

stowa

ECONOMISCHE HAALBAARHEID VAN VERGASSING VAN ZUIVERINGSSLIB VOOR DE NEDERLANDSE SITUATIE



RAPPORT

2013
15

ECONOMISCHE HAALBAARHEID VAN VERGASSING VAN ZUIVERINGSSLIB
VOOR DE NEDERLANDSE SITUATIE

RAPPORT

2013

15

ISBN 978.90.5773.602.5



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING

Berend Reitsma (Tauw)
Joost van den Bulk (Tauw)
Mariken van der Giessen (HoSt)
Melvin Elizen (HoSt)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Ruud van Dalen (Waterschap Vallei en Veluwe)
Charlotte van Erp Taalman Kip (Waterschap Hollandse Delta)
Elbert Majoor (Waterschap Vechtstromen)
Tonny Oosterhoff (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)
Ruud Peeters (De Energiefabriek)
Jos Reijnders (AgentschapNL)
Wim Rulkens (Wageningen University Research)
Ruud Schemen (De Energiefabriek)
Luc Sijstermans (Slibverwerking Noord Brabant)
Cora Uijterlinde (STOWA)
Inge van der Velde (Waterschap Reest en Wieden)
Johan Wentink (Horizon Solutions)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2013 15
ISBN 978.90.5773.602.5

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

AFKORTINGEN

BEES	Besluit Emissie Eisen Stookinstallaties
BEMS	Besluit Emissie-eisen Middelgrote Stookinstallaties (op 1 januari 2013 is het BEMS vervallen. Deze emissie eisen zijn nu onderdeel van het activiteitenbesluit hoofdstuk 3.2. De eisen zijn gelijk gebleven). In deze rapportage wordt over BEMS gesproken, omdat er geen vervangende term is.
BFB	Bubbling wervelbed
BVA	Besluit Verbranden Afvalstoffen (op 1 januari 2013 is het BVA vervallen. Deze emissie eisen zijn nu onderdeel van het activiteitenbesluit hoofdstuk 5.1 en 5.2. De eisen zijn gelijk gebleven). In deze rapportage wordt over BVA gesproken, omdat er geen vervangende term is.
OLGA	Gaswasser met olie
WET ESP	Wet Electrostatic Precipitator
CFB	Circulerend wervelbed
Produktgas	Gas wat geproduceerd wordt bij lage temperatuur vergassing (tussen de 700 en 1000 °C) en wat relatief veel verontreinigingen bevat
Synthesegas	(= syngas) Relatief schoon gas wat geproduceerd wordt bij hoge temperatuur vergassing (boven de 1300 °C)

SAMENVATTING

In deze STOWA rapportage wordt de haalbaarheid beschreven van (mono)vergassing van zuiveringsslib na droging op de schaal van een middelgrote tot een grote rwzi (binnen het hek van de rwzi). Daarbij wordt maximale energieintegratie met de overige rwzi onderdelen nagestreefd. Het onderzoeken van deze techniek past in de actuele ontwikkelingen in Nederland met betrekking tot de ombouw van diverse rwzi's tot Energiefabriek, waarbij centralisatie van de slibverwerking, thermische drukhydrolyse en maximale uitlevering van stroom en/of groen gas wordt nagestreefd, inclusief optimale benutting van de warmte. Hierbij wordt tevens voor een deel van het Nederlandse slib gezocht naar nieuwe duurzame routes voor slibeindverwerking met toepassing van (relatief) laagwaardige restwarmte. Deze studie naar de economische haalbaarheid is onderdeel van het onderzoeksprogramma dat in het kader van de Green Deal tussen Waterschappen, het Ministerie van Economische Zaken en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu is opgesteld.

Bij vergassen wordt in feite de verbranding van slib gesplitst in een "verassingsfase", met ondermaat zuurstof, waarin productgas (CO en H_2) wordt geproduceerd en een fase waarin het productgas wordt omgezet door verbranding (in gasketel of gasmotor). In vergelijking met monoverbranding, kunnen deze stappen apart wordt geoptimaliseerd qua condities, zoals optimalisatie askwaliteit, kleinere rookgasreiniging, optimale procestemperaturen, waardoor theoretisch hogere energierendementen dan bij verbranding in één stap kunnen worden gehaald. Vooral het toepassen van gasmotoren met een hoge verbrandingstemperatuur levert een hoger energierendement op (principe van Carnot rendement).

Uit een referentieonderzoek en werkbezoek in Duitsland is naar voren gekomen dat er wereldwijd veel vergassers in gebruik zijn, maar slechts een drietal voor zuiveringsslib. Twee daarvan bevinden zich in Duitsland. De reden dat slibvergassing moeilijk van de grond komt, heeft te maken met de grote hoeveelheid water in slib, waardoor eerst gedroogd moet worden en de samenstelling van slib met betrekking tot de emissies. De installatie van Kopf in Mannheim is bezocht. Hoewel de installatie er professioneel uitzag, zijn er nog weinig draaiuren geweest, door diverse storingen van randapparatuur (oa gasdetectie). Bij deze installatie in Duitsland gelden er voor de verbranding van het produktgas soepele emissie-eisen (BEMS¹). Het is de vraag of deze soepele eisen in Nederland zullen gaan gelden. De emissies naar de lucht zijn niet exact bekend, maar bevatten ten opzichte van verbranden o.a meer CO en C_xH_y . Het ligt voor de hand dat qua regelgeving net als bij verbranden de BVA² gehanteerd moet worden. Hierbij zijn de kosten voor de rookgasreiniging aanzienlijk en is het toepassen van gasmotoren voor de verbranding van produktgas zelfs niet mogelijk doordat een fors deel van de C_xH_y door de gasmotoren heen gaat, terwijl juist deze gasmotoren het hoogste energierendement opleveren. Voor Nederland is het op dit moment een milieujuridische vraag of BEMS toepasbaar is of BVA. Gasmotoren met BEMS leveren een hoger energierendement en dus meer vermeden CO_2 , maar ook weer meer emissies naar de lucht. Is slib wat niet van het terrein afkomt wel of geen afvalstof. Deze discussie is op dit moment een leemte in kennis.

- 1 Besluit Emissie-eisen Middelgrote Stookinstallaties (op 1 januari 2013 is het BEMS vervallen. Deze emissie eisen zijn nu onderdeel van het activiteitenbesluit hoofdstuk 3.2. De eisen zijn gelijk gebleven). In deze rapportage wordt over BEMS gesproken, omdat er geen vervangende term is.
- 2 Besluit Verbranden Afvalstoffen (op 1 januari 2013 is het BVA vervallen. Deze emissie eisen zijn nu onderdeel van het activiteitenbesluit hoofdstuk 5.1 en 5.2. De eisen zijn gelijk gebleven). In deze rapportage wordt over BVA gesproken, omdat er geen vervangende term is

In de onderhavige haalbaarheidstudie zijn voor de schaal van de rwzi Nieuwegein (7.000 ton ds slib/jaar) en de schaal van Utrecht (18.000 ton ds slib/jaar) een aantal varianten kwantitatief met stof en energiebalansen doorgerekend (op basis van praktijkervaring en rekenmodellen). Hierbij wordt in alle gevallen het slib eerst gedroogd tot 85 % droge stof met de warmte uit de stoomketel en/of de gasmotor van de slibvergasser. De investeringen en jaarlijkse kosten zijn in beeld gebracht. Hierbij is ervan uitgegaan dat de geproduceerde elektriciteit voor een goede prijs kan worden teruggeleverd aan het elektriciteitsnet, voor eigen gebruik op andere locaties. Varianten zonder gisting en TDH vallen af, wegens het grote tekort aan warmte. Daarbij moet veel aardgas worden ingekocht. Bij aanwezigheid van (goedkope) restwarmte zouden deze opties nog wel mogelijk zijn. De investeringskosten van de variant met TDH zijn slechts circa 10 % hoger dan van de variant met gisting zonder TDH. De exploitatiekosten van deze variant met TDH zijn fors lager dan de variant zonder TDH, voornamelijk door de waarde van de extra opgewekte elektriciteit. Uit een gevoeligheidsanalyse blijkt dat de energieprijzen, het ds gehalte van de slibontwatering, het type TDH, de hoeveelheid chemisch P, de asafzet en de bouwrente maar een kleine rol spelen. Vooral de schaalgrootte heeft veel invloed. Daarom is naast de schaal Nieuwegein ook uitgebreid gekeken naar de schaal van de rwzi Utrecht. Daarbij is ook ter vergelijking monoverbranden op diezelfde schaal, binnen het hek van de rwzi in de beschouwing meegenomen.

De economische haalbaarheid van slibvergassing wordt uiteindelijk bepaald door de tarieven voor slibeindverwerking te vergelijken met de huidige en toekomstige tarieven voor centrale monoverbranding in Nederland. De huidige markttarieven voor centrale monoverbranding liggen tussen de 70 en 80 euro per ton koek (inclusief transport en BTW). In het algemeen wordt verwacht dat door overcapaciteit in de slib- (en afvalstoffen)verwerkingsmarkt de tarieven zullen gaan dalen. Daarbij worden minimum prijzen genoemd van 50-60 euro per ton koek. Aan de andere kant kan niet worden uitgesloten dat door verplichting in Duitsland om fosfaat terug te winnen, er in West-Europa een tekort aan verwerkingscapaciteit komt. Voornamelijk wordt uitgegaan van een daling. Op de schaal Nieuwegein komen we met slibvergassen uit op slibverwerkingstarieven boven de 100 euro/ton koek (inclusief alles) en is daarmee dus economisch nu en in de toekomst niet haalbaar. Op schaal Utrecht komen we uit op circa 59 euro per ton koek (inclusief alles). Daarmee is slibvergassen nu dus wel haalbaar, maar is het de vraag of dit in de toekomst ook nog zo is. Stel dat rekening gehouden moet worden met de extra kosten van de worst case uit de gevoeligheidsanalyse van 38 % komt het tarief uit op 81 euro/ton koek. In dat geval is decentrale vergassing of monoverbranding nu en in de toekomst niet concurrerend met andere verwerkingsroutes. Qua duurzaamheid heeft het decentraal vergassen (of verbranden) ten opzichte van centrale monoverbranding het voordeel dat er minder transport nodig is en dat er minder warmte verloren gaat (met name doordat gedroogd wordt tot 85 % in plaats van de 40 % die bij centrale monoverbranding gehanteerd wordt).

Monovergassen op rwzi schaal heeft in ieder geval geen kostenvoordeel ten opzichte van monoverbranden op rwzi schaal. De vraag komt dan op of decentrale slibvergassen nog voldoende voordelen biedt ten opzichte van (decentraal) monoverbranden om daarvoor de risico's te nemen die aan een dergelijke nieuwe techniek kleven. Ten opzichte van monoverbranden op rwzi schaal heeft monovergassen met toepassing van een stoomketel geen specifieke duurzaamheidsvoordelen. Vergassen met een gasmotor heeft wel een duurzaamheidsvoordeel qua vermeden CO₂ door de grotere elektriciteitsproductie. Daarbij moet wel vermeld worden dat er in de totale balans warmtetekort is. Bij inkoop van restwarmte scoort deze variant goed qua vermeden CO₂. Daarbij geldt echter wel de discussie hoe om te

gaan met de emissies aan C_xH_y en de vraag of het sowieso mogelijk is een vergunning voor de luchtemissie te krijgen. Dit is ook een leemte in kennis.

De vraag is nu of het zinvol is om door te gaan met onderzoek naar slibvergassing. Er hoeft niet voor een "onzekere" technologie gekozen te worden. Verbranding (bekende techniek) op rwzi schaal lijkt ook goed mogelijk. Verbranding zou eigenlijk mede overwogen moeten worden in een eventueel vervolg traject. Stel dat er voor gekozen wordt om toch door te gaan met onderzoek naar slibvergassing, wordt het volgende aanbevolen: onderzoeken van de milieujuridische kant van de emissies naar lucht versus de duurzaamheidswinst van de toepassing van produktgasmotoren. Daarnaast is pilot of praktijkonderzoek (op kleine schaal) in Nederland zeker nodig alvorens een full scale installatie qua grootte van Utrecht kan worden gerealiseerd. De ontwikkelingen in Duitsland volgen/afwachten is ook een mogelijkheid. Verder moet nader onderzoek plaatsvinden naar een aantal leemten in kennis, die bij een verdere ontwikkeling van slibvergassing van belang zijn: hoe goed is de fosfor uit de as te halen (is er verschil in gedrag tussen de as van vergassing en verbranding), in hoeverre is de extra koolstof in de as een nadeel in de toepassing van de as als bron voor fosforterugwinning, hoe staat het met het uitlooggedrag van de as van slibvergassing en is de vorming van dioxines zo laag als men verwacht.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstututen en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

ECONOMISCHE HAALBAARHEID VAN VERGASSING VAN ZUIVERINGSSLIB VOOR DE NEDERLANDSE SITUATIE

INHOUD

1	INLEIDING	1
2	DE THEORIE ACHTER SLIBVERGASSING	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Produktgas en syngas	3
2.3	Typen vergassers	3
2.4	Slib als brandstof voor de vergasser	4
3	REFERENTIE ONDERZOEK	6
3.1	Inleiding	6
3.2	Literatuuronderzoek	6
3.2.1	Inleiding	6
3.2.2	Potentiële en bekende leveranciers slibvergassers	6
3.2.3	Uitkomsten literatuuronderzoek	7
3.3	Werkbezoek slibvergasser Mannheim	8
3.3.1	Inleiding	8
3.3.2	Beschrijving installatie	8
3.3.3	Uitkomsten werkbezoek	10
3.4	Conclusies referentie onderzoek en werkbezoek	11
4	TECHNISCHE UITWERKING EN BALANSEN	12
4.1	Inleiding	12
4.2	Schaalgrootte en varianten	12
4.3	Algemene uitgangspunten	13
4.4	Procesbeschrijving en procesgerelateerde uitgangspunten	14
4.4.1	Inleiding	14
4.4.2	Thermische drukhydrolyse	15
4.4.3	Slibgisting	15
4.4.4	Slibontwatering	16
4.4.5	Slibdroging	16
4.4.6	Slibvergassing	17
4.4.7	Verbranden van produktgas voor elektriciteitopwekking (Carnot rendement)	17

	4.4.8	Stoomketel en stoomcyclus	18
	4.4.9	Rookgasreiniging na ketel	19
	4.4.10	Gasmotor	19
	4.4.11	Rookgasreiniging voor de gasmotor	20
	4.4.12	Rookgasreiniging na de gasmotor	20
4.5		Massa- en energiebalansen	21
	4.5.1	Inleiding	21
	4.5.2	Energiebalans stoomcyclus	21
	4.5.3	Energiebalans produktgasmotor	22
4.6		Discussie	23
5		BUSINESSCASES	24
	5.1	Inleiding	24
	5.2	Uit te werken varianten	24
	5.3	Uitgangspunten	25
	5.4	Investerings- en exploitatiekosten	26
	5.4.1	Investeringskosten	26
	5.4.2	Exploitatiekosten	26
	5.5	Gevoeligheidsanalyse	28
	5.5.1	Inleiding	28
	5.5.2	Gevoeligheidsanalyse voor parameters met beperkt effect	29
	5.5.3	Gevoeligheid voor schaalgrootte	30
	5.5.4	Gevoeligheidsanalyse 20% hogere investeringskosten	33
	5.5.5	Gevoeligheidsanalyse energieprijis	35
	5.5.6	Vergelijking vergassing met kleinschalige monoverbranding	35
	5.6	Vergelijking van slibvergassing met marktprijs voor slibeindverwerking	37
	5.7	Conclusies	39
6		REGELGEVING EN EMISSIES NAAR LUCHT	41
	6.1	Inleiding	41
	6.2	Regelgeving in Europa en Nederland	41
	6.3	De praktijk in Duitsland	42
	6.4	Verwachte situatie in Nederland	42
	6.5	Emissie-eisen BVA en BEMS (in Nederland)	43
	6.6	Bekende en verwachte Emissies slibvergassing	44
	6.7	Discussie en conclusies	44
7		DUURZAAMHEID	45
	7.1	Inleiding	45
	7.2	Energiebalans en vermeden CO ₂ van 5 varianten	45
	7.3	Discussie en conclusies duurzaamheid versus emissies naar de lucht	47
8		DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	49
	8.1	Discussie vergassing van zuiveringsslib op rwzi schaal	49
	8.1.1	Haalbaarheidsstudie vergassing zuiveringsslib op kleine schaal: waarom ?	49
	8.1.2	Onderscheid vergassen en verbranden van zuiveringsslib	49
	8.1.3	Referentieonderzoek slibvergassen	50
	8.1.4	Locatiebezoek	50
	8.1.5	Emissies naar de lucht	50
	8.1.6	Massa- en energiebalansen van drie varianten	51
	8.1.7	Businesscases varianten	51
	8.1.8	Gevoeligheidsanalyse schaalgrootte Utrecht en verbranden	52

8.1.9	Slibverwerkingstarieven en vergelijken met grootschalige slibverbranding	52
8.1.10	Duurzaamheid slibvergassen ten opzichte van alternatieven	53
8.1.11	Vergassen of verbranden, lokaal of centraal?	53
8.2	Conclusies	54
8.3	Leemten in kennis	56
8.4	Aanbevelingen	59
9	LITERATUUR	58
	BIJLAGE(N)	
1	Verschillende typen vergassers	59
2	Potentiële leveranciers slibvergassers	60
3	Literatuuronderzoek	62
4	Vergelijking vergassen en verbranden	64
5	Werkbezoek Kopf, Mannheim	66
6	Antwoorden op vragen Kopf	69
7	Uitwerking overige aspecten	72
8	Massa- en energie balansen en PFD's van de verschillende varianten	74
9	Emissie-eisen BVA	85

1

INLEIDING

ACHTERGRONDEN

In de wereld van de behandeling van stedelijk afvalwater en slibeindverwerking zijn er de laatste jaren verschillende belangrijke ontwikkelingen. De komende jaren worden er in Nederland diverse rwzi's omgebouwd tot Energiefabriek. Een aantal daarvan worden ook grondstoffenfabriek, waarbij fosfaat en mogelijk andere producten worden teruggewonnen. Bij deze energie- en/of grondstoffenfabrieken wordt centraal slib verwerkt. Dit slib wordt vergist. Voorafgaand aan de gisting vindt (eventueel) een thermische druk hydrolyse plaats, waardoor de vergistbaarheid van dit slib verbetert, een hoger droge stof gehalte bij ontwatering kan worden bereikt en er meer biogas wordt geproduceerd. Er komt ook steeds meer aandacht voor een optimale energie (warmte) integratie op de rwzi locatie. Lokaal verder verwerken van slib dan alleen ontwateren, lijkt kansrijk.

Naast de ontwikkelingen van de energie- en grondstoffenfabrieken verandert in sommige delen van het land ook de slibeindverwerking. Vooral in Noord en Oost Nederland lopen de komende jaren de slibcontracten af. Daardoor komen nieuwe (duurzame) methoden voor slibeindverwerking in beeld. Centraal hierbij staat het drogen van slib met (relatief) laagwaardige restwarmte. Dit gedroogde slib is een secundaire brandstof met fosfaat. Om fosfaat terug te winnen is coverbranding van dit granulaat in kolencentrales of afval verbrandingsinstallaties (AVI's) op de lange termijn geen goede oplossing. Monoverbranding of -monovergassing lijkt dan een betere oplossing omdat daarmee de in het slib aanwezige energie maximaal nuttig wordt aangewend en dat de nutriënten kunnen worden teruggewonnen.

INTEGRALE BENADERING VAN DE ENERGIESTROMEN

Monoverbranding of monovergassing op kleine schaal op de rwzi locatie met slibcentralisatie geeft veel kansen tot optimalisatie van de energieintegratie. De lokaal bij verbranding of vergassing vrijkomende energie kan bijvoorbeeld worden gebruikt om slib te drogen en om slib voor te bewerken door middel van thermische druk hydrolyse (TDH). Er wordt weinig energie (warmte) verspild en tegelijkertijd wordt er biogas, groen gas of stroom geproduceerd voor de rwzi zelf of andere installaties van het waterschap (of derden). Er wordt bespaard op transportbewegingen en de as kan worden afgevoerd naar een verwerker om de fosfaat uit terug te winnen. De aanwezigheid van restwarmte kan bijvoorbeeld de keuze van een configuratie bepalen.

SLIBEINDVERWERKING OP KLEINE SCHAAL: MONOVERBRANDEN OF MONOVERGASSEN

Slibeindverwerking op kleine rwzi schaal lijkt kansrijk voor de nabije toekomst. Monoverbranding en monovergassing zijn daarvoor in beeld als technieken die op korte termijn (tot 5 jaar) realiseerbaar zijn. Monoverbranden van zuiveringsslib gebeurt al geruime tijd op grote schaal (SNB, HVC) en is daarmee een bekende techniek. Vergassen van slib is echter nog een relatief onbekende techniek en daarom is de potentiële meerwaarde het onderzoeken waard.

VERGASSEN VAN ZUIVERINGSSLIB

Vergassen is een techniek die (wereldwijd) al geruime tijd bestaat, maar waarmee met zuiveringslib als mogelijke slibeindverwerking in Nederland (bijna) geen ervaringen beschikbaar zijn. In de literatuur zijn van andere producten vele voorbeelden van vergassing te vinden (honderden). Het betreft hierbij vooral kolenvergassing, maar ook van andere organische stoffen zoals hout en kippenmest. Zuiveringslib komt maar weinig aan de orde, op een paar plaatsen. Er zijn enkele referenties in Duitsland.

Wat zijn in hoofdlijnen de voordelen van vergassing ten opzichte van verbranding? Vergassing biedt potentieel mogelijkheden om te komen tot een hoger energierendement. Het geproduceerde produktgas kan in een gasmotor of ketel worden verbrand op een hogere temperatuur en levert daarmee warmte op een hoger temperatuurniveau. Daarnaast is het theoretisch mogelijk om het in de vergasser geproduceerde produktgas als grondstof te gebruiken voor de productie van chemicaliën en andere brandstoffen. Vergassen heeft verder als voordeel dat er minder rookgassen ontstaan (kleiner gasdebiet), waardoor de kosten van de rookgasreiniging lager zijn.

Echter, het vergassen van slib is complexer dan verbranden, de gassen CO en H₂ zijn moeilijker te hanteren (qua veiligheid) en er zijn nog weinig praktijkreferenties beschikbaar. Om die reden is het belangrijk om de techniek van vergassing verder te onderzoeken. Voor die fase ingaat, moet eerst de economische haalbaarheid worden bepaald of deze techniek in combinatie met de centrale energiefabriek als slibeindverwerking überhaupt kansrijk is.

ONDERZOEKSPROGRAMMA GREEN DEAL

Als onderdeel van de afspraken in het kader van de Green Deal tussen Waterschappen en het ministerie van EL&I is een onderzoeksprogramma opgesteld gericht op het implementeren van nieuwe ontwikkelingen die de energie efficiëntie bij de verwerking van afvalwater kunnen verbeteren. Daarbij wordt gekeken naar superkritische vergassing en oxidatie en naar conventionele vergassing. De studie naar conventionele vergassing is gesplitst in 2 fasen: onderzoek naar de economische haalbaarheid in combinatie met TDH, en daarnaast een onderzoek op pilot plant/praktijkschaal. In de onderhavige rapportage wordt fase 1, vaststellen van de economische haalbaarheid omschreven.

LEESWIJZER

In de inleiding is het kader van het project slibvergassing omschreven. In hoofdstuk 2 volgt de theorie achter slibvergassing waarna in hoofdstuk 3 een uitgebreide samenvatting van het referentieonderzoek en het werkbezoek in Duitsland gegeven wordt. De volledige resultaten zijn weergegeven in bijlage 5. In hoofdstuk 4 volgt een beschrijving van de varianten die in dit onderzoek uitgewerkt zijn. Van deze varianten zijn massa- en energiebalansen opgesteld. Aan de hand van de resultaten van de massa- en energiebalans is bepaald welke varianten er verder uitgewerkt zijn in de businesscase. In hoofdstuk 5 zijn van de meest kansrijke varianten de exploitatiekosten bepaald. Door middel van een gevoeligheidsanalyse zijn ook de exploitatiekosten van een vergasser van een grotere schaal uitgewerkt. Tevens is in de gevoeligheidsanalyse ter vergelijking een variant met een kleinschalige monoverbrander voor slib meegenomen en is het effect van een variërende elektriciteitsprijs bepaald. Hoofdstuk 6 gaat in op de regelgeving en emissies naar lucht die van toepassing zijn voor slibvergassers waarna in hoofdstuk 7 de duurzaamheidsaspecten van vergassing belicht worden. Hoofdstuk 8 bevat de discussie, conclusies en aanbevelingen.

2

DE THEORIE ACHTER SLIBVERGASSING

2.1 INLEIDING

Het vergassingsproces is vergelijkbaar met het verbrandingsproces. Bij het verbrandingsproces wordt er voldoende zuurstof (in de vorm van lucht) toegevoegd om de brandstof volledig om te zetten in de verbrandingsproducten CO_2 en H_2O . Hierbij komt een grote hoeveelheid warmte vrij. Bij vergassing wordt er een ondermaat aan zuurstof toegevoegd. In plaats van de verbrandingsproducten ontstaat er een brandbaar gas en komt er minder warmte vrij. De hoeveelheid toegevoegde zuurstof (lucht) is zodanig dat er genoeg warmte wordt geproduceerd om de temperatuur in de vergasser te handhaven. De resterende energie uit de brandstof komt in de vergassingsproducten terecht.

2.2 PRODUKTGAS EN SYNGAS

De vergassingsproducten zijn produktgas, teer, kool en as. Het produktgas is het gewenste product van vergassing. Het gas bestaat voornamelijk uit N_2 , CO_2 , H_2O , CO , H_2 en koolwaterstoffen zoals CH_4 en C_xH_y . Bijproducten van vergassing zijn teer en kool. De vergassingstemperatuur bepaalt het type gas dat geproduceerd wordt tijdens de vergassing. Bij vergassingstemperaturen tussen de 700 en 1000 °C wordt de term produktgas gebruikt en bij vergassingstemperaturen boven de 1300 °C wordt synthese gas (ook syngas genoemd) verkregen. Syngas is een gasmengsel van hogere kwaliteit dan produktgas en bestaat voornamelijk uit CO en H_2 . Produktgas heeft een lagere kwaliteit en bevat meer vervuiling. Teer is een verzameling van koolwaterstoffen die bij afkoeling condenseren. Het geproduceerde teer zit in het produktgas. Kool is niet omgezette koolstof in de vaste fase. Kooldeeltjes blijven achter in de vergasser of worden afgescheiden met de as. Kool in de as kan mogelijk een probleem zijn als de kool voor een deel aanwezig is als PAK. De afzet van de as is door de aanwezigheid van kool een aandachtspunt³.

