Lysotherm® thermische drukhydrolyse van slib

Bert Geraats en Ulrich Knörle (Eliquo)

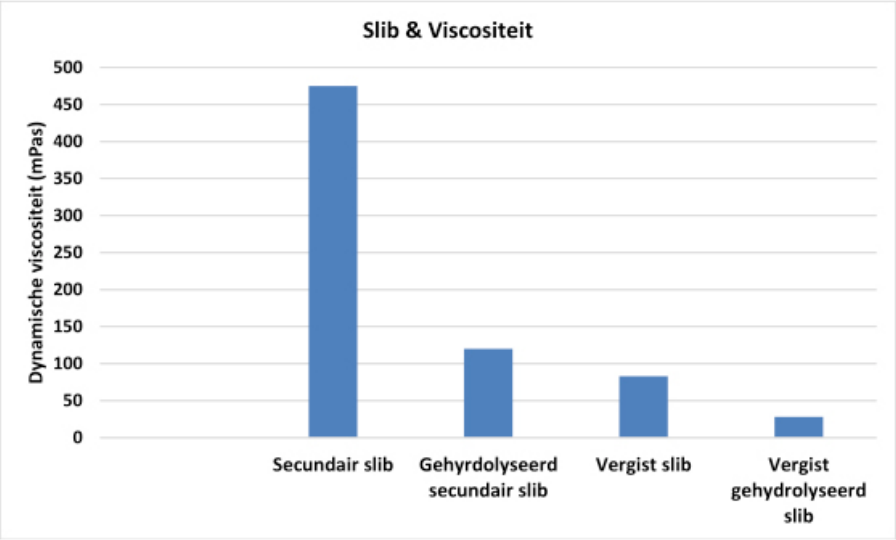
Lysotherm® is een innovatieve gepatenteerde slibhydrolysetechnologie die, in tegenstelling tot de gangbare systemen, geen gebruik maakt van stoom. De modulaire opzet is geschikt voor zowel kleine als grotere sliblijnen met vergisting en elektriciteitsproductie. Lysotherm® wordt continu bedreven, waarbij het slib indirect wordt verhit middels twee warmtecircuits: (1) een gesloten regeneratief watercircuit voor het voorverwarmen en nakoelen van het slib en (2) een thermisch oliecircuit waarmee warmte uit de hete rookgassen van de op biogas draaiende gasmotoren (wkk's voor de opwekking van elektriciteit) wordt onttrokken. Dit artikel presenteert het werkingsprincipe van Lysotherm® en de operationele resultaten.

Voor thermische drukhydrolyse (TDH) van zuiveringsslib is op stoom gebaseerde techniek gangbaar [1, 2]. Voor veel bedrijfsvoerders van rwzi's verdienen deze op stoom gebaseerde systemen niet de voorkeur vanwege operationele problemen, onderhoud en veiligheid. Daarnaast zijn de investeringskosten van op stoom gebaseerde TDH-systemen in verhouding hoog voor kleinere en middelgrote rwzi's.

Doel van thermische slibhydrolyse

Het doel van thermische slibhydrolyse [1, 3] is de kosten van slibverwerking te verlagen door:

- verhogen van de biogasopbrengst;
- verbeteren van de ontwatering door een verhoogd drogestofgehalte en minder polymeerverbruik;
- verminderen van te verwerken hoeveelheid slib;
- verlagen van de viscositeit van het te vergisten slib (zie afbeelding 1);
- verlagen van de verblijftijd in de vergisting;
- vergroten van de vergistingscapaciteit.

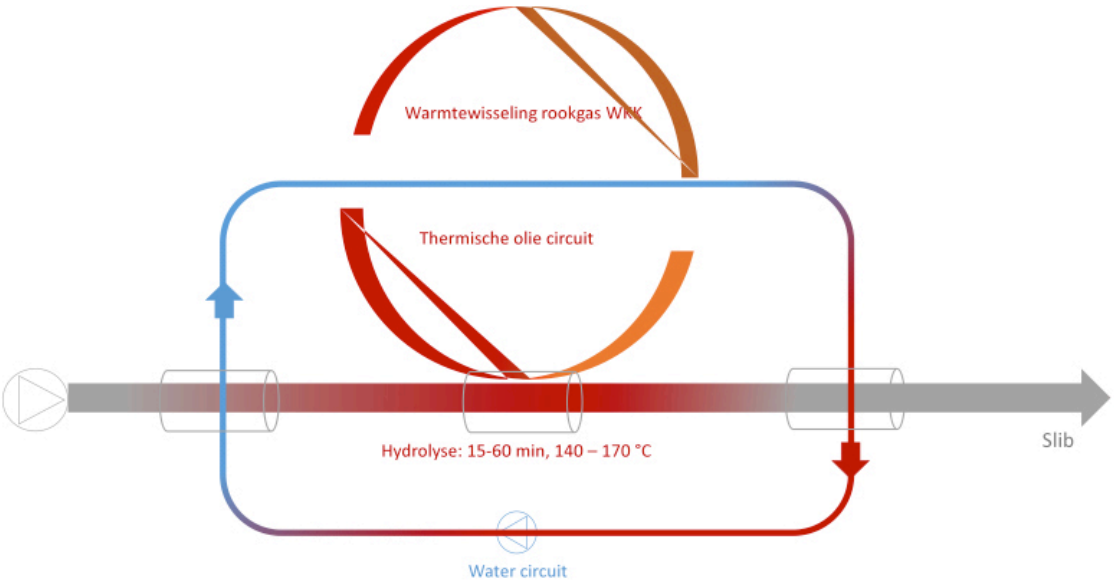


Afbeelding 1. Effect van thermische slibhydrolyse met Lysotherm® op de viscositeit van slib

Lysotherm®: werkingsprincipe en bedrijfsvoering

De Lysotherm® thermische drukhydrolyse is gebaseerd op onze buis-in-buis warmtewisselaar, zoals die in de industrie worden gebruikt voor problematische substraten, zoals producten uit de zuivelindustrie. In de Lysotherm®-unit zijn de hydrolysereactiezone en de warmtewisseling geïntegreerd in één module. Door toepassing van Lysoclean®, een geautomatiseerde CIP (cleaning in place)-reiniging, is het systeem geoptimaliseerd voor robuuste bedrijfsvoering: efficiënte warmteoverdracht en het tegengaan van verstopping en afzettingen. Leidend in het technisch ontwerp is een optimum tussen de productiekosten, de warmteoverdracht en de hydraulische weerstand. De laatste twee factoren worden sterk bepaald door de rheologische eigenschappen (zoals viscositeit) van het slib.

Het slib wordt door een slibpomp continu gevoerd naar de meertraps warmtewisselaar. Door de gekozen maatvoering van de buizen van de warmtewisselaar is voorbehandeling van het slib (zoals het verwijderen van grove delen) niet noodzakelijk, mits een gangbare voorbehandeling van het aangevoerde afvalwater (3-6 mm roostering, zandvang) wordt toegepast. In de eerste fase van de warmtewisselaar wordt het slib voorverwarmd met gerecupereerde warmte uit de afkoeling van het uitgaande slib. Dit gebeurt met het gesloten watercircuit. Vervolgens wordt het slib verwarmd tot de hydrolysetemperatuur (140-170 °C), waarna hydrolyse in de reactiezone plaatsvindt (verblijftijd van 15-60 minuten). Er is geen sprake van een aparte reactor, de warmtewisselaarbuizen fungeren als reactiezone. Na de hydrolyse wordt het slib in de warmtewisselaar teruggekoeld tot de temperatuur die gewenst is voor invoer naar de vergisting. De terugkoeling van slib vindt plaats met het gesloten watercircuit (afbeeldingen 2 en 4).



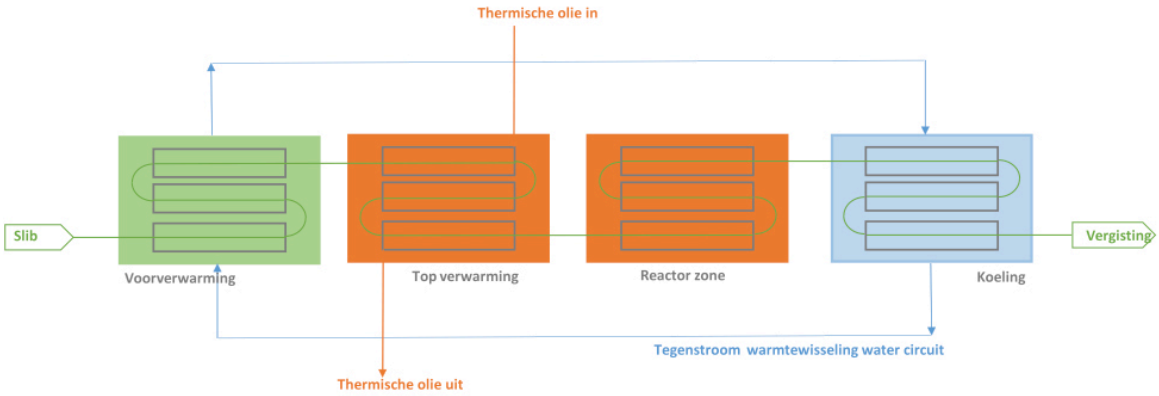
Afbeelding 2. Schets werkingsprincipe Lysotherm® slibhydrolyse

Afbeelding 3. Aanblik binnenzijde Lysotherm®-modules met buiswarmtewisselaars

Het Lysotherm®-systeem kent twee warmtecircuits:

1. Het *thermisch oliecircuit* voorziet de buiswarmtewisselaar van de gewenste hogetemperatuurwarmte. Deze warmte wordt uit de hete rookgassen van de gasmotoren (wkk's) geëxtraheerd. Het thermische oliesysteem is een drukloos circuit.
2. Het *regeneratieve circuit* gebruikt water als medium voor warmteoverdracht. Het watercircuit wint warmte terug uit het gehydrolyseerde slib en stelt dit beschikbaar voor het voorverwarmen van het ingaande slib.

Buiten de restwarmte van de gasmotoren (koelwater en afgas) zijn er geen warmtebronnen (zoals stoom uit stoomketels) nodig. Bovendien kan al het in de sliblijn geproduceerde biogas ingezet worden voor nuttige toepassingen, zoals groene-energieproductie of slibdroging. De restwarmte van de gasmotoren is doorgaans voldoende om het hydrolysesysteem aan te drijven. Door het geïntegreerde regeneratieve watercircuit en de isolatie van de modules is het warmteverlies zeer gering (minder dan 5% van de totale warmtebehoefte). Het overschot aan warmte is beschikbaar voor andere processen zoals slibdrogen.
Dit maakt Lysotherm® uitermate geschikt voor innovatieve slibverwerkingsconcepten gericht op verlaging van de verwerkingskosten. De verdeling van de door de gasmotor opgewekte warmte naar de Lysotherm® wordt verzorgd door een modulair (skid mounted) Lysoheat®-



Afbeelding 4. Processtappen Lysotherm®

systeem. Dit geïntegreerde systeem zorgt voor laagwaardige warmte (koelwater gasmotoren), hoogwaardige warmte (uit rookgassen van gasmotoren), de koeling van het slib en de noodkoeling.

Tabel 1. De belangrijkste technische eigenschappen van Lysotherm®

Buis-in-buis warmtewisselaar volgens industrieel beproefd concept in continu bedrijf.	Verwaarloosbaar energieverlies: al het biogas beschikbaar voor duurzame energie opwekking.
Geen stoom nodig. Keuringen en eisen van Stoomwezen voor werken met stoom zijn niet van toepassing.	Lysoclean® geautomatiseerde onderhoudsreiniging (CIP).
Directe invoer van slib. Geen speciale slibvoorbehandeling nodig. Verdunning van slib met water niet noodzakelijk.	Lysoheat® warmte-management. Warmte-onttrekking uit rookgassen van wkk via thermische olie circuit.
Volledig geautomatiseerde bedrijfsvoering: Lysocontrol™.	Eenvoudig onderhoud met lage onderhoudskosten.

Operationele betrouwbaarheid, eenvoud van bedrijfsvoering & onderhoud

De operationele betrouwbaarheid hangt samen met het gehanteerde principe van warmtewisseling. Tijdens het stapsgewijs verhitten van het slib, wordt het temperatuurverschil tussen de warmtedrager (thermische olie en water) en het slib gecontroleerd laag gehouden. Hiermee wordt het risico op aankoeking en/of verschroeiing geëlimineerd. Het thermische oliecircuit is drukloos uitgevoerd. Het Lysotherm®-principe is operator- en onderhouds-vriendelijk (zie kader).

Het Lysotherm®-principe is operator- en onderhoudsvriendelijk

Alle kritische onderdelen zijn eenvoudig bereikbaar. Eventuele inspectie van de warmtewisselaar buizen kan simpel worden uitgevoerd omdat de 180 °C verbindingsstukken van de buizenbundels aan de buitenkant van een Lysotherm®-module eenvoudig kunnen worden verwijderd. Vanwege het ontbreken van stoom is een speciale operator-opleiding niet noodzakelijk. De Lysocontrol™-procesregeling verzorgt volledig geautomatiseerd bedrijf, gebruikmakend van een gering aantal instrumenten, waarvan de belangrijkste de temperatuursensoren zijn.

Lysotherm is ontworpen voor continubedrijf, er is geen sprake van het batchgewijs vullen en legen van met (gehydrolyseerd) slib gevulde vaten. Het geïntegreerde CIP (cleaning in place)-system Lysoclean™ waarborgt blijvend schone warmtewisselaars met een laag drukverlies en hoge warmteoverdracht. Lysotherm® wordt regulier gespoeld met bedrijfswater (gefiltreerd rwzi-effluent) en met een laaggeconcentreerde loog- en zuuroplossing. De gebruikte chemicaliënoplossing kan zonder problemen afgevoerd worden via de terreinriolering of naar de gisting.

Een standaard Lysotherm®-module heeft een invoercapaciteit van ca. 3,4 m^3/u. Afhankelijk van de configuratie in de sliblijn kan hiermee 1660-3320 ton droge stof (ds) slib per jaar worden verwerkt. Voor deze standaardunit zijn het elektriciteitsverbruik en de consumptie van water en chemicaliën voor Lyosclean als volgt:

Tabel 2. Electriciteits- en chemicaliënverbruik standaardmodule/jaar

		Capaciteit (ton ds/year)	
		1660	3320
Elektriciteitsverbruik	(kWh/ton-ds)	100	50
Spoelwater (gefiltreerd rwzi-effluent)	(m^3/ton-ds)	0,5	0,3
Loog en zuur	(kg/ton-ds)	2,9	1,4
Stoom	(kg/ton-ds)	0	0,5

Het elektriciteitsverbruik wordt voornamelijk bepaald door de slib-voedingspomp. Buiten de voedingspomp, de circulatiepompen in het thermische oliecircuit en in het regeneratieve watercircuit, bevat de Lysotherm® nauwelijks draaiende delen. De slibvoedingspomp is een standaardpomp die bij omgevingstemperatuur bedreven wordt. Dit draagt bij aan de eenvoud en lage onderhoudskosten.

Om het beschikbare gistingsvolume zo efficiënt mogelijk te gebruiken wordt normaal gesproken het slib ingedikt tot circa 6% ds, bijvoorbeeld met een bandindikker. Dit slib kan direct toegevoerd worden aan een Lysotherm®-unit, maar tot 11-13% ds ingedikt slib wordt ook goed verwerkt. De maximale indikkingsgraad wordt bepaald door het toelaatbaar ammoniumgehalte in de vergisting en staat los van de wijze van slibhydrolyse. Aangenomen wordt dat indikking van het slib naar 11-13% ds gemiddeld 2-4 kg PE/ton-ds en 20 kWh/ton meer energie vraagt dan bandindikking met een zeefbandpers.

Tabel 3 geeft de indicatieve specifieke kosten voor chemicaliën en electriciteit, uitgaande van de volgende eenheidsprijzen: 0,11 €/kWh voor elektriciteit, 1,50 € per kg actief polymeer, 0,75 € per kg CIP chemicaliën (inclusief bedrijfswater).

De onderhouds- en beheerkosten bedragen 4-8 €/ton-ds voor een capaciteit van respectievelijk 3320 en 1660 ton ds/jaar, waarmee de totale operationele kosten rond de 17-21 €/ton-ds bedragen.

Reductie van de te verwerken hoeveelheid slib en een toename van de biogas- en/of elektriciteitsproductie zijn directe besparingen als gevolg van de inzet van thermische druk-hydrolyse. Uitgaande van de in Nederland gangbare kosten voor slibeindverwerking (conventionele standaardvergisting) en elektriciteit, bedragen de besparingen alleen al op deze

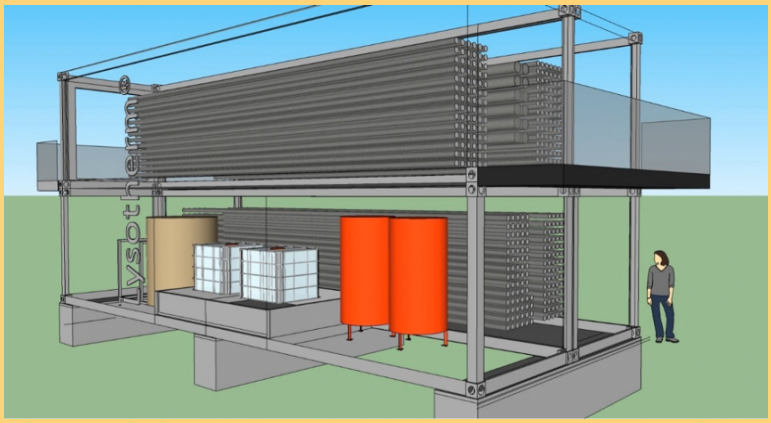
posten 80-120 € per ton-ds behandeld secundair slib. Daarnaast neemt de verwerkings-capaciteit van het gistingsvolume toe, omdat de verblijftijd in de gistingstanks korter is.

Tabel 3. Indicatieve specifieke van de kosten voor chemicaliën en elektriciteit

		Capaciteit (ton ds/year)	
		1660	3320
Polymeer	(€/ton-ds)	0	4,5
Electriciteit	(€/ton-ds)	11	7,7
CIP chemicaliën	(€/ton-ds)	2,9	1,4
Totaal	**(€/ton-ds)**	**13,1**	**13,3**

Lysotherm®-modules op locatie

Het modulaire plug&play-ontwerp waarborgt een snelle realisatie en opstart op locatie. De Lysotherm®-modules worden gefabriceerd in onze eigen fabriek inclusief al het verbindende leidingwerk, schakelkasten en regeltechniek. We hanteren een hoge kwaliteitscontrole met TÜV keuring. Op locatie dienen enkel de slibaanvoer- en slibafvoerleidingen en de voedingskabels voor elektra en procesregeling te worden aangesloten. Een Lysotherm®-unit wordt afgeleverd in een geïsoleerde weersbestendige behuizing, een gebouw is niet nodig.

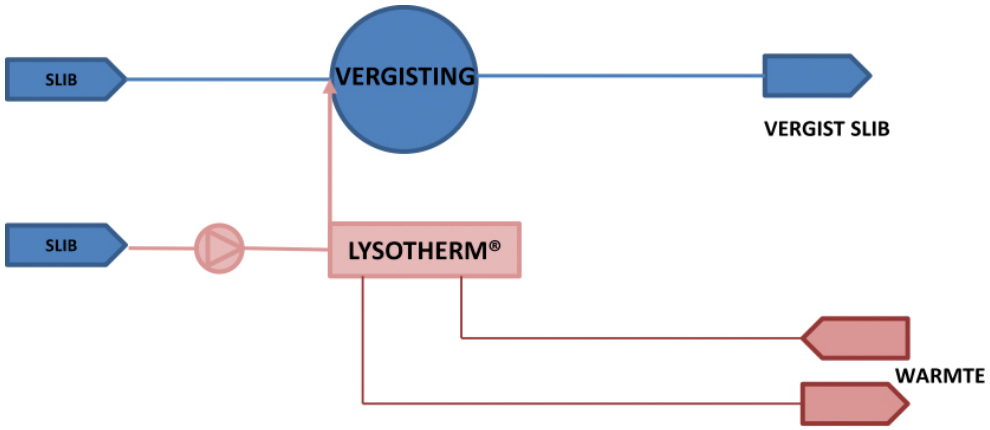


Impressie opengewerkte Lysotherm®-modules

Procesconfiguraties voor Lysotherm®

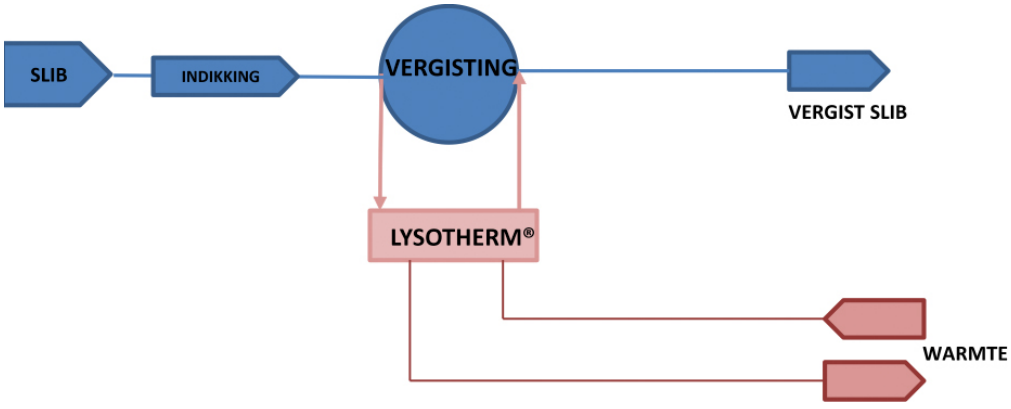
In vergelijking met secundair slib levert primair slib hogere biogasopbrengsten bij lagere hydraulische verblijftijd in de vergisting. Slibhydrolyse is vooral effectief voor de behandeling van secundair slib (de reststof uit de biologische behandeling van afvalwater). Slibhydrolyse op secundair slib vermindert de minimale hydraulische verblijftijd voor de vergisting, verhoogt de

biogas-opbrengst en verbetert de ontwateringseigenschappen. Lysotherm® kan flexibel in primaire hydrolyse of in loop-hydrolyse worden ingezet. In beide configuraties is de voeding naar de vergisting in de range van 6-13% ds. Bij Lysotherm® primaire hydrolyse wordt secundair slib gehydrolyseerd voorafgaande aan de vergisting, volgens onderstaand processchema (afbeelding 5). De drogestofconcentratie in de invoer naar Lysotherm® bedraagt gemiddeld 6%.



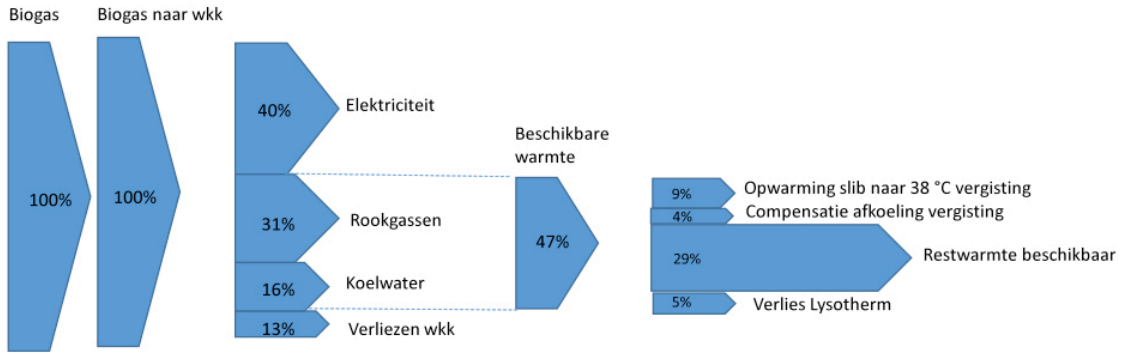
Afbeelding *5. Flowschema Lysotherm® primaire hydrolyse*

De loop-hydrolyse (gepatenteerd) geeft de mogelijkheid het benodigde vergistingsvolume te reduceren door indikking van het aangevoerde slib. De vergisting wordt hierbij direct gevoed met ingedikt slib, de Lysotherm® wordt gevoed vanuit de gistingstank. Het drogestofgehalte van de voeding naar de vergisting bedraagt gemiddeld max. 13% ds. De maximale drogestof-concentratie in de voeding wordt vooral bepaald door het maximum toelaatbare ammoniumgehalte in de vergisting en niet door de viscositeit in de vergisting. Immers het effect van de afbraak in de gisting en het effect van de slibhydrolyse verlaagt het drogestof-gehalte en de viscositeit van het slib in de gisting. De voeding vanuit de gisting naar de Lysotherm® is dan ook laag visceus met een drogestof gehalte van gemiddeld 6-7%. Schematisch is de loop-hydrolyse als geschetst in afbeelding 6.



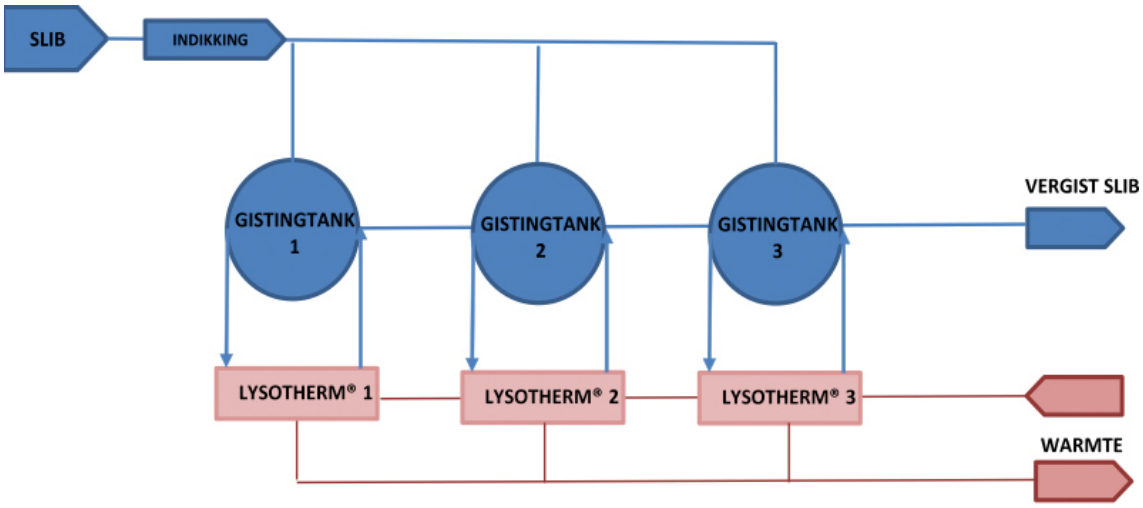
Afbeelding 6. Flowschema Lysotherm®-loop hydrolyse

In afbeelding 7 is een gemiddeld energieschema weergegeven voor een Lysotherm®-unit in een loophydrolyse-configuratie. De waardes zijn geschaald op 1 unit waarbij de biogasproductie hiervan op 100%$ is gesteld. Uitgegaan is van een mengsel van primair en secundair slib met een specifieke biogasproductie van 525 Nm^3/ton ods-invoer. Uit het schema blijkt duidelijk de effectiviteit van de interne warmteterugwinning in een Lysotherm®-module.



Afbeelding 7. Energiediagram één Lysotherm®-loop hydrolyse

Voor het project Omzet.Amersfoort (waarin waterschap Vallei en Veluwe de rioolwater-zuiveringsinstallatie in Amersfoort ombouwt tot een 'fabriek' die energie en grondstoffen produceert) wordt loop-hydrolyse toegepast. Drie bestaande vergistingstanks worden uitgerust met elk een Lysotherm®-module (afbeelding 8). Deze modulaire opzet verhoogt de beschikbaarheid van de sliblijn; het hydrolyseproces is immers niet afhankelijk van één unit.

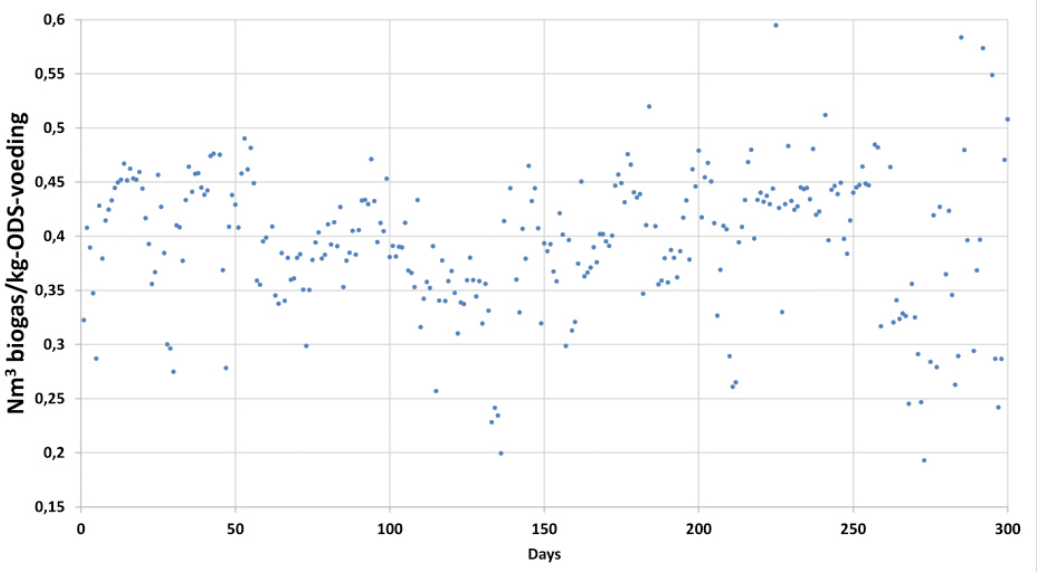


Afbeelding 8. Flowschema Lysotherm®-loophydrolyse Omzet.Amersfoort

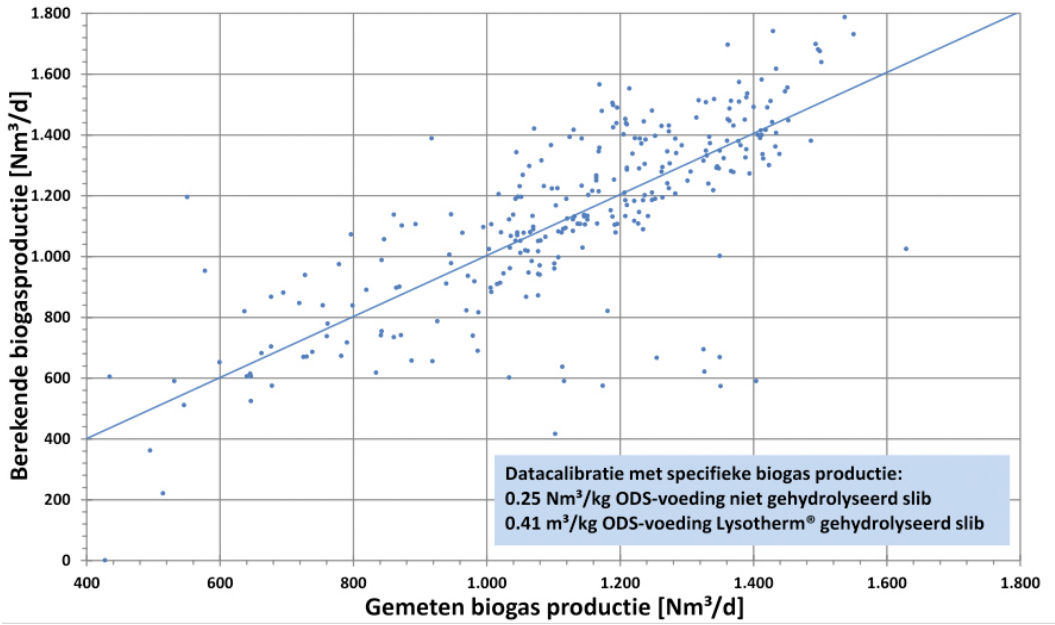
Prestaties van Lysotherm®: 5 jaar ervaring

De operationele resultaten van Lysotherm® zijn gebaseerd op 5 jaar ervaring op praktijkschaal, ondersteund met laboratoriumtesten. De cijfers laten zien dat bij een gemiddelde verblijftijd van 15 dagen de organischedrogestof(ods)-afbraak van gehydrolyseerd secundair slib gemiddeld 55% bedraagt. Dit geldt zowel voor primaire als secundaire hydrolyse.

Uiteraard hangt de biogasproductie direct samen met de afbraak van organische stof. De specifieke biogasopbrengst uit secundair slib stijgt door Lysotherm® van circa 0,25 m^3 naar circa 0,40 m^3 biogas per kg ODS-invoer (afbeelding 9).
De fluctuaties worden veroorzaakt door variatie in de ratio van directe voeding naar de gisting en voeding via de Lysotherm®. De data uit afbeelding 9 omvatten een periode van 10 maanden. De biogasproductie correleert met de organischestof-afbraak. De organischestof-balans over de gisting klopt met de biogasproductie en met de drogestof-balans. De correlatie met de actuele gemeten biogasproductie is in afbeelding 10 weergegeven. De gemeten biogasproductie komt overeen met de berekende biogasproductie, uitgaande van een specifieke productie van 0,40 m^3 biogas per kg ods-invoer voor Lysotherm® gehydrolyseerd slib.



Afbeelding 9. Daggemiddelde specifieke biogasproductie gehydrolyseerd secundair slib



Afbeelding 10. Correlatie tussen gemeten en berekende biogasproductie

De praktijkschaal-ervaringen laten ook zien dat met Lysocontrol™ en Lysoclean™ stabiele en onderhoudsarme bedrijfsvoering mogelijk is. Met reguliere camera-inspectie van de binnenzijde van de warmtewisselaarbuizen is de operationele effectiviteit bevestigd.

Deze slibhydrolysetechniek levert niet alleen reductie van de slibhoeveelheid op en extra biogasproductie, ook de ontwatering wordt verbeterd. Gemiddeld wordt het drogestofgehalte van het ontwaterde slib met 3-5 procentpunten verhoogd (bijvoorbeeld van 25% naar 30%). Het polymeerverbruik vermindert met circa 10%. Vastgesteld is ook dat het loont om de keuze van polymeer te herzien bij introductie van het systeem, om een optimale reductie van polymeerverbruik en verbetering van de ontwatering te bewerkstelligen.

Resultaten van ontwatering (10-15 m^3/h capaciteit) van gehydrolyseerd slib en van een 50/50 mengsel van gehydrolyseerd en primair slib zijn in tabel 4 weergegeven.

Tabel 4. Resultaten van ontwatering (10-15 m^3/h capaciteit) van gehydrolyseerd slib en van een 50/50 mengsel van gehydrolyseerd en primair slib

	Droge stof ontwaterd slib (%)	Specifiek polymeerverbruik (gram/kg-ds)
Gehydrolyseerd secundair slib	25,5	16,0
Mengsel secundair & primair slib (50/50)	27,9 29,7 31,7	9,1 11,3 14,1

Tabel 5. De belangrijkste operationele prestaties van Lysotherm®

Organischestofreductie secundair slib	50-60 %
Toename biogasproductie uit secundair slib	Van 0,25 naar 0,40 Nm^3/kg ods-voeding
Verbetering ontwatering	3-5 procentpunten
Reductie polymeerverbruik	Gemiddeld ca. 10 %
Biologische verblijftijd	>12 dagen
Drogestof voeding naar de vergisting	6-13 % ds

Literatuur

1. Verkenning thermische slibontsluiting, STOWA, 2011-W03.
2. Merry, J. and Oliver B. (2014). A comparison of real advanced digestion plant performance. 19th European Biosolids Conference, Manchester.
3. Edgington R.M., et al. (2014). Thermal hydrolysis at Davyhulme Wastewater Treatment Works, one year on. United Utilities, 19 th European Biosolids Conference, Manchester.