas te realiseren. Hierbij moet in de beschouwing worden meegenomen, dat op andere locaties dan minder biogas ontstaat en meer stroom moet worden ingekocht. Dit is voor het hele slibstelsysteem van het waterschap in beeld gebracht. Daarbij is een Excel-model gebouwd, waarbij het rekenmodel van Chen & Hashimoto per slibverwerkingslocatie op basis van maandgemiddelden is gekalibreerd. Vervolgens zijn hiermee voor 2028 voor diverse scenario's de opbrengsten en het effect op de CO₂-voetafdruk voorspeld. Hierbij is vooral gekeken naar het verplaatsen van slib van de andere locaties naar Echten. Met een gevoeligheidsanalyse is daarnaast gekeken naar mogelijkheden om het slib op de rwzi Echten dikker te maken en naar de effecten van groot onderhoud op andere locaties.

Het beheergebied van WDODelta met de 3 slibverwerkingslocaties

In afbeelding 1 is het beheergebied van WDODelta met de slibverwerkingslocaties weergegeven. Op de rwzi Deventer staan twee parallelle mesofiele gistingstanks met warmtekrachtkoppeling (WKK) voor het biogas. Op de rwzi Zwolle staan de gistingstanks in serie met één thermofiele gisting, twee mesofiele gistingen parallel (met invoer primair slib), een nagisting daar weer achter en een WKK voor het biogas. Op de rwzi Echten wordt zoals gezegd een nieuwe sliblijn voorbereid, ook in serieschakeling: thermofiel, mesofiel en nagisting, met de productie van groen gas uit het biogas en toepassing van duurzame warmte voor het verwarmen van de gisting via aquathermie uit het effluent.



Afbeelding 1. Beheergebied WODelta met de 3 slibverwerkingslocaties en de huidige routing van de 16 rwzi's (PS = Primair Slib, SS = Secundair Slib)

Kalibratie van de Chen & Hashimoto-modellen op maandgemiddelden

Het Excel-slibgisticsmodel is gebaseerd op het model van Chen & Hashimoto (C&H). Volgens C&H is de organische-drogestofafbraak van slib afhankelijk van de slibleeftijd. Het model is geldig voor temperaturen tussen 20 en 60°C. De slibafbraak kan volgens de formules in tabel 1 worden berekend. De serieschakeling is gemodelleerd op eenzelfde wijze als de manier waarop in [1] de methaanemissie uit slibbuffers berekend is. Deze methode gaat om met verschillende temperaturen in de verschillende tanks. De afbraak in de eerste gistingstap wordt op normale wijze zoals hiervoor toegelicht berekend. Bij de tweede tank wordt een fictieve slibleeftijd berekend, waarbij thermofiel wordt omgerekend naar mesofiel (je brengt de stappen als het ware onder één noemer met dezelfde temperatuur). Evenzo naar de temperatuur voor de derde tank (zie tabel 1). In de meeste gevallen is de slibleeftijd (t) identiek aan de hydraulische verblijftijd (HVT), behalve wanneer wordt gekozen voor extra slibretentie, bijvoorbeeld via circuleren over een mechanische indikker of ontwateringsapparaat.

Tabel 1. Basismodel Chen & Hashimoto

Chen & Hashimoto model		Hulpparameters mesofiel en thermofiel	
$E = M * \frac{\Theta - 1}{\Theta - 1 + K}$	$\Theta = \frac{t}{t_{min}}$	$t = \frac{V}{Q}$	
	$t_{min} = \frac{3}{1,07^{T-30}}$ (mesofiel)	$t_{min} = \frac{2,85}{MAX(1,08^{T-30} - 1,35^{T-40}; 1,08^{T-42} - 1,35^{T-57})}$ (thermofiel)	
Serieschakeling	$HVT_{Totaal} = \frac{t_{min,T2}}{t_{min,T1}} HVT_{T1} + HVT_{T2}$		

Hierin is:

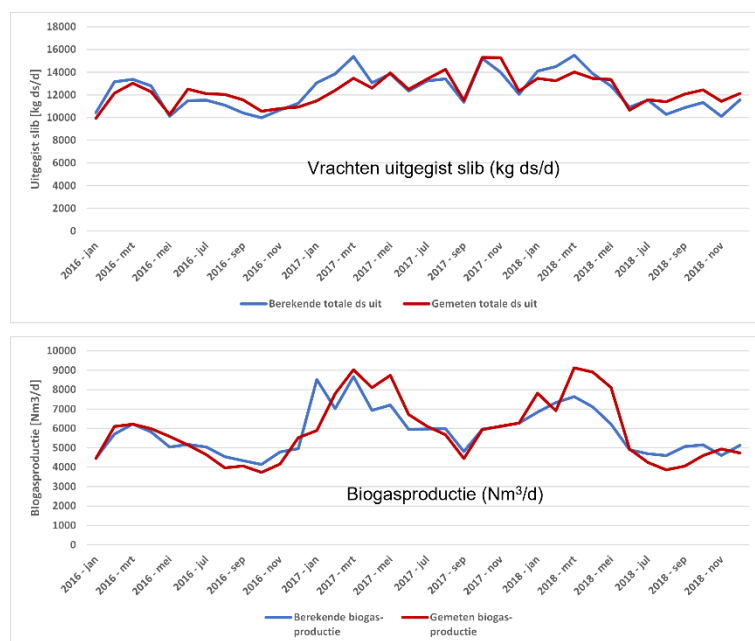
- E : Afbraak organische-drogestofpercentage slib (%)
- M : Maximale vergistbaarheid slib in organische droge stof (%)
- Θ : Relatieve slibleeftijd (d)
- K : Afbraakconstante (-)
- T : Temperatuur (°C)
- t : Slibleeftijd (d) = HVT (d)
- $t_{min,T}$: Minimale slibleeftijd bij temperatuur T (d)
- HVT : Hydraulische verblijftijd (d)

Er is vervolgens een gekalibreerd Excelmodel over enkele jaren op maandbasis gemaakt van het hele systeem van de drie slibgistingen met de juiste configuraties met Primair Slib (PS) en Secundair Slib (SS) + externe en industriële slibstromen (zowel op basis van droge stof (ds) als van organische droge stof (ods) als slibflow), gemeten slibafbraak, gasproducties, methaangehalten en temperaturen. Daarna zijn in dit model opgenomen de warmtebalansen, elektriciteitsproducties, rendementen van de WKK's, natslibtransporten, verbruik hulpstoffen, kosten eindverwerking, subsidies en CO₂-equivalenten (duurzaamheid). De kosten voor personeel zijn niet meegenomen. Met toekomstscenario's is vastgesteld wat de gevolgen zijn van het verplaatsen van slibstromen tussen de verwerkingslocaties. Daarnaast zijn gevoeligheden in beeld gebracht, zoals het verhogen van de drogestofgehalten in de slibgistingstanks door verdergaande indikking of extra slibretentie.

Resultaten kalibraties maandgemiddelden

In afbeelding 2 staat als voorbeeld de kalibratie op maandgemiddelden voor de periode 2016-2018 voor de rwzi Echten, inclusief glycerine en incidentele extra slibhoeveelheden van een andere locatie. Eerst wordt de slibafbraak gekalibreerd en vervolgens de biogasproductie. Hierbij valt op dat het goed mogelijk is om op basis van de maandgemiddelden, zowel de slibafbraak als de biogasproductie te fitten. Dit geeft aan dat het model goed bruikbaar is en dat de aangeleverde data voldoende nauwkeurig zijn. Dat bleek ook te gelden voor de andere locaties. De modelparameters die nodig waren voor een goede kalibratie liggen in de verwachte range uit de literatuur (zie tabel 2). De twee parallelle mesofiele gistingen op de rwzi Deventer functioneren precies volgens de standaard C&H-parameters. Bij de rwzi's Echten en Zwolle gaat de afbraak van het secundaire slib flink beter, hetgeen ook verwacht wordt door de serieschakeling mét thermofiele eerste stap. In tabel 2 valt verder nog op

dat de relatieve gasproductie per ods uit primair slib voor de twee locaties Echten en Zwolle hoger is dan voor Deventer (te zien aan de hogere gehalten CZV per ods). Hiervoor is nog geen verklaring voorhanden.



Afbeelding 2. Voorbeeld kalibratie slibafbraak en biogasproductie 2016-2018, rwzi Echten

Tabel 2. Parameterset gefitte C&H-modellen en biogasproductie op de 3 slibverwerkingslocaties

Parameter	PS/SS	Eenheid	Default*	Deventer	Zwolle	Echten
Maximale afbraak M	PS	% ods	65	65	66	67
	SS	% ods	40	40	50	48
Afbraakconstante K	PS	% ods	1,0	1,0	1,0	1,0
	SS	% ods	1,5	1,5	1,0	1,0
CZV gehalte ods voor de biogasproductie	PS	kg CZV/kg ods	1,4-2,0	1,4	2,0	2,0
	SS	kg CZV/kg ods	1,4-1,5	1,4	1,4	1,5

* Waarden uit basismodel C&H zie literatuurreferentie [3]

Uit deze modelkalibratie-ervaringen is gebleken dat met het Excelrekenmodel op basis van C&H, op maandbasis in algemene zin de volgende variabelen voor nu en de toekomst kunnen worden doorgerekend en voorspeld, zonder dat een nieuwe kalibratie of modelaanpassingen nodig is:

- hoeveelheden PS en SS per maand (invloed op de slibleeftijden/HVT's),
- plaats inbreng PS en SS
- volumina (bv vervallen dode zones na reinigen)
- temperaturen SGT's (kleine stappen < 5 C)
- Asgelalten slib
- Extra (externe) slib
- Seizoenschommelingen

- Ingaande ds-gehalten
- Slibretentievariant (circuleren over een mechanische indikker of over de slibontwatering)
- Effecten groot onderhoud eigen waterschap
- Slib van derden en/of van andere waterschappen

Er moet wel voorzichtigheid betracht worden bij grotere temperatuurwijzigingen (bv > 5 C) en/of HVT's kleiner dan 15 dagen, grote wijzigingen in (industriële) slibhoeveelheden (> 25 %) en/of samenstelling van deze drie. Een nieuwe kalibratie is zeker nodig bij het aanpassen van de configuratie van parallel naar serie, omdat de modelparameters dan veranderen. Dat geldt ook bij verandering van mesofiel naar thermofiel of andersom. Met de nu doorgerekende voorbeelden is er qua modelparameters wel indicatief in te schatten wat er gebeurt als twee mesofiele gistingen worden omgebouwd naar serieschakeling met een thermofiele gisting als eerste stap.

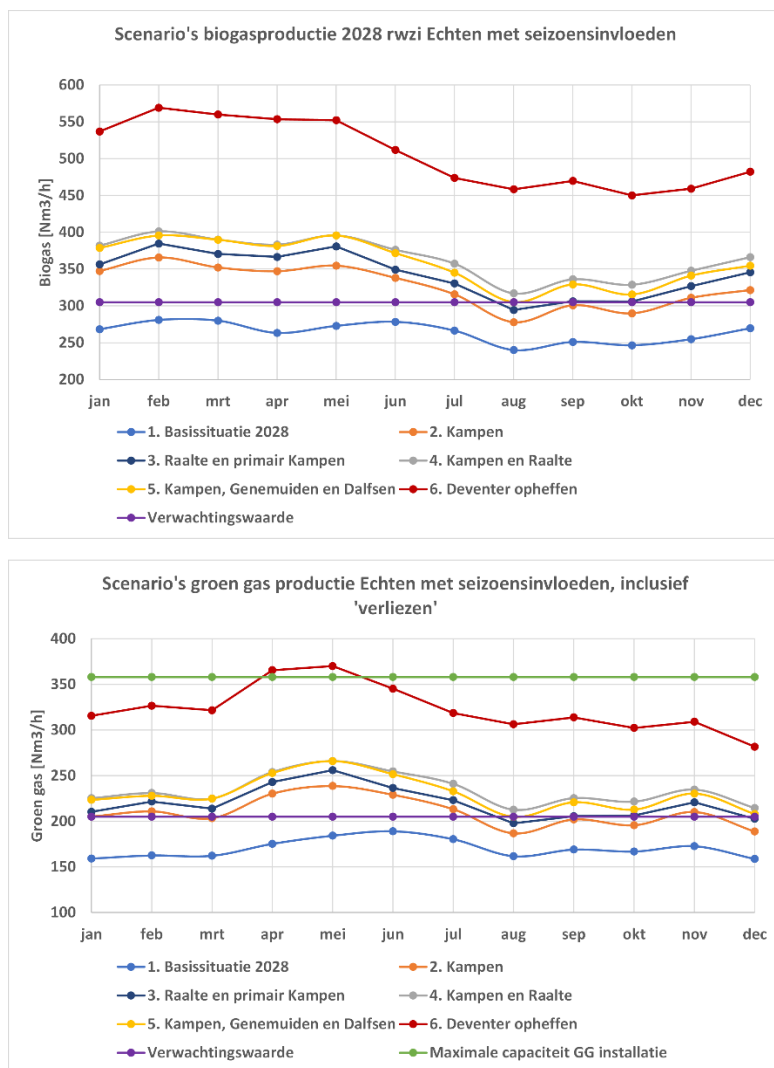
Toekomstscenario's slib verplaatsen naar rwzi Echten

In tabel 3 zijn de verschillende toekomstscenario's weergegeven met de verwachte biogas- en groengasproducties op basis van het Excel-rekenmodel (zie ook afbeelding 3, waarin de maandverlopen zichtbaar zijn). Hierin zijn dus de seizoenseffecten meegenomen. Bij de groengasproductie is een downtime voor de groengasinstallatie van 3 % per jaar meegenomen en een verhoging van 2,5 % in de groengasproductie door toepassing van vacuümextractie na de gistingstanks (om directe emissies van methaan naar de lucht te minimaliseren). In de afbeelding valt verder op dat de groengasproductie in, afwijkend van de biogasproductie, in de wintermaanden lager is. Daarin is meegenomen dat in de wintermaanden aanvullend op de aquathermie een deel van het biogas (ca. 12% per wintermaand) verstoekt moet worden. De warmtepompen van de aquathermie zijn via een jaarbelastingduurkromme zodanig gedimensioneerd dat op jaarbasis maximaal 4 procent verlies optreedt, geconcentreerd in de vier wintermaanden december tot en met maart.

Tabel 3. Onderzochte toekomstscenario's slib verplaatst naar sliblijn rwzi Echten in peiljaar 2028

Scenario	Omschrijving	Biogas (Nm ³ /h)	Groengas (Nm ³ /h)
1	Basisscenario	264	170
2	Kampen naar Echten	327	209
3	Raalte* en PS Kampen naar Echten	343	220
4	Raalte* en PS +SS Kampen naar Echten	365	234
5	Kampen, Genemuiden en Dalfsen naar Echten	359	230
6	Deventer opheffen, Zwolle vol, de rest naar Echten	506	323

* Bij de rwzi Raalte kunnen PS en SS niet apart worden afgevoerd

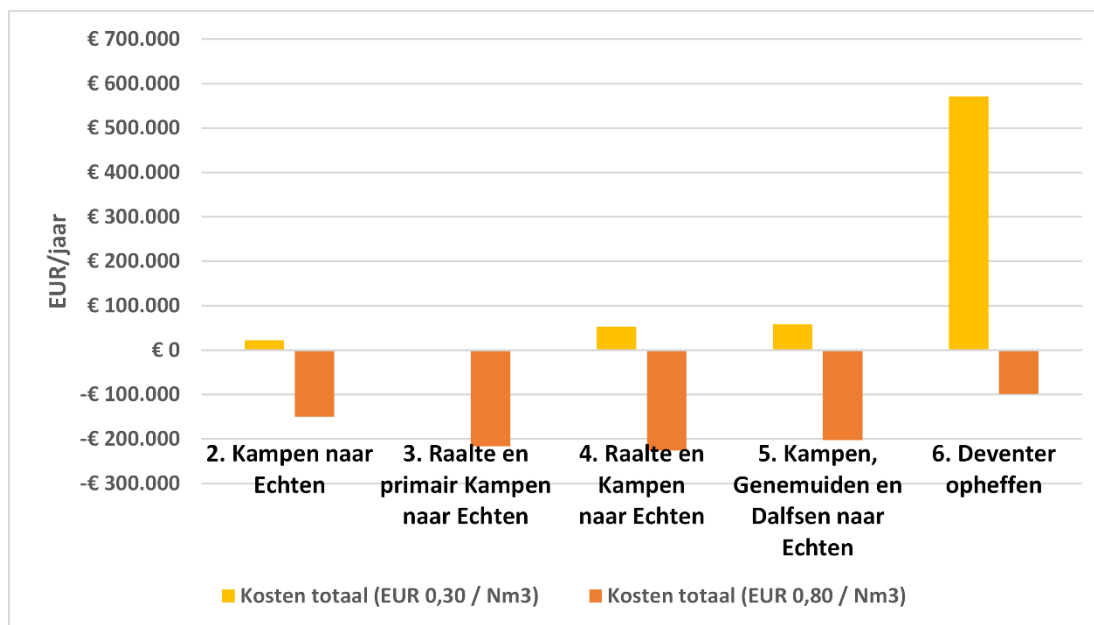


Afbeelding 3. Scenario's 2028 met berekende biogas- en groen gas producties

Met het model is vervolgens ook gekeken of er bij de andere locaties genoeg warmte overblijft. Dat was op hoofdlijnen het geval. Er is ook gekeken wat er gebeurt als het drogestofgehalte in de gistingstanks wordt verhoogd, door verdergaand in te dikken vóór de gisting of via slibretentie, waarbij een indik- of ontwateringsmachine circuleert over de gisting. Dat blijkt maar een kleine bijdrage te zijn, omdat in deze propstroomconfiguratie met thermofiele eerste stap de grenzen van de afbraak al zijn opgezocht en er niet veel ods meer af te breken is. Met een verhoging van het ds-gehalte (op welke manier dan ook) zou de optie van scenario 5 om de rwzi Deventer op te heffen realistischer worden, omdat de slibleeftijden dan binnen werkbare grenzen blijven (thermofiel en mesofiel zonder retentie 14 dagen, mét retentie 21 dagen).

Toekomstscenario's, kosten en duurzaamheid

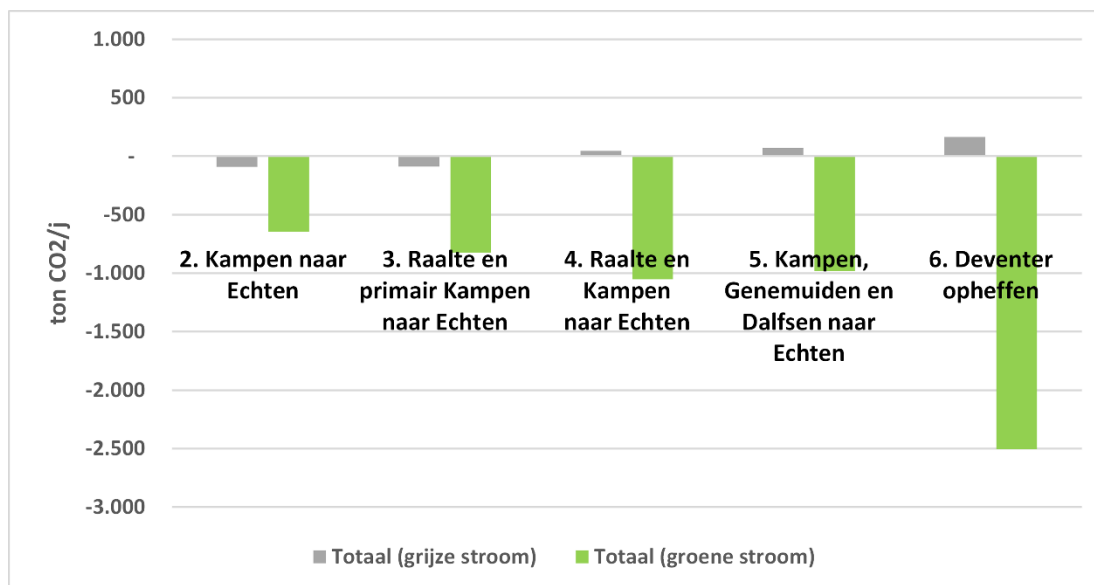
In afbeelding 4 zijn de extra kosten opgenomen in 2028 ten opzichte van het basisscenario, bij verschillende opbrengsten van groen gas (bandbreedte 0,30-0,80 €/Nm³ groen gas).



Afbeelding 4. Scenario's 2028 met extra jaarlijkse kosten ten opzichte van de basissituatie

Uiteraard heeft de uiteindelijke verkoopprijs van groen gas daarop veel invloed. Scenario 4 levert hiermee de beste kansen. Het ontwerp van de sliblijn van de rwzi Echten zal volgens dit scenario worden uitgelegd, waarbij beheer na oplevering de vrijheid heeft om te zijner tijd te kiezen welke slibstromen daadwerkelijk naar de rwzi Echten gaan. In ieder geval is de capaciteit van de installatie dan voldoende. Sluiten van de slibgisting van rwzi Deventer scoort kostentechnisch niet gunstig. Er is dan veel transport van ingedikt (relatief dun) slib nodig.

In afbeelding 5 zijn de verschillen in CO₂-voetafdrukken weergegeven. Hierbij is als brandstof voor het slibtransport uitgegaan van plantaardige HVO-100-diesel. Dat scheelt 89 procent in de CO₂-emissie ten opzichte van traditionele diesel. Een belangrijke invloedfactor is hierbij de 'groenheid' van de ingekochte stroom. Toepassen van een vacuümextractieapparaat om de CH₄-emissie bij opslag te minimaliseren, levert voor alle varianten een besparing van circa 500 ton CO₂/jaar op (niet in de figuur opgenomen).



Afbeelding 5. Scenario's 2028 met extra CO₂-equivalenten ten opzichte van de basisituatie

Conclusies

- Het is goed mogelijk om de slibafbraak in de gistingsinstallaties met het 'aangepaste' C&H-model op basis van maandgemiddelden te kalibreren. Dat geldt ook voor de daaruit afgeleide biogas- en groengasproductie. De modelparameters liggen binnen de normale bandbreedten.
- Het is goed mogelijk met het opgestelde Excel-model voor de toekomst te voorspellen op welke wijze de opbrengsten aan groen gas gemaximaliseerd kunnen worden.
- Het verplaatsen van slib van Raalte en Kampen naar Echten is zowel kostentechnisch als qua CO₂-equivalenten gunstig. De werkelijke opbrengsten voor groen gas (qua tarief) zijn uiteindelijk bepalend voor het kostenplaatje. Bij de realisatie van Echten Groen gas+ en Circulair wordt qua capaciteit met deze extra hoeveelheden rekening gehouden.
- De herverdeling van de slibstromen naar de drie gistingslocaties zal ook de krapte in de gaslijn van rwzi Zwolle oplossen. Er zal aldaar een evenwicht worden gezocht tussen de hoeveelheid slib die wordt vergist en de hoeveelheid warmte die nodig is om de gisting op gang te houden, zonder de gaslijn te overbelasten.
- Aandachtspunt is de capaciteit van de kamerfilterpers (KFP) in Echten. Totdat de KFP-installatie vervangen moet worden, zal het nodig zijn om de bedrijfstijden van de KFP te verlengen om al het beoogde slib op Echten te kunnen verwerken.

Referenties

1. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (2016). *09 Reductie van de methaanemissie in de afvalwater en slibketen*
2. <https://bestuursinformatie.wdodelta.nl/Vergaderingen/Algemeen-bestuur-besluitvormende-vergaderingen/2020/26-mei/13:30/03-B-02-Bijlage-2-SLiblijn-RWZI-Echten-uitgewerke-varianten.pdf>
3. STOWA (2011). *16 Handboek slibgisting*