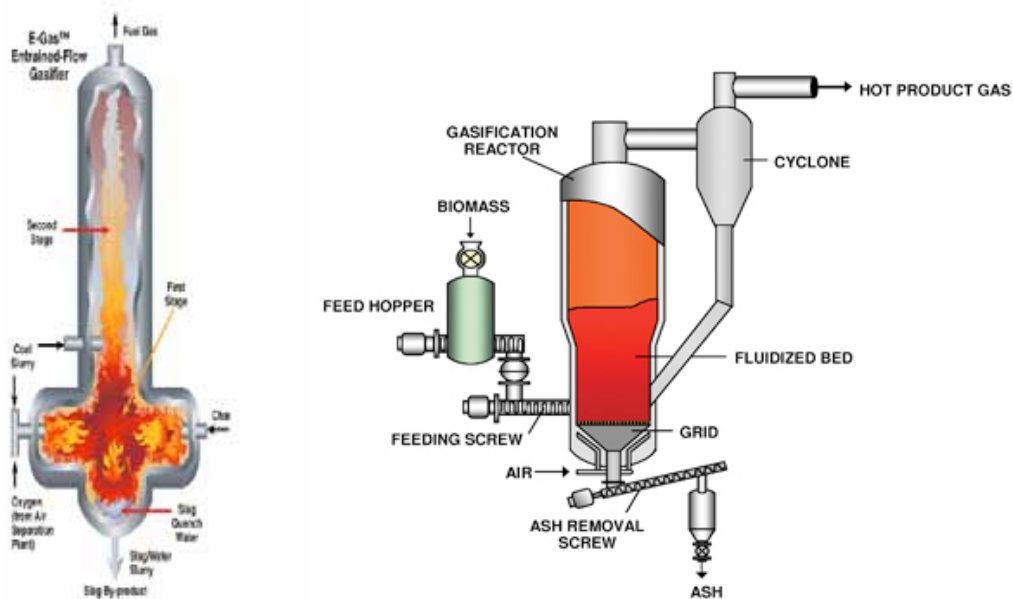
2.3 TYPEN VERGASSERS

Vergassing vindt over het algemeen plaats bij temperaturen van 700°C – 1600 °C (afhankelijk van het type vergasser). Bij temperaturen van 700 – 1.000 °C wordt gesproken over lage temperatuur vergassing. Bij temperaturen > 1.300°C spreekt men over hoge temperatuur vergassing. Er zijn veel verschillende typen vergassers. In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de verschillende typen vergassers. Enkele veel toegepaste vergasser types betreffen wervelbedvergassers en “entrained flow” vergassers (stofwolkvergassers). Bij wervelbedvergassers wordt er een onderscheid gemaakt tussen circulerend wervelbedvergassers (CFB) en bubbling wervelbedvergassers (BFB).

3 Navraag bij ICL Amsterdam heeft omgeleverd dat aanwezigheid van koolstof technisch geen belemmering voor toepassing hoeft te zijn, onzeker is of dit qua meststoffenwetgeving nog een rol zou kunnen spelen

FIGUUR 2.1

VOORBEELDEN VAN ENTRAINED FLOW VERGASSER VAN E-GAS (LINKS) EN BFB VERGASSER VAN ANDRITZ (RECHTS)



Wervelbedvergassers werken bij temperaturen tussen de 700 – 1000 °C (lage temperatuur vergassing). In een stofwolkvergasser wordt de brandstof bij een hoge temperatuur (1.300 – 1.600 °C) binnen enkele seconden omgezet in gas. Deze vergassers hebben meestal een grote schaalgrootte (honderden MW's) [6].

Vergassen heeft verschillende voordelen ten opzichte van verbranding. Eén van deze voordelen is dat het produktgas kan worden gescheiden van de inerte bestanddelen en de verontreinigingen in de as. Dit heeft als voordeel dat het produktgas vervolgens op een hogere temperatuur verbrand kan worden zonder het effect van smeltende as en met lagere rookgasemissies dan bij conventionele verbranding. Hoe hoger de temperatuur van de gasomzetting des te hoger het rendement (Carnot rendement). Bovendien ontstaat bij vergassing een kleinere hoeveelheid rookgas waardoor de rookgasbehandeling kleiner gedimensioneerd kan worden. Verbranding van produktgas is mogelijk in een gasmotor en met behulp van een produktgasbrander in een stoomketel. De verbranding van produktgas in een gasmotor levert het hoogste elektrische rendement (hoger dan de verbranding in een stoomketel).

2.4 SLIB ALS BRANDSTOF VOOR DE VERGASSER

In deze studie wordt slib als brandstof voor de vergasser toegepast. Het slib bestaat hoofdzakelijk uit water, organisch materiaal en een asrest. Het organische deel in het slib wordt grotendeels omgezet in brandbare gassen en levert de energetische waarde van het slib. Het as deel draagt niet bij aan de vergassingsreacties maar vraagt wel warmte voor opwarming tot de vergassingstemperatuur. Het aanwezige vocht onttrekt nog meer warmte omdat het allereerst verwarmd en daarna verdampt moet worden. De samenstelling van het slib, voordat het wordt vergast, is o.a. afhankelijk van in hoeverre het slib al vergist is in de eventueel voorafgaande vergisting. Hoe meer het slib vergist wordt hoe lager het organische gehalte in het slib na vergisting en dus hoe lager de verbrandingswaarde. Daarnaast is het van belang om een voldoende hoge stookwaarde te verkrijgen door het slib vooraf aan de vergassing te drogen. Het drogen van slib tot 85% droge stof levert over het algemeen een voldoende hoge kwaliteit produktgas op (het minimale droge stof gehalte van het ingaande

slib bedraagt 70%).

Slib met een relatief hoog as percentage (vergaand gemineraliseerd of simultane chemische P verwijdering) levert minder produktgas op en heeft een beperkt negatieve invloed op de hoeveelheid warmte die vereist is. Dit wordt veroorzaakt doordat een kleiner deel van het slib uit een organische fractie bestaat en omgezet kan worden (de calorische waarde van het slib neemt af). Slib met een relatief hoog vochtpercentage (gedroogd slib met een droge stof gehalte < 70%) levert minder produktgas op en heeft een grote invloed op de hoeveel warmte die vereist is. Dit wordt wederom veroorzaakt doordat een groter deel van de brandstof moet worden omgezet in warmte om het aanwezige vocht te verdampen.

Slib met weinig vocht en as levert dus meer (en hoogwaardiger) produktgas op dan slib met veel as en vocht. De begrenzing is in de praktijk de verbrandingswaarde van het geproduceerde produktgas. Als deze te laag wordt, kan het produktgas niet goed meer verbrand worden in een ketel of gasmotor. De ondergrens is in de praktijk een verbrandingswaarde van 4 MJ/Nm³ nat produktgas [praktijk Iberfer, HoSt]. De temperatuur in de vergasser is 850 – 900 °C wat gelijk is aan de temperatuur van slibverbranding. Bij deze temperatuur zijn er geen problemen met asafzettingen.

CIRCULEREND WERVELBED VERGASSER (CFB)

Het meest toegepaste concept van vergassing op middelgrote en kleine schaal (enkele MWth tot 100 MWth) is de wervelbed technologie [1]. Hierbij wordt vaak gebruik gemaakt van een circulerend zandbed (CFB). Het zandbed dient als warmtebuffer en voor optimale menging van brandstof en vergassingslucht. De lucht wordt van onderaf door het zandbed geblazen waardoor het bed fluidiseert. De brandstof wordt in het bed toegevoerd en optimaal gemengd in het zandbed. Door het toepassen van hoge gassnelheden wordt de menging en warmte overdracht geoptimaliseerd. Voordat het produktgas de CFB vergasser verlaat, wordt het meegevoerde zand gescheiden van het produktgas. Het zand wordt teruggevoerd naar de vergasser.

Na de vergasser wordt het produktgas afgekoeld in produktgas koelers. Hierbij blijft de temperatuur van het produktgas ruim boven de condensatietemperatuur van het aanwezige teer (> 400°C). De onttrokken warmte wordt gebruikt om de vergassingslucht voor te verwarmen om hiermee een optimale efficiëntie van de vergasser te bereiken. Het afgekoelde gas wordt door cyclonen geleid om kleine zanddeeltjes en as af te vangen. Het teer kan op verschillende manieren uit het produktgas worden verwijderd. Een mogelijkheid is om het produktgas door een bed te leiden met input materiaal van de vergasser waardoor het teer afgevangen wordt. Zware metalen worden uit het produktgas verwijderd door het actieve koolfilter⁴.

4 Er is nog wel discussie of een actieve koolfilter echt nodig is, er zijn ook signalen dat de Hg, Pb en Cd in de as achterblijven (leemte in kennis). In dit rapport is een actieve koolfilter wel opgenomen.

3

REFERENTIE ONDERZOEK

3.1 INLEIDING

Het referentie onderzoek bestaat uit een literatuuronderzoek en een werkbezoek (praktijkonderzoek). Het doel van het literatuuronderzoek was om meer inzicht te krijgen in de verschillende (slib)vergassingsprocessen en in de wereldwijde ervaringen met slibvergassers. Het tweede deel van het referentie onderzoek bespreekt de resultaten van een werkbezoek in Duitsland wat gedurende dit onderzoek uitgevoerd is. Tijdens dit werkbezoek is een slibvergassingsinstallatie in Mannheim (Duitsland) bezocht. De resultaten van het werkbezoek zijn in deze rapportage opgenomen.

3.2 LITERATUURONDERZOEK

3.2.1 INLEIDING

In het literatuuronderzoek is een inventarisatie gemaakt van de leveranciers van slibvergassers waarna er bepaald is welke slibvergassers ook daadwerkelijk gerealiseerd en in bedrijf zijn. In bijlage 3 is een samenvatting opgenomen van een aantal van de bronnen die voor dit literatuuronderzoek geïnventariseerd zijn.

3.2.2 POTENTIËLE EN BEKENDE LEVERANCIERS SLIBVERGASSERS

In deze fase van het onderzoek is er informatie verzameld over de bedrijven die biomassa vergassers gerealiseerd hebben.

Als eerste is er een selectie gemaakt van de bedrijven die in potentie een vergasser van zuiveringsslib gerealiseerd hebben. In bijlage 2 is een overzicht opgenomen van geïnventariseerde bedrijven. Op basis van aanvullend literatuuronderzoek en door contact op te nemen met de betreffende bedrijven is bepaald of er ook daadwerkelijk een vergasser gerealiseerd is en of deze op dit moment functioneert. Uit het literatuuronderzoek [1,2,3,4,5,6] is naar voren gekomen dat er mondiaal maar drie slibvergassers gerealiseerd zijn waarvan ook daadwerkelijk geïmplementeerd kon worden dat ze ook daadwerkelijk in bedrijf zijn (Tabel 3.1). Pilot installaties en uit bedrijf genomen vergassers zijn in deze tabel dus niet meegenomen.

TABEL 3.1 LEVERANCIERS VAN SLIBVERGASSERS

Aanbieder	Locatie en in bedrijf sinds	Type vergasser	Capaciteit (ton ds/jaar)	Capaciteit i.e. (à 150 gram TZV)
Maxwest (Amerika)	Sanford, Florida (2009)	Updraft vast bed	7.000	± 300.000 *
Kopf (Duitsland)	Mannheim (2010)	Stationary wervelbed	4.250	± 180.000 *
	Balingen (2003)	Stationary wervelbed	2.000	± 85.000 *
Tokyo Municipal Government (Japan)	Kyose Water Reclamation Center (2010)	wervelbed	-?	?
Kobelco (Japan)	Higashinada sewage treatment plant, Kobe	wervelbed	-?	?

* aantal i.e. globaal gerelateerd aan slib, ingeschat op basis van uitgangspunten hoofdstuk 4

Uiteindelijk kon alleen van Maxwest en Kopf worden geverifieerd dat ze slibvergassers hebben gerealiseerd die ook daadwerkelijk in bedrijf zijn. Van Maxwest is bijna geen informatie verkregen wegens vertrek van de deskundige medewerker. In de VS heeft het bedrijf CH₂m hill (global leader in full-service engineering, construction, and operations) 70 verschillende vergassers vergeleken. Uit de testen bleken de installaties van Mannheim en Balingen tot de drie besten te behoren. Een type slibvergasser zoals Mannheim en Balingen zou worden aangelegd in een gebied bij New York. Door een wisseling van management is het project uiteindelijk gecancelled [7]. Van de vergassers in Japan kon niet worden achterhaald of ze ook daadwerkelijk functioneren. Volgens [7] is het EBARA in Japan niet gelukt om de vergasser stabiel te laten draaien. Er zijn veel engineers mee bezig geweest en de pogingen zijn nu gestaakt.

Er zijn naast Kopf (en Maxwest, voor zover bekend) geen andere partijen die praktijkervaring hebben met vergassing van zuiveringsslib. Wel zijn er (nieuwe) partijen die pilot onderzoek doen aan slibvergassing. HoSt heeft ervaring met de uitvoering van pilot testen met de vergassing van slib. In samenwerking met ECN zijn verschillende testen uitgevoerd met de vergassing van slib in een CFB vergasser. De firma Thermo-System uit Duitsland is bezig met het ontwikkelen van een kleinschalige vergassingsinstallatie voor rwzi slib. Zij hebben (praktijk) ervaring met lage temperatuurodroging van zuiveringsslib in kassen en met banddrogers en doen pilot onderzoek naar een “totaal oplossing” van slibverwerking. Na de droging van het slib in kassen wordt het slib vergast, de warmte teruggevoerd naar de kassen en wordt de as afgevoerd om daar fosfaat uit terug te winnen. Eind 2013 gaan zij een slibvergasser op kleine schaal realiseren in Zuid-Duitsland. Zij betwisten niet de aantrekkelijkheid van vergassen op kleine schaal en de kansen P terug te winnen, wel zijn zij van mening dat de installatie van Kopf te ingewikkeld is en dat een ander systeemontwerp nodig is (subjectief aspect). Over deze pilot zijn nog geen gegevens bekend gemaakt. Warmte integratie lijkt daarbij minder aandacht te krijgen.

3.2.3 UITKOMSTEN LITERATUURONDERZOEK

Samengevat komen uit het literatuuronderzoek de volgende aspecten naar voren:

- Er zijn wereldwijd honderden vergassers in bedrijf, hoofdzakelijk voor kolen (grote schaal) en ook voor hout en kippemest (kleine schaal). Het voordeel van de vergassing van hout en kippemest is dat deze brandstoffen relatief droog zijn en er minder strenge emissie eisen gelden omdat dit geen afvalstoffen zijn. Met co-vergassing van rwzi slib in grote biomassa en/of kolenvergassers zijn positieve en negatieve ervaringen. Volgens de EPA studie worden de grootste bottlenecks veroorzaakt door de lange aanvoer afstanden (resultierend in hoge transportkosten) en de beperkte flexibiliteit van de grote vergassers. Er zijn maar drie vergassers voor alleen zuiveringsslib op praktijkschaal in bedrijf;
- Deze zijn van het type wervelbedvergasser (Kopf) of vastbedvergasser (Maxwest);
- het ingaande droge stof percentage van de slibvergassers bedraagt ca 85 – 95% ds;
- slibdroging wordt uitgevoerd met banddrogers (Balingen), drum droger (Mannheim) en schroefdroger (Sanford). De Huber banddroger is onderverdeeld in twee compartimenten om gebruik te kunnen maken van de twee warmtestromen die vrijkomen (WKK 90°C en stoomketel 140 °C). De drumdroger op de rwzi Mannheim wordt o.a. geleverd door Swiss Combi. Ontwaterd slib wordt gemengd met gedroogd slib (>90% ds) zodat een ingaande droge stof concentratie van 55 – 75% bereikt wordt. De uitgaande droge stof concentratie bedraagt meer dan 90%. In Sanford wordt een Therma-Flite schroefdroger toegepast waarmee een droge stof gehalte van 90% gerealiseerd wordt;
- verbranding van het produktgas in een ketel (stoomcyclus) heeft de voorkeur boven verbranding en elektriciteitsopwekking met gasmotoren (EPA studie, Kopf, Slibverwerking

Zeeland). Met name omdat de rookgassen beter verbranden en de emissies beter te beheersen zijn (bij gasmotoren gaat 1-3% van de brandstof onverbrand door de motor heen). Alleen in Balingen wordt zowel elektriciteit als warmte opgewekt;

- De mogelijkheden om de as af te zetten als bouwstof zijn onder andere afhankelijk van de uitloging van de metalen. Uit de as van slibverbranding logen metalen wel uit. Praktijktesten lijken er echter op te wijzen dat metalen uit vergassingsas niet uitlogen. Dit is nog een leemte in kennis waarover vervolgonderzoek uitsluitsel moet geven. Ook over de mogelijkheden om fosfaat terug te winnen uit de as van slibvergassing is nog te weinig bekend. Dit is dus ook een leemte in kennis en een aandachtspunt voor vervolgonderzoek.
- de rookgasemissie van het systeem in Sanford voldoet na een thermische naverbrander en een doekenfilter nog niet aan de lokale emissie eisen voor NOx;
- geen van de slibvergassers draait momenteel het aantal gewenste bedrijfsuren. Balingen zit op 5.000 uur/jaar, Sanford is recent geoptimaliseerd (geen uren bekend) en Mannheim zit met 1.000 operationele uren sinds 2012 nog in de opstart fase (het streven is 7.000 operationele uren per jaar);
- de capaciteit van de slibvergasser in Balingen is recent verdubbeld;
- de investeringskosten van Balingen bedroegen 3,5 miljoen EUR en die van Mannheim 12 miljoen EUR.

De belangrijkste conclusies die uit het referentie literatuuronderzoek getrokken kunnen worden is dat er mondiaal nog weinig ervaring is met slibvergassing op praktijkschaal. De partijen die een slibvergasser hebben staan zijn nog steeds aan het optimaliseren om het aantal bedrijfsuren te vergroten. Ook in een recent door het EPA uitgevoerd onderzoek wordt de conclusie getrokken dat slibvergassing weliswaar een kansrijke techniek is maar dat de hoeveelheid betrouwbare data nog steeds erg beperkt is [1].

Wegens de beperkte hoeveelheid beschikbare praktijkinformatie is besloten een werkbezoek te brengen aan de slibvergasser van Kopf in Mannheim (Duitsland). In de volgende paragraaf worden de resultaten van het werkbezoek beschreven.

3.3 WERKBEZOEK SLIBVERGASSER MANNHEIM

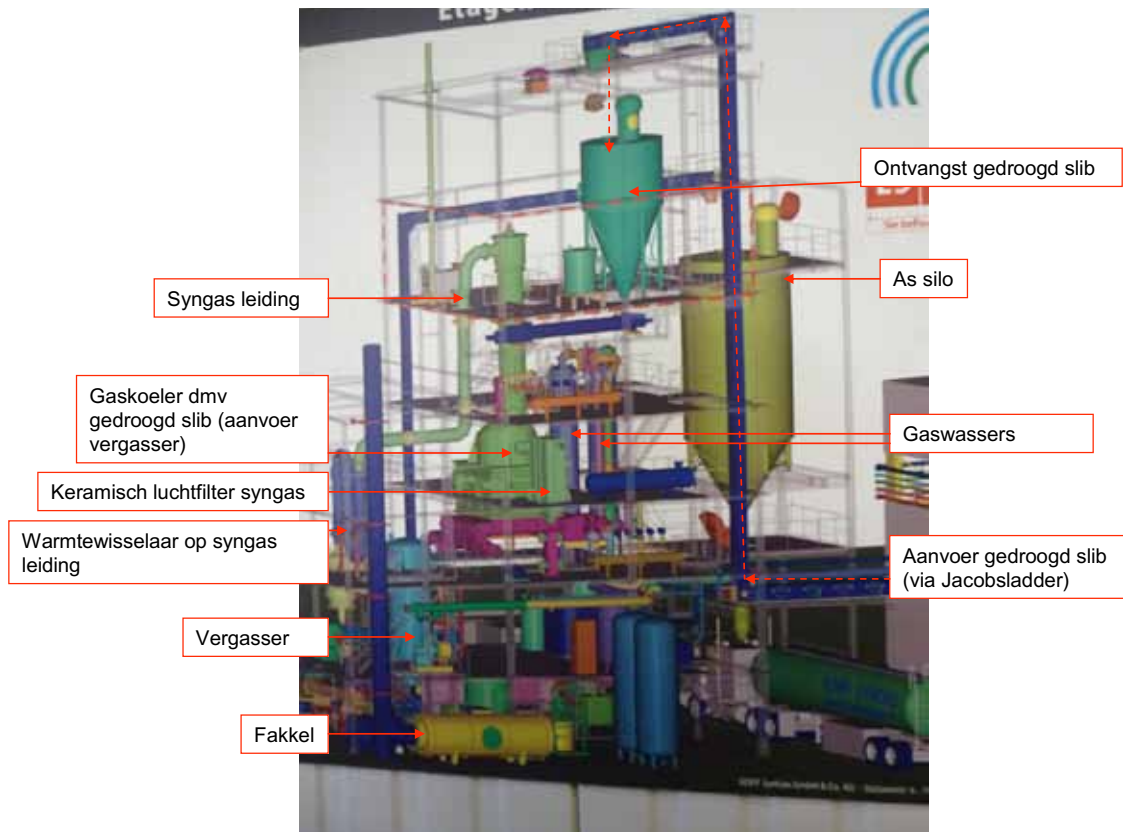
3.3.1 INLEIDING

Op 15 november 2012 hebben de uitvoerders en een deel van de begeleidingscommissie een bezoek gebracht aan de slibvergasser van Kopf in Mannheim (Duitsland). De slibvergasser in Mannheim (capaciteit van 4.250 ton droge stof per jaar) is een van de weinige gerealiseerde slibvergassers en is bovendien erg nieuw waardoor het een uitgelezen kans was om deze te bezoeken. Het doel van dit werkbezoek was om meer achtergrondgegevens te verzamelen over slibvergassing en om meer inzicht te verkrijgen in het technisch functioneren van de techniek en de emissie(regelgeving). In bijlage 5 is het volledige verslag van de nabespreking van het werkbezoek opgenomen. Voorafgaand aan het bezoek is een vragenlijst voorgelegd aan Kopf. De antwoorden op de vragen zijn opgenomen in bijlage 6.

3.3.2 BESCHRIJVING INSTALLATIE

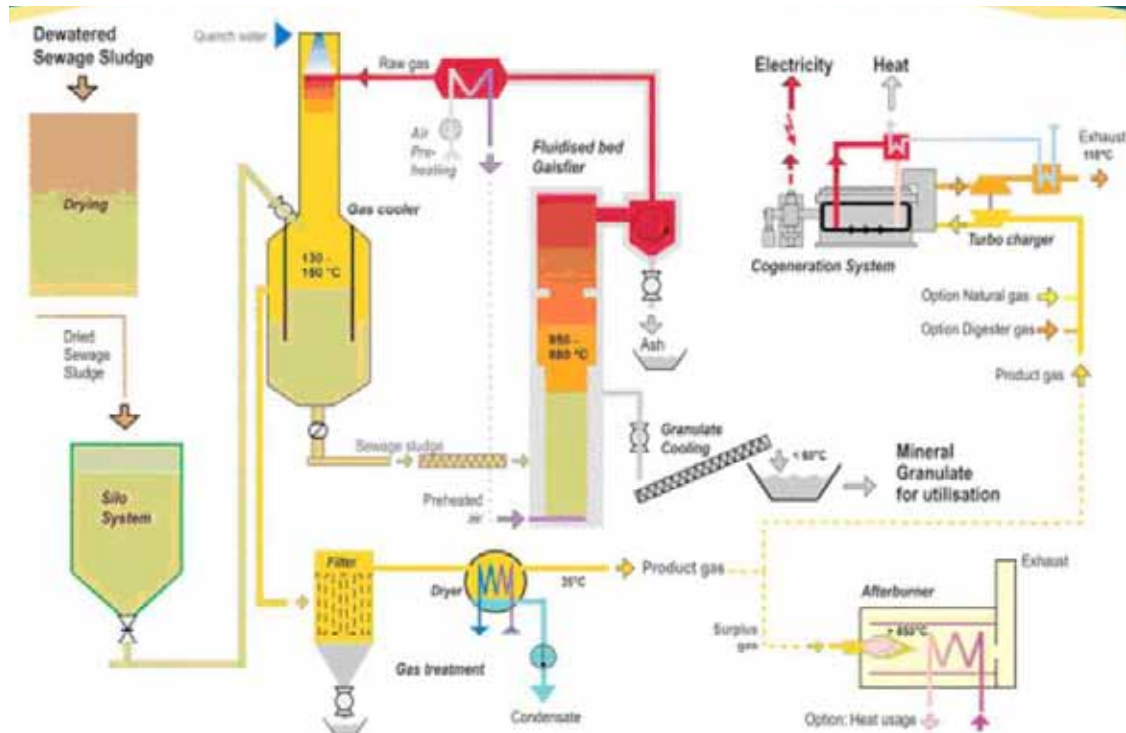
In Figuur 3.1 is een schematische weergave opgenomen van de slibvergasser van Kopf in Mannheim. Op het moment van ons werkbezoek stond de vergasser stil omdat er onderhoud uitgevoerd werd aan het pakkingsmateriaal van de vergasser. Dit gaf ons echter wel de mogelijkheid om in de vergasser te kijken.

FIGUUR 3.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN SLIBVERGASSER MANNHEIM



Tijdens het werkbezoek bleek dat de slibvergasser zelf relatief klein is (zie ook Figuur 3.1). De inhoud van de vergasser bedraagt naar schatting 2 tot 3 m³. Het zes verdiepingen tellende gebouw bestaat voornamelijk uit opslagtanks voor gedroogd slib en as en installaties voor luchtbehandeling. In Figuur 3.2 worden de processtappen schematisch weergegeven.

FIGUUR 3.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN PROCESSTAPPEN SLIBVERGASSER MANNHEIM



Samengevat verloopt het proces zoals weergegeven in Figuur 3.1 en Figuur 3.2 als volgt. Het gedroogde slib wordt aangevoerd vanuit de naastgelegen slibdroging waar het slib in een trommeldroger tot 95% ds gedroogd wordt. Het gedroogde slib wordt via een transportband met bakjes (jacobs ladder) naar de bovenste verdieping van het vergassingsgebouw vervoerd waar het in een ontvangstank terecht komt. Vervolgens komt het slib in de gaskoeler terecht waar zich een bed van gedroogd slib vormt. In deze gaskoeler wordt het produktgas wat in de vergasser geproduceerd is door een quenchwasser en het bed van gedroogd slib geleid. Het produktgas heeft bij het binnengaan van het slibbed een temperatuur van > 550 °C. De teren en het stof die in het ruwe produktgas aanwezig zijn, worden in het slibbed afgevangen. De temperatuur van het produktgas bedraagt 130 °C wanneer dit de gaskoeler verlaat.

Het verder gedroogde en opgewarmde slib (door het produktgas) gaat vanuit de gaskoeler naar de vergasser waar bij een temperatuur van $850 - 880$ °C warmte en produktgas geproduceerd worden. Het geproduceerde produktgas verwarmt via een warmtewisselaar de ingaande luchtstroom van de vergasser voor, waardoor het produktgas afkoelt naar ongeveer 600 °C. Vervolgens gaat het produktgas naar de quenchwasser en gaskoeler (zoals in de vorige paragraaf beschreven).

Het produktgas wordt na de gaskoeler door een keramisch filter, droger, en twee gaswassers geleid (één met water en één met zuur) waarna het via een stoomcyclus in het naburige drooggebouw verbrand wordt om de warmte voor de slibdroging te leveren. Het water uit de eerste gaswasser wordt door een actieve koolfilter geleid en gaat vervolgens naar de waterlijn van de rwzi.

3.3.3 UITKOMSTEN WERKBEZOEK

Kopf kwam met een open verhaal en gaf antwoord op alle vragen. De installatie lag tijdens het bezoek open voor onderhoud maar er werd geen punt van gemaakt dat er foto's werden

genomen. Het is duidelijk de opstart van een nieuwe technologie. Naar eigen zeggen is Kopf wereldwijd eigenlijk de enige die het onder de knie heeft. Wereldwijd zijn ze in ieder geval een van de weinigen die momenteel op grote schaal slibvergassing uitvoeren en verder aan het ontwikkelen zijn.

De vergasser op de rwzi Balingen draait volgens Kopf goed, er zijn twee nieuwe installaties in “voorbereiding”, dat wil zeggen dat de vergunning is verleend. Mannheim draait nog niet goed en dat komt eigenlijk door problemen aan de randapparatuur, zoals storingen aan pakkingen, sensoren, pompen, etc. Tijdens het bezoek was de vergasser ook in storing. Vanwege de vele sensoren in het gebouw schakelt de vergasser (bij elk spoortje CO) snel uit en moet dan opnieuw gestart worden. Hier moet in het ontwerp rekening mee worden gehouden. Wanneer de vergasser buiten staat (Balingen) speelt dit minder. Het buiten opstellen van de installatie is goed mogelijk. Er is dan wel tracing/isolatie noodzakelijk. Soms is een buiten opgestelde installatie minder gewenst in verband met de wensen van het onderhoudspersoneel.

Na afloop van het werkbezoek is een nabespreking gehouden waaruit de volgende punten naar voren kwamen:

- De vergasser in Mannheim heeft sinds de opstart in 2012 ongeveer 1.000 uur gedraaid
- De vergasser in Balingen draait sinds 2002. In 2012 is de capaciteit van de vergasser in Balingen verdubbeld en sindsdien heeft deze vergasser 1.700 uur gedraaid.
- Er is een oplossing gevonden voor het verwijderen van het teer. Het produktgas wordt door het slibbed geleid waardoor teer uit het produktgas gefilterd wordt. Het gevolg hiervan is wel dat er warmte verloren gaat. Van teer ophoping in het systeem is volgens Kopf geen sprake.
- De vergasser in Mannheim hoeft niet aan de BVA eisen te voldoen. Het is nog maar de vraag of dat in Nederland ook mogelijk is. In hoofdstuk 6 wordt hier op ingegaan.
- Er is nog onduidelijkheid over de massabalans van kwik. Deze is niet sluitend. Het wordt nauwelijks in de wasser teruggevonden terwijl dit wel de verwachting is. Ook in de as wordt nauwelijks kwik teruggevonden.
- Volgens Kopf is de P uit het as grotendeels beschikbaar voor planten. Deze bewering wordt door uitvoerder en begeleidingscommissie in twijfel getrokken omdat de P in de as van verbrandingsinstallaties nauwelijks beschikbaar is.
- Volgens Kopf logen de metalen niet uit waardoor ze het mogen inzetten als wegebouw materiaal. Bij verbranding logen de metalen juist wel uit en eigenlijk is het de verwachting dat dit ook na vergassen het geval is. Er zijn daarom nog vraagtekens over dit onderwerp. Dit is dus een leemte in kennis

3.4 CONCLUSIES REFERENTIE ONDERZOEK EN WERKBEZOEK

Uit het referentieonderzoek is gebleken dat vergassen van kolen en biomassa bewezen techniek is, maar dat vergassen van zuiveringsslib nog in de “troubleshootfase” zit. De technologie is complex. Er zijn totaal drie installaties in bedrijf: twee installaties in Duitsland en één in de VS. Het werkbezoek in Mannheim bij de installatie van Kopf liet een professionele installatie zien die echter nog weinig draaiuren heeft gehad. De emissies naar de lucht en bijbehorende regelgeving zijn een belangrijk element bij de installaties van Kopf (zie hoofdstuk 6) en een belangrijk aandachtspunt voor onze studie.

4

TECHNISCHE UITWERKING EN BALANSEN

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden een aantal varianten van slibvergassing op de rwzi uitgewerkt. Daarna worden massa- en energiebalansen opgesteld. Allereerst is de schaalgrootte van de varianten van de slibvergassers bepaald. Vervolgens zijn de procestechnische uitgangspunten weergegeven die de basis vormen voor de ontwerpen. Daarna zijn de massa- en energiebalansen opgesteld.

De schaalgrootte van de varianten die in dit hoofdstuk uitgewerkt komt overeen met de schaalgrootte van de rwzi Nieuwegein (175.000 i.e. à 150 gram TZV/i.e. ofwel met extern slib 7.000 ton ds/jaar). Dit omdat in het kader van de Green Deal (zie inleiding) de rwzi Nieuwegein de locatie is voor een demo plant. Vanwege de verwachting dat de exploitatiekosten op een grotere schaal positiever uitvallen is in de gevoeligheidsanalyse (onderdeel van de businesscase in hoofdstuk 5) ook een grotere variant uitgewerkt (rwzi Utrecht, 480.000 i.e. à 150 gram TZV/ie ofwel met extern slib 18.000 ton ds/jaar). Tevens is bij de gevoeligheidsanalyse een variant met kleinschalige monoverbranding op locatie op schaal Utrecht in de beschouwing meegenomen.

4.2 SCHAALGROOTTE EN VARIANTEN

Er is uitgegaan van een rwzi met centrale slibinzameling (bijvoorbeeld van één waterschap). Dun slib van de kleine rwzi's wordt per as naar de centrale rwzi getransporteerd. De vergassing en droging bevinden zich binnen het hek van de centrale rwzi. De transportkosten van dun slib worden verder buiten beschouwing gelaten (voor alle varianten hetzelfde).

Verder is uitgegaan van een slibvergassing bij een rwzi met een schaalgrootte van ca 175.000 ie à 150 gram TZV/ie (ongeveer rwzi Nieuwegein) en centrale slibinzameling tot een totale hoeveelheid 7.000 ton ds/jaar. Dat is ongeveer de schaal van een middelgroot waterschap.

Voor de hierboven genoemde schaalgrootte zijn daarna de volgende 3 varianten gedefinieerd:

- Variant 1: ontwateren, drogen, vergassen (geen vergisting, geen WKK/ketel)
- Variant 2: vergisting+biogasketel, ontwateren, drogen, vergassen
- Variant 3: ontwatering, TDH, vergisting+WKK, ontwateren, drogen, vergassen

In Tabel 4.1 worden de onderdelen van de sliblijnen van de varianten 1, 2 en 3 beschreven.

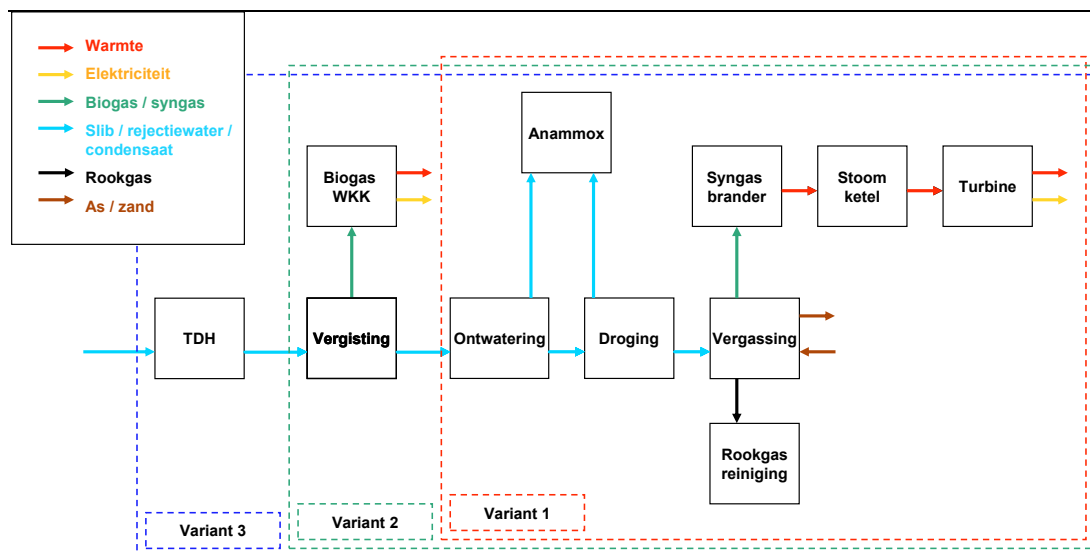
TABEL 4.1 ONDERDELEN SLIBLIJN VARIANTEN 1, 2 EN 3

Variant 1 (zonder SGT en TDH)	Variant 2 (met SGT, zonder TDH)	Variant 3 (met SGT, met TDH) TDH + voorontwatering
	Slibgisting + biogasketel*	Slibgisting + WKK*
Ontwatering	Ontwatering	Ontwatering
Slibdroging	Slibdroging	Slibdroging
Vergasser	Vergasser	Vergasser
Stoomcyclus	Stoomcyclus	Stoomcyclus
Rookgasreiniging	Rookgasreiniging	Rookgasreiniging
Gebouw ontwatering besturing	Gebouw ontwatering besturing	Gebouw ontwatering besturing
Gebouw vergasser en drogen	Gebouw vergasser en drogen	Gebouw vergasser en drogen
Anammox	Anammox	Anammox
elektrische apparatuur en controle	elektrische apparatuur en controle	elektrische apparatuur en controle

* de keuze voor biogasketel of WKK heeft te maken met schaalgrootte van de WKK, zie verder begeleidende tekst

In het vervolg van de rapportage wordt variant 1 omschreven als 'zonder SGT en TDH'. Variant 2 en 3 worden respectievelijk omschreven als 'zonder TDH' en 'met TDH'. In Figuur 4.1 is schematisch weergegeven welke onderdelen wel en niet bij de verschillende varianten zijn opgenomen.

FIGUUR 4.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN VARIANTEN 1, 2 EN 3



4.3 ALGEMENE UITGANGSPUNTEN

In Tabel 4.2 worden de uitgangspunten ten aanzien van de model rwzi's voor de drie varianten weergegeven. Deze uitgangspunten hebben betrekking op de schaalgrootte van de rwzi Nieuwegein. Hierbij is er van uitgegaan dat 50 % van het slib wordt aangevoerd vanaf kleine(re) rwzi's van het waterschap. De slibproducties primair en secundair slib zijn dus ongeveer even groot: 25 % primair slib, 25 % surplusslib en 50 % extern slib.

TABEL 4.2 SLIBHOEVEELHEDEN VARIANTEN VOOR DE MODELBEREKENINGEN

Parameter	Eenheid	Variant 1 (zonder SGT en TDH)	Variant 2 (zonder TDH)	Variant 3 (met TDH)
Capaciteit	ie à 150 g TZV	175.000	175.000	175.000
Primair slib	Ton ds/j	0	1.750	1.750
Secundair slib	Ton ds/j	3.350	1.600	1.600
Chemisch slib	Ton ds/j	150	150	150
Extern sec slib	Ton ds/j	3.500	3.500	3.500
Totaal slib	Ton ds/j	7.000	7.000	7.000

Soms wordt er aandacht gevraagd voor de verschillen tussen slib met veel of weinig bio-P (vervloeien bio-P slib bij verbranden). Bij SNB neemt de laatste jaren het organische stofgehalte toe, waarschijnlijk door het grotere aandeel bio-P (dus minder simultane defosfatering). SNB heeft geen verschillen in de werking/onderhoud van de ovens gesignaleerd. Mogelijk zal het verhogen van de temperatuur en druk van de ketels (project 2013 van SNB) extra aandacht van aangroei van vliegaskvragen, maar dat wordt niet gerelateerd aan extra bio-P [10].

PROCESGERELATEERDE UITGANGSPUNTEN

De procesgerelateerde uitgangspunten hebben betrekking op procestechnische aspecten zoals de hoeveelheid droge stof die wordt aangevoerd naar de vergasser, het ontwateringspercentage en de asrest. De procesgerelateerde uitgangspunten worden in Tabel 4.3 weergegeven.

In de hierna komende hoofdstukken wordt regelmatig gesproken over de schaal Nieuwegein. Verderop vanaf paragraaf 5.5.3 ook over de schaal Utrecht. Daarmee wordt een aanduiding gegeven van de grootte van de installatie. Bij deze schalen zit ook extern slib inbegrepen.

TABEL 4.3 PROCES GERELATEERDE UITGANGSPUNTEN

Aspect	Eenheid	Variant 1 (zonder SGT en TDH)	Variant 2 (zonder TDH)	Variant 3 (met TDH)
Capaciteit vergasser	ton ds / j	7.000	4.940	4.090
Droge stof na ontwatering	% ds	20	23	30
Ton slibkoek op jaarbasis	Ton/jaar	35.000	21.500	13.600
Indikgraad voorafgaand aan TDH	% ds	-	-	17
Asrest droge stof naar vergasser	%	30	36	44
Efficiency warmte overdracht slibdroging	%	60	60	60

4.4 PROCESBESCHRIJVING EN PROCESGERELATEERDE UITGANGSPUNTEN

4.4.1 INLEIDING

In deze paragraaf worden de onderdelen en processen van de verschillende varianten beschreven. In dit hoofdstuk zijn ook de noodzakelijke proceskeuzen en bijbehorende uitgangspunten beschreven die de basis vormen voor de technische uitwerking van de verschillende onderdelen van de varianten.

4.4.2 THERMISCHE DRUKHYDROLYSE

Bij de thermische druk hydrolyse (=TDH) wordt het secundaire slib tot 145-165 °C verwarmd gedurende 30 minuten. Er zijn verschillende processen op de markt waarmee de TDH kan worden uitgevoerd. De condities waaronder het slib behandeld wordt verschillen bijna niet, de processen verschillen met name in de uitvoering. Zo is er onderscheid door de uitvoering

in batch processen (HoSt, Cambi en Veolia) en continue processen (SUSTEC, SH&E, Veolia), en daarnaast in de wijze van warmteterugwinning en -integratie. De warmteintegratie bij de TDH is van groot belang doordat deze uiteindelijk bepaald hoe groot de energievraag van het proces is. Er zijn grofweg twee methoden om de warmteintegratie bij de TDH toe te passen. Zo kan er gebruik worden gemaakt van warmtewisselaars om het slib voor te verwarmen. Een ander gebruikte methode is het toepassen van flashdamp injectie (stoom). De berekeningen in deze studie zijn gebaseerd op het TDH systeem van HoSt. Hierbij wordt het slib voorverwarmd naar maximaal 95 °C met de flashdamp, welke ontstaat uit het flashen van het gehydrolyseerd slib van 150 °C naar 103 °C.

Daarnaast is er ook een essentieel verschil in de mate van slibindikking vóór de TDH. Deze kan variëren tussen de 7% DS (SUSTEC, Lysotherm), 16-18 % (Cambi en HoSt) en 25% DS (Veolia) bij de verschillende TDH processen. In deze studie is ervan uitgegaan dat het slib ingedikt wordt naar 17% DS met een decanter om zo de energievraag van het proces zo laag mogelijk te houden.

Na de thermische behandeling moet het gehydrolyseerde slib afgekoeld worden om zo de juiste mesofiele omstandigheden in de gistingstanks te kunnen krijgen. Afkoeling van het slib wordt deels veroorzaakt door menging van het warme gehydrolyseerde slib met het primaire slib. In deze studie is er meer koeling vereist om mesofiele condities te kunnen bereiken in de gistingstanks. Deze koeling van het secundaire slib wordt door middel van warmtewisselaars uitgevoerd. Dat kan rechtstreeks met een slib/slib warmtewisselaar of met een koeling in de gistingstanks (minder problemen met vervuiling dan warmtewisselaars, maar wel een extra warmtewisselaar nodig). De weggekoelde warmte kan worden toegepast voor de voorverwarming van het secundaire slib. De hoeveelheid warmte die maximaal kan worden toegepast voor het voorverwarmen van het slib is met name afhankelijk van de TDH processtemperatuur, de temperatuur in de gistingstanks en de verhouding van primair (onbehandeld koud) slib en secundair slib. In deze studie, met de aangenomen uitgangspunten is voorverwarming van het secundaire slib mogelijk. Hierbij wordt het secundaire slib voor de indikstap opgewarmd en verdwijnt dus een groot deel van de laagwaardige warmte via het rejectiewater van de decanter.

4.4.3 SLIBGISTING

De vergisting vindt plaats bij 33 °C met een verblijftijd van 20 dagen. Bij deze omstandigheden is zonder het gebruik van een thermische druk hydrolyse behandeling een vergistingsvolume van totaal 5.500 m³ nodig. In de praktijk zal dit leiden tot 2 tanks met een netto volume van elk 3.500 m³. Het overtollige volume van 1.500 m³ (7.000 – 5.500 m³) wordt onder andere veroorzaakt door de benodigde open ruimte bovenin de vergister (vrijboord). Wanneer er geen TDH wordt uitgevoerd is het noodzakelijk de gistingstanks te verwarmen. Normaal gesproken is voldoende restwarmte van een biogas WKK of ketel beschikbaar voor de verwarming van de slibgisting.

Wanneer een TDH behandeling wordt toegepast op het secundaire slib voor de gisting, zal de totale massastroom (totale massa van het aangevoerde slib) naar de gistingstanks kleiner zijn. Dit wordt veroorzaakt door de indikking van het secundaire slib voor de TDH. Het benodigde slibgistingvolume is in deze situatie kleiner, rond de 3.000 m³, waardoor één gistingstank in principe voldoende is. Het toepassen van gehydrolyseerd secundair slib in de gisting heeft als gevolg dat de slibgisting met een hoger drogestofgehalte bedreven kan worden. Dit wordt met name veroorzaakt door de sterk verlaagde viscositeit van het gehydrolyseerde secundaire slib

ten opzichte van ongehydrolyseerd slib. In deze studie is het ingaande droge stof van het slib (secundair en primair samen) 11% en heeft het digestaat een droge stof percentage van 7%. Doordat de slibgisting met gehydrolyseerd slib hoger belast wordt is het van groot belang om de gisting stabiel te bedrijven. Een belangrijke factor die bepalend is voor het stabiel bedrijven van een gistingstank is menging. Hierbij is uitgegaan van mechanische menging, waarbij een centraal roerwerk de voorkeur heeft.

De vergisting kan geoptimaliseerd worden door met een nagisting te werken. Dit is niet toegepast in de huidige studie.

4.4.4 SLIBONTWATERING

Na de gisting van het slib wordt het slib ontwaterd voordat deze wordt afgevoerd naar de droger. Het streven is hierbij om het drogestofgehalte van het slib na ontwatering zo hoog mogelijk te krijgen. Er zijn verschillende technieken om het slib te ontwateren, zoals een decanter of een zeefbandpers. De ontwatering van slib verloopt beter naarmate de asrest in het slib hoger wordt. In de studie is dit effect meegenomen, waarbij de ontwatering van slib het beste verloopt wanneer er zowel TDH als een gisting wordt toegepast.

In deze studie is aangenomen dat de slibontwatering van het vergiste slib wordt uitgevoerd met een zeefbandpers. De ontwatering is o.a. afhankelijk van de hoeveelheid asrest in het slib, welke wordt bepaald door de conversie van organische stof in de gisting. In de gevoeligheidsanalyse is de mate van ontwatering meegenomen.

Het rejectiewater uit de slibontwatering bevat CZV, N en P. Afhankelijk van de mate van slibconversie in de gisting zal met name de concentratie van N en P toenemen. In de studie is aangenomen dat alleen stikstof wordt verwijderd door middel van een proces met de Anammox bacterie (dat kan zowel DEMON zijn als Anammox). Dit is mogelijk als $CZV/N_{KJ} < 1$, anders zou een SHARON systeem beter zijn). Dit zal met name een rol spelen wanneer er een TDH stap voor de gisting wordt toegepast. Het fosfaat wordt niet verwijderd of teruggewonnen en komt zo terug in de waterlijn. Er is voor deze studie van uitgegaan dat fosfaat naast bio-P aanvullend chemisch wordt verwijderd en zo uiteindelijk deels als fosfaat-zout in het secundaire slib terecht komt (zie gevoeligheidsanalyse).

4.4.5 SLIBDROGING

De droging van slib moet worden uitgevoerd om de calorische waarde van het slib vóór de vergassing te verhogen. In de studie is uitgegaan van een banddroger, waarbij lucht wordt voorverwarmd naar 90 °C en de banddroger verlaat met ongeveer 40-45 °C. Bij deze aannames kan de beschikbare warmte voor 60 % worden ingezet voor het drogen. De efficiency van het droogproces kan o.a. worden verhoogd door het kiezen van een hogere ingaande luchttemperatuur of door recirculatie van lucht. De optimalisatie van het droogproces valt buiten de scope van deze studie [8].

Voor deze studie is aangenomen dat de droging van het slib wordt uitgevoerd met banddrogers. De warmte die benodigd is voor de droging varieert sterk bij de verschillende varianten, waardoor de dimensionering van de drooginstallatie kan variëren. Het condensaat uit de drooginstallatie is rijk in ammoniak. Dit ammoniak wordt omgezet in de Anammox/DEMON reactor.

4.4.6 SLIBVERGASSING

In deze studie is uitgegaan van een CFB ofwel een circulerend wervelbed vergasser. Het slib wordt vergast bij 800 °C en vervolgens wordt het verkregen hete produktgas na stofafscheiding in cyclonen gebruikt voor het voorverwarmen van lucht benodigd voor de vergassing. Het productgas is ongeveer 500 °C wanneer het wordt verbrand in een stoomketel. In de stoomketel wordt de warmte gebruikt om stoom te produceren.

As wordt van het rookgas gescheiden met verschillende cyclonen. Met deze cyclonen wordt het vlieggas grotendeels gescheiden van het rookgas. Het resterende as of stof zal uiteindelijk via het doekenfilter verwijderd worden. Naast het vlieggas zal ook een klein deel van het as met het bedmateriaal uit het systeem verwijderd worden. Hierdoor zal het verwijderde as ook een beetje bedmateriaal (zand) bevatten. Dat zand moet periodiek worden aangevuld. In Mannheim was de in het slib aanwezige silicium voldoende om het zand aan te vullen (suppletie niet nodig). In de balansen wordt wel van een geringe zandsuppletie uitgegaan.

De stoomketel is zo ontworpen dat er voldoende verblijftijd in de verbrandingskamer is. Daarnaast vindt de verbranding van het produktgas bij hoge temperaturen plaats, waardoor een volledige uitbrand kan plaatsvinden.

De volgende proceskeuzen en uitgangspunten zijn gehanteerd voor het uitwerken van de vergasser:

Aspect	Uitgangspunt
Slibdebiet naar vergasser	Verschillend per scenario. De hoeveelheid slib is afhankelijk van de organische stof afbraak in de vergisting
Vochtpercentage gedroogd slib ingaand	15% voor alle drie de scenario's.
As percentage slib	Verschillend per scenario. Afhankelijk van de organische stof afbraak bij vergisting wordt in verhouding het as percentage hoger.
Vergasser temperatuur	800°C voor alle drie de scenario's.
Lucht voorverwarming temperatuur	300°C voor alle drie de scenario's.
Warmteverlies vergasser	2% van de totale verbrandingswaarde input voor alle drie de scenario's.
Zandversing vergasser	2% van de droge stof input voor alle drie de scenario's.
Koolstofconversie	95% van de koolstof stof input voor alle drie de scenario's.

4.4.7 VERBRANDEN VAN PRODUKTGAS VOOR ELEKTRICITEITOPWEKKING (CARNOT RENDEMENT)

Het hoogste rendement qua energieopwekking bij slibvergassing kan worden verkregen door het toepassen van een gasmotor, waarbij het productgas bij een hoge temperatuur met het hoogste rendement wordt omgezet in elektriciteit.

Volgens een natuurkundige wet die ooit door de heer Carnot is vastgelegd, verkrijgen we een hoog rendement als we de warmte door het werkend middel laten opnemen bij hoge temperatuur en de ongebruikte warmte door het werkend middel laten afstaan bij lage temperatuur. Het warmte opnemen gebeurt bij de verbranding, waarbij een temperatuur van T1 ontstaat en het warmte afstaan bij de uitlaat van de verbrandingsgassen, waarbij een temperatuur heerst van T2 (ca 400 ° C). Volgens diezelfde mijnheer Carnot is theoretisch het hoogst haalbare thermische rendement:

$$\eta_{th} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Uit deze formule kan worden afgeleid dat bij een temperatuur in de gasmotor van 1.500 °C een theoretisch thermisch rendement kan worden gehaald van 87 %. In de praktijk wordend deze rendementen niet gehaald. Een diesel motor haalt ca 48 % rendement. Bij opwekking van elektriciteit is er ook nog een rendementsverlies over de generator of de stoomturbine. Voor een gasmotor is een maximaal elektrisch rendement mogelijk van 36 %.

Het rendement van een stoomcyclus wordt bepaald door de condities van de geproduceerde stoom (druk en temperatuur), het rendement van de turbine en de eigenschappen van de condensor. Het rendement ligt hoger bij hoge druk en temperatuur van de stoom en lagere temperatuur van het condensaat. In kleinere toepassingen wordt warmte-kracht-koppeling (WKK) toegepast. Hierbij wordt uitgegaan van een bepaalde warmtevraag (onder de vorm van stoom). Door de stoom onder hoge druk op te wekken, en in de turbine te laten expanderen tot de gewenste druk, wordt de elektriciteit als 'bijproduct' opgewekt. Het elektrisch rendement is vaak laag (10 – 15%), maar het thermische rendement bedraagt nog eens 60 – 70%. Een ander aspect wat een belangrijke rol speelt is de schaalgrootte van de stoomcyclus. Een kleine installatie levert slechts beperkte temperatuur en druk wat weer een lage elektriciteitsproductie oplevert. Daarbij zijn ook de turbines op kleinere schaal minder efficiënt.

In de volgende paragrafen worden de verschillen tussen de stoomketel met stoomcyclus en gasmotoren verder in detail besproken.

4.4.8 STOOMKETEL EN STOOMCYCLUS

Produktgas wordt verbrand met behulp van een gasbrander in de stoomketel. Hierbij worden alle brandbare componenten van het produktgas en de teren omgezet naar de verbrandingsproducten koolstofdioxide (CO_2) en water (H_2O). Deze verbranding vindt plaats bij hoge temperaturen, ongeveer 1.260 °C, waarbij de rookgassen minimaal twee seconden boven de 850°C zijn. Hierdoor zijn onverbrande organische componenten zoals C_xH_y (teren) en CO (koolstofmonoxide) nagenoeg niet aanwezig in het rookgas en is de vorming van dioxines zeer laag. Hiermee wordt dus de uitstoot van schadelijke stoffen verminderd en wordt voldaan aan de eisen uit het BVA (bijlage 9). De vorming van stikstofoxide (NO_x) wordt zo laag mogelijk gehouden door het gebruik van lage NO_x gas branders.

De hete rookgassen (1.260 °C) van de verbranding worden gebruikt om in een stoomketel hoge druk (30 bar) stoom te produceren. De geproduceerde stoom wordt in een oververhitter verder opgewarmd om oververhitte stoom (circa 250°C) te verkrijgen. De stoomdruk is relatief laag voor een stoomcyclus. Dit wordt hier met name bepaald door de beperkte schaalgrootte. De rookgassen worden in de ketel afgekoeld tot circa 200°C, waardoor het ketelrendement ongeveer 87 % is. Indien er sprake is van elektriciteitsproductie dan zal de oververhitte stoom gebruikt worden om te expanderen in een stoomturbine. De stoom wordt geëxpandeerd tot 0,7 bar. Vervolgens wordt de stoom gecondenseerd in een stoomcondensor. Hierbij wordt warm water van 86°C geproduceerd. De druk (en bijbehorende condensatietemperatuur) is zodanig gekozen dat de warmte nog bruikbaar is voor slibdroging met een banddroger. Het elektriciteitsrendement in een dergelijke stoomcyclus ligt rond de 12 %.

Wanneer gebruik wordt gemaakt van een stoomketel en eventueel turbine is het handig de benodigde stoom voor de eventueel aanwezige thermische druk hydrolyse (TDH) hieruit te onttrekken. Hierbij wordt de investering van een extra ketel uitgespaard en daarnaast kan hiermee op een simpele wijze worden voldaan aan de discontinue vraag van stoom in het TDH proces. De aftapstoom wordt uit de turbine onttrokken nadat deze tot 8 barg (overdruk)

geëxpandeerd is. In deze studie is bepaald dat ongeveer 30% van de geproduceerde stoom uit het proces onttrokken wordt voor de TDH. Hierdoor neem het elektriciteitsrendement in de stoomcyclus af naar 9 %.

Het verbranden van produktgas om stoom te produceren is een betrouwbare technologie met een hoge bedrijfszekerheid. Daarnaast zijn de kwaliteitseisen aan het produktgas laag. De aanwezigheid van teren is geen bezwaar, deze worden verbrand. Het vooraf reinigen van produktgas is dan ook niet vereist.

4.4.9 ROOKGASREINIGING NA KETEL

Om aan de emissie-eisen gesteld in het BVA te voldoen is er rookgasreiniging vereist. Er zijn een aantal stoffen die uit het rookgas verwijderd worden alvorens de rookgassen naar de schoorsteen te leiden:

Emissie	Bron	Reinigingstechniek
NO _x	NO _x ontstaat deels door de aanwezigheid van N in het slib. Bij vergassing wordt een deel van het N in het slib omgezet naar NH ₃ , wat bij verbranding zorgt voor NO _x vorming. Een ander deel is thermische NO _x , wat bij de verbranding ontstaat door reactie van N ₂ uit het produktgas en de verbrandingslucht met O ₂ uit de verbrandingslucht.	DeNO _x met NH ₃ injectie
SO _x	SO _x ontstaat door de aanwezigheid van S in het slib. Bij vergassing wordt een deel van het S in het slib omgezet naar H ₂ S en COS, wat bij verbranding zorgt voor SO _x vorming.	Doekenfilter met additieven injectie (bicarbonaat)
HCl	HCl ontstaat door de aanwezigheid van Cl in het slib. Bij vergassing wordt een deel van het Cl in het slib omgezet naar HCl, wat vervolgens in de rookgassen terecht komt.	Doekenfilter met additieven injectie (bicarbonaat)
stof	Kleine as en zand deeltjes worden met het produktgas meegevoerd en eindigen in de rookgassen.	Doekenfilter

In de DeNO_x reactor reageert NO_x met NH₃ tot N₂ en H₂O. De NH₃ dosering wordt dusdanig geregeld dat er net voldoende NH₃ aanwezig is om de NO_x om te zetten. Overdosering van NH₃ moet voorkomen worden uit economisch en milieu oogpunt. SO_x en HCl in de rookgassen reageren met geïnjecteerd (fijn gemalen) bicarbonaat. Hierbij worden de SO_x en HCl aan het bicarbonaat gebonden. De verzadigde additieven in de rookgassen worden afgevangen in een doekenfilter. Hierbij wordt tegelijkertijd ook het eventueel resterende stof uit de rookgassen gefilterd.

De zware metalen Hg en Cd zullen waarschijnlijk niet in de rookgassen aanwezig zijn, omdat de rookgastemperatuur onder de condensatietemperatuur ligt van Hg en Cd. Hierbij zullen deze stoffen neerslaan op de nog aanwezige as in de rookgassen. Maar omdat niet te voorspellen is welk deel neerslaat, is toch uitgegaan van actieve koolinjectie zoals deze wordt toegepast bij slibverbranding. De koolinjectie voor verwijdering Cd en Hg vindt plaats voor het doekenfilter. Stofafscheiding kan eventueel met een elektrostatisch filter worden uitgevoerd. Voor het bepalen van de investeringen is aangenomen dat dit niet nodig is; primaire stofafscheiding vindt plaats tussen de vergasser en de ketel middels meerdere cyclonen en verdere stofafscheiding vindt plaats in het doekenfilter. De aanwezigheid van Hg en Cd en dus de noodzaak voor koolinjectie is aanwezig bij slib en zal worden meegenomen in de haalbaarheidsanalyse

4.4.10 GASMOTOR

Door het produktgas te verbranden in een gasmotor kan elektriciteit worden opgewekt. De efficiency waarmee dit gebeurt, ligt bij een gasmotor tussen de 35 en 40 %. Voor het overige deel komt de energie vrij als warmte, een deel in de warme rookgassen (500 °C) en voor een deel als motorwarmte, welke moet worden weggekoeld met koelwater.

De calorische waarde van het te verbranden gas moet een minimale waarde hebben om verbrand te kunnen worden. Voor het produktgas uit de vergasser is de calorische onderwaarde in de range van 1-3 kWh/Nm³ voor toepassing in een gasmotor [Jenbacher]. In de praktijk blijkt dat voor een stabiel bedrijf van een gasmotor het produktgas een calorische waarde van minimaal 1,1 kWh/Nm³ moet hebben [HoSt, Iberfer]. Naast de calorische waarde is de samenstelling van het gas bepalend hoe de motor wordt afgesteld. De aanwezigheid van waterstof in het produktgas vereist bijvoorbeeld een lagere compressie dan bijvoorbeeld bij de verbranding van aardgas. Bij biogas, waarbij veel CO₂ aanwezig is ten opzichte van aardgas kan de compressie juist veel groter zijn. Door de verbrandingseigenschappen van het gas is het dus niet mogelijk om zowel biogas als produktgas op dezelfde gasmotor te verbranden.

Naast de hoofdcomponenten, bevat het gas ook verontreinigingen, welke op de korte en lange termijn een negatief effect kunnen hebben op het motor bedrijf. Om een storingsvrij motorbedrijf en de aangegeven onderhoudsintervallen te kunnen garanderen, dient er altijd aan gasvoorwaarden te worden voldaan. Afhankelijk van de gasmotorfabrikant zullen er eisen worden gesteld aan de aanwezigheid van ammoniak, zwavel, halogenen, onverbrande koolwaterstoffen, stof en teer. Daarnaast zullen ook gasvoorwaarden worden opgelegd om de emissies van NO_x, SO_x, C_xH_y in het rookgas binnen de geldende emissie eisen te houden. De brandbare componenten in het produktgas zullen in de gasmotor nooit 100% verbranden worden. In het algemeen kan men er van uitgaan dat 1-3% onverbrand door de motor gaat.

4.4.11 ROOKGASREINIGING VOOR DE GASMOTOR

Voordat het produktgas kan worden verbrand moeten de verontreinigingen in het gas verwijderd worden. De belangrijkste component die verwijderd moet worden, is teer. Typische teer concentraties liggen in de range van 2-14 g/Nm³ produktgas, afhankelijk van de vergassertemperatuur, verblijftijd, samenstelling slib etc. Reiniging voor de toepassing in een gasmotor kan bestaan uit een combinatie van de verschillende onderdelen:

- Cyclonen of Keramische filters : stof
- Waterwassers : stof, NH₃ (>99%), HCl (>99%), teren (> 60%)
- OLGA (gaswasser met olie) : aerosolen, teren
- Wet ESP (Wet Electrostatic Precipitator) : stof, aerosolen, teren

Op deze wijze worden de teren voor nagenoeg 60% verwijderd, waarbij de uiteindelijke teerconcentratie verlaagd wordt. De uiteindelijke teerconcentratie wordt bepaald door het teerdauwpunt, dat tussen de 10 °C en 40 °C ligt. Bij deze teerdauwpuntstemperaturen is de teer concentratie nog vrij hoog (1-3 g/Nm³), maar kan in principe wel worden toegepast in een gasmotor. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met het feit dat de gastemperatuur in de motor boven het teerdauwpunt gehouden wordt (toepassen van tracing etc.) [ECN, Jenbacher].

4.4.12 ROOKGASREINIGING NA DE GASMOTOR

Zoals al eerder aangegeven is de conversie van het gas niet volledig. Hierdoor zullen in het rookgas naast, NO_x, SO_x zich ook CO en onverbrande koolwaterstoffen bevinden. Wanneer aan de BVA voldaan moet worden zal een rookgasreiniging van het rookgas uit de gasmotor noodzakelijk zijn. Deze rookgasreiniging is grotendeels vergelijkbaar met de rookgasreiniging van het rookgas uit de ketel. Daar komt echter nog bij dat de onverbrande koolwaterstoffen moeten worden omgezet. Hiervoor zijn twee opties beschikbaar: katalytische oxidatie of verbranding boven de 850 °C gedurende 2 seconden. De eerste optie is lastig omdat het rookgas veel verontreinigingen bevat welke de katalysator deactiveren. De tweede optie is

technisch een uitdaging door de lage concentratie van C_xH_y . Wanneer aan de BVA voldaan moet worden, is het toepassen van een gasmotor door bovenstaande argumenten vrijwel niet haalbaar.

4.5 MASSA- EN ENERGIEBALANSEN

4.5.1 INLEIDING

Wanneer er een slibvergasser op een rwzi wordt geplaatst, heeft dit (indirect) een grote invloed op de warmtevraag op de betreffende rwzi. Slib moet immers met een droge stof gehalte >85% in de vergasser gebracht worden waardoor er veel warmte nodig is voor de droging van het slib. Wanneer er een tekort is aan warmte zal er aardgas verbrand moeten worden om dit tekort te dekken. De beschikbaarheid van voldoende warmte is daarom van belang om te komen tot een economische en duurzame installatie. Eventueel kan gebruik gemaakt worden van restwarmte van derden. Deze moet dan wel beschikbaar zijn, dus daar is in deze studie niet van uitgegaan, ook al wordt het hier en daar wel benoemd als reminder.

De energie inhoud van slib kan worden berekend aan de hand van de onderstaande formule uit het Handboek slibgisting (Stowa 2011-16):

Uit deze formule komt naar voren dat de netto geleverde hoeveelheid warmte afhankelijk is van het droge stof percentage van het gedroogde slib wat vergast wordt. Des te hoger het vochtgehalte van het slib des te meer warmte is er nodig voor de verdamping van het water.

$$H_{\text{slib}} = (\text{ODS} * H_{\text{organisch}}) * \text{DS} - H_{\text{verdamping water}} * (1 - \text{DS})$$

Met:

H_{slib}	= stookwaarde in GJ per ton slib materiaal;
$H_{\text{organisch}}$	= 21,318 GJ/ton ODS (organische drogestof);
ODS	= organisch gehalte in de drogestof in %;
DS	= drogestof gehalte van het slibmateriaal in %;
$H_{\text{verdamping water}}$	= 2,258 GJ/ton (verdampingswarmte van water).

Om meer inzicht te krijgen in de vraag en aanbod van warmte zijn proces flow diagrammen (PFD's) en massa- en energiebalansen opgesteld. Hierbij zijn zowel balansen opgesteld voor de situatie waarbij het geproduceerde produktgas in een stoomcyclus wordt verbrand als voor de situatie waarbij het produktgas in een gasmotor wordt verbrand. In bijlage 8 zijn de massabalansen en de schematische weergaven van de verschillende varianten integraal weergegeven. In de volgende paragrafen worden de energiebalansen voor de drie varianten voor de schaal Nieuwegein beschreven.

4.5.2 ENERGIEBALANS STOOMCYCLUS

In Tabel 4.4 zijn alle processen met een warmtevraag of aanbod opgenomen voor de drie varianten met toepassing van een stoomcyclus.

Uit Tabel 4.4 komt naar voren dat variant 1 en 2 een tekort hebben aan warmte. Dit tekort moet geleverd worden door het verbranden van aardgas. Variant 3 heeft een overschot aan warmte waardoor deze in staat is om in zijn eigen warmtebehoefte te voorzien. De warmte (stoom) voor de TDH bij variant 3 wordt afgetapt uit dezelfde stoomketel die ook voor verbranden van produktgas gebruikt wordt.

TABEL 4.4 WARMTE- EN ELEKTRICITEITSBALANS VARIANTEN 1, 2 EN 3 MET STOOMCYCLUS (SCHAAL NIEUWEGEIN)

Beschrijving	Eenheid	Variante 1 (zonder SGT en TDH)	Variante 2 (zonder TDH)	Variante 3 (met TDH)
Warmteproductie				
Netto warmte uit WKK of biogasketel*	MWhth/jaar	0	5.856	6.065
Warmteproductie stoomcyclus	MWhth/jaar	18.409	11.316	4.906**
Beschikbaarheid van warmte				
warmte beschikbaar voor droger	MWhth/jaar	18.409	17.172	10.971
Warmtevraag				
Warmte benodigd voor TDH	MWhth/jaar			(3.558**)
Netto warmte benodigd voor droging	MWhth/jaar	20.226	11.189	6.032
efficiency droger	%	60	60	60
Warmte benodigd voor droging	MWhth/jaar	33.711	18.648	10.053
warmtebalans droger (negatief is tekort)	MWhth/jaar	-15.301	-1.476	918
Elektriciteitsproductie				
Elektriciteitsproductie biogas	MWhe/jaar			5.634
Elektriciteitsproductie produktgas	MWhe/jaar	2.922	1.760	873
Totale elektriciteitsproductie	MWhe/jaar	2.922	1.760	6.508

* variant 2 biogasketel, variant 3 WKK

** De stoom voor TDH wordt afgetapt van dezelfde stoomketel en is al in mindering gebracht op de weergegeven warmteproductie

4.5.3 ENERGIEBALANS PRODUKTGASMOTOR

In Tabel 4.5 zijn de resultaten weergegeven voor de drie varianten voor het geval er gebruik gemaakt wordt van een gasmotor voor het verbranden van het geproduceerde produktgas.

Uit onderstaande tabel kan worden afgeleid dat een produktgasmotor in een groter warmte tekort resulteert. Bij alle varianten zal er extra warmte moeten worden ingekocht door aardgas te verbranden. Bij variant 3 is een deel van het biogas verbrand om warmte te produceren. Dat gaat dan weer ten koste van de elektriciteitsproductie. Het verbranden van produktgas in een gasmotor levert bovendien verhoogde emissies op omdat 1-3% van het produktgas niet wordt verbrand. Daarnaast leveren de teren die aanwezig zijn in het produktgas afzettingen op in de gasmotor.

TABEL 4.5 WARMTE EN ELEKTRICITEITSBALANS VARIANTEN 1, 2 EN 3 MET PRODUKTGASMOTOR (SCHAAL NIEUWEGEIN)

Beschrijving	Eenheid	Variant 1 (zonder SGT en TDH)	Variant 2 (zonder TDH)	Variant 3 (met TDH)
Warmteproductie				
Netto warmte uit WKK of biogasketel*	MWhth/jaar		5.856	4.275
Verbranden biogas voor stoom TDH	MWhth/jaar			(3.558**)
Warmteproductie produktgasmotor	MWhth/jaar	8.641	5.263	3.503
Beschikbaarheid van warmte				
warmte beschikbaar voor droger	MWhth/jaar	8.641	11.119	7.778
Warmtevraag				
Warmte benodigd voor TDH	MWhth/jaar			(3.558**)
Warmte benodigd voor droging	MWhth/jaar	20.231	11.191	6.033
efficiëntie droger	%	60	60	60
Warmte benodigd voor droging	MWhth/jaar	33.711	18.648	10.053
warmtebalans droger (negatief is tekort)	MWhth/jaar	-25.069	-7.528	-2.275
Elektriciteitsproductie				
Elektriciteitsproductie biogas	MWhe/jaar			3.866
Elektriciteitsproductie produktgas	MWhe/jaar	7.235	4.406	2.933
Elektriciteitsproductie	MWhe/jaar	7.235	4.406	6.799

* variant 2 biogasketel, variant 3 WKK

** De stoom voor TDH wordt gemaakt door biogas te verbranden met een aparte stoomketel

4.6 DISCUSSIE

Uit de warmtebalansberekeningen is gebleken dat variant 1 (zonder SGT en TDH) leidt tot een groot tekort aan warmte (negatieve warmtebalans). Doordat er geen biogas geproduceerd wordt moet al de warmte die nodig is voor de slibdroging via aardgas ingekocht worden. Deze oplossing is niet duurzaam. Om deze reden is besloten om deze variant in deze studie af te laten vallen en varianten 2 (zonder TDH) en 3 (met TDH) verder uit te werken in een businesscase.

In variant 2 is een biogasketel in plaats van een biogas WKK toegepast omdat er door de biogas WKK alleen onvoldoende warmte geleverd wordt om aan de warmtebehoefte van de sliblijn te voldoen. Hierdoor wordt er echter minder elektriciteit geproduceerd.

Ook de gasmotor op produktgas wordt niet verder uitgewerkt in een businesscase. Dit heeft te maken met het warmtetekort en de emissies. Een produktgasmotor levert voor alle varianten een groot tekort aan warmte op. Bij variant 3 met TDH moet zelfs een deel van het biogas worden verbrand om voldoende stoom voor de TDH op te leveren. Bovendien zal bij een gasmotor een deel van het produktgas (1-3%) onverbrand in de atmosfeer terecht komen waardoor niet aan de BVA emissienormen kan worden voldaan, zie hoofdstuk 6 voor een uitgebreide discussie over het onderwerp emissies naar de lucht. Bovendien worden er bij de verbranding van produktgas in een gasmotor teerafzettingen gevormd die in de praktijk problemen gaan opleveren voor de gasmotor. In hoofdstuk 7 (duurzaamheid) wordt nog specifiek (kwantitatief) ingegaan op de verschillen qua energiebalans en CO₂ emissie.

Aan de businesscases in hoofdstuk 5 is verder een gevoeligheidsanalyse toegevoegd, waardoor onder andere het effect van de schaalgrootte in beeld wordt gebracht. Om de exploitatiekosten van slibvergassing te kunnen vergelijken met die van een kleinschalige monoverbrander is in het volgende hoofdstuk ook deze variant in de beschouwing meegenomen.

5

BUSINESSCASES

5.1 INLEIDING

In de businesscases worden de exploitatiekosten van slibvergassing bepaald. Hiervoor is eerst vastgesteld welke varianten het meest kansrijk zijn om verder uit te werken en welke uitgangspunten hiervoor moeten worden gehanteerd. Met een gevoeligheidsanalyse zijn vervolgens de effecten van verschillende parameters bepaald (o.a. voor de schaalgrootte van de vergasser). Daarnaast worden in de gevoeligheidsanalyse de exploitatiekosten van slibvergassing vergeleken met verbranding op kleine schaal (kleinschalige monoverbrander)⁵. In dit hoofdstuk wordt ook de vergelijking gemaakt tussen de huidige en toekomstige tarieven voor slibeindverwerking en de kosten per ton slibkoek bij slibvergassing.

5.2 UIT TE WERKEN VARIANTEN

Uit de balansberekeningen in hoofdstuk 4 is duidelijk geworden dat variant 1 (zonder SGT en TDH) een groot tekort heeft aan warmte waardoor de inkoop van grote hoeveelheden aardgas nodig is. Omdat dit geen duurzame bedrijfsvoering oplevert en we in deze studie niet uit kunnen gaan van beschikbare restwarmte van derden, is deze variant niet verder uitgewerkt. In dit hoofdstuk worden alleen de varianten 2 (zonder TDH) en 3 (met TDH) uitgewerkt. Ook het toepassen van een produktgasmotor is niet verder beschouwd wegens de warmtetekorten op de energiebalans en de knelpunten met betrekking tot het halen van de emissie-eisen (zie daarvoor ook verder hoofdstuk 6).

In de gevoeligheidsanalyse is tevens een vergasser met een grotere schaalgrootte opgenomen (schaal rwzi Utrecht) omdat de schaal een groot effect heeft op de exploitatiekosten. Deze exploitatiekosten (vergasser met schaalgrootte Utrecht) zijn vervolgens vergeleken met die van een kleinschalige monoverbrander op schaal Utrecht.

Andere aspecten die in de gevoeligheidsanalyse worden bekeken zijn:

- variatie in drogestofgehalte slibontwatering
- type TDH (continu of discontinu)
- Bio-P of chemische P verwijdering (as gehalte slib)
- variatie in kosten as afzet
- variatie in bouwrente
- variatie in benodigd personeel (FTE's)
- energieprijns in de toekomst
- het effect van 20% hogere investeringskosten.

5 In de huidige situatie in Nederland wordt kleinschalige monoverbranding voor slib niet toegepast

5.3 UITGANGSPUNTEN

In deze paragraaf zijn de uitgangspunten beschreven die bij de uitwerking van de businesscases zijn gehanteerd.

Deze uitgangspunten hebben betrekking op aspecten zoals de energieprijzen (gas, elektriciteit), chemicaliënkosten en de annuïteit. In Tabel 5.1 worden deze uitgangspunten weergegeven.

TABEL 5.1 ALGEMENE UITGANGSPUNTEN BUSINESSCASE

Aspect	Eenheid	Waarde
Prijs aardgas (grootverbruik)	EUR/m ³	0,3
Prijs elektriciteit inkoop	EUR/kWh	0,12
Teruglevering elektriciteit *	EUR/kWh	0,075
Natriumbicarbonaat	EUR/ton	230
Ammoniak oplossing (25%)	EUR/ton	75
Luchtactieve kool	EUR/ton	1.000
Personeelskosten, incl BTW	EUR FTE / jaar	70.000
Afschrijving civiel	jaar	30
Afschrijving Elektrisch / Mechanisch	jaar	15
Rente	% per jaar	4
Annuïteit Civiel	factor	0,058
Annuïteit W/E	factor	0,090
Toeslagfactor (BTW, engineering, risico, etc)**	factor	30%
Onvoorziene kosten	factor	10%
Onderhoudskosten civiel	% per jaar	0,5%
Onderhoudskosten E/M	% per jaar	2%
Transport as	EUR / km ton as	verwaarloosd
Afzet as (P terugwinning)	EUR / ton	0
Afzet rookgas residu	EUR / ton	200

* gebruik voor eigen waterschap op andere locatie (netbeheer en onbalanskosten), zie tekst voor toelichting

** toelichting voor deze lage waarde, zie tekst.

De overtollige elektriciteit kan worden teruggeleverd aan het openbare elektriciteitsnet. Op grond van artikel 1, lid 2 van de Elektriciteitswet is het voor waterschappen mogelijk om eigen geproduceerde elektriciteit (op de rwzi met de slibvergassing) door te leveren aan eigen andere locaties (bijvoorbeeld andere eigen rwzi's). De inkoop van elektriciteit en de daarbij behorende BTW wordt vermeden. De overige kosten zoals transport, onbalans et cetera blijven in principe aanwezig. Uitgaande van het kale inkooptarief voor elektriciteit van 6 tot 6,5 ct/kWh, geeft dit inclusief BTW een waarde van ongeveer 7,5 ct per kWh. In de huidige situatie wordt doorgaans 12 ct/kWh betaald voor een kWh elektriciteit. Of anders gesteld, het waterschap kan gemiddeld voor circa 4,5 ct/kWh op andere locaties van haar zelf de geproduceerde stroom van de locatie met slibvergassing gebruiken. Het terugleveren aan het openbare elektriciteitsnet en het er op een andere waterschapslocatie weer afhalen van elektriciteit levert dus een fors inkoopvoordeel op.

5.4 INVESTERINGS- EN EXPLOITATIEKOSTEN

5.4.1 INVESTERINGSKOSTEN

In tabel 5.2 worden de investeringkosten van varianten 2 (zonder TDH) en 3 (met TDH) weergegeven. De kostenramingen van de verschillende onderdelen zijn deels gebaseerd op referentieprojecten van HoSt met vergassers (een 3 MW_{th} wervelbed vergasser in Portugal voor de vergassing van hout en kippenmest en een 4,5 MW vergasser in Roemenie voor de vergassing van zonnebloemkaf). Naast ervaring met de bouw van vergassers is er ook recente ervaring met de levering van turn-key vergistingsinstallaties (bijvoorbeeld de slibgistingen bij RWZI te Echten van waterschap Reest en Wieden). Informatie uit deze projecten is gebruikt bij de raming van de kosten. Voor de toeslagfactor van bouwkosten naar investeringkosten is uitgegaan van een factor 1,3. Er is van deze lage waarde uitgegaan, omdat de kosten turn-key prijzen betreffen, inclusief engineering, bouwrente, winst en risico, etc. In die factor 1,3 zitten BTW en de waterschapskosten (vergunningen en projectbegeleiding). De post onvoorzien van 10 % is als onvolledigheidtoeslag nog apart meegenomen. Normaliter gaan waterschappen uit van een factor 1,6 of 1,7 maal de kale bouwkosten. Via een gevoeligheidsanalyse in de kosten, worden deze onzekerheden meegenomen in de beschouwing.

In deze kostenraming zijn onder andere de volgende kosten niet meegenomen:

- slibbuffers voor extern slib (er is van uitgegaan dat deze bestaand zijn)
- heipalen (verhardingen zijn wel meegenomen)
- wegen, omheining, overige.

De kosten zijn met een onnauwkeurigheid van ± 25% vastgesteld.

TABEL 5.2 INVESTERINGSKOSTEN VARIANTEN 2 EN 3 VOOR DE SCHAAL NIEUWEGEIN

Aspect	Eenheid	Variant 2 (zonder TDH)	Variant 3 (met TDH)
TDH + voorontwatering	EUR		1.150.000
Slibgisting + WKK / biogasketel	EUR	1.880.000	1.340.000
Ontwatering+buffering	EUR	480.000	480.000
Slibdroging+buffering	EUR	1.055.000	750.000
Vergasser	EUR	1.900.000	1.700.000
Stoomcyclus	EUR	1.700.000	2.700.000
Rookgasreiniging + BVA analyse	EUR	1.350.000	1.100.000
Gebouw ontwatering besturing	EUR	300.000	300.000
Gebouw vergasser en drogen	EUR	700.000	700.000
Anammox	EUR	1.150.000	1.500.000
elektrische apparatuur en controle	EUR	500.000	600.000
overige posten	EUR	200.000	200.000
Totale turn-key bouwkosten	EUR	11.215.000	12.520.000
Totale bouwkosten + 10% onvoorzien	EUR	12.337.000	13.772.000
Toeslagfactor	factor	130%	130%
Totale investeringkosten	EUR	16.037.000	17.904.000

5.4.2 EXPLOITATIEKOSTEN

Voor het bepalen van de exploitatiekosten zijn berekeningen gemaakt voor aspecten zoals het warmteoverschot en de asproductie. Er zijn warmtebalansen opgesteld om te bepalen of de installatie netto voldoende warmte levert om aan de totale vraag te voldoen. In het geval van 2 (zonder TDH) is er sprake van een warmtekort waardoor voor het biogas er geen WKK maar

een biogasketel geïnstalleerd is (met biogasketel is er nog een netto warmte tekort van 1.476 MWhth/j). Het gevolg hiervan is dat er netto echter geen elektriciteit geproduceerd wordt.

In Tabel 5.3 staan de uitgangspunten voor de exploitatiekosten die op basis van berekeningen van HoSt vastgesteld zijn.

TABEL 5.3 UITGANGSPUNTEN EXPLOITATIEKOSTEN (SCHAAL NIEUWEGEIN)

Aspecten	Eenheid	Variant 2 (zonder TDH)	Variant 3 (met TDH)
Warmte overschot	MWhth / j	-1.476	918
Elektriciteit productie	MWhe / j	1.760	6.508
Natriumbicarbonaat (tbv rookgasreiniging)	kg / h	75	75
Ammoniak oplossing (25%) (tbv rookgasreiniging)	kg / h	19	19
Luchtactieve kool (tbv rookgasreiniging)	kg / h	0,74	0,74
Personeel	FTE	2,5 *	2,5 *
Asproductie	ton / j	1.775	1.775
Rookgasresidue	ton / j	405	405

* in de opstartfase van de installatie is meer personeel nodig (in de gevoeligheidsanalyse is tevens een variant met 5FTE uitgewerkt)

Op basis van de investeringskosten en de opgestelde uitgangspunten voor de exploitatiekosten zijn de jaarlijkse kosten van de varianten 2 (zonder TDH) en 3 (met TDH) bepaald (inclusief BTW). De baten door de elektriciteitsproductie hangen af van het feit of de elektriciteit op de rwzi zelf gebruikt kan worden (12 ct/kWh) of moet worden teruggeleverd aan het net (7,5 ct/kWh).

Uit bovenstaande tabel komt naar voren dat de rwzi Nieuwegein in variant 3 in totaal 6.508 MWh_e aan elektrische energie opwekt. Het energiegebruik van de huidige rwzi Nieuwegein bedraagt gemiddeld 4.750 MWh_e per jaar. Er is ingeschat (berekend) dat er door de uitbreiding van de sliblijn ongeveer 785 MWh_e per jaar extra aan elektrische energie gebruikt gaat worden (slibdroging, TDH, uitbreiding Anammox, voorontwatering en vergasser). Omdat de jaarlijkse vraag naar elektriciteit kleiner is dan de eigen productie wordt er van uitgegaan dat de resterende hoeveelheid elektriciteit teruggeleverd wordt aan het net om op een andere rwzi te worden gebruikt.

De exploitatiekosten worden weergegeven in Tabel 5.4. Deze tabel laat zien dat de exploitatiekosten van variant 3 (met TDH) significant lager uitvallen dan die van variant 2 (zonder TDH). Dit wordt vooral veroorzaakt doordat er in variant 3 netto veel meer elektriciteit geproduceerd wordt, wat direct op de rwzi en op andere eigen locaties kan worden gebruikt.

TABEL 5.4 EXPLOITATIEKOSTEN VARIANTEN 2 EN 3 (SCHAAL NIEUWEGEIN)

Aspect	Eenheid	Variant 2 (zonder TDH)	Variant 3 (met TDH)
Afschrijving civiel	EUR / j	83.000	83.000
Afschrijving E/M	EUR / j	1.314.000	1.334.000
Energie elektrisch	EUR / j	-211.000	-737.000
Energie thermisch *	EUR / j	0	0
Personeel	EUR / j	175.000	175.000
Onderhoud	EUR / j	209.000	212.000
Chemicaliën	EUR / j	140.000	140.000
As transport	EUR / j	0	0
Afzet as	EUR / j	0	0
Afzet rookgas residue	EUR / j	81.000	81.000
Totale exploitatiekosten per jaar	EUR / j	1.790.000	1.287.000

* vooralsnog geen bestemming en dus geen opbrengsten

De investeringskosten van variant 3 zijn slechts circa 10 % hoger dan van variant 2. Hoewel variant 3 een extra TDH en voorontwatering nodig heeft, wordt op een aantal posten ook weer bespaard, omdat deze kleiner kunnen worden uitgevoerd (minder en droger slib behoeft een kleinere droger, vergasser en stoomcyclus). De exploitatiekosten van variant 3 zijn fors lager, voornamelijk door de waarde van de extra opgewekte elektriciteit. Bij variant 2 is deze bijdrage maar gering, omdat het biogas benut moet worden om extra warmte op te wekken en dan alleen maar de elektriciteit uit de turbine van de stoomketel van de vergasser meetelt. Om die reden kunnen we stellen dat variant 3 economisch de beste oplossing is. Daarom is de gevoeligheidsanalyse hoofdzakelijk op variant 3 toegepast.

5.5 GEVOELIGHEIDSANALYSE

5.5.1 INLEIDING

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd om het effect op de exploitatiekosten te bepalen van een aantal invloedsfactoren. Bij de uitwerking bleken een aantal factoren een klein effect te hebben en een aantal factoren een groot effect. De kleinere effecten zijn zowel voor variant 2 en 3 in beeld gebracht. De grotere effecten zijn specifiek voor variant 3 in beeld gebracht, omdat deze variant met TDH op jaarbasis de laagste exploitatiekosten oplevert. Naar verwachting is dit de meest realistische optie die in de praktijk gerealiseerd zou kunnen worden.

Allereerst is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor parameters die naar verwachting een beperkt effect hebben (beschreven in paragraaf 5.5.2):

- variatie in drogestofgehalte slibontwatering
- variatie in kosten as afzet
- type TDH (continu of discontinu)
- Bio-P of chemische P verwijdering (as gehalte slib)
- variatie in bouwrente
- variatie in aantal FTE (5 in plaats van 2,5)

Voor een aantal andere effecten is de gevoeligheid uitgebreider beschreven. Deze komen aan bod in de volgende paragrafen:

- Variatie in schaalgrootte (paragraaf 5.5.3)
- 20 % hogere investeringskosten (paragraaf 5.5.4)
- Variatie in de energieprijis (paragraaf 5.5.5)

Een vergelijking van vergassing met kleinschalige monoverbranding is uitgewerkt in paragraaf 5.5.6. Een beschouwing over de marktprijs voor slibeindverwerking in relatie tot de kosten van slibvergassing staat in paragraaf 5.6. De conclusies worden beschreven in paragraaf 5.7.

5.5.2 GEVOELIGHEIDSANALYSE VOOR PARAMETERS MET BEPERKT EFFECT

In Tabel 5.5 worden de uitgangspunten beschreven zoals die in de standaard businesscases van variant 2 en 3 (referentievariant) en in de gevoeligheidsanalyse gehanteerd zijn.

TABEL 5.5 UITGANGSPUNTEN GEVOELIGHEIDSANALYSE KLEINE EFFECTEN SCHAAL NIEUWEGEIN

Aspect	Eenheid	Referentievariant	Gevoeligheidsanalyse
Asrest ds naar vergasser (var 2)	%	36	31 - 41
Asrest ds naar vergasser (var 3)	%	44	39 - 49
Kosten afvoer as (var 2 + 3)	EUR / ton ds	0	100
Indikgraad voorafgaand aan TDH (var 3)	% ds	17	7
Droge stof na ontwatering (var 2)	% ds	23	23*
Droge stof na ontwatering (var 3)	% ds	30	25 - 35
Bouwrente (var 2 + 3)	%	4	6
Aantal FTE	-	2,5	5

* deze zal naar verwachting niet veel variëren

Op basis van de in Tabel 5.5 opgestelde uitgangspunten is een globale afweging gemaakt van de gevolgen. Voor een aantal aspecten is hierbij gekeken naar de directe gevolgen op de warmtebalans en voor een aantal andere aspecten zijn de directe financiële gevolgen bepaald. In bijlage 7 is de werkwijze voor het berekenen van deze effecten meer in detail uitgewerkt.

In Tabel 5.6 worden de resultaten van de uitgevoerde berekeningen weergegeven. Voor een aantal aspecten is het effect op het overschot aan thermische energie bepaald omdat de voorgestelde gevoeligheden vooral betrekking hadden op de hoeveelheid beschikbare warmte (betere/slechtere slibontwatering, type TDH en Bio-P versus chemisch-P). Voor de overige aspecten (kosten afvoer as, bouwrente, aantal FTE) het directe financiële effect.

TABEL 5.6 RESULTATEN GEVOELIGHEIDSANALYSE KLEINE EFFECTEN SCHAAL NIEUWEGEIN

Aspect	Eenheid	Variant 2 (zonder TDH)	Variant 3 (met TDH)
Thermische energie beschikbaar in basisvariant	MWhth / j	- 1.476	918
Slibontwatering (25% en 35% ds met TDH, 23% vast zonder TDH)	MWhth / j	- 1.476	171 en 1.665
Type TDH (7% ds)	MWhth / j	nvt	-1.897
Bio-P of chemische P (asrest)	MWhth / j	- 1.476	918
Meerkosten as afvoer (100 euro per ton as)	EUR / j	178.000	178.000
Meerkosten door hogere bouwrente (6%)	EUR / j	65.000	66.000
5 FTE in plaats van 2,5 FTE	EUR / j	175.000	175.000

Op basis van de resultaten in Tabel 5.6 zijn in Tabel 5.7 de kostentechnische gevolgen van de gevoeligheidsanalyse uitgewerkt. Hiervoor zijn de herberekende exploitatiekosten voor de verschillende aspecten vergeleken met de exploitatiekosten van de basisvariant. De productie van een groter warmte overschot is in deze tabel niet vertaald naar kostenvoordelen omdat een overschot aan restwarmte over het algemeen geen kostenvoordelen oplevert. Een tekort aan restwarmte levert echter wel kosten op. Hiervoor is aangenomen dat extra aardgas ingekocht moet worden.

TABEL 5.7 EFFECT VAN GEVOELIGHEIDSANALYSE OP DE EXPLOITATIEKOSTEN VAN RWZI NIEUWEGEIN (EUR/JAAR)

Exploitatiekosten per jaar	Variant 2 (zonder TDH) €/ jaar	% toename	Variant 3 (met TDH) €/ jaar	% toename
Basisvariant	1.790.000	0	1.287.000	0
Slibontwatering (25% en 35% ds met TDH, 23% zonder TDH)	1.790.000	0	1.287.000 en 1.287.000 *	0 – 0
Type TDH (7% ds)	1.790.000	nvt	1.352.000	5
Bio-P of chemische P (asrest)	1.790.000	0	1.287.000	0
Kostentoeename as afvoer	1.968.000	10	1.465.000	14
Variatie in bouwrente (6 ipv 4%)	1.856.000	4	1.354.000	5
5 FTE in plaats van 2,5 FTE	1.968.000	10	1.462.000	14

* geen financieel effect omdat de warmtebalans nog steeds positief is en er dus geen extra aardgas verstoekt hoeft te worden

Uit bovenstaande tabel komt naar voren dat de exploitatiekosten van de door ons uitgewerkte cases het gevoeligst zijn voor hogere afzetkosten van de as (100 euro per ton in plaats van 0 euro per ton) en voor de inzet van meer FTE (5 in plaats van 2,5). De effecten van het type TDH en de variatie in bouwrente is ook duidelijk zichtbaar. Het effect van de overige aspecten is verwaarloosbaar. De nuttige afzet van de as voor P-terugwinning is voor de toekomst een waarschijnlijke optie.

Mocht er voor restwarmte een nuttige toepassing zijn, waaraan waarde (geld) kan worden toegekend, zijn het type TDH en de slibontwatering meer van belang. Op dit moment resulteert een groter warmte overschot immers niet in een verlaging van de exploitatiekosten omdat als uitgangspunt gehanteerd is dat hier geen nuttige toepassing voor aanwezig is. Dat geldt dan ook voor de duurzaamheid. In dat geval scoren een zo hoog mogelijk ds gehalte in de TDH en een slibontwatering met een zo hoog mogelijk ds gehalte het positiefst.

Indien alle aspecten negatief zouden uitwerken, is een maximale kostentoeename mogelijk van $14 + 14 + 5 + 5 = 38$ % mogelijk.

In de volgende paragrafen worden aspecten uitgewerkt, waarvan verwacht wordt dat de gevoeligheid groter is. Dit vindt alleen plaats voor variant 3, omdat dit de meest voor de hand liggende variant is, qua realiteitswaarde en kosten.

5.5.3 GEVOELIGHEID VOOR SCHAALGROOTTE

Een belangrijk onderdeel van de gevoeligheidsanalyse betreft de schaalgrootte. Hierbij is uitgegaan van een casus waarbij de huidige variant 3 (met TDH, capaciteit vergasser 4.090 ton ds/jaar) opgeschaald wordt naar de schaalgrootte van de rwzi Utrecht (capaciteit vergasser 11.000 ton ds/jaar).

Als eerste is er een massa- en energiebalans opgesteld (bijlage 8) om te bepalen in welke mate een rwzi met deze schaalgrootte in zijn eigen elektriciteit en warmtevraag kan voorzien (Tabel 5.8).

Uit Tabel 5.8 komt naar voren dat er voor schaal Utrecht op jaarbasis een overschot is aan warmte van 2.388 MWh_{th} / jaar.

TABEL 5.8

WARMTE INTEGRATIE VARIANT 3 SCHAAL NIEUWEGEIN EN SCHAAL UTRECHT

Beschrijving	Eenheid	Variant 3 (met TDH) Schaal Nieuwegein	Variant 3 (met TDH) Schaal Utrecht
Warmteproductie			
stoomcyclus	MWhth/jaar	4.906	16.387
stoomaftap TDH	MWhth/jaar	3.558*	8.532*
boiler biogas	MWhth/jaar		1.541**
WKK biogas	MWhth/jaar	6.065	16.713
totaal	MWhth/jaar	14.529	43.173
Warmtevraag			
TDH	MWhth/jaar	3.558	10.073
droging netto	MWhth/jaar	6.032	18.427
efficiency droger	%	60	60
droging bruto	MWhth/jaar	10.053	30.712
totaal	MWhth/jaar	13.611	40.785
Warmtebalans	MWhth/jaar	918	2.388
Elektriciteitsproductie			
biogas WKK	MWhe/jaar	5.634	16.527
produktgas motor	MWhe/jaar	873	3.053
totaal	MWhe/jaar	6.508	19.580

* De stoom voor TDH wordt afgetapt van dezelfde stoomketel en is al in mindering gebracht op de weergegeven warmteproductie

** aanvullende warmteproductie door biogas boiler

Investeringskosten: in Tabel 5.9 worden de geraamde investeringskosten voor schaal Nieuwegein en schaal Utrecht naast elkaar weergegeven. Voor schaal Utrecht zijn de investeringskosten opgeschaald vanaf de ramingen van Nieuwegein op basis van expert judgement.

TABEL 5.9 INVESTERINGSKOSTEN VARIANT 3 BIJ SCHAALGROOTTE NIEUWEGEIN EN UTRECHT

Aspect	Eenheid	Variant 3 (met TDH) Schaal Nieuwegein	Variant 3 (met TDH) Schaal Utrecht
TDH	EUR	1.150.000	1.800.000
Slibgisting + WKK / biogasketel	EUR	1.340.000	3.300.000
Ontwatering+buffering	EUR	480.000	807.000
Slibdroging+buffering	EUR	750.000	1.800.000
Vergasser	EUR	1.700.000	2.800.000
Stoomcyclus	EUR	2.700.000	3.100.000
Rookgasreiniging + BVA analyse	EUR	1.100.000	1.800.000
Gebouw ontwatering besturing	EUR	300.000	400.000
Gebouw vergasser en drogen	EUR	700.000	1.000.000
Anammox	EUR	1.500.000	2.200.000
elektrische apparatuur en controle	EUR	600.000	800.000
overige posten	EUR	200.000	300.000
Totale D&C bouwkosten	EUR	12.520.000	20.107.000
Totale bouwkosten + 10% onvoorzien	EUR	13.772.000	22.118.000
Toeslagfactor	factor	130%	130%
Totale investeringskosten	EUR	17.904.000	28.753.000

Uit bovenstaande tabel is af te leiden dat bij grotere schaalgrootte de geraamde investeringskosten met 61% toenemen terwijl de verwerkingscapaciteit bijna verdriedubbelt. Opschalen is dus zinvol.

Exploitatiekosten: voor het berekenen van de exploitatiekosten zijn de uitgangspunten van variant 3 (met TDH) vanaf schaal Nieuwegein lineair opgeschaald naar de schaalgrootte van Utrecht. Een uitzondering hierop zijn de personeelskosten. Deze stijgen niet omdat de installatie in principe dezelfde personele capaciteit vereist. In Tabel 5.10 zijn de uitgangspunten voor de exploitatiekosten voor beide schalen samenvattend weergegeven.

Uit Tabel 5.10 komt naar voren dat de installatie met de schaalgrootte Utrecht op jaarbasis 19.580 MWh_e opwekt. Het energiegebruik van de huidige rwzi Utrecht bedraagt gemiddeld 13.500 MWh_e per jaar. Er is berekend dat er door de uitbreiding van de sliblijn ongeveer 2.000 MWh_e per jaar extra aan elektrische energie gebruikt gaat worden (slibdroging, TDH, uitbreiding Anammox, voorontwatering en vergasser). Omdat de jaarlijkse vraag naar elektriciteit kleiner is dan de eigen productie wordt er van uitgegaan dat er 4.000 MWh_e teruggeleverd kan worden aan het net. Daar is met de kostenraming rekening mee gehouden (7,5 ct/kWh voor teruglevering aan net voor gebruik eigen installaties). In Tabel 5.11 worden de verwachte exploitatiekosten van de twee schaalgrootten naast elkaar gezet.

TABEL 5.10 UITGANGSPUNTEN EXPLOITATIEKOSTEN VOOR BEIDE SCHALEN

Aspecten	Eenheid	Variant 3 (met TDH) Schaal Nieuwegein	Variant 3 (met TDH) Schaal Utrecht
Elektriciteit productie	MWhe / j	6.508	19.580
Natriumbicarbonaat (tbv rookgasreiniging)	kg / h	75	202
Ammoniak oplossing (25%) (tbv rookgasreiniging)	kg / h	19	51
Luchtactieve kool	kg/h	0,74	2
Personeel	FTE	2,5	2,5
Asproductie	ton / j	1.775	4.774
Rookgas residue	ton / j	405	1.089

TABEL 5.11 EXPLOITATIEKOSTEN VARIANT 3, VOOR DE TWEE VERSCHILLENDE SCHAALGROOTTEN

Aspect	Eenheid	Variant 3 (met TDH) Schaal Nieuwegein	Variant 3 (met TDH) Schaal Utrecht
Afschrijving civiel	EUR / j	83.000	116.000
Afschrijving E/M	EUR / j	1.334.000	2.175.000
Elektriciteitproductie	EUR / j	-737.000	-2.171.000
Warmte overschot *	EUR / j	0	0
Personeel	EUR / j	175.000	175.000
Onderhoud	EUR / j	212.000	345.000
Chemicaliën	EUR / j	140.000	376.000
As transport	EUR / j	0	0
As afzet	EUR / j	0	0
Afzet rookgas residu	EUR / j	81.000	218.000
Totale exploitatiekosten per jaar	EUR / j	1.287.000	1.233.000

* vooralsnog geen bestemming

Uit de gegevens in bovenstaande tabel komt naar voren dat de opbrengst van de opgewekte stroom een groot effect heeft op de exploitatiekosten. Op de schaalgrootte Utrecht nemen de opbrengsten door de opgewekte stroom lineair toe, terwijl de afschrijvingen maar beperkt toenemen. Hierdoor zijn de totale jaarlijkse exploitatiekosten van beide schalen vergelijkbaar.

5.5.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE 20 % HOGERE INVESTERINGSKOSTEN

In deze paragraaf is het effect van verhoogde investeringskosten op de totale exploitatiekosten van het project beschreven. Hierbij is er van uitgegaan dat de investeringskosten 20% hoger uitvallen dan de reeds geraamde investeringskosten. In Tabel 5.12 is het effect van deze hogere investeringen weergegeven. Stel dat de toeslagfactor van 1,3 in de praktijk toch te laag is, dan leveren de factor onvoorzien van 1,1 (die er al in zit) en de factor 1,2 (20% hogere investeringskosten) uiteindelijk een toeslag van 1,7 op. Deze factor 1,7 kan worden gebruikt als een "bovengrens in de onzekerheden".

TABEL 5.12

EXPLOITATIEKOSTEN MET 20 % HOGERE INVESTERINGSKOSTEN (VARIANT 3, VERSCHILLENDE SCHAALGROOTTEN)

Aspect	Eenheid	Variant 3 (met TDH) Schaal Nieuwegein	Variant 3 (met TDH) Schaal Utrecht
Afschrijving civiel (+20 % extra)	EUR / j	99.600	139.200
Afschrijving E/M (+ 20 % extra)	EUR / j	1.600.800	2.610.000
Elektriciteitproductie	EUR / j	-737.000	-2.171.000
Warmte overschot *	EUR / j	0	0
Personeel	EUR / j	175.000	175.000
Onderhoud	EUR / j	212.000	345.000
Chemicaliën	EUR / j	140.000	376.000
As transport	EUR / j	0	0
As afzet	EUR / j	0	0
Afzet rookgas residue	EUR / j	81.000	218.000
Totale exploitatiekosten per jaar	EUR / j	1.571.000	1.692.000

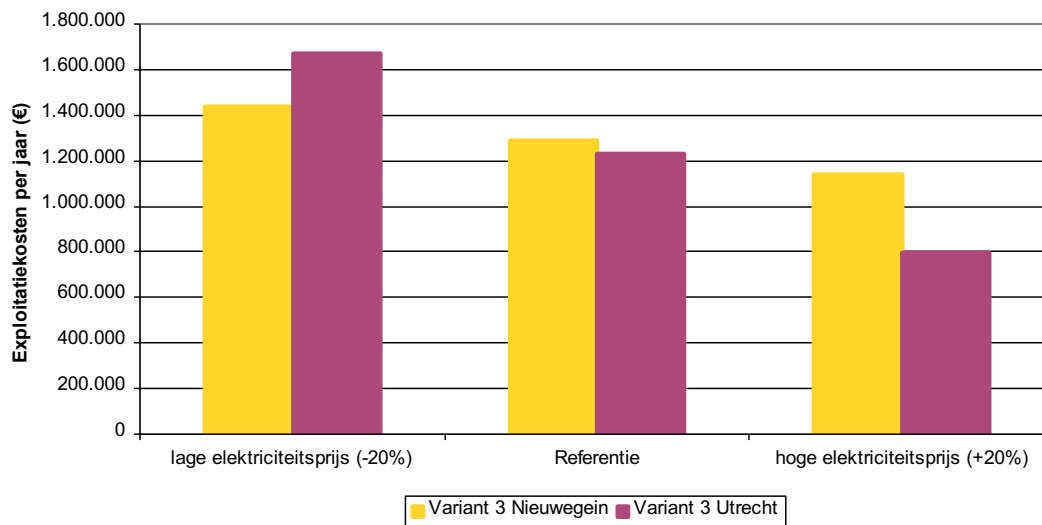
* vooralsnog geen bestemming

Uit Tabel 5.12 volgt dat de jaarlijkse exploitatiekosten voor de schaal Nieuwegein € 1.571.000 bedragen en voor de schaalgrootte Utrecht € 1.692.000. Ten opzichte van de basisvarianten (jaarlijkse exploitatiekosten Nieuwegein € 1.287.000 en Utrecht € 1.233.000) betekenen de 20% hogere investeringskosten respectievelijk een toename van 22% en 37% van de exploitatiekosten. Dit verschil in effect op schaal Nieuwegein (22%) en schaal Utrecht (37%) komt doordat er een verschil is in verhoudingen van afschrijvingen en overige jaarlijkse kosten. Met andere woorden, de extra kapitaallasten van Utrecht ten opzichte van Nieuwegein worden grotendeels door de opbrengsten van elektriciteit gecompenseerd. Een toename op die kapitaallasten zal dan in totaliteit een groter effect geven.

5.5.5 GEVOELIGHEIDSANALYSE ENERGIEPRIJS

Om het effect van schommelingen in de elektriciteitsprijs te bepalen zijn in deze paragraaf de effecten van een 20% hogere of lagere energieprijs inzichtelijk gemaakt. Variant 3 (met TDH) op de schaalgrootte Nieuwegein en Utrecht zijn hierbij als uitgangspunten gehanteerd. In Figuur 5.1 worden de jaarlijkse exploitatiekosten per ton slibkoek weergegeven voor een 20% lagere en een 20% hogere elektriciteitsprijs.

FIGUUR 5.1 EXPLOITATIEKOSTEN BIJ 20% LAGERE EN 20% HOGERE ELEKTRICITEITSPRIJS



Uit Figuur 5.1 kan worden afgeleid dat de exploitatiekosten sterk afnemen wanneer de elektriciteitsprijs stijgt en toenemen wanneer de elektriciteitsprijs daalt. De geproduceerde elektriciteit is immers meer waard. Met name bij de schaalgrootte Utrecht levert een 20% hogere elektriciteitsprijs een sterke reductie op van de jaarlijkse exploitatiekosten. Andersom is een daling ongunstig voor de opbrengsten.

5.5.6 VERGELIJKING VERGASSING MET KLEINSCHALIGE MONOVERBRANDING

Kleinschalige monoverbranding is een alternatief voor vergassing op locatie. In Nederland is hiermee geen ervaring, maar in het buitenland wordt het wel toegepast. Naast de vergelijking van de tarieven voor slibeindverwerking met de tarieven van centrale grootschalige monoverbranding (zie paragraaf 5.6) is het zinvol in het kader van de gevoeligheidsanalyse ook een kleinschalige slibverbrander door te rekenen en op kosten te zetten. De specifieke voor- en nadelen van vergassen ten opzichte van verbranden, komen daarmee duidelijker naar voren.

In deze paragraaf wordt deze vergelijking beschreven. Het moet worden beschouwd als een quick scan. Er is geen referentie, literatuuronderzoek naar kleinschalige verbranding uitgevoerd en ook geen werkbezoek op locatie geweest. De investeringskosten zijn van een monoverbrander zijn bepaald met de schaalgrootte van de rwzi Utrecht (het meest kansrijk). Het type monoverbrander betreft een BFB verbrander (bubbling fluidized bed). In bijlage 4 zijn de kenmerken van de BFB verbrander beschreven en wordt dit type verbrander vergeleken met een CFB vergasser. In deze paragraaf is eerst een massa- en energiebalans opgesteld waarna de investerings- en exploitatiekosten berekend zijn. Ook nu weer is als eerste een warmte- en energiebalans opgesteld om te bepalen in welke mate een rwzi met deze schaalgrootte in zijn eigen warmtevraag kan voorzien, zie tabel 5.13. Uit de balansberekeningen komt naar voren dat er zowel bij verbranden als bij vergassen sprake is van een overschot aan warmte. De verschillen zijn klein.

TABEL 5.13

WARMTE INTEGRATIE VARIANT 3 SCHAAL UTRECHT SLIBVERGASSING VERSUS VERBRANDING

Beschrijving	Eenheid	Variant 3 Monovergassing Schaal Utrecht	Variant 3 Monoverbranding Schaal Utrecht
Warmteproductie			
stoomcyclus	MWhth/jaar	16.387	15.898
stoomaftap TDH	MWhth/jaar	8.532	8.532
boiler biogas	MWhth/jaar	1.541**	1.541**
WKK biogas	MWhth/jaar	16.713	16.713
totaal	MWhth/jaar	43.173	42.684
Warmtevraag			
TDH	MWhth/jaar	10.073	10.073
droging netto	MWhth/jaar	18.427	18.427
efficiency droger	%	60	60
droging bruto	MWhth/jaar	30.712	30.712
totaal	MWhth/jaar	40.785	40.785
Warmtebalans	MWhth/jaar	2.388	1.899
Elektriciteitsproductie			
biogas WKK	MWhe/jaar	16.527	16.527
Stoomcyclus	MWhe/jaar	3.053	2.974
totaal	MWhe/jaar	19.580	19.501

* De stoom voor TDH wordt afgetapt van dezelfde stoomketel en is al in mindering gebracht op de weergegeven warmteproductie

** aanvullende warmteproductie door biogas boiler

De investerings- en exploitatiekosten van slibvergassen en monoverbranding voor schaal Utrecht zijn weergegeven in tabel 5.14 en tabel 5.15. Uit beide tabellen blijkt dat de verschillen tussen slibvergassen en monoverbranding op kleine schaal beperkt zijn.

TABEL 5.14 VERGELIJKING VAN INVESTERINGSKOSTEN VERGASSEN EN VERBRANDEN SCHAALGROOTE UTRECHT (VARIANT 3)

Aspect	Eenheid	Slibvergassing	Monoverbranding
TDH+ontwatering	EUR	1.800.000	1.800.000
Slibgisting + WKK / biogasketel	EUR	3.300.000	3.300.000
Ontwatering+buffering	EUR	807.000	807.000
Slibdroging+buffering	EUR	1.800.000	1.800.000
Vergasser (of verbrander)	EUR	2.800.000	2.100.000
Stoomcyclus	EUR	3.100.000	3.300.000
Rookgasreiniging	EUR	1.500.000	1.890.000
BVA analyse	EUR	300.000	300.000
Gebouw ontwatering besturing	EUR	400.000	400.000
Gebouw vergasser (verbranden) en drogen	EUR	1.000.000	1.000.000
Anammox	EUR	2.200.000	2.200.000
elektrische apparatuur en controle	EUR	800.000	800.000
overige posten	EUR	300.000	300.000
Totale bouwkosten	EUR	20.107.000	19.997.000
Onvoorzien	EUR	2.010.000	2.000.000
		22.117.000	21.997.000
Toeslagfactor	Factor	130%	130%
Totale investeringskosten	EUR	28.753.000	28.596.000

In Tabel 5.15 worden de exploitatiekosten van een slibvergasser en een slibverbrander na slibontwatering (schaalgroote rwzi Utrecht) weergegeven.

TABEL 5.15 EXPLOITATIEKOSTEN SLIBVERGASSING EN SLIBMONOVERBRANDING (VARIANT 3, SCHAAL UTRECHT)

Aspect	Eenheid	Slibvergassing	Monoverbranding
Afschrijving civiel	EUR / j	116.000	116.000
Afschrijving E/M	EUR / j	2.175.000	2.160.000
Elektriciteitproductie	EUR / j	-2.171.000	-2.165.000
Warmte overschot *	EUR / j	0	0
Personeel	EUR / j	175.000	175.000
Onderhoud	EUR / j	345.000	343.000
Chemicaliën	EUR / j	376.000	376.000
As transport	EUR / j	0	0
As afzet	EUR / j	0	0
Rookgas residue afzet	EUR / j	218.000	218.000
Totale exploitatiekosten per jaar	EUR / j	1.233.000	1.223.000

* vooralsnog geen bestemming

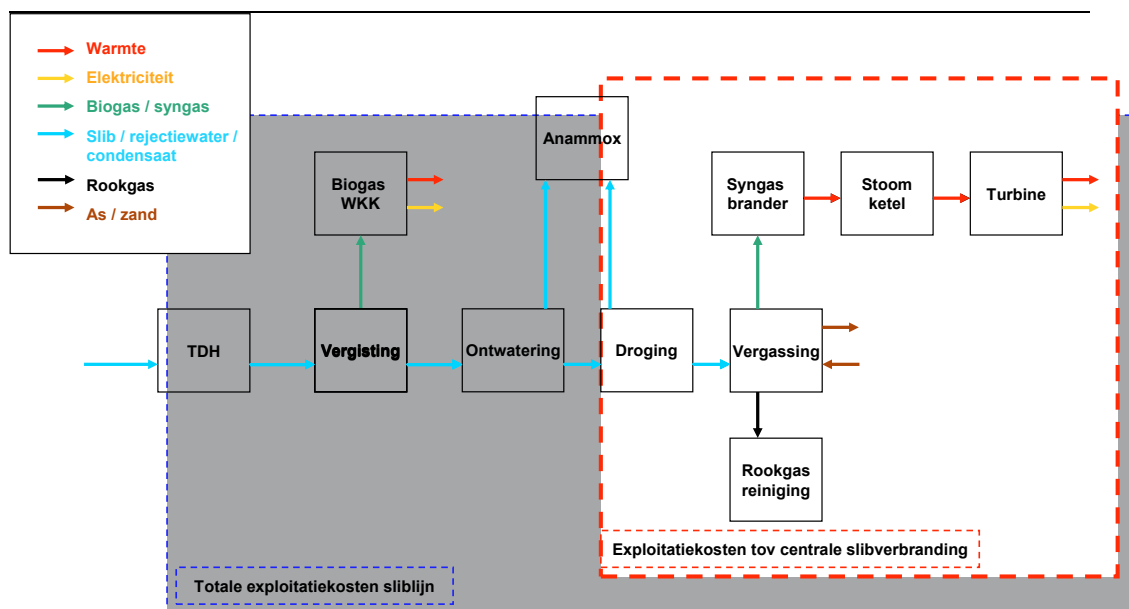
5.6 VERGELIJKING VAN SLIBVERGASSING MET MARKTPRIJS VOOR SLIBEINDVERWERKING

In deze paragraaf wordt een vergelijking gemaakt tussen de huidige marktprijs voor de verwerking van een ton slibkoek en de verwerkingskosten per ton slibkoek bij vergassing en kleinschalige monoverbranding.

Om een objectieve vergelijking te kunnen maken van de verwerkingskosten per ton ontwaterd slib slib in vergelijking met de marktprijs moeten de kosten van de TDH, gistingstanks en ontwatering buiten beschouwing worden gelaten. Ook de kosten van de Anammox zijn in

deze kostenberekening slechts voor een beperkt deel meegenomen (alleen voor de stikstof in het condensaat van de slibdroging). In Figuur 5.2 worden de systeemgrenzen weergegeven voor het bepalen van de exploitatiekosten van slibvergassing ten opzichte van centrale slibverwerking.

FIGUUR 5.2 SYSTEEMGRENZEN VOOR HET BEPALEN VAN DE EXPLOITATIEKOSTEN VAN SLIBVERGASSING TEN OPZICHTE VAN CENTRALE SLIBVERWERKING



In deze paragraaf zullen de verwerkingskosten per ton slibkoek uitgewerkt worden voor de verschillende schaalgrootten van variant 3. Deze varianten zijn gekozen omdat de totale jaarlijkse exploitatiekosten van deze varianten het laagste uitvallen. Voor het vergelijken van de slibverwerkingskosten per ton slibkoek zijn allereerst de slibhoeveelheden bepaald. Deze zijn weergegeven in Tabel 5.16.

TABEL 5.16 HOEVEELHEDEN SLIBKOEK MET DS GEHALTE OP JAARBASIS VOOR TWEE SCHAALGROOTTEN (VARIANT 3)

Aspect	Eenheid	Schaal		
		Nieuwegein vergassing	Utrecht vergassing	Schaal Utrecht kleinschalige monoverbranding
Droge stof na ontwatering	% ds	30	30	30
Capaciteit vergasser / verbrander	ton ds / jaar	4.090	11.000	11.000
Ton slibkoek op jaarbasis	ton/jaar	13.600	36.700	36.700

In Tabel 5.17 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten weergegeven, exclusief kosten van ontwatering, TDH, gistingstanks en de deelstroombehandeling. Daarnaast zijn de exploitatiekosten per ton slibkoek weergegeven.

TABEL 5.17 EXPLOITATIEKOSTEN NA SLIBONTWATERING EN VERWERKINGSKOSTEN PER TON SLIBKOEK (VARIANT 3, VERSCHILLENDE SCHAALGROOTTEN)

Aspect	Eenheid	Variant 3	Variant 3	Variant 3
		Vergassing Schaal Nieuwegein	Vergassing Schaal Utrecht	Verbranding Schaal Utrecht
Afschrijving civiel	EUR / j	58.000	83.000	83.000
Afschrijving E/M	EUR / j	916.000	1.376.000	1.362.000
Elektriciteitsproductie	EUR / j	-99.000	-339.000	-330.000
Warmte overschot *	EUR / j	0	0	0
Personeel	EUR / j	175.000	175.000	175.000
Onderhoud	EUR / j	176.000	263.000	261.000
Chemicaliën	EUR / j	140.000	376.000	376.000
As transport	EUR / j	0	0	0
As afzet	EUR / j	0	0	0
Afzet rookgas residue	EUR / j	81.000	218.000	218.000
Totale exploitatiekosten per jaar	EUR / j	1.446.000	2.152.000	2.144.000
Exploitatiekosten per ton slibkoek	EUR/ton koek	106	59	58

* vooralsnog geen bestemming

Uit Tabel 5.17 blijkt dat het schaafeffect op de slibverwerkingstarieven groot is. De economische haalbaarheid van slibvergasning wordt uiteindelijk bepaald door de tarieven voor slibeindverwerking te vergelijken met de huidige en toekomstige tarieven voor centrale monoverbranding in Nederland. In Nederland zijn er grote verschillen in de marktprijs voor slibeindverwerking. De hoogste tarieven zijn circa 100 euro/ton koek (inclusief BTW en transport). De laagste tarieven circa 55-60 euro per ton koek (er zijn aanbestedingen geweest met verwerkingstarieven onder de 50 euro per ton koek). Gemiddeld wordt een prijs van 70-80 euro per ton koek aangehouden. Dit is het huidige tarief voor centrale monoverbranding in Nederland.

Uit actuele studies (Haskoning, Tauw [11,12]) blijkt dat er bij gebruik van laagwaardige restwarmte en bijbehorende droogtechnieken (banddrogers, kassen) en de overcapaciteit in de Nederlandse markt de tarieven het komende decennium wel eens zouden kunnen zakken tot circa 50-55 EUR per ton koek als marktprijs. Mogelijk kunnen de tarieven van centrale monoverbranding over 10-15 jaar na afschrijving van de installatie nog lager uitvallen (mits er voldoende slib wordt aangevoerd). Aan de andere kan niet worden uitgesloten dat door verplichting in Duitsland om fosfaat terug te winnen, er in West-Europa een tekort aan verwerkingscapaciteit komt. Vooralsnog wordt uitgegaan van een daling van de prijs.

Op de schaal Nieuwegein komen we met slibvergassen uit op slibverwerkingstarieven boven de 100 euro/ton koek (inclusief alles) en is daarmee dus economisch nu en in de toekomst niet haalbaar. Op schaal Utrecht komen we uit op circa 59 euro per ton koek (inclusief alles). Daarmee is slibvergassen nu dus wel haalbaar, maar is het de vraag of dit in de toekomst ook nog zo is. Monoverbranden op schaal Utrecht komt ongeveer op hetzelfde tarief uit. Monovergassen op rwzi schaal heeft dus geen kostenvoordeel ten opzichte van monoverbranden op rwzi schaal

5.7 CONCLUSIES

Uit de kostencalculaties van de business cases blijkt dat variant 3 als slibeindverwerking met toepassing van TDH de laagste jaarlijkse kosten met zich meebrengt. De investeringskosten van variant 3 zijn slechts circa 10 % hoger dan van variant 2. Hoewel variant 3 een extra TDH en voorontwatering nodig heeft, wordt op een aantal posten ook weer bespaard, omdat deze kleiner kunnen worden uitgevoerd (minder en droger slib behoeft een kleinere droger,

vergasser en stoomcyclus). De exploitatiekosten van variant 3 zijn fors lager, voornamelijk door de waarde van de extra opgewekte elektriciteit. Bij variant 2 is deze bijdrage maar gering, omdat het biogas benut moet worden om extra warmte op te wekken en dan alleen maar de elektriciteit uit de turbine van de stoomketel van de vergasser meetelt. Om die reden kunnen we stellen dat variant 3 economisch de beste oplossing is. Daarom is de gevoeligheidsanalyse hoofdzakelijk op variant 3 toegepast.

Het schaalearde heeft een grote invloed op de kosten. Bij opschalen van Nieuwegein naar schaal Utrecht nemen de geraamde investeringskosten toe met 61%, terwijl de verwerkingscapaciteit bijna verdriedubbelt. Opschalen is dus zinvol. De verwachting is dat de exploitatiekosten bij een grotere schaal nog lager zullen uitvallen omdat de investeringskosten slechts beperkt toenemen ten opzichte van de baten uit de elektriciteitsproductie die lineair toenemen. Hierdoor zijn de totale netto jaarlijkse kosten van beide schalen zelfs in dezelfde orde van grootte.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt verder dat een toename van 20 % in de investeringskosten en een hogere elektriciteitsprijs een relatief grote invloed zou hebben op de jaarlijkse kosten. Daarbij is een hoge elektriciteitsprijs juist gunstig door de relevante elektriciteitsteruglevering. De overige aspecten uit de gevoeligheidsanalyse: het ds gehalte van de slibontwatering, het type TDH, de hoeveelheid chemisch Pen de bouwrente zijn van minder betekenis. De asafzet en het aantal FTE's tikt wel iets meer door. Mocht er voor restwarmte een nuttige toepassing zijn, waaraan waarde (geld) kan worden toegekend, zijn het type TDH en de slibontwatering meer van belang dan nu uit de gevoeligheidsanalyse blijkt. Toepassen van een zo hoog mogelijk drogestofgehalte is gunstig, zowel voor de slibontwatering als voor de TDH. Indien alle aspecten uit de gevoeligheidsanalyse negatief zouden uitwerken, is een maximale kostentoeename van 38 % mogelijk.

Monoslibverbranding op kleine lokale schaal komt qua kosten nagenoeg overeen met slibvergassing. Ook qua energieintegratie zijn er bijna geen verschillen.

Qua tarieven van de slibeindverwerking moet deze ergens tussen de 50 en 60 euro per ton koek bedragen wil de verwerking qua kosten concurrerend zijn met de huidige verwerking. Tevens moeten de tarieven vergelijkbaar zijn met de toekomstige (verwachte) marktprijzen. Op de schaal van Nieuwegein ontstaat voor de slibeindverwerking een tarief van 106 EUR/ton koek. Dit is dus niet concurrerend. Deze schaal is te klein. Daarmee is vergassen op die schaal met de gekozen uitgangspunten en de schaalgrootte en ervaringen van HoSt niet haalbaar. Hierbij moet worden vermeld dat er andere leveranciers zijn die kleinere apparaten leveren (zoals Kopf en ter zijner tijd Thermo System). Toch zijn de uitvoerders er vrij zeker van dat Nieuwegein onder de ondergrens qua capaciteit zit, omdat de hoeveelheid randapparatuur hetzelfde blijft en ook de wanddikte ten opzichte van het reactorvolume een steeds belangrijker aandeel krijgt. Veel kleiner lijkt niet realistisch. De toekomst zal uitwijzen of de kleine schaal haalbaar is

Op de schaal van Utrecht ontstaat voor de slibeindverwerking een tarief van 58 - 59 EUR/ton koek. Op deze schaal is lokale vergassing of monoverbranding haalbaar in vergelijking met de huidige marktprijs. Voor de toekomstige marktprijs ligt deze in dezelfde orde van grootte. Stel dat rekening gehouden moet worden met de worst case uit de gevoeligheidsanalyse van 38 % komt het tarief uit op 81 euro/ton koek. In dat geval is decentrale vergassing of monoverbranding nu en in de toekomst niet concurrerend met andere verwerkingsroutes.

6

REGELGEVING EN EMISSIES NAAR LUCHT

6.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt specifiek aandacht gegeven aan de emissies naar de lucht. Emissies naar bodem (afzet as) en water (waswater rookgassen) zijn geen knelpunt. De hoeveelheden kunnen worden teruggevonden in de massabalansen in bijlage 8.

De emissies naar de lucht spelen bij vergassen (en verbranden) een belangrijke rol. Er is bovendien veel verschillende regelgeving, waarbij op voorhand niet duidelijk hoe deze regelgeving in het buitenland nu wordt toegepast en in Nederland in de toekomst moet/kan worden toegepast. In dit hoofdstuk wordt daar specifiek aandacht aan gegeven.

6.2 REGELGEVING IN EUROPA EN NEDERLAND

De regelgeving in Nederland (en bijvoorbeeld ook in Duitsland) zijn alle afgeleid van Europese wetgeving. In hoofdlijnen kunnen we stellen dat er in Nederland twee verschillende besluiten zijn die voor slibvergassing op locatie van toepassing zouden kunnen zijn:

- 1 BEMS: Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties.
- 2 BVA: Besluit Verbranden Afvalstoffen.

Ad 1. BEMS staat naast BEES A (Besluit Emissie Eisen Stookinstallaties) die geldt voor grote installaties (> 50 mW en dus > 20 MWth). Onze vergassers hebben een capaciteit van 1-3 MWth en vallen dus qua capaciteit onder BEMS. De Duitse tegenhanger is de TA luft (4 BimSchV (= BundesImmissionsschutz-Verordnung) wordt soms ook genoemd. Dit is wetgeving die aangeeft welke installatie vergunning plichtig is). De verbranding van biogas in gasmotoren en stoomketels valt onder dit besluit. Er zijn met name eisen voor SO₂ en NO_x en niet voor metalen, CO en C_xH_y.

Ad 2. De BVA. Besluit Verbranden Afvalstoffen is inmiddels (per 1 januari 2013) opgenomen in de Industriële Emissie Richtlijn die in NL is geïmplementeerd in het Activiteitenbesluit. Daarin is een wijziging opgenomen in het kader implementatie Europese richtlijn industriële emissies: vergassen/pyrolyse valt niet onder dit besluit indien rookgassen zodanig zijn gereinigd dat er niet meer emissies ontstaan dan bij verbranding aardgas ([9], blz. 16: paragraaf 5.2 artikel 5.15. 2c). Ofwel vergassen van slib zonder uitgebreide rookgasreiniging (Hg, SO₂, NO_x) is niet mogelijk en toepassing van gasmotor lijkt dan gezien de hogere CO emissies in vergelijking met aardgas ook niet mogelijk. Dit activiteitenbesluit BVA komt voort uit EU DIRECTIVE 2000/76/EC of the european parliament and of the council. In Duitsland wordt dit de 17 BimSchV genoemd. Dit besluit bevat eisen die gelden voor de verbranding van afvalstoffen en hebben naast de eisen voor SO₂ en NO_x o.a. ook eisen voor metalen, CO en C_xH_y (koolwaterstoffen).

Qua eisen verschillen de waarden voor SO₂ en NO_x tussen de BEMS en de BVA nauwelijks, maar de grote verschillen zitten in de eisen voor de andere componenten, zoals metalen, CO

en C_xH_y . BEMS heeft daarvoor geen eisen, maar BVA wel. Als BVA van kracht is, zijn de eisen dus strenger en heb je een duurdere rookgasreiniging (RGR) nodig. Bij toepassing van een gasmotor wordt een deel van de C_xH_y doorgelaten en is deze eis sowieso niet te halen (zie paragraaf 3.4). Als BVA van kracht is, is een gasmotor voor produktgas dus niet mogelijk.

6.3 DE PRAKTIJK IN DUITSLAND

Bij het werkbezoek in Duitsland aan de installatie in Mannheim van de firma Kopf (zie hoofdstuk 3) bleek dat het in overleg met de vergunningverlener van dit Bundesland Baden-Württemberg mogelijk is gebleken een “knip” te leggen in de toepassing van de besluiten. De vergasser zelf moet voldoen aan BVA (17 BimSchV), dus gasdicht en geen emissies, maar het produktgas, dat in de nabijgelegen droger wordt verstoekt in een stoomketel aan TA Luft. Dat betekent dat men daar moet voldoen aan soepele emissie-eisen en weinig voorzieningen voor behandeling van de rookgassen nodig heeft. Op dit moment wordt het produktgas verstoekt in een stoomketel. Wegens de soepele emissie-eisen is men van plan deze te zijner tijd te vervangen door een gasmotor (met het potentieel hogere energierendement). In andere Bundeslanden moet Kopf wel voldoen aan 17 BimSchV maar hebben ze uitzonderingen aangevraagd voor NO_x en SO_2 . De noodvoorziening/flare waarin het produktgas wordt afgefakkeld in noodgevallen hoeft niet te voldoen aan de BVA.

Volgens Kopf is deze knip in emissie-eisen de reden dat toepassing van slibvergassing in Mannheim, mogelijk is gebleken, omdat verbranden sowieso onder de 17 BimSchV valt en daardoor hoge kosten voor de rookgasreiniging met zich meebrengt en daardoor voor de locatie Mannheim onhaalbaar is.

6.4 VERWACHTE SITUATIE IN NEDERLAND

‘EU DIRECTIVE 2000/76/EC of the european parliament and of the council’ en dus de BVA (Article 3.4): *‘incineration plant’ means any stationary or mobile technical unit and equipment dedicated to the thermal treatment of wastes with or without recovery of the combustion heat generated. This includes the incineration by oxidation of waste as well as other thermal treatment processes such as pyrolysis, gasification or plasma processes in so far as the substances resulting from the treatment are subsequently incinerated*”.

Formeel is dus niet om de BVA heen te gaan. In bovenstaand artikel van BVA wordt vergassen van een afvalstof min of meer gelijk gesteld met verbranden van een afvalstof. Hiermee wordt dus de verbranding van de thermisch geproduceerde gassen genoemd, en daarmee valt dus de verbranding van het produktgas ook onder het BVA. Anderzijds zou je de opwekking van elektriciteit kunnen laten vallen onder BEES. Enigszins vergelijkbare casussen in Nederland zijn bv Nuon Magnum en Nuon Willem Alexander centrale. Dit betreft beide kolenvergassing. Ze produceren produktgas om deze vervolgens te verdunnen en door middel van STEG elektriciteit op te wekken. Uiteindelijk is voor beide het BVA opgenomen in de vergunning omdat sprake is van elektriciteitsopwekking door meevergassing maar er kunnen nog behoorlijke discussies worden opgeworpen bv:

- 1 Als de vergassing onsite plaats vindt, is het dan nog wel afval wat in behandeling wordt genomen?
- 2 de elektriciteitsopwekking valt onder BEES want het betreft een gasgestookte opwekking (namelijk produktgas)

Dat levert strenge eisen aan de gasemissies. Daarbij is een gasmotor dus niet haalbaar en zullen de afgassen van de stoomketel aan de BVA moeten voldoen. Als er wel een knip in de regelgeving zoals in Duitsland mogelijk is en we voor de gasomzetting NIET aan BVA hoeven te voldoen, is een gasmotor weer in beeld en zijn geringere kosten voor de RGR nodig. Als wel aan BVA voldaan moet worden, is een gasmotor niet mogelijk en kan er minder elektriciteit worden opgewekt.

Daarnaast hebben we nog de Witte en Gele lijst voor afvalstoffen. Deze geven aan welke regeling voor emissieregelgeving van toepassing is bij de verbranding van biomassastromen. Voor de verbranding van Gele lijst stoffen is het Besluit Verbranden Afvalstoffen (BVA) van toepassing. De Witte lijst omvat "schone" biomassa, hiervoor geldt niet het BVA maar andere emissieregelgeving (afhankelijk van type en grootte van de installatie). De Witte lijst bevat: plantaardige producten, materialen of afvalstromen uit bos- en landbouw, plantaardige afvalstoffen van de voedingsindustrie, plantaardige afvalstoffen uit de ruwe pulpproductie en de papierproductie uit pulp, kurk, houtafval. De Gele lijst betreft de overige (biomassa bevattende) afvalstromen die niet onder de uitzondering van de werkingssfeer van het BVA op grond van art. 2 van het BVA vallen (Classificatie vaste biomassa, Europese en nationale classificaties, F.P. Bakker, J.R. Pels, ECN-E-11-007). Voor zuiveringsslib (gele lijst) afvalstof geldt inderdaad dat het BVA van toepassing is. Daarmee lijkt toepassen van BVA voor slibvergassing aannemelijk.

Een mogelijke open deur voor andere toepassing van de wetgeving is het discussiepunt is of we hier spreken over Afval als we op het terrein van de rwzi blijven. Dat zou wellicht een opening kunnen geven. In feite zijn dit milieujuridische vraagstukken die voor de toekomst moeten worden beantwoord.

Er is ook een milieutechnisch discussiepunt. Waarmee is het milieu het meest gediend. Door BVA worden de emissies het meest beperkt. Grootschalige slib- en afvalverbranders moeten hier ook aan voldoen. Anderzijds gaat het bij de laatste installaties om zeer grote installaties. Bij de vergassing op de centrale rwzi is de schaal veel kleiner. De warmteintegratie op locatie is een punt wat moet worden meegenomen. Ook de het potentieel hogere energierendement van een gasmotor (Carnot). In feite moeten hierbij duurzaamheidsaspecten tegen elkaar worden afgewogen. Ook hierover is het laatste woord nog niet gesproken.

6.5 EMISSIE-EISEN BVA EN BEMS (IN NEDERLAND)

In BEMS (Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties) zijn voor gasmotoren de in Tabel 6.1 opgenomen emissie-eisen van kracht.

TABEL 6.1 EMISSIES GASMOTORINSTALLATIES

	NOx (mg/Nm ³)	SO ₂ (mg/Nm ³)	Totaal stof (mg/Nm ³)	CxHy (mg/Nm ³)
Gasvormige brandstoffen m.u.v. biogas				
Installaties ≥ 2,5 MWth	100	200	-	1.500
Installaties < 2,5 MWth	340	200	-	-
Biogas	340	200	-	-

De emissie-eisen uit BVA zijn opgenomen in bijlage 9.

Voor SO₂ is BEMS ruimer dan het BVA, voor NO_x is BVA gunstiger (afhankelijk van het vermogen). BVA heeft echter voor diverse componenten emissie-eisen die BEMS niet heeft, zoals C_xH_y, CO, metalen.

6.6 BEKENDE EN VERWACHTE EMISSIES SLIBVERGASSING

Welke emissies bij vergassing optreden, is nog niet zo eenduidig vast te stellen.

Van Kopf hebben we de volgende informatie verkregen. De samenstelling van produktgas (vóór gaswassing): CO: 16,7%, H₂: 14,9%, CO₂: 14,5%, N₂: 48,5%, C_xH_y: 4%, (teer): 250 mg/m³. Verder is aangegeven dat Kopf te Mannheim aan de emissie-eisen: 350 mg/m³ voor NO_x, 350 mg/m³ voor C_xH_y en 350 mg/m³ voor SO₂ voldoet.

Er zijn in de literatuur [1] wel cijfers te vinden over emissies van proeven, maar deze zijn lastig te interpreteren (wel of geen naverbrander en/of doekenfilters).

6.7 DISCUSSIE EN CONCLUSIES

De emissies van slibvergassing zijn niet exact bekend. We hebben een globaal idee waarover we spreken. Ook de discussie over de regelgeving en emissies naar de lucht heeft nog een open einde. Het meest voor de hand liggend is, dat voldaan moet worden aan de eisen van de BVA (Besluit Verbranden Afvalstoffen). Dit besluit is inmiddels (per 1 januari 2013) opgenomen in de Industriële Emissie Richtlijn. Dit zijn dezelfde eisen die ook gesteld worden aan verbranden en vergen een rookgasreiniging. Gasmotoren kunnen zelfs helemaal niet worden toegepast door de slechte verwijdering van C_xH_y en dus de hoge emissie hiervan in de afgassen van de motoren. Zuiveringsslib wordt bovendien beschouwd als een gele lijst afvalstof. Daarvoor geldt ook BVA. Het is echter de vraag of de discussie hiermee gesloten is.

Opvallend is dat in Mannheim het leverancier Kopf mogelijk is gebleken om de vergassing en de verbranding van het produktgas aan andere soepelere eisen (volgens BEMS) te laten voldoen. Dit heeft als voordeel dat de rookgasreiniging goedkoper is en dat wel gasmotoren zouden kunnen worden toegepast. In Duitsland lijkt deze souplesse alleen mogelijk bij het Bundesland Baden-Württemberg. In andere Bundeslande geldt voor Kopf wel 17 BimSchV (Duitse BVA). Bovendien zijn andere partijen in Duitsland van mening dat voor andere vergassingsprojecten de TA Luft eisen (Duitse BEMS) kansloos zijn en dat 17BimSchV nodig is. In Nederland is een enigszins vergelijkbare discussie geweest bij een aantal kolencentrales met kolenvergassing. Daar was het idee de vergassing (BVA) los te koppelen van de verbranding van het gas voor energieopwekking (BEMS). Daar is uiteindelijk toch gekozen voor BVA. Een interessante opening zou de vraag kunnen zijn of slib wel een afvalstof is, als deze niet van het terrein van de rwzi wordt afgevoerd. In dat geval gelden de hiervoor genoemde eisen niet. Hierover is het laatste woord niet gesproken. Om hierover meer duidelijkheid te krijgen, is een milieu-juridische beschouwing en afweging nodig.

Milieutechnisch lijkt voldoen aan BVA het meest positief uit te vallen. Toepassen van gasmotoren maakt echter een hoger energierendement mogelijk. Dat is ook een energetisch voordeel en dus een voordeel qua duurzaamheid. Zo moeten we verschillende milieuaspecten met elkaar vergelijken en kan niet direct een voorkeur worden uitgesproken. In hoofdstuk 7 zal verder op duurzaamheid worden ingegaan.

7

DUURZAAMHEID

7.1 INLEIDING

Tijdens dit onderzoek is gebleken dat er rond de emissies naar de lucht en de duurzaamheid van vergassing een tegenstrijdigheid bestaat die een nadere afweging/discussie noodzakelijk maakt. De emissies en regelgeving voor de emissies van vergassing naar lucht worden uitgebreid besproken in hoofdstuk 6.

In deze notitie wordt deze problematiek nader beschreven en gekwantificeerd. De duurzaamheidsdiscussie heeft met name te maken met het Carnot rendement. In paragraaf 4.4 wordt uitgelegd wat het Carnot rendement is. Er zijn 5 varianten van vergassen en verbranden gedefinieerd om de verschillen in duurzaamheid duidelijk te maken, zie paragraaf 7.2. In paragraaf 7.3 worden de verschillen in duurzaamheid besproken, in relatie tot de emissies naar de lucht en de bijbehorende risico's en wat er verder nog aan leemten in kennis rond dit onderwerp bestaan.

7.2 ENERGIEBALANS EN VERMEDEN CO₂ VAN 5 VARIANTEN

Om de verschillen in duurzaamheid in beeld te brengen, zijn er 5 varianten uitgewerkt:

- Variant 1 slibvergassing met stoomcyclus vanuit gedroogd slib van 85 % ds op schaal rwzi Utrecht;
- Variant 2 slibvergassing met gasmotoren vanuit gedroogd slib van 85 % ds op schaal rwzi Utrecht;
- Variant 3 slibvergassing met gasmotoren met externe warmte vanuit gedroogd slib van 85 % ds op schaal rwzi Utrecht;
- Variant 4 slibverbranding met stoomcyclus vanuit gedroogd slib van 85 % ds op schaal rwzi Utrecht;
- Variant 5 slibverbranding met stoomcyclus vanuit gedroogd slib van 40 % ds op schaal rwzi Utrecht (dit slib is dus voorgedroogd tot 40 % ds);

De varianten 1 en 2 staan centraal in deze studie. Variant 4 is als referentie meegenomen. Variant 5 komt het meest overeen met de methode van centrale monoverbranding in Nederland. Verschillen in het energieplaatje en duurzaamheid qua CO₂ emissie worden in beeld gebracht. Variant 3 is een variant waarin het warmtetekort is opgelost door externe warmte (van derden) toe te passen. In Tabel 7.1 is een overzicht van de energiebalans en CO₂ balans van de 5 varianten weergegeven. Met betrekking tot de vermeden CO₂ is vergeleken met de centrale monoverbranding in Moerdijk [10]. Bij de centrale slibverbranding Moerdijk zal vanaf 2015 met HD ketels meer elektriciteit worden opgewekt dan nu. Er zal een toename zijn van 3.300 MWh_e/jaar (2012) naar 24.111 MWh_e/jaar (2015) voor 102.922 ton ds/jaar. In tabel 7.1 zijn deze waarden omgerekend naar schaal Utrecht: in 2012 353 MWh_e/jaar en in 2.577 MWh_e/jaar. De uitgangspunten voor de berekeningen staan in bijlage 7.

In Tabel 7.1 vallen de volgende zaken op:

- Vergassen met een stoomcyclus (variant 1) en verbranden met een stoomcyclus met hetzelfde ds % (variant 4) liggen qua energiebalans en vermeden CO₂ heel dicht bij elkaar.
- Verbranden met 40 % ds, zoals nu bij centrale monoverbranding plaatsvindt (variant 5) levert minder elektriciteit op en minder vermeden CO₂ dan bij de andere varianten met drogen tot 85 % ds. Dat is dus minder duurzaam. Er is relatief hoogwaardige warmte over waarvoor geen toepassing aanwezig is. Bij centrale monoverbranding in Moerdijk (ook met drogen tot 40 % ds) wordt vanaf 2015 met HD ketels gewerkt. Op dat moment is deze oplossing weer (iets) duurzamer dan verbranden op locatie na drogen tot 40 % ds (met lagere drukken en ketel rendementen dan op de grote centrale schaal).
- De varianten van vergassen met gasmotor (variant 2 en 3) laten grote verschillen zien. Er is een warmte tekort (variant 2). Indien deze warmte wordt opgevuld door biogas te verbranden, wordt er minder elektriciteit opgewekt en scoort deze variant ongunstig qua CO₂ emissie en duurzaamheid.
- De elektriciteitsproductie van variant 3 met restwarmte is groter dan van de andere, omdat de (rest)warmte levering wordt gebruikt voor alle warmte die tekort is. Dus ook voor warmte voor het produceren van stoom voor de TDH. Bij variant 1 werd hier een deel van het biogas voor verbrand (gedurende 1.300 uur/jaar draait de stoomcyclus niet en moet de stoom ergens anders vandaan komen). Omdat bij variant 3 er geen biogas wordt verstoekt voor stoomproductie voor de TDH, wordt er meer elektriciteit in de biogas WKK geproduceerd.
- Indien we restwarmte beschikbaar hebben en alle biogas kunnen omzetten in elektriciteit (variant 3) scoort deze variant zeer goed op energie, vermeden CO₂ en duurzaamheid. Dat komt ook omdat je de restwarmte kunt gebruiken op het moment dat je het nodig hebt. Vanwege de verschillende uren beschikbaarheid per jaar van de biogas WKK, stoomcyclus, TDH en droger kom je op sommige momenten warmte te kort en op andere momenten heb je warmte over. Door het toepassen van restwarmte kun je dat beter opvangen.

TABEL 7.1 ENERGIE EN CO₂ BALANS VAN DE VERSCHILLENDE VARIANTEN (ZIE OOK BIJLAGE 8 VOOR DE BASIS EXCELSHEETS)

Variant	Eenheid	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5
Techniek energieopwekking schaalgrootte locatie transport as naar		vergassen stoomcyclus rwzi Utrecht rwzi Utrecht ICL	vergassen gasmotoren rwzi Utrecht rwzi Utrecht ICL	vergassen gasmotoren rwzi Utrecht rwzi Utrecht ICL	verbranden stoomcyclus rwzi Utrecht rwzi Utrecht ICL	verbranden stoomcyclus rwzi Utrecht rwzi Utrecht ICL
Externe warmte		nee	nee	ja	nee	nee
Slib gedroogd tot	% ds	85	85	85	85	40
Warmtevraag						
TDH	MWhth/jaar	10.073	10.073	10.073	10.073	10.073
droging netto	MWhth/jaar	18.427	18.427	18.427	18.427	9.186
efficiency droger	%	60	60	60	60	60
droging bruto	MWhth/jaar	30.712	30.712	30.712	30.712	15.310
totaal	MWhth/jaar	40.785	40.785	40.785	40.785	25.383
Warmteproductie						
stoomcyclus	MWhth/jaar	16.387			15.898	10.483
stoomaftap TDH	MWhth/jaar	8.532			8.532	8.532
gasmotor productgas (rest)warmte derden	MWhth/jaar		11.241	11.241		
boiler biogas	MWhth/jaar	1.541	24.183	20.087	1.541	1.541
WKK biogas	MWhth/jaar	16.713	5.361	17.492	16.713	16.713
totaal	MWhth/jaar	43.173	40.785	48.819	42.684	37.269
Warmte overschot	MWhth/jaar	2.388	0	8.035	1.899	11.886
Warmte verlies productgasmotor	MWhth/jaar		5.016	5.016		
Elektriciteitsproductie						
WKK biogas	MWhe/jaar	16.527	5.236	17.288	16.527	16.527
stoomcyclus	MWhe/jaar	3.053			2.974	2.061
productgasmotor	MWhe/jaar		9.411	9.411		
totaal	MWhe/jaar	19.580	14.647	26.699	19.501	18.588
Vermeden CO ₂ tov centraal Moerdijk 2015*						
Elektriciteitsproductie Moerdijk 2015	MWhe/jaar	2.577	2.577	2.577	2.577	2.577
Extra elektriciteitsproductie tov Moerdijk	MWhe/jaar	476	-4.457	7.595	397	-516
verschil transport Moerdijk	transportkm/jaar	110.782	110.782	110.782	110.782	110.782
verschil transport	ton CO ₂ /jaar	97	97	97	97	97
verschil elektriciteitsproductie	ton CO ₂ /jaar	219	-2.050	3.494	183	-237
Totaal vermeden CO ₂	ton CO ₂ /jaar	316	-1.953	3.591 **	280	-140
aantal huishoudens		37		423	33	
overtollige warmte (geen primaire CO ₂)	MWhth/jaar ton CO ₂ /jaar	2.388 483	5.016 1.016	5.016 1.016	1.899 384	11.886 2.406

* Aangepast voor schaal Utrecht. Bij de centrale slibverbranding Moerdijk zal vanaf 2015 met HD ketels meer elektriciteit worden opgewekt dan nu

Toename van 3.300 MWhe/jaar (2012) naar 24.111 MWhe/jaar (2015) voor 102.922 ton ds/jaar. Voor schaal Utrecht is dat van 353 naar 2.577 MWhe/jaar [10]

** Indien in plaats van restwarmte aardgas wordt gebruikt, is 2,3 miljoen m³ gas nodig wat overeenkomt met 4.067 ton CO₂/jaar, de balans is dan negatief tov centraal

7.3 DISCUSSIE EN CONCLUSIES DUURZAAMHEID VERSUS EMISSIES NAAR DE LUCHT

Vergassen en verbranden op lokale schaal met tot 85 % gedroogd slib met toepassing van een stoomcyclus zijn zeer vergelijkbaar. Er is niet echt een reden om te kiezen voor vergassing, omdat er meer ervaring is met verbranden. In ieder geval is verbranden met een 85 % ds (iets) duurzamer dan verbranden met 40 % ds, zoals nu in Nederland centraal gebeurt. Overigens wordt soms bij centrale verbranding de CO₂ uit rookgassen teruggewonnen (bij SNB in Moerdijk wordt 22,5 % van de CO₂ door OMYA (36.811 ton CO₂ in 2011) nuttig gebruikt.

De combinatie van vergassing met een gasmotor heeft in eerste instantie alleen nadelen, omdat er warmte tekort komt en biogas verstoekt moet worden. Daarmee zou deze techniek dus qua duurzaamheid kansloos zijn. Echter, toepassen van een gasmotor heeft wel degelijk potentie qua energie en duurzaamheid, mits er externe warmte wordt toegepast. In dat geval scoort deze variant zeer goed op energie en CO₂ en dus duurzaamheid.

Hiervoor hebben we dus gezien dat het toepassen van vergassing met een gasmotor onder de juiste omstandigheden de duurzaamste oplossing oplevert. Hierbij moeten we er echter rekening mee houden dat toepassen van een gasmotor extra emissies naar de lucht met zich

meebrengt. Indien ten aanzien van deze emissies moet worden voldaan aan BVA, wordt de installatie niet alleen duurder, maar is ook de haalbaarheid van voldoende reductie van C_xH_y onzeker.

In Duitsland heeft men het voor elkaar gekregen om de benutting van produktgas te laten vallen onder de BEMS (voor het verbranden van biogas), waardoor de techniek van gasmotoren daar in een specifieke situatie is toegestaan, zonder een dure rookgasreiniging.

Voor de Nederlandse situatie is onduidelijk of een dergelijke knip in emissie-eisen mogelijk is. Het lijkt er om te gaan of slib (wat niet van de rwzi af is geweest), beschouwd moet worden als een afvalstof of niet, met andere woorden geldt de wetgeving voor dit slib of is het daarvan vrijgesteld.

In feite moeten we de mogelijkheid van extra duurzaamheid in een lagere CO_2 emissie afwegen tegen de extra emissies van CO , C_xH_y , dioxines en nog andere componenten. De emissies zijn nog niet exact bekend (leemte in kennis). De vraag die dan blijft, hoe weeg je deze milieu aspecten af en hoeveel risico's kunnen we nemen.

Om hierover meer duidelijkheid te krijgen is meer inzicht nodig in de werkelijke emissies en in de milieujuridische mogelijkheden qua wetgeving.

8

DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

8.1 DISCUSSIE VERGASSING VAN ZUIVERINGSSLIB OP RWZI SCHAAL

8.1.1 HAALBAARHEIDSTUDIE VERGASSING ZUIVERINGSSLIB OP KLEINE SCHAAL: WAAROM ?

In het onderhavige STOWA onderzoek is de haalbaarheid onderzocht van vergassing van zuiveringsslib op kleine schaal op locatie van een rwzi. Dit betreft dus zowel de haalbaarheid van de (relatief) nieuwe techniek van slibvergassing op zich als de mogelijkheden van de (energie) integratie van vergassen op de rwzi als geheel. Met andere woorden: op de rwzi komt afvalwater binnen (en slib van kleine rwzi's), er gaat schoon afvalwater uit en er blijft alleen as over om te worden afgevoerd naar derden. Energie wordt optimaal benut en wat over is wordt geleverd voor toepassing door derden.

We kunnen dus vergassen van zuiveringsslib beschouwen als een alternatief van verbranden op kleine schaal. Met verbranden op grote schaal is veel ervaring en dit is in deze studie als de referentiesituatie meegenomen met betrekking tot slibverwerkingstarief (en duurzaamheid). Verbranden op kleine schaal (locaal) is meegenomen in de gevoeligheidsanalyse en vergeleken met slibvergassing. De techniek van verbranden (op kleine schaal) is bekend, al is deze techniek op kleine schaal in Nederland niet aanwezig, maar komt buiten Nederland wel voor.

8.1.2 ONDERSCHIED VERGASSEN EN VERBRANDEN VAN ZUIVERINGSSLIB

Waarin onderscheidt vergassen zich ten diepste van verbranden? Bij vergassen in het algemeen wordt de grondstof (kolen, hout, mest of slib) met ondermaat zuurstof verhit. Daarbij komt produktgas CO en H₂ (met overige componenten: N₂, CO₂, H₂O, C_xH_y) vrij en blijft as over. Dat produktgas kan worden gebruikt als grondstof of als gas om energie op te wekken. Dat kan plaatsvinden via omzetting in elektriciteit en warmte in gasmotoren of via verbranden in een stoomketel. Een veel voorkomend aandachtspunt bij beschouwingen over vergassing in het algemeen is de vraag naar het voordeel en het onderscheidende van vergassen ten opzicht van verbranden. Dat geldt zeker bij energieopwekking uit het produktgas. Bij velen is dit niet op voorhand duidelijk. Waarom zo moeilijk doen, want met verbranden bereiken we hetzelfde resultaat (electriciteit, warmte en as) en dat kennen we goed?

Ervan uitgaande dat we voor de verwerking van slib niet geïnteresseerd zijn in produktgas als grondstof, maar als brandstof, is tijdens het uitvoeren van de STOWA studie duidelijker geworden waar de theoretische voordelen liggen: door het splitsen van de "ver(g)assings"- en (gas)verbrandingsfase kunnen beide worden geoptimaliseerd. Er kan een asfractie worden afgescheiden met (mogelijk) een betere kwaliteit, de verbranding van het gas kan (in ieder geval bij gasmotoren) bij een hogere temperatuur plaatsvinden met een hoger energierendement als gevolg en er zijn minder rookgassen waardoor de rookgasreiniging goedkoper kan worden uitgevoerd. Een belangrijke vraag is dan natuurlijk, komen theorie en praktijk voldoende

overeen. Deze STOWA studie werpt daarop zeker meer licht, zonder dat daarbij alle vragen al zijn beantwoord.

8.1.3 REFERENTIEONDERZOEK SLIBVERGASSEN

Het referentieonderzoek is natuurlijk de eerste stap. Uit de beschikbare literatuur via publicaties, internet en leveranciersinformatie is naar voren gekomen dat er wereldwijd veel vergassers operationeel zijn (honderden tot duizenden). Veel vergassers zijn kolenvergassers (op grote schaal) en vergassers van kippemest en hout (op kleine schaal). Van zuiveringsslib zijn er maar heel weinig. De vergassing van kolen en biomassa kan worden beschouwd als een bewezen techniek, maar slib zit nog in de “troubleshootfase”. Er zijn van slib diverse testopstellingen geweest, maar van echte praktijkinstallaties zijn er voor zover bekend maar drie: twee in Duitsland: Mannheim en Balingen, en één in de VS: MaxWest en er lijken er één of twee te zijn in Japan. Er zijn diverse inspanningen geweest om contact te leggen met Japan en de VS. Al deze pogingen faalden. Met leverancier Kopf in Duitsland is als enige intensief contact geweest en zij geven aan dat zij naast MaxWest de enigen zijn in de wereld met een full scale slibvergasser. De initiatieven elders zijn niet van de grond gekomen of gestrand. Meer informatie daarover is na diverse inspanningen helaas niet boven tafel gekomen (niet van internet of literatuur, niet via de mail, niet via telefoon en ook niet via contacten in de academische wereld).

8.1.4 LOCATIEBEZOEK

Een locatiebezoek van de installatie in Mannheim is de volgende (logische) stap geweest om leemten in kennis op te vullen en een duidelijk “gevoel” te krijgen bij vergassing van zuiveringsslib. Dit bezoek heeft plaatsgevonden in november 2012. Op het moment van de site visit was de installatie niet in bedrijf, er werden pakkingen op de reactor vervangen. De opstelling in de fabriekshal zag er “professioneel” uit, hoewel de installatie nog niet veel uren gedraaid heeft. De kleinere installatie van Balingen staat buiten en heeft naar zeggen van Kopf meer draaiuren. De gesprekken met Kopf hebben extra informatie opgeleverd, waarbij de emissies naar de lucht en bijbehorende regelgeving de meeste aandacht hebben gekregen. Er zijn naast Kopf (voor zover bekend) geen andere partijen die praktijkervaring hebben met vergassing van zuiveringsslib. Wel zijn er nieuwe partijen in Duitsland die pilot onderzoek doen aan slibvergassing.

8.1.5 EMISSIES NAAR DE LUCHT

De emissies naar de lucht van vergassing van slib zijn niet exact bekend (ook niet uit de literatuur), maar bevatten ten opzichte van verbranden o.a meer CO en C_xH_y . Het ligt voor de hand dat qua regelgeving net als bij verbranden de BVA (Besluit Verbranden Afvalstoffen) gehanteerd moet worden. Hierbij zijn de kosten voor de rookgasreiniging aanzienlijk en is het toepassen van gasmotoren voor de verbranding van produktgas (waarschijnlijk) niet mogelijk doordat een fors deel van de C_xH_y door de gasmotoren heen slaat. Het hogere Carnot rendement door de hogere temperatuur in gasmotoren (één van de voordelen van vergassen), komt dan te vervallen. Opmerkelijk is echter dat bij Kopf de eisen voor de vergasser op zich, en de stoomketel voor de verbranding van het produktgas bij de droger, uit elkaar zijn getrokken. De vergasser zelf moet voldoen aan BVA, maar de stoomketel aan BEMS, waarin er alleen emissie-eisen zijn voor SO_2 en NO_x en niet voor CO, metalen en C_xH_y . Daarmee heeft Kopf bijna geen voorzieningen voor de rookgasreiniging (dat bespaart op de kosten) en is het in de toekomst mogelijk gasmotoren te implementeren. In andere delen van Duitsland kan dit overigens niet en ook concurrent Thermo System in Duitsland gaat ervan uit dat alleen BVA mogelijk is. Een cruciale vraag is nu of in Nederland een dergelijke splitsing ook mogelijk is

of dat we alleen uit kunnen gaan van BVA. Nadere analyse van de wetgeving van BVA, BEMS, EU directive, lijst met gele en witte afvalstoffen en voorbeelden van kolenvergassers laat hierin weinig mogelijkheden zien. Alles wijst op BVA. De enige escape zou kunnen zijn de vraag of slib dat niet van het terrein van de rwzi af gaat beschouwd moet worden als een afvalstof. Dit is een milieujuridische vraag en daar zal nog specifiek naar gekeken moeten worden. Vooralsnog lijkt toepassing van BVA (net als bij verbranding) het meest realistisch. Een uitgebreide rookgasreiniging en stoomcyclus (en dus geen gasmotoren) zijn daarbij noodzakelijk.

8.1.6 MASSA- EN ENERGIEBALANSEN VAN DRIE VARIANTEN

In de onderhavige haalbaarheidsstudie zijn vervolgens voor de schaal van de rwzi Nieuwegein (7.000 ton ds slib/jaar) voor een drietal varianten massa- en energiebalansen opgesteld. Dit betreft een variant zonder gisting, met alleen ontwatering, droging en vergassing. Een variant met gisting, ontwatering, droging en vergassing en een derde variant met TDH, gisting, ontwatering, droging en vergassing. Een gevoeligheidsanalyse en business cases van een aantal van deze varianten zijn daarna gemaakt. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van praktijkervaring en rekenmodellen van HoSt. Dat betreft zowel de TDH, de gisting en de vergassing. Voor de TDH is uitgegaan van een TDH met hoge drogestofgehalten (16,5 % ds), stoom, een bedrijfstemperatuur van 165 °C en een batchgewijze bedrijfsvoering. Voor de slibontwatering is uitgegaan van zeefbandpersen. Voor de lagetemperatuurdroging is uitgegaan van banddrogers. De vrijkomende stikstof wordt behandeld in een deelstroombehandeling. Voor de vergasser is het type CFB (Circulating Fluidized Bed) doorgerekend (net als de Mannheim installatie), waarmee HoSt op diverse locaties ervaring heeft. Zoals eerder aangegeven is hierbij verder uitgegaan van de stoomcyclus met rookgasreiniging voor het verbranden van het produktgas. Er is in deze fase niet uitgegaan van hergebruik van stikstof in de DeNO_x (mogelijke optimalisatie).

Uit de balansberekeningen is gebleken dat er bij de variant zonder gisting veel warmte tekort is om het slib te kunnen drogen. Alleen bij de aanwezigheid van goedkope restwarmte is deze variant qua duurzaamheid interessant. Om die reden is deze variant in deze studie niet verder uitgewerkt. Van de andere twee varianten zijn uitgebreide massa- en warmtebalansen opgesteld. Bij de derde variant met TDH en stoomcyclus is er genoeg warmte beschikbaar om de hele rwzi van warmte te voorzien. Bij deze variant kan (bij voldoende schaalgrootte) ook nog via de stoomturbine ten opzichte van de gasmotoren uit het biogas extra elektriciteit uit het produktgas worden gemaakt.

8.1.7 BUSINESSCASES VARIANTEN

Van de tweede en derde variant zijn voor de schaalgrootte Nieuwegein de investerings- en jaarlijkse kosten geraamd. Qua toeslagfactor om van bouwkosten naar investeringskosten te komen is uitgegaan van een factor 1,3. Bij bouwprojecten voor waterschappen wordt vaak een factor 1,7 genomen. De geraamde bouwkosten zijn echter inclusief engineering en bouwrente. In de praktijk moet altijd goed afgewogen worden welke kosten er wel of niet in zitten om business cases op een specifieke lokale schaal goed met elkaar te vergelijken. Zeker als slibverwerkingstarieven met andere verwerkingsroutes met elkaar worden vergeleken. De investeringskosten van variant 3 zijn slechts circa 10 % hoger dan van variant 2. Hoewel variant 3 een extra TDH en voorontwatering nodig heeft, wordt op een aantal posten ook weer bespaard, omdat deze kleiner kunnen worden uitgevoerd (minder en droger slib behoeft een kleinere droger, vergasser en stoomcyclus). De exploitatiekosten van variant 3 zijn fors lager, voornamelijk door de waarde van de extra opgewekte elektriciteit. Bij variant 2 is deze

bijdrage maar gering, omdat het biogas benut moet worden om extra warmte op te wekken en dan alleen maar de elektriciteit uit de turbine van de stoomketel van de vergasser meetelt. Om die reden kunnen we stellen dat variant 3 economisch de beste oplossing is. Daarom is de gevoeligheidsanalyse hoofdzakelijk op variant 3 toegepast.

8.1.8 GEVOELIGHEIDSANALYSE SCHAALGROOTTE UTRECHT EN VERBRANDEN

De gevoeligheidsanalyse op variant 3 is uitgevoerd op diverse aspecten. Daarbij zijn de schaalgrootte (schaal rwzi Nieuwegein vergeleken met de schaal rwzi Utrecht), 20 % extra investeringskosten en de vergelijking met verbranden op de schaal rwzi Utrecht het belangrijkste. De overige aspecten uit de gevoeligheidsanalyse: de energieprijis, het ds gehalte van de slibontwatering, het type TDH, de hoeveelheid chemisch P en de bouwrente spelen zijn minder van belang. De asafzet en het aantal FTE's tikt wel iets meer door. Deels komt het beperkte effect omdat het overhouden van (rest) warmte (nog) geen waarde met zich meebrengt. Mocht er voor restwarmte wel een nuttige toepassing zijn, waaraan waarde (geld) kan worden toegekend, zijn het type TDH en de slibontwatering meer van belang. Een TDH en slibontwatering met een zo hoog mogelijk drogestofgehalte zijn dan optimaal. Indien alle aspecten uit de gevoeligheidsanalyse negatief zouden uitwerken, is een maximale kostentoeename van 38 % mogelijk.

Het schaaleardeffect heeft een grote invloed op de kosten. Bij opschalen van Nieuwegein naar schaal Utrecht nemen de geraamde investeringskosten toe met 61%, terwijl de verwerkingscapaciteit bijna verdriedubbelt. Opschalen is dus zinvol. De verwachting is dat de exploitatiekosten bij een grotere schaal nog lager zullen uitvallen omdat de investeringskosten slechts beperkt toenemen ten opzichte van de baten uit de elektriciteitsproductie die lineair toenemen. Hierdoor zijn de totale netto jaarlijkse kosten van beide schalen zelfs in dezelfde orde van grootte.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt verder dat een toename van 20 % in de investeringskosten en een hogere elektriciteitsprijs een relatief grote invloed zou hebben op de jaarlijkse kosten. Daarbij is een hoge elektriciteitsprijs juist gunstig door de relevante elektriciteitteruglevering. Monoslibverbranding op kleine lokale schaal komt qua kosten nagenoeg overeen met slibvergassing. Ook qua energieintegratie zijn er bijna geen verschillen.

8.1.9 SLIBVERWERKINGSTARIEVEN EN VERGELIJKEN MET GROOTSCHALIGE SLIBVERBRANDING

De economische haalbaarheid van slibvergassing wordt uiteindelijk bepaald door de tarieven voor slibeindverwerking te vergelijken met de huidige en toekomstige tarieven voor centrale monoverbranding. In Nederland zitten er grote verschillen in de marktprijs voor slibeindverwerking. De hoogste tarieven zijn circa 100 euro/ton koek (incl BTW en transport). De laagste tarieven circa 55-60 euro per ton koek (inclusief BTW en transport). Afhankelijk van wel of geen aandeelhouderschap van centrale slibverbranding varieert deze van 70-80 euro per ton koek. Bij gebruik van laagwaardige restwarmte en bijbehorende droogtechnieken (banddrogers, kassendroging) en de overcapaciteit in de Nederlandse slib- (en afvalstoffen) verwerkingsmarkt zouden de tarieven het komende decennium wel eens kunnen zakken tot circa 50-60 EUR per ton koek als marktprijs. Aan de andere kant kan niet worden uitgesloten dat door verplichting in Duitsland om fosfaat terug te winnen, er in West-Europa een tekort aan verwerkingscapaciteit komt. Vooralsnog wordt uitgegaan van een daling.

Op de schaal Nieuwegein komen we met slibvergassen uit op slibverwerkingstarieven boven de 100 euro/ton koek (inclusief alles) en is daarmee dus economisch nu en in de toekomst

niet haalbaar. Daarmee is vergassen op die schaal met de gekozen uitgangspunten en de schaalgrootte en ervaringen van HoSt niet kansrijk. Hierbij moet worden vermeld dat er andere leveranciers zijn die kleinere apparaten leveren (zoals Kopf en te zijner tijd Thermo System). Toch zijn de uitvoerders er vrij zeker van dat Nieuwegein onder de ondergrens qua "haalbare capaciteit" zit, omdat de hoeveelheid randapparatuur hetzelfde blijft en ook de wanddikte ten opzichte van het reactorvolume een steeds belangrijker aandeel krijgt. Veel kleiner lijkt niet realistisch. De toekomst zal uitwijzen of de kleine schaal haalbaar is.

Op schaal Utrecht komen we uit op circa 59 euro per ton koek (inclusief alles). Daarmee is slibvergassen nu in vergelijking met de huidige slibverwerkingstarieven haalbaar, maar is het de vraag of dit in de toekomst bij lagere tarieven nog zo is. Monoverbranden op schaal Utrecht komt ongeveer op hetzelfde tarief uit (58 euro per ton koek). De kosten van verbranden op deze schaal zijn zeer vergelijkbaar. De verbrandingsreactor is goedkoper, maar de rookgasreiniging weer duurder, zoals ook verwacht volgens de theorie. In beide gevallen is er warmte over en kan inclusief de stroom van de biogas motoren met de stroom van de stoomcyclus de gehele rwzi van de elektriciteit worden voorzien en kan ook nog een deel worden uitgeleverd voor andere locaties van HDSR. Monovergassen op rwzi schaal heeft dus geen kostenvoordeel ten opzichte van monoverbranden op rwzi schaal. Stel dat rekening gehouden moet worden met de worst case uit de gevoeligheidsanalyse van 38 % komt het tarief uit op 81 euro/ton koek. In dat geval is decentrale vergassing of monoverbranding nu en in de toekomst niet concurrerend met andere verwerkingsroutes.

8.1.10 DUURZAAMHEID SLIBVERGASSEN TEN OPZICHT VAN ALTERNATIEVEN

Qua duurzaamheid (energieopwekking en vermeden CO₂ emissie) zijn vergassen en verbranden op locale schaal met tot 85 % gedroogd slib met toepassing van een stoomcyclus vergelijkbaar. Er is met toepassing van een stoomcyclus niet echt een reden om te kiezen voor vergassing, omdat er meer ervaring is met verbranden. Locaal verbranden met een 85 % ds is duurzamer dan lokaal verbranden met 40 % ds. Centrale monoverbranding in Nederland verbrandt ook met 40 % ds, maar heeft vanaf 2015 een hoger elektrisch rendement door de toepassing van HD ketels. Centrale monoverbranding scoort daarmee beter dan locale verbranding met 40 % ds, maar net iets minder dan locale verbranding met 85 % ds.

De combinatie van vergassing met een gasmotor heeft in eerste instantie alleen nadelen, omdat er warmte tekort komt en biogas verstookt moet worden. Daarmee zou deze techniek zich dus qua duurzaamheid kansloos maken. Echter toepassen van een gasmotor heeft wel degelijk potentie qua energie en duurzaamheid, mits er externe (rest)warmte wordt toegepast. In dat geval scoort deze variant zeer goed op energie en CO₂ en dus duurzaamheid. Hiervoor (paragraaf 8.1.5) hebben we gezien dat toepassen van een gasmotor extra emissies naar de lucht met zich meebrengt. Indien ten aanzien van deze emissies moet worden voldaan aan BVA, wordt de installatie niet alleen duurder, maar is ook de haalbaarheid van voldoende reductie van C_xH_y onzeker. In feite moeten we de mogelijkheid van extra duurzaamheid in een lagere CO₂ emissie afwegen tegen de extra emissies van CO, C_xH_y, dioxines en nog andere componenten. Om hierover meer duidelijkheid te krijgen is meer inzicht nodig in de werkelijke emissies en in de milieujuridische mogelijkheden qua wetgeving.

8.1.11 VERGASSEN OF VERBRANDEN, LOCAAL OF CENTRAAL?

Resumerend kunnen we stellen dat uit de haalbaarheidstudie is gebleken dat toepassen van locale slibdroging en vergassing of verbranden voor rwzi's met schaalgrootte Utrecht met TDH en gisting een goede energieintegratie oplevert en slibverwerkingskosten die concur-

rerend zijn met de huidige tarieven en vergelijkbaar met de toekomstige. Op duurzaamheid wordt iets gewonnen ten opzichte van de huidige centrale slibeindverwerking in Nederland. Of de verwachte tarieven, waar nog wel een stuk onzekerheid in zit, voldoende zekerheid bieden om deze weg op te gaan, is de vraag.

Stel dat slibeindverwerking op locale (relatief kleine) schaal er gaat komen, heeft vergassen dan voldoende voordelen ten opzichte van kleinschalige monoverbranding? De kosten zijn vergelijkbaar en ook de mogelijkheden om warmte terug te winnen zijn vergelijkbaar. Wat zijn dan nog de voordelen van het scheiden van de ver(g)assings en verbrandingsfase? De claims dat de as-handling en uitlooggedrag gunstig zijn en dat toepasbaarheid voor de P-industrie goed is, kunnen (nog) niet worden bevestigd, want dit zijn leemten in kennis. Vergassen met toepassing van gasmotoren kan onder de juiste condities een fors duurzaamheidsvoordeel opleveren, zij het dat daarmee emissies naar de lucht optreden die zeer waarschijnlijk niet vergund gaan worden.

De vraag komt dan op of decentrale slibvergassen nog voldoende voordelen biedt ten opzichte van (decentraal) monoverbranden om daarvoor de risico's te nemen die aan een dergelijke nieuwe techniek kleven. Er hoeft niet voor een "onzekere" technologie gekozen te worden. Verbranding (bekende techniek) op rwzi schaal lijkt ook erg goed mogelijk. Verbranding zou eigenlijk mede overwogen moeten worden in een eventueel vervolg traject.

Stel dat er voor gekozen wordt om toch door te gaan met onderzoek naar slibvergassing, wordt het volgende aanbevolen: onderzoeken van de milieujuridische kant van de emissies naar lucht versus de duurzaamheidswinst van de toepassing van produktgasmotoren. Daarnaast is pilot of praktijkonderzoek (op kleine schaal) in Nederland zeker nodig alvorens een full scale installatie qua grootte van Utrecht kan worden gerealiseerd. Verder moet nader onderzoek plaatsvinden naar een aantal leemten in kennis, die bij een verdere ontwikkeling van slibvergassing van belang zijn: hoe goed is de fosfor uit de as te halen (is er verschil in gedrag tussen de as van vergassing en verbranding), in hoeverre is de extra koolstof in de as een nadeel in de toepassing van de as als bron voor fosforterugwinning, hoe staat het met het uitlooggedrag van de as van slibvergassing en is de vorming van dioxines zo laag als men verwacht

8.2 CONCLUSIES

- Wereldwijd wordt vergassing veel toegepast, voornamelijk voor het vergassen van kolen (grote schaal) en kippemest en hout (kleine schaal). Voor zuiveringsslib is vergassen nog in de "troubleshootfase". Op basis van de beschikbare informatie zijn er nog al wat projecten "mislukt" (technisch en vergunningtechnisch voor zover bekend) en zijn de enige installaties op praktijkschaal aanwezig in Balingen en Mannheim in Duitsland (en MaxWest in de VS).
- Het bezoek van de installatie in Mannheim heeft een goed beeld opgeleverd. De installatie ziet er professioneel uit, al zijn er wel twijfels over het werkelijke aantal bedrijfsuren. De techniek is niet eenvoudig, ook door de gassen CO en H₂ die moeilijk te hanteren zijn (CO is toxisch en H₂ is explosief), waardoor bij elke geringe gasdetectie de installatie uit valt. Een belangrijk punt in de business case voor deze installatie zijn de soepele eisen voor de emissies naar lucht met daardoor weinig kosten voor de rookgasreiniging en de potentie van de inzet van gasmotoren.

- De mogelijkheid om soepele rookgas emissies naar de lucht te krijgen in Duitsland, lijkt een incident. Dat is geconstateerd op basis van verkenning van de wetgeving in Nederland. Het is in Nederland het meest waarschijnlijk dat de BVA wordt toegepast, met daarbij een relatief dure rookgasreiniging en de onmogelijkheid gasmotoren toe te passen voor het produktgas vanwege emissies (onder andere C_xH_y). Het is echter niet uitgesloten dat er een opening in de wetgeving ontstaat betreffende de vraag of slib een afvalstof is. Wanneer slib niet als een afvalstof wordt beschouwd is de BVA niet meer van toepassing en gelden er soepelere eisen.
- De theoretische voordelen van slibvergassing ten opzichte van verbranden zijn duidelijker geworden: een hoger elektrisch rendement (bij gasmotoren) en een mogelijk goedkopere RGR dan verbranden. Uit de studie blijkt echter dat op de (relatief kleine) schaal van de studie de kosten van verbranden en vergassen vergelijkbaar zijn. Door de BVA eisen is toepassing van gasmotoren niet mogelijk. De claims dat de as-handling en uitlooggedrag gunstig zijn en dat toepasbaarheid voor de P-industrie goed is, kunnen niet worden bevestigd, want dit zijn leemten in kennis.
- Naast de discussie over vergassen als nieuwe techniek is ook de toepassing op kleine schaal op rwzi niveau van belang. In combinatie met drogen, lijkt een optimale energieintegratie mogelijk. In de studie zijn drie varianten met elkaar vergeleken. Daaruit kwam naar voren dat toepassen bij een rwzi zonder TDH en SGT er een groot warmte tekort is. Daarom zijn deze varianten niet verder uitgewerkt. Een optimum in de kosten en energieintegratie is aanwezig voor variant 3: TDH, SGT, ontwatering, banddroging en vergassing met een CFB. Bij de aanwezigheid van (goedkope) restwarmte zijn andere configuraties (zonder TDH en SGT) wellicht ook mogelijk. Die configuraties zijn in deze studie niet verder onderzocht (unieke maatoplossingen).
- De exploitatiekosten van de variant met TDH en gisting zijn de laagste, voornamelijk door de waarde van de extra opgewekte elektriciteit. Deze variant is de meest economische oplossing. De exploitatiekosten voor schaal Utrecht zijn door de elektriciteitsopwekking vergelijkbaar met de schaalgrootte Nieuwegein (gevoeligheidsanalyse). Hiermee wordt duidelijk dat de schaalgrootte van Nieuwegein te klein en dus niet doelmatig is. Overigens moet per lokale situatie goed worden vastgesteld welke kosten wel en welke niet moeten worden meegenomen (inclusief toeslagfactor ten opzichte van de bouwkosten/aanneemsom).
- Qua energieintegratie is het mogelijk alle warmte zelf op te wekken en daarbij (zeker voor de schaal Utrecht) ook nog uit het produktgas stroom op te wekken. Met de elektriciteit uit het biogas is er voldoende voor de hele rwzi en kan ook nog een deel worden uitgeleverd voor andere locaties van het waterschap.
- Op de schaal Nieuwegein komen we met slibvergassen uit op slibverwerkingstarieven boven de 100 euro/ton koek (inclusief alles) en is daarmee dus economisch nu en in de toekomst niet haalbaar. Op schaal Utrecht komen we uit op circa 59 euro per ton koek (inclusief alles). Daarmee is slibvergassen nu in vergelijking met de huidige slibverwerkingstarieven (70-80 euro/ton koek) haalbaar, maar is het de vraag of dit in de toekomst bij lagere tarieven (50-60 euro/ton koek) nog zo is. Monoverbranden op schaal Utrecht komt ongeveer op hetzelfde tarief uit (58 euro per ton koek). De kosten van verbranden op deze schaal zijn zeer vergelijkbaar met vergassen op deze schaal. Stel dat qua kosten rekening

gehouden moet worden met de worst case uit de gevoeligheidsanalyse van 38 % komt het tarief uit op 81 euro/ton koek. In dat geval is decentrale vergassing of monoverbranding nu en in de toekomst niet concurrerend met andere verwerkingsroutes.

- Qua duurzaamheid (energieopwekking en vermeden CO₂ emissie) heeft het decentraal vergassen (of verbranden) ten opzichte van centrale monoverbranding het voordeel dat er minder transport nodig is en dat er minder warmte verloren gaat (met name doordat gedroogd wordt tot 85 % in plaats van de 40 % die bij centrale monoverbranding gehanteerd wordt).
- Verder zijn qua duurzaamheid vergassen en verbranden op lokale schaal met tot 85 % gedroogd slib met toepassing van een stoomcyclus ook zeer vergelijkbaar. Toepassen van vergassen met een gasmotor heeft een hogere potentie qua energie en duurzaamheid, mits er externe (rest)warmte wordt toegepast. In dat geval scoort deze variant zeer goed op energie en CO₂ en dus duurzaamheid. Echter qua emissies moet worden voldaan aan BVA. Daardoor wordt de installatie niet alleen duurder, maar is ook de haalbaarheid van voldoende reductie van C_xH_y onzeker.

8.3 LEEMTEN IN KENNIS

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven over de informatie/kennis die anno 2013 nog ontbreekt. Als vergassen van zuiveringsslib verder wordt ontwikkeld, is onderzoek naar deze punten van groot belang.

- Wat worden de slibverwerkingstarieven de komende 5-10 jaar en daarna. Dit zal de haalbaarheid van decentrale slibvergassing en/of verbranding sterk beïnvloeden. De trend is moeilijk te voorspellen, wegens de mogelijke invloed van buitenland en EU en landelijke wetgeving (regels voor beperking “verdunnen” fosfaat).
- De kansen van (goedkope) restwarmte. Door toepassing van restwarmte kan de hele configuratie anders worden (oplossingen op maat).
- Hoe goed is de fosfor uit de as te halen. Kopf brengt het direct op het land als meststof. Bij verbrandingsas in Nederland is de fosfor onvoldoende beschikbaar. Dit moet nader worden onderzocht, zijn er überhaupt verschillen in gedrag tussen de as van vergassing en verbranding.
- In as van slibvergassing zit meer kool dan in de as van slibverbranding. In hoeverre is deze kool een nadeel in de toepassing van de as als bron voor fosforterugwinning bij ICL en/of Ecophos.
- Er is onzekerheid over het uitlooggedrag van de as van slibvergassing. Er zijn aanwijzingen dat metalen niet uitlogen (Kopf en ECN proeven). Dit wijkt echter af van het gedrag van verbrandingsassen in Nederland. Dit moet nader worden onderzocht.
- De ervaring is dat de vorming van dioxines bij het toepassen van een stoomcyclus laag is. Is dat zo? Hoe is dat bij toepassing van een gasmotor voor de verwerking van het produktgas?

- Welke emissies uit de produktgasmotor kunnen we precies verwachten ? Welke vergunningeisen (BVA, BEMS, activiteiten) zijn van kracht. Is slib een afvalstof, hoe kunnen we duurzaamheid afwegen (vermeden CO₂ versus extra emissies naar lucht)?

8.4 AANBEVELINGEN

- Op basis van de uitkomsten in de gevoeligheidsanalyse blijkt dat niet voor een "onzekere" technologie gekozen hoeft te worden. Monoverbranding (bekende techniek) op locatie (kleine schaal dus) lijkt ook erg goed mogelijk. Locale verbranding zou eigenlijk mede overwogen moeten worden in het/een vervolgtraject.
- Indien het spoor van vergassing van zuiveringsslib wordt vastgehouden, wordt aanbevolen om
 - de leemten in kennis (paragraaf 8.3) verder te onderzoeken;
 - de milieujuridische kant van de emissies naar lucht (afwegen vermeden CO₂/emissies/slib als afvalstof) nader te onderzoeken.
- Ten aanzien van de technologie van vergassen is het ei van Columbus nog niet gevonden. Voor realisatie van een installatie op praktijkschaal, is een pilot en/of demoinstallatie cruciaal. Het lijkt verstandig anno 2013 om eerst de ontwikkelingen in Duitsland af te wachten/te volgen.
- Naast de vergassing op kleine schaal is wellicht de toepassing van centrale (mono)vergasning op grote schaal een optie? Dit moet nog nader worden verkend. De hiervoor genoemde onzekerheden en leemten in kennis worden daarmee niet direct opgelost, maar mogelijk zijn er nieuwe kansen. Is in dat geval een hoogwaardigere toepassing van het synthesegas mogelijk ? Zijn er op grotere schaal meer synergiekansen met derden mogelijk? Bijvoorbeeld door goedkope restwarmte van afvalverwerkers, een combinatie van nieuwe en bestaande rookgasreiniging, door de toepassing van duurdere gasturbines met betere verbranding van C_xH_y dan van gasmotoren, en/of door elektriciteitslevering via bestaande afzetkanalen, etc.

9

LITERATUUR

- [1] EPA 2012, Technology Assessment report, Aqueous sludge gasification Technologies
- [2] Slibverwerking Zeeland b.v.1997, Eindrapportage proefbedrijf
- [3] Haskoning 1998, slibvergassingsinstallatie van slibverwerking Zeeland b.v.; second opinion over proefbedrijf en verwerkingskosten
- [4] Kopf 2012, Factsheet Klärschamvergasung Mannheim
- [5] Reinhold Rolle, Stoffliche und energetische verwertung von klarschlamm durch vergasung, Goetzelmann-Partner
- [6] ECN 2004, Duurzaam syntheseegas; een brug naar een duurzame energie- en Grondstoffenvoorziening
- [7] Mondelinge mededelingen Kopf (dhr Gaiffi)
- [8] STOWA marktconsultatie slibdrogen (concept)
- [9] Besluit van 13 oktober 2012, houdende wijziging van het Activiteitenbesluit milieubeheer, het Besluit omgevingsrecht en enkele andere besluiten ten behoeve van de omzetting van Richtlijn 2010/75/EU van het Europees Parlement en de Raad van 23 november 2010 inzake industriële emissies (geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging) (herschikking) (PbEU L 334). Volledige besluit Staatscourant 2012 nr. 21373 14 november 2012 te lezen (hierin staan de toegestane meetonnauwkeurigheden).
- [10] Mondelinge mededelingen Luc Sijstermans SNB van 28 februari 2013 en e-mail 5 april 2013 met opmerkingen en vragen over de energiebalans
- [11] Reitsma B, Nieuwe slibeindverwerking, kansen voor slibdroging met restwarmte en slibenergiefabriek, 20 april 2011, Tauw rapport nummer: R002-4748020BWP-jmb-V01-NL, te verkrijgen op Hydrotheek <http://edepot.wur.nl/170068>
- [12] Reitsma, B, Berg, R, Brandse, F, Geerse, H (2011), Nieuwe slibeindverwerking Noord-Nederland, kansen voor slibdroging met restwarmte en een slibenergiefabriek, H₂O 19 2011

BIJLAGE 1

VERSCHILLENDE TYPEN VERGASSERS

Gasifier Type	Scale	Fuel Requirements		Efficiency	Gas Characteristics	Other Notes
		Moisture	Flexibility			
Downdraft Fixed Bed	5 kW _a to 2 MW _a	<20%	<ul style="list-style-type: none"> Less tolerant of fuel switching Requires uniform particle size Large particles 	Very Good	<ul style="list-style-type: none"> Very low tar Moderate Particulates 	<ul style="list-style-type: none"> Small scale Easy to control Produces biochar at low temperatures Low throughput Higher maintenance costs
Updraft Fixed Bed	<10 MW _a	up to 50% - 55%	<ul style="list-style-type: none"> More tolerant of fuel switching than downdraft 	Excellent	<ul style="list-style-type: none"> Very high tar (10% to 20%) Low particulates High methane 	<ul style="list-style-type: none"> Small and medium scale Easy to control Can handle high moisture content Low throughput
Bubbling Fluidized Bed	<25 MW _a	<15%	<ul style="list-style-type: none"> Very fuel flexible Can tolerate high ash feedstocks Requires small particle size 	Good	<ul style="list-style-type: none"> Moderate tar Very high in particulates 	<ul style="list-style-type: none"> Medium scale Higher throughput Reduced char Ash does not melt Simpler than circulating bed
Circulating Fluidized Bed	A few MW _a up to 100 MW _a	<15%	<ul style="list-style-type: none"> Very fuel flexible Can tolerate high ash feedstocks Requires small particle size 	Very Good	<ul style="list-style-type: none"> Low tar Very high in particulates 	<ul style="list-style-type: none"> Medium to large scale Higher throughput Reduced char Ash does not melt Excellent fuel flexibility Smaller size than bubbling fluidized bed
Plasma	<30MW	any	<ul style="list-style-type: none"> Greater feed flexibility without the need for extensive pretreatment Solid waste capability 	Very Good	<ul style="list-style-type: none"> Lowest in trace contaminants; no tar, char, residual carbon, only producing a glassy slag 	<ul style="list-style-type: none"> Large scale Easy to control Process is costly High temperature (5000°-7000°F)
Liquid Metal	<7MW	<5%	<ul style="list-style-type: none"> Generally requires low moisture due to the possibility of steam explosion 	Very Good	<ul style="list-style-type: none"> Low trace contaminants; virtually no tar, char, residual carbon 	<ul style="list-style-type: none"> High syngas quality
Supercritical Water	UNK	70 - 95%	<ul style="list-style-type: none"> Suitable for the conversion of wet organic materials 	Good	<ul style="list-style-type: none"> Suppressed formation of tar and char 	<ul style="list-style-type: none"> Short reaction time High energy conversion efficiency by avoiding the process of drying step Selectivity of syngas with temperature control and catalysts

Source: EPA 2012, Technology Assessment report, Aqueous sludge gasification technologies

BIJLAGE 2

POTENTIËLE LEVERANCIERS

SLIBVERGASSERS

AANBIEDER VERGASSERS

Allereerst is er een lijst opgesteld met aanbieders van systemen voor de vergassing van biomassa. Deze lijst is niet uitputtend maar bevat een belangrijk deel van de aanbieders. Hierbij was het vooral van belang om een compleet overzicht te krijgen van de partijen die een referentieproject gerealiseerd hebben op het gebied van slibvergassing. Wereldwijd zijn er al meer dan 100 biomassa vergassers gerealiseerd (Roos, C., 2008. *Clean Heat and Power Using Biomass Gasification for Industrial and Agricultural Projects*. U.S. DOE Clean Energy Application Center. WSUEEP08-033, Rev. 5.).

Voor het selecteren van de bedrijven die daadwerkelijk een functionerende slibvergasser hebben gerealiseerd, is literatuuronderzoek uitgevoerd op internet. De resultaten van dit literatuuronderzoek zijn weergegeven in onderstaande tabel.

BEDRIJVEