

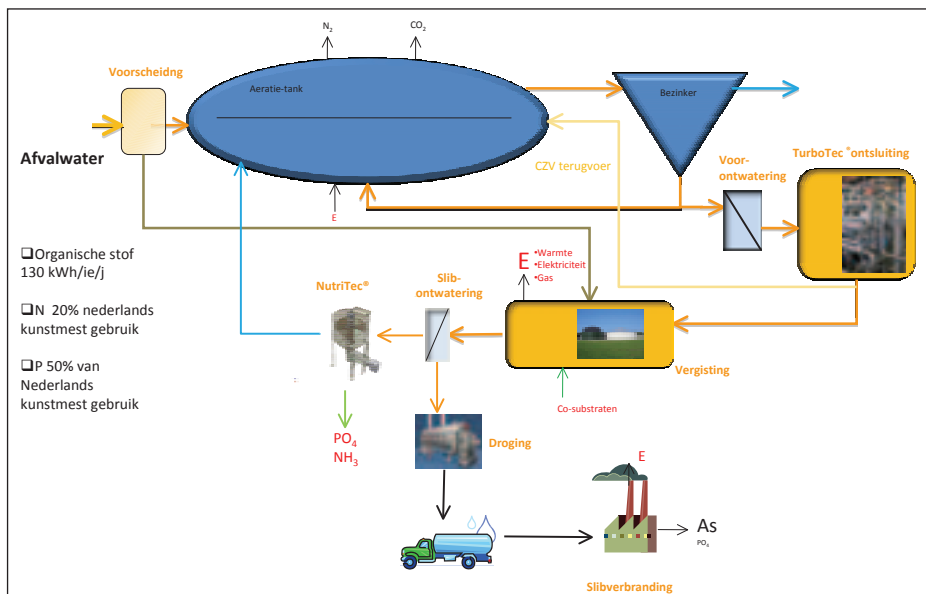
Thermische slib hydrolyse: lagere zuiveringskosten, meer energie

Huishoudelijk afvalwater bevat in potentie circa 130 kWh per inwoner equivalent aan potentiële chemische energie. In de huidige zuiveringspraktijk wordt deze energie vervolgens door inbreng van lucht circa 25 kWh per inwonerequivalent weg geoxideerd. Daarnaast wordt relatief nat zuiveringsslib geproduceerd van 20 tot 25% droge stof dat tegen hoge kosten verwerkt moet worden. Door middel van thermische hydrolyse van het zuiveringsslib kunnen de primaire energievraag van de zuivering en de slibverwerkingskosten aanzienlijk verlaagd worden. Door Sustec uit Wageningen is een continu thermisch hydrolyseproces voor organische reststromen, zoals zuiveringsslib ontwikkeld: het TurboTec® proces. Op de rwzi Venlo van het Waterschapsbedrijf Limburg (WBL), de uitvoeringsorganisatie van Waterschap Peel en Maasvallei en Waterschap Roer en Overmaas, is dit proces uitvoerig getest op pilotschaal. Op grond van deze testen heeft WBL besloten op rwzi Venlo een full scale thermische hydrolyse en slibvergisting te gaan realiseren.

Rioolwater zuiveren kost energie. Op een rwzi wordt netto 20 tot 30 kWh per ve per jaar aan energie verbruikt, terwijl afvalwater een potentieel van 130 kWh per ve per jaar aan chemische energie bevat. Deze hoeveelheid potentiële energie komt overeen met circa 2 miljard kWh per jaar (circa 2% van de Nederlands elektriciteitsproductie). Het in afvalwater aanwezig stikstof wordt grotendeels omgezet in stikstofgas. Hiermee gaat nog eens potentieel 37 kWh per ve per jaar verloren (om 1 kg ammoniak uit N_2 te vormen is 2 Nm^3 aardgas nodig). Veel van het aanwezig fosfaat wordt via de sliblijn in het as vastgelegd. Een deel van het fosfaat wordt via de asafzet van de verbrandingsinstallatie nuttig hergebruikt bij de fosfaatverwerkende industrie. Door verhoogde concentraties nutriënten in de vrijkomende deelstromen kunnen zowel N als P eenvoudiger teruggewonnen worden.

In het kader van de Meerjaren afspraken energie-efficiency sector zuiveringsbeheer 3 (MJA3) met als doelstelling 30% verhoging van de energie-efficiency in 15 jaar, op de rwzi zijn er momenteel diverse initiatieven om de rwzi energiezuiniger te maken, dan wel zelfs energieproducerend. Door het stapsgewijs toevoegen van deel processen ter verhoging van de energieproductie, verlaging van het energieverbruik en terugwinning van waardevolle nutriënten kan de slag gemaakt worden naar een energiezuinige rwzi (zie kader 1*).

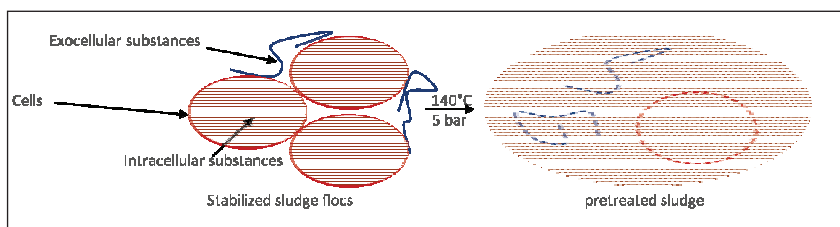
Centraal in dit zuiveringsconcept staat de ontsluiting van zuiveringsslib door middel van thermische hydrolyse. Sustec heeft samen met Waterschapsbedrijf Limburg onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van thermische slibhydrolyse van het surplusslib met het door Sustec ontwikkelde TurboTec® proces (stap 2 in afbeelding 1).



Afb. 1: De duurzame rwzi.

CONTINUE THERMISCHE SLIBHYDROLYSE

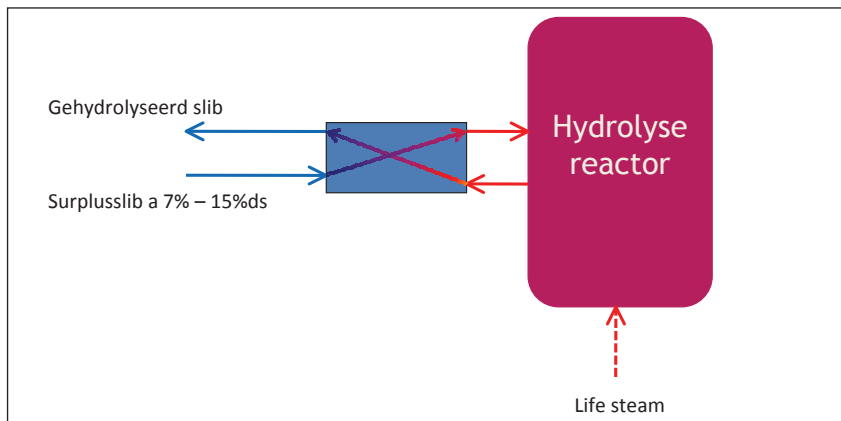
Bij thermische hydrolyse van slib wordt slib gedurende een bepaalde tijd onder hoge druk en temperatuur gebracht. Door deze behandeling wordt de celstructuur afgebroken en komt een groot deel van de celinhoud in oplossing. Tevens worden de extracellulaire poly-sachariden (EPS) structuren rond de cel afgebroken, waardoor de viscositeit van de het slibmengsel verlaagd wordt. In afbeelding 2 staat het thermisch hydrolyse proces schematisch weergegeven.



Afb. 2: Principe thermische hydrolyse

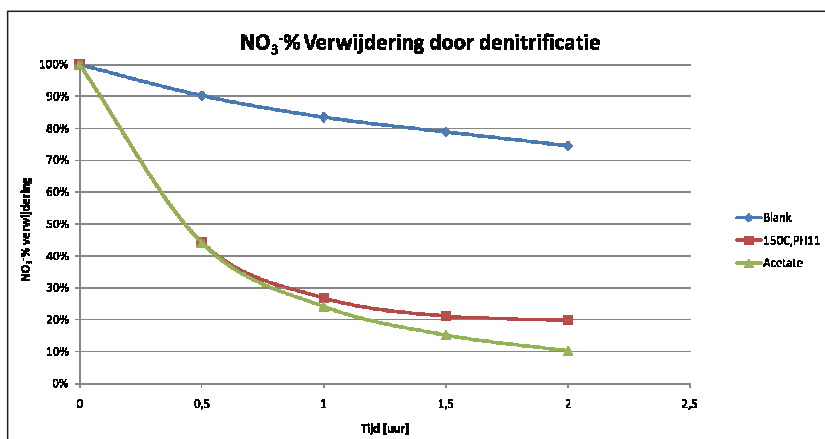
Het thermische hydrolyse systeem is een continu proces. Het slib wordt na een mechanische voorindikking/ontwatering, continu in de hydrolyse reactor gepompt. Door middel van een optimale warmteterugwinning hoeft minimaal externe warmte aan dit systeem toegevoerd te worden. Deze externe warmte kan volledig verkregen worden uit de restwarmte van de gasmotor. Hierbij worden de afgaswarmte direct omgezet in stoom, die als 'life steam' in de reactor wordt gebracht (afbeelding 3). Het grote voordeel van een continu bedreven systeem ten opzichte van batch-gewijs bedreven systemen is de eenvoudiger uitvoering,

eenvoudige procesregeling en daarmee hoge bedrijfszekerheid en lage investeringskosten.



Afb.3: TurboTec® thermische hydrolyse systeem.

Metingen aan het slib direct na thermische hydrolyse wijzen uit dat de opgeloste CZV-fractie in de waterfase (vloeibaar hydrolysaat) met circa een factor 10 tot 15 toeneemt, van circa 2.000 mg/l tot circa 25.000 mg/l. Deze CZV blijkt voor een groot deel uit organische zuren te bestaan. Deze sterke toename van gemakkelijk afbreekbare CZV zorgt er voor dat tijdens het gistingsproces meer biogas geproduceerd kan worden. Deze CZV kan ook gebruikt worden voor denitrificatie. Uit denitrificatietesten met het vloeibaar hydrolysaat blijkt dat de denitrificatiesnelheid ongeveer gelijk is aan die van acetaat (zie afbeelding 4). Op deze wijze is het mogelijk om in systemen waar de CZV/N-verhouding in het influent onvoldoende is voor denitrificatie een deel van het vloeibaar hydrolysaat in de denitrificatiezone van de rwzi terug te voeren om zodoende voldoende stikstof te verwijderen. Dit biedt tevens de mogelijkheid om vergaande voorscheiding (zie stap in afbeelding 1) op een rwzi toe te passen, zodat de hoeveelheid te vergisten slib geoptimaliseerd wordt met behoud van voldoende denitrificatiecapaciteit.



Afb. 4: Denitrificatiesnelheid van de vloeistoffase na thermische hydrolyse in vergelijking met acetaat.

De viscositeit van het slib blijkt door thermische hydrolyse sterk af te nemen. Tijdens het onderzoek (zie hieronder) zijn testen uitgevoerd met secundair slib van 7% ds tot 15% ds. Na thermische hydrolyse blijkt het slib volledig vervloeid te zijn, waarbij de viscositeit van het slib met een drogestofgehalte van 7% ds dicht bij water ligt en die van 15% ds vergelijkbaar is met niet gehydrolyseerd slib van 3% ds.

Direct na de thermische hydrolyse, dus voor vergisting, vindt een sterke verbetering plaats van de ontwaterbaarheid van het slib. Ontwateringstesten laten een verbetering zien van 40% - 50%, waarbij het drogestofgehalte na ontwatering in een decanteercentrifuge van secundair slib verbetert van circa 21% ds tot > 31% ds.

THERMISCHE HYDROLYSE, SLIBVERGISTING EN SLIBVERWERKING

Het toepassen van thermische slib hydrolyse heeft diverse effecten op de keten van slibverwerking, zoals de slibvergisting, de rejectiewaterbehandeling en de slib-eindverwerking. De combinatie van thermische hydrolyse met slibvergisting resulteert in:

- Verhoging van de biogasproductie met 30% tot 50%;
- Verlaging van de slibgistingstijd tot circa 15 dagen;
- Door de verlaagde viscositeit van het gehydrolyseerde slib kan de gisting met een veel hoger drogestofgehalte gevoed worden, waarbij menging nog goed mogelijk is.
- Verhoogde ammonium- en fosfaatconcentratie. Door de verdergaande afbraak van organische stof (meer biogas) en verdergaande indikking zal ammonium- en fosfaatconcentratie in de gistingsvloeistof toenemen.

De mogelijkheid om met een hoger drogestofgehalte de gisting te voeden en de kortere vergistingstijd resulteert in aanzienlijk compactere vergistingen (tot een factor 3 x kleiner) of meer capaciteit in een bestaande vergisting. De ds-belasting neemt dan toe van 3 kg ds/m³.d tot 9 kg ds/m³.d.

De verbeterde ontwatering geldt ook voor het vergiste slib na hydrolyse. Hierbij worden verbeteringen van het ontwateringsrendement van meer dan 40% gemeten (stijging van 23% ds tot meer dan 30% ds met een decanteercentrifuge). De verdergaande drogestofafbraak en verbeterde ontwatering resulteren in een aanzienlijke reductie van het af te voeren ontwaterde slib. In tabel 1 staat het effect van thermische hydrolyse in combinatie met vergisting en alleen vergisting van secundair slib op de ontwatering en de hoeveelheid af te voeren slib.

Tabel 1 Effect van thermische hydrolyse en vergisting op volume af te voeren slib

	ontwaterd slib (d.s.%)	transport (volume-eenheid)
Vergisting + ontwatering	23%	100%
TurboTec® + vergisting + ontwatering	28-30%	60%
TurboTec® + vergisting + indirecte droging	90%	20%

De hydrolysestap geeft een grote volumereductie in de hoeveelheid af te voeren slib. Doordat het organische stofgehalte in het ontsloten en vergiste slib daalt tot ongeveer 40% en het drogestofgehalte wordt verhoogd tot 30%, blijft de verbrandingswaarde van het ontwaterde slib ongeveer gelijk en vormt deze stap dus geen probleem voor de eindverwerkers.

Door de verhoogde biogasproductie en de verminderde transportbewegingen door het toepassen van de hydrolysetechnologie vindt een reductie van energie en daarmee samenhangende CO₂-equivalenten plaats. In tabel 2 staat de energie- en CO₂-reductie op de rwzi per 1000 ton (droge stof) slib weergegeven ten gevolge van het toepassen van de technologie. Als referentie is de situatie zonder gisting genomen.

Tabel 2: Energie- en CO₂-reductie per 1000 ton (droge stof) surplusslib door het toepassen van ontsluiting voor vergisting en voor vergisting + directe droging

	E-productie (MWh)	CO ₂ -elektrisch (ton)	Ontwa-terd slib (ton)	CO ₂ -transport (ton)	CO ₂ -reductie (ton)
Vergisting + ontwatering	963	554	6680	-13	541
TurboTec®+vergisting+ Ontwatering	1387	798	4129	-8	790
TurboTec®+ vergisting + ontwatering +directe droging	1794	1032	1349	-3	1029

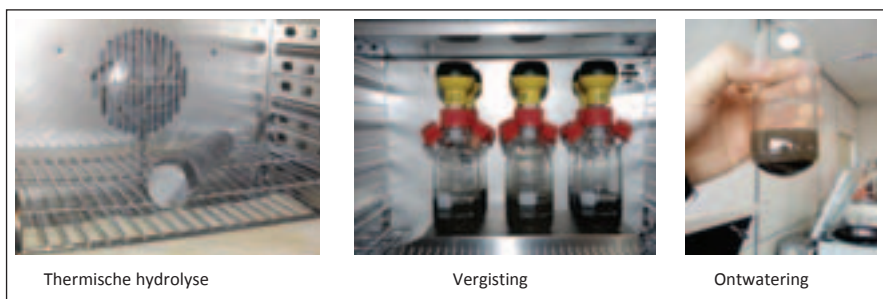
Het bij de slibontwatering geproduceerde rejectiewater is geconcentreerder. Dit is enerzijds het gevolg van de verdergaande mechanische voorindikking en de verbeterde afbraak van droge stof, waardoor meer stikstof vrijkomt. De stikstofconcentratie kan in het rejectiewater met een factor 3 toe te nemen. Deze geringere rejectiewaterstroom met verhoogde concentraties biedt de mogelijkheid om stikstof en fosfaat als meststoffen terug te winnen. Hiervoor kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van de combinatie van struvietvorming en ammoniakstripping. Hiervoor ontwikkelt Sustec het NutriTec®-proces. Hierbij komen struviet en ammoniakvloeistof als producten vrij.

Door de verhoogde biogasproductie en verhoogde drogestofgehalte van het ontwaterde slib vormt indirect drogen van het ontwaterde slib op locatie een interessante vervolgoptie. Door het slim cascaderen van de thermische energie uit het biogas voor indirecte droging, thermische hydrolyse, verwarming van de vergisting en de rejectiewaterbehandeling kan optimaal gebruik gemaakt worden van de energie-inhoud van het biogas, waarbij droge energierijke slibkorrels, ammoniakvloeistof en fosfaatmeststof geproduceerd worden. De slibkorrels hebben een stookwaarde die overeenkomt met bruinkool en zijn dus een interessant afzetproduct. Ook vanuit CO₂-reductie blijkt dit een interessante optie: grootste deel van de duurzame CO₂ wordt geproduceerd bij de verbranding van de droge slibkorrels (zie tabel 1 en 2).

De geoptimaliseerde slibverwerkingsketen kan gefaseerd ingevoerd worden. Bij zuiveringen met een bestaande vergisting kan gestart worden met het realiseren van de thermische hydrolyse. Vervolgens kunnen N&P terugwinning uit het rejectiewater, lokale droging, verbeterde afvalwatervoorscheiding en verdergaande surplusslibindikking worden gebouwd.

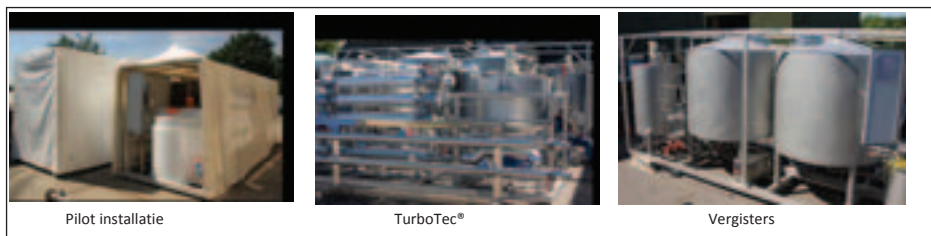
PILOT TESTEN

Samen met het WBL heeft Sustec proeven uitgevoerd naar de continue thermische hydrolyse van het surplusslib van de zuiveringen Venlo en Hoensbroek. In eerste instantie is op laboratoriumschaal onderzoek gedaan naar de optimale omstandigheden voor thermische hydrolyse van dit slib. Hiertoe is slib op verschillende hydrolyse omstandigheden getest, waarna door middel van vergisting (zie afbeelding 5) en ontwatering de meest optimale hydrolysemethode is vastgesteld.



Afb. 5: Laboratoriumschaal vergistingstesten.

Vervolgens zijn op de rwzi Venlo gedurende 9 maanden op pilot-schaal testen uitgevoerd naar de thermische hydrolyse en vergisting van het surplusslib van de rwzi's Venlo en Hoensbroek. De pilotplantinstallatie bestaat uit een, slibzeef, mechanische slibindikking, continue thermisch hydrolyse en twee vergistingsunits (zie afbeelding 6). Hierbij wordt één vergister gevoed met het gehydrolyseerde slib en de andere vergister met niet gehydrolyseerd slib.



Afb. 6: Pilot plant installatie met thermische hydrolyse en vergisting.

Het slib van de zuivering Venlo is getest in de periode van augustus 2009 tot december 2009. Het slib van de zuivering Hoensbroek in de periode van januari 2010 tot april 2010.

In tabel 3 staan de biogasproducties van het gehydrolyseerde slib versus het niet gehydrolyseerde slib. Hierbij wordt een toename van circa 50% van de bio-

gasproductie gevonden. Tevens wordt een verhoogd methaangehalte gevonden ten gevolge van de thermische hydrolyse.

Tabel 3. Biogasproducties voor het slib uit de referentievergister en de het slib uit de vergister na thermische hydrolyse voor de zuiveringen Venlo en Hoensbroek.

Surplusslib zuivering Hoensbroek

	Biogasproductie (gem. L.h ⁻¹)	Gassamenstelling (gem% CH ₄)	Methaanproductie (LCH ₄ .h ⁻¹)
Vergister 1 (TurboTec®)	143.3	68%	98
Vergister 2 (referentie)	95.0	66%	63
TurboTec® effect (gem.)	+51%	+3%	+54%

Surplusslib Zuivering Venlo

	Biogasproductie (gem. L.h ⁻¹)	Gassamenstelling (gem% CH ₄)	Methaanproductie (LCH ₄ .h ⁻¹)
Vergister 1 (TurboTec®)	170	72%	122
Vergister 2 (referentie)	110	64%	70
TurboTec® effect (gem.)	+53%	+12%	+72%

De afbraak van drogestof in de vergister nam ten gevolge van de thermische hydrolyse toe van circa 28% drogestofverwijdering tot 44% drogestofverwijdering en de organische-stofverwijdering nam toe van 40% tot 62% (verbetering van 55%).

Tevens zijn diverse ontwateringsproeven met het slib uitgevoerd. In tabel 4 staan de ontwateringsresultaten van het slib direct over de thermische hydrolyse weergegeven en het verschil in ontwateringsresultaat tussen vergist slib en gehydrolyseerd vergist slib. De testen zijn uitgevoerd met decanteercentrifuges van Alfa Laval en Pieralisi.

Tabel 4: Effect van thermische hydrolyse op de slibontwatering.

	Full-scale decanter test (gem.%DS)
Ruw secundair slib	20.0%
TurboTec® secundair slib	28.2%
TurboTec® effect op ruw slib	+41.1%
Vergister 2 (referentie)	31.0%
Vergister 1 (TurboTec®)	21.4%
TurboTec® effect op vergist slib	+45%

Tijdens de testen met het surplusslib van de rwzi Venlo is gedurende twee maanden het slib mechanisch ingedikt door middel van een decanteercentrifuge. Hierbij wordt de thermische hydrolyse reactor gevoed met slib dat een drogestofgehalte tussen 10% ds en 15% ds heeft. Zelfs bij 15%ds bleek de vervloeiing van het slib zodanig dat het nog eenvoudig verpomptbaar is en geen mengproblemen in de vergisting opleverde.

FULL SCALE REALISATIE

Het gehele slibverwerkingsproces, inclusief mechanische voorindikking, thermische hydrolyse, vergisting, WKK, warmteterugwinning, slibontwatering en rejectiewaterproductie is door Sustec in een rekenmodel gezet. Op deze wijze is het eenvoudig mogelijk om voor verschillende situaties het technologische, economische en milieutechnische rendement van thermische hydrolyse voor een specifieke situatie te berekenen. Uit diverse berekeningen voor verschillende zuiveringen blijkt dat de terugverdientijd van een TurboTec®-installatie gemiddeld tussen de 4 en de 7 jaar ligt.

Na de succesvolle beproevingen procesberekeningen heeft WBL inmiddels bestuurlijk besloten om thermische hydrolyse in combinatie met slibgisting op de rwzi Venlo te gaan realiseren. In afbeelding 7 staat een full scale impressie van de TurboTec®-installatie weergegeven.



Afb. 7: Full scale impressie van de TurboTec® thermische hydrolyse.

CONCLUSIES

Thermische hydrolyse van secundair slib kan een belangrijke eerste stap zijn in de richting van een energieneutrale rwzi. Het door Sustec ontwikkelde continue thermische hydrolyseproces, TurboTec®, kent een relatief eenvoudige uitvoering, waardoor thermische hydrolyse niet alleen energetisch interessant is, maar ook bedrijfseconomisch. Door de sterk veranderde slibeigenschappen ten gevolge van de thermische hydrolyse kan het vergistingsproces geoptimaliseerd worden en nemen de slibverwerkingskosten aanzienlijk af. Hierdoor kan de installatie zich in enkele jaren terugverdienen. Tevens is de thermische hydrolyse een opmaat naar verdere verduurzaming van het rioolwaterzuiveringsproces, zoals nutriënten-terugwinning, lokale slibdroging en vergaande voorscheiding.

**) Kader 1: Concept voor de duurzame rwzi*

In afbeelding 1 staat een mogelijke uitvoering om huidige rwzi's aan te passen tot een energie duurzame rwzi.

**) Afb. 1: De duurzame rwzi*

In de energie duurzame rwzi zijn de volgende additionele processtappen toegevoegd:

- Voorscheiding afvalwater: door het voorscheiden van afvalwater kan meer CZV, stikstof en fosfaat naar de vergistingslijn geleid worden. Deze voorscheiding kan een A-trap zijn, maar ook flotatie of zelfs membraantechnologie. Hierdoor kan meer biogas opgewekt worden en stikstof en fosfaat teruggewonnen worden.
- Thermische hydrolyse van slib en daardoor hogere biogasproductie en verbetering van ontwateringseigenschappen.
- Terugvoer CZV-rijke uit deelstroom uit de TurboTec[®]-reactor voor denitrificatie: de vloeistoffase van het ontsloten slib bevat zeer hoge CZV-concentraties, waardoor deze vloeistof gericht kan ingezet worden voor denitrificatie (door de voorscheiding is de CZV/N-verhouding ongunstig komen te liggen)
- Vergisting met eventuele toevoeging co-substraten. Door verkorting van de verblijftijd ontstaat extra ruimte voor co-vergisting.
- Duurzame terugwinning van stikstof en fosfaat via het NutriTec[®]-proces. Dit proces is een gecombineerd proces van struvietvorming en ammoniak stripping met als eindproducten struviet en ammoniumsulfaat.
- Lokale slibdroging. Lokale slibdroging met biogas maakt het mogelijk slib direct te verbranden in bijvoorbeeld een bruinkoolcentrale.

Sommige van de bovengenoemde processtappen zijn in een meer of minder ver ontwikkelingsstadium. De verschillende processtappen kunnen gefaseerd ingevoerd worden op bestaande rioolwaterzuiveringinrichtingen.

*Lex van Dijk,
Sustec Consulting & Contracting bv
Ad de Man,
Waterschapsbedrijf Limburg*