



Wim Wiegant, Royal Haskoning
 Wim Koopmans, Royal Haskoning
 Dragan Knezevic, Visser & Smit Hanab
 Cora Uijterlinde, STOWA

Nieuwe technieken in de water- en slibketen

De afgelopen jaren is in de keten van afvalwaterbehandeling en slibverwerking een groot aantal interessante nieuwe technieken geïntroduceerd die kunnen bijdragen aan een energiezuiniger behandeling van afvalwater en slib. Deze technieken werden in opdracht van de Nederlandse waterschappen (via de STOWA) door Royal Haskoning ingebracht in een model om inzicht te krijgen in het energieverbruik, de kosten en de CO₂-emissies van de processen en de onderlinge samenhang. Daarmee werden alle realistische combinaties van configuraties van rwzi's gecombineerd met mogelijke routes van de eindverwerking. In dit artikel worden de resultaten van deze studie samengevat.

Nieuwe energiezuinige technieken in de waterlijn van de rwzi zijn het tweetrapsproces, aerobisch korrelslib (Nereda), de fijnzeving van het influent en de nog niet in de praktijk geteste eenstaps Anammox in de waterlijn. In de sliblijn biedt thermische voorbehandeling van het secundaire slib goede perspectieven. Superkritische vergassing en laagtemperatuurdroging zijn efficiënte methoden voor de slibverwerking; daarvan is de eerste alleen op laboratoriumschaal getest.

In een eerdere studie¹⁾ en eerdere artikelen^{2),3)} werd aandacht besteed aan de vraag hoe in de toekomst de configuratie van de slibketen (water- en sliblijn van de rwzi en de eindverwerking van het slib) er het beste uit zou kunnen zien. Centrale vraag in de slibketenstudie was: 'Hoe kan met een minimaal eigen verbruik aan energie in de keten zoveel mogelijk energie worden geproduceerd uit het CZV aanwezig in het afvalwater?'

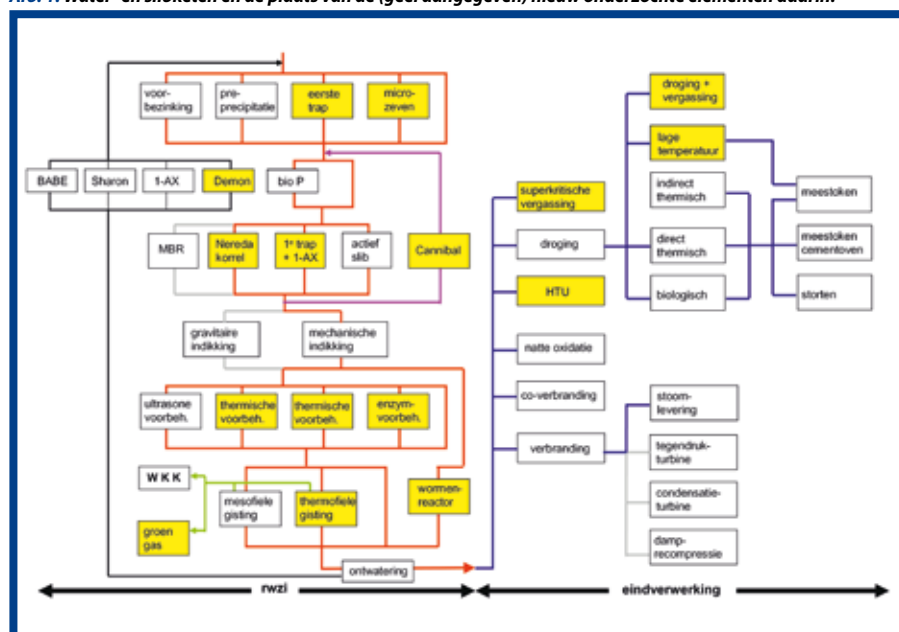
De laatste jaren zijn veel interessante

technieken geïntroduceerd voor zowel de water- en sliblijn op de rwzi als voor de eindverwerking van het slib. Dit was de reden voor de STOWA om de gehele keten opnieuw te bezien en te kijken of er verschillen zijn met de situatie van 2003. De nieuwe technieken en hun plaats in de slibketen zijn schematisch weergegeven in afbeelding 1.

Opnieuw werd de slibketen - van het influent van de rwzi tot aan de mineralisatie na eindverwerking - gemodelleerd. Met het rekenmodel kunnen alle denkbare keten-scenario's met elkaar worden vergeleken. Centraal staan de aspecten energie, CO₂-emissie en verwerkingskosten. Het rekenmodel gaat uit van een 'groene weide'-situatie: een nieuw te realiseren slib/waterlijn en eindverwerking van het slib. Een gedetailleerdere beschrijving van de modellering staat in de rapportage van het project^{1),4)}. In het rekenmodel is uitgegaan van 'gemiddeld' Nederlands afvalwater, dat wordt behandeld in rwzi's van 100.000 i.e. en een schaalgrootte van de slibeindverwerking van 100.000 ton d.s./jaar voor verbranding en 20.000 ton d.s./jaar voor de overige technieken.

Er zijn verschillen en overeenkomsten met het werk voor De Energiefabriek. In deze studie wordt uitgegaan van een 'groene weide'-situatie en worden potentiële energiebronnen van buiten de inrichting niet meegenomen. Verder is hier de gehele keten tot en met de eindverwerking (mineralisatie van het slib) in beschouwing genomen. Bij de Energiefabriek is uitgegaan van de huidige situatie, worden energiebronnen

Afb. 1: Water- en slibketen en de plaats van de (geel aangegeven) nieuw onderzochte elementen daarin.



van buiten de inrichting meegenomen en valt de slibeindverwerking buiten het aandachtsveld. Studies in verband met MJA3 en rwzi 2030 richten zich in principe op dezelfde zaken als deze studie.

Technieken in de waterlijn

In de waterlijn werden de volgende nieuwe technieken bestudeerd:

Fijnzeving van het influent

Het zeven van het influent van een rwzi door een zeef met maaswijdte van minder dan 500 µm levert een aanzienlijke reductie van met name de hoeveelheid papiervezel (voornamelijk WC-papier) op. Dit materiaal kan goed op een andere manier worden verwerkt en het verlaagt de belasting naar de rwzi sterk. Hierover is vorig jaar een STOWA-rapport verschenen⁵⁾.

Tweetrapssysteem

Een tweetrapssysteem bestaat feitelijk uit twee actiefslibinstallaties achter elkaar. De eerste trap is zeer hoog belast en dient voornamelijk als voorbehandeling, de tweede trap verzorgt de nitrificatie. Door recirculatie wordt de denitrificatie voornamelijk in de eerste trap uitgevoerd. Dit systeem wordt in Nederland op vier grote rwzi's toegepast.

Aeroob korrelslib (Nereda)

Nereda is een innovatieve zuiveringstechnologie (door DHV gepatenteerd) die het huishoudelijk en bedrijfsafvalwater met 20 tot 40 procent minder energie zuivert, waarbij gebruik wordt gemaakt van aeroob korrelslib⁶⁾. Binnenkort gaat de eerste Nereda-installatie voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater in bedrijf.

Anammox in de hoofdlijn

Anammox in de hoofdlijn is een proces waarin de verwijdering van organische stof plaatsheeft in een actiefslibstelsel met korte slibleeftijd en waarin de stikstof wordt verwijderd met behulp van een ééntraps nitritatie - anammox-proces⁷⁾. Met dit proces zou een actiefslibinstallatie niet meer op stikstofverwijdering gedimensioneerd hoeven te worden. De stikstofverwijdering zou volledig gedelegeerd kunnen worden naar een anammox-systeem (van Paques, Grontmij of Colsen). Het proces heeft zich al bewezen, maar is nog niet toepast bij lage temperaturen. Het wordt momenteel onderzocht.

Biologische slibreductie (Cannibal en de wormenreactor)

Het Cannibal-proces, gepatenteerd door Siemens, beoogt de slibproductie te reduceren in een grotendeels anaeroob proces. In een deelstroom naast de retourstroom verblijft een deel van het retourstroom zekere tijd in een reactor. Hierin wordt met intermitterende beluchting voorkomen dat de redoxpotentiaal te laag wordt. Het biologische mechanisme achter de slibreductie is nog niet duidelijk. Het vermoeden is dat in de reactor hydrolyse en verzuring optreden door anaerobe en facultatieve bacteriën. Deze processen zijn te vergelijken met de eerste afbraakprocessen bij slibgisting,

compostering of aerobe stabilisatie. Een trommelscherm behandelt eerst een deelstroom van het retourstroom of er wordt een deelstroom van het actief slib gefilterd. Het verwijderde materiaal is enigszins te vergelijken met het materiaal dat tijdens de voorbehandeling met microzeven wordt verwijderd. Bij toepassing van het Cannibal-proces zou de reductie in de slibproductie zeer groot zijn, in de orde grootte van 60 tot 70 procent of meer. Dit is recentelijk in Nederland in pilotinstallaties ook aangetoond^{8),9)}. De reductie gaat vermoedelijk ten koste van een toename van het energieverbruik in de beluchte ruimte. De aanzienlijke slibreductie is het voornaamste voordeel van Cannibal. Nadelen zijn het grotere energieverbruik en ook de geringe slibproductie. De productie van zuiveringsstroom is namelijk één van de weinige manieren om zware metalen uit het afvalwater te verwijderen. De nog goeddeels onbekende investeringen in en uitkomsten van het systeem kunnen mogelijk een beletsel vormen voor de toepassing.

Technieken in de slijblij

Thermische slijbvoorbehandeling

Thermische voorbehandeling beoogt bij hoge druk en temperatuur de afbreekbaarheid van met name secundair slijb tijdens de slijbgisting te vergroten. De afbreekbaarheid zou met zo'n 20 tot 50 procent toenemen. Bovendien wordt na de voorbehandeling de ontwaterbaarheid van het slijb veel beter.

Productie van 'groen gas'

Biogas kan worden opgewekt tot de kwaliteit van aardgas: 'groen gas'. Daar zijn diverse technieken voor beschikbaar. Het probleem voor een energiegunstig scenario is dat geen warmte beschikbaar is om het slijb voor het vergistingsproces op de gewenste temperatuur te krijgen. Deze warmte is normaal gesproken het bijproduct van de WKK-installatie. Bij de productie van 'groen gas' is óf een andere warmtebron nodig, bijvoorbeeld een warmtepomp die wordt geëvoerd door de warmte in het effluent van de rwzi, óf een min of meer aanzienlijk deel van het biogas. Dit deel vermindert dus de productie van 'groen gas'.

Technieken voor de eindverwerking

Hydrothermal upgrading

Hydrothermal upgrading is een vorm van natte oxidatie die tot doel heeft een bruikbaar eindproduct op te leveren. Bij een temperatuur van 325°C en druk van 150 bar worden de organische stoffen in het slijb omgezet naar een synthesesgas dat voornamelijk uit waterstof en CO₂ bestaat.

Vergassing

Vergassing is in principe een voorbehandeling die tot een synthesesgas leidt dat nuttig toegepast kan worden. Het gas bevat echter veel verontreinigingen die voor toepassing nog verwijderd moeten worden.

Superkritische vergassing

Superkritische vergassing is een techniek die

nog in de experimentele fase verkeert. Boven de kritieke temperatuur en druk van water worden de organische verbindingen in het slijb omgezet naar een synthesesgas dat kan worden ingezet voor warmteproductie of de opwekking van elektriciteit.

Lagetemperatuurdroging

Droging bij lage temperatuur (80 tot 120°C) kan met warmte plaatsvinden die anders niet of nauwelijks een nuttige toepassing heeft. Deze warmte kan afkomstig zijn van de WKK-installatie die bij een slijbgisting staat of kan worden geleverd door (bijvoorbeeld) een verbrandingsinstallatie of elektriciteitscentrale. Deze laagwaardige warmte kan nuttig worden toegepast voor de droging van het slijb, voordat het verder kan worden gedroogd en bijvoorbeeld kan worden meeverbrand in een elektriciteitscentrale.

Resultaten

Zoals uit afbeelding 1 kan worden afgeleid, is een bijzonder groot aantal combinaties mogelijk voor de configuratie van rwzi en slijbeindverwerking. Waren er in de eerdere slijbketenstudie slechts acht configuraties van de waterlijn en twaalf van de slijbeindverwerking, in deze studie is het aantal (redelijke) configuraties in de waterlijn opgelopen tot 4.485 (van de in theorie 64.800 mogelijke) en die voor de slijbeindverwerking tot 19. De grote hoeveelheid mogelijke configuraties levert een onoverzichtelijke hoeveelheid berekeningsresultaten op.

Rwzi

Niet alle combinaties zijn realistisch of zinnig. De combinaties van technieken moeten tenminste voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Bij biologische slijbreductie wordt geen voorbehandeling toegepast, behalve microzeven. Biologische fosfaatverwijdering heeft geen zin. Dat geldt ook voor slijbgisting;
- Als Anammox in de hoofdlijn wordt toegepast, is er geen deelstroombehandeling;
- Als Anammox in de hoofdlijn wordt toegepast, is er geen A-trap maar een conventionele actiefslibinstallatie met slibleeftijd van twee dagen;
- Als er geen slijbgisting is, is er ook geen slijbvoorbehandeling;
- Aeroob korrelslib (Nereda) bevat automatisch biologische fosfaatverwijdering;
- Als er voorbehandeling is, dan is er geen slijbvoorbehandeling, behalve bij microzeven;
- Als er geen slijbgisting is, is er ook geen deelstroombehandeling.

Alle realistische combinaties zijn onderzocht om te kijken of deze mogelijk energetisch en economisch interessant zijn ten opzichte van de conventionele technieken. Afbeelding 2 toont een selectie van de technieken die zowel energetisch als economisch gunstiger zijn dan de tegenwoordig gebruikelijke.

In afbeelding 2 is een aantal groepen punten aangegeven. Dit betreft varianten

die allemaal belangrijke elementen gemeen hebben.

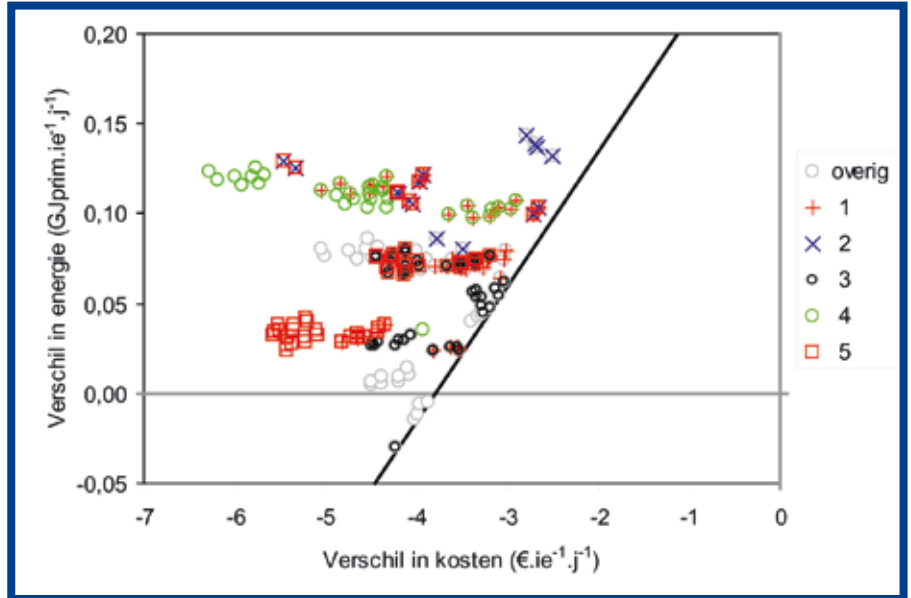
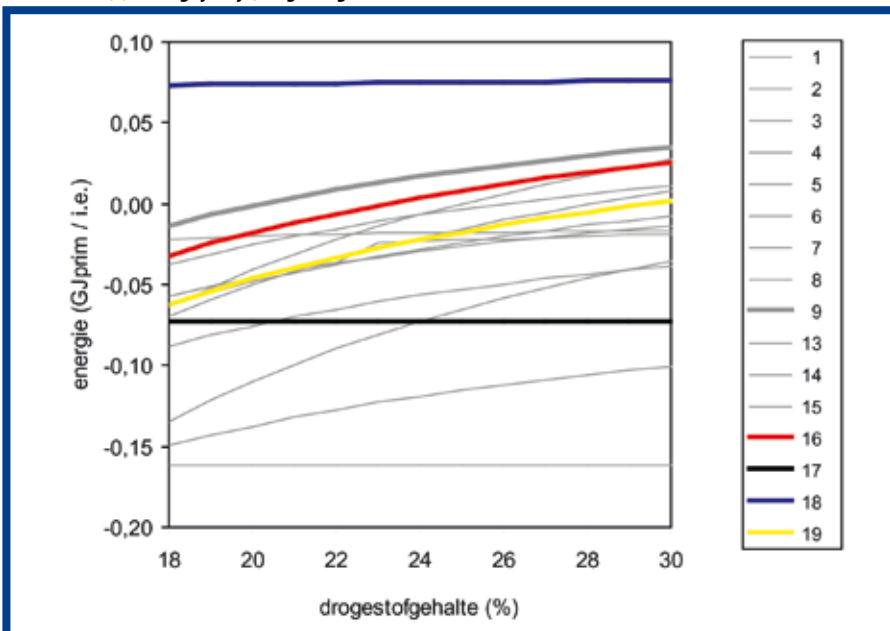
- groep 1: varianten met groen gas;
- groep 2: varianten met Anammox in de hoofdlijn;
- groep 3: varianten met Nereda in de hoofdlijn;
- groep 4: varianten met een tweetraps-proces;
- groep 5: varianten met thermische voorbehandeling van het slib.

De afbeelding laat zien dat vooral combinaties van energetisch gunstige technieken veel voordeel kunnen opleveren. De grijze punten in de figuur betreffen verschillende, niet nader uitgezochte en niet gerelateerde combinaties van technieken. Biologische fosfaatverwijdering, gecombineerd met slibvoorbehandeling en chemische fosfaatverwijdering met thermofiele slibgisting zijn er twee van. Deelstroombehandeling (niet in de afbeelding aangegeven) in een Demon- of Anammox-proces levert bij de gekozen afvalwatersamenstelling voor de varianten in de afbeelding gemiddeld een kosten-voordeel op van 0,88 euro per i.e. en is energetisch zo goed als neutraal (verschil $-0,006 \text{ GJ}_{\text{prim}}/\text{i.e.}$). Dit is consistent met eerdere berekeningen⁷⁾. In deze analyse is rekening gehouden met de energie die voor de dosering van chemicaliën in rekening kan worden gebracht. Als dat niet wordt gedaan komt het beeld er iets anders uit te zien, omdat met name bij de toepassing van preprecipitatie maar ook bij chemische fosfaatverwijdering chemicaliën worden gedoseerd, die bijdragen aan het energieverbruik.

Slibeindverwerking

Bij de huidige technieken voor de slibeindverwerking kost de eindverwerking netto

Afb. 3: Effect van het drogestofgehalte van het slib op de energieproductie bij de eindverwerking. De configuratie van de waterlijn is voorbezinking met slibgisting en chemische fosfaatverwijdering. Het gemiddelde drogestofgehalte van het slib in Nederland bedraagt circa 23,5 procent. De vier eindverwerkingstechnieken zijn: lagetemperatuurdroging (16), hydrothermal upgradng (17), superkritische vergassing (18) en vergassing (19). De overige technieken zijn bestudeerd in de eerste slibketenstudie, waarvan droging met meestoken in een cementoven (9, dikke grijze lijn) de gunstigste was.



Afb. 2: Verschil in energieverbruik, uitgedrukt tegen het verschil in kosten, vergeleken met een referentievariant (voorbezinking met slibgisting met biologische fosfaatverwijdering), voor alle varianten voor de waterlijn die goedkoper zijn dan deze referentievariant en die voldoen aan de randvoorwaarde dat het verschil in kosten niet meer dan 0,12 euro/kWh (schuine lijn) mag bedragen.

bijna altijd energie. Dit betekent dat het altijd voordelig is om te streven naar een zo gering mogelijke slibproductie. Dit streven zou wel eens radicaal kunnen veranderen bij eindverwerkingstechnieken die netto energie opleveren. Zover is het echter nog niet. In afbeelding 3 is een overzicht te zien van de energiewinst en de kosten van de verschillende eindverwerkingstechnieken.

Voor de nieuwe technieken in de slibeindverwerking kunnen uit afbeelding 3 de volgende algemene conclusies worden getrokken:

- Superkritische vergassing (18 in afbeelding 3) is energetisch gezien het gunstigst;

- Indirecte thermische droging gevolgd door meeverbranden in een cementoven (9) is energetisch het op één na gunstigst; deze techniek werd in de eerste slibketenstudie reeds bestudeerd.

De volgende technieken zijn energetisch ook interessant: lagetemperatuurdroging (16), indirecte thermische droging (restwarmte) en nieuwe technieken als vergassen (19) of (17). Ze lijken te kunnen concurreren met de bestaande - in Nederland toegepaste - technieken.

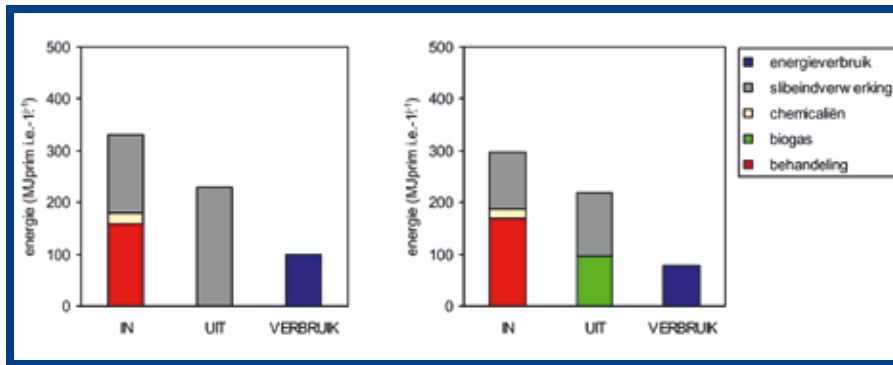
De integrale keten

De wisselwerking tussen rwzi en eindverwerking was één van de belangrijkste aspecten van beide slibketenstudies. De vraag of een andere eindverwerkings-techniek zou leiden tot de keuze van een andere configuratie op de rwzi is een heel belangrijke. Meer in het bijzonder zou de vraag kunnen luiden of slibgisting op de rwzi nog zin heeft als er netto energie wordt gewonnen bij de eindverwerking van het slib. De uitkomsten van de berekeningen in afbeelding 4 geven daar antwoord op.

Het verschil in de energie voor de behandeling tussen de beide staafdiagrammen wordt bepaald door het feit dat met slibgisting de retourstroom aanzienlijk hoger is dan zonder. Ook is de slibproductie mét slibgisting aanzienlijk geringer; dus is het energieverbruik bij de eindverwerking dan ook geringer. Uit afbeelding 4 kan worden geconcludeerd dat slibgisting zelfs bij energetisch relatief gunstige eindverwerking als lagetemperatuurdroging nog steeds zin heeft: het totale energieverbruik over de keten is mét slibgisting lager dan zonder.

Conclusies

In deze studie zijn veel nieuwe technieken voor zowel de water- en sliblijn van de rwzi als voor eindverwerking van het slib onder de loep genomen. Energiegebruik en kosten



Afb. 4: Het energiegebruik op de rwzi en bij de eindverwerking voor een actiefslibinstallatie met voorbezinking. Links: zonder slijbgisting. Rechts: met slijbgisting en energiewinning in een WKK-installatie.

waren de centrale parameters voor de beoordeling van de technieken.

Zoals uit de beschouwing van de technieken voor de slibeindverwerking naar voren is gekomen, is de energiewinst tijdens de slibeindverwerking op zijn best niet zeer groot. De energievraag van de behandeling van de stikstof die bij de eindverwerking vrijkomt, is daar voor een belangrijk deel debet aan. Het produceren van veel slib om op de eindverwerking veel energie uit het slib te halen is geen goede optie gebleken. Veel beter is het om zoveel als mogelijk energie uit het slib te halen op de rwzi, door de toepassing van slijbgisting. Verhoging van de energieproductie tijdens de slijbgisting kan worden bereikt door te streven naar een hoge slibproductie bij de voorbehandeling, zoals bij voorbezinking, of meer nog bij een eerste trap van een tweetrapsproces en bij de installatie met een korte slijbleeftijd zoals in een anammox-in-de-hoofdlijn configuratie.

Ook de voorbehandeling van het slib kan leiden tot een aanmerkelijke toename in de energieproductie op de rwzi. Met name thermische voorbehandeling leidt tot een hoge energiewinst, die bovendien wordt gecombineerd met een aanzienlijke toename van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib, door de betere ontwaterbaarheid. Bij al deze processen wordt meer dan bij de conventionele processen energie gewonnen op de rwzi. Combinaties van de energiegunstige processen kunnen leiden tot nog gunstiger processen, zoals in afbeelding 2 is te zien.

De energiewinst uit het slib is van dezelfde orde grootte als de energie die moet worden geïnvesteerd in de behandeling. Dit betekent dat beperking van de energievraag tijdens de behandeling bij benadering van even groot belang is als de maximalisatie van de energieproductie. Bij de voorbehandeling in de waterlijn (voorbezinking, preprecipitatie, microzeving, eerste trap van een tweetrapsproces) loopt de maximalisatie van de energieproductie door verhoging van de (primair) slibproductie parallel aan de besparing van energie in de waterlijn.

In de hoofdlijn kan energie worden bespaard door toepassing van aerob korrelslib (Nereda). Van een andere orde is het toepassen van Anammox in de hoofdlijn. Daarbij wordt energie bespaard doordat de actiefslibreactor alleen wordt gebruikt voor

verwijdering van BZV en zwevende stof. Verwijdering van stikstof wordt gedelegeerd naar een aparte, energiezuinige, nitrificatie/anammoxreactor die echter in de praktijk nog moet worden getest.

Haaks hierop staat het streven naar minimalisatie van de slibproductie, zoals bij de aerobe slibreductie in het Cannibal-proces. Hierbij worden de kosten van de eindverwerking van het slib geminimaliseerd, tegen een hoger energieverbruik. Dit kan acceptabel worden geacht als een kostenbesparing wordt bereikt die groter is dan de extra energiekosten van 0,12 euro per kWh. Belangrijkste doel is het zuiveren van afvalwater. Dit betekent dat het behalen van een effluentkwaliteit die voldoet aan de lozingsisen, een randvoorwaarde is voor de toepassing van enig alternatief in de waterlijn. Een ongunstige afvalwatersamenstelling kan de toepassing van sommige vormen van voorbehandeling, zoals een tweetrapsproces of preprecipitatie (zelfs bij toepassing van deelstroombehandeling), bemoeilijken of zelfs onmogelijk maken. Het is van groot belang om dit bij de keuze tussen de verschillende mogelijkheden voorop te stellen.

Droging van zuiveringsslib met behulp van laagwaardige warmte is energetisch interessant, maar wel onder bepaalde voorwaarden. Deze voorwaarden zijn: de beschikbaarheid van een laagwaardige energiebron en de mogelijkheid om het gedroogde slib te benutten als secundaire brandstof voor de opwekking van elektriciteit of warmte.

Dit houdt in dat de slibdroging bij de energiebron moet worden uitgevoerd. Met het oog op de benodigde investering leent deze techniek zich ook voor decentraal drogen (bijvoorbeeld op een schaal van één waterschap). De energetische benutting van het gedroogde slib kan daarna eventueel wel centraal plaatsvinden.

Superkritische vergassing is zeker veelbelovend, maar nog onvoldoende bewezen. Grote voordelen zijn het hoge energetische rendement, het feit dat er geen mechanische ontwatering noodzakelijk is en de omzetting van ammoniumstikstof naar stikstof in de lucht met een hoog rendement. De optimale schaalgrootte is nog niet bepaald, maar het zou wenselijk zijn dat de techniek deel

zou kunnen uitmaken van een grote rwzi (bijvoorbeeld groter dan 100.000 i.e.). Door de inzet van biomassa ter vervanging van fossiele brandstof is vergassing van vaste brandstoffen opnieuw in de belangstelling gekomen. Het leent zich voor een combinatie met alle vormen van droging en kan ook bij de afzet van het synthesesgas gemakkelijk worden gecombineerd met een elektriciteitscentrale. Dit resulteert in een hoog energetisch rendement. De conclusies van deze studie komen in grote lijnen overeen met die van de Energiefabriek.

LITERATUUR

- 1) STOWA (2005). Slibketenstudie - Onderzoek naar de energie- en kostenaspecten in de water- en slibketen. Rapport 2005-26.
- 2) Wiegant W., W. Koopmans, H. Kamphuis en C. Uijterlinde (2006). De integrale slibketen gemodelleerd en geanalyseerd. H₂O nr. 16, pag. 34-36.
- 3) Koopmans W., J. van de Marel en C. Uijterlinde (2006). Exergie in de slibketen. Afvalwaterwetenschap nr. 4, pag. 217-223.
- 4) STOWA (2010). Slibketenstudie II: Nieuwe technieken in de water- en slibketen. Rapport 2010-33
- 5) STOWA (2010). Influent fijnzeven in rwzi's. Rapport 2010-19.
- 6) STOWA (2005). Aerob korrelslibtechnologie - Pilotonderzoek naar toepassingsmogelijkheden voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater. Rapport 2005-34.
- 7) Wiegant W., W. van Betuw, J. Kruit en C. Uijterlinde (2009). Duurzame deelstroombehandeling voor stikstofverwijdering op rwzi heeft de toekomst. H₂O nr. 10, pag. 40-43.
- 8) Van Efferen L. en C. Roubos (2008). 70% Slibgroeireductie door Cannibal: nieuwe techniek succesvol op kleine schaal getest. Neerslag nr. 4, pag. 51-55.
- 9) Roubos C., L. van Efferen en J. Groenhof (2008). Reductie slibgroei met 70% door Cannibal. H₂O nr. 10, pag. 53-55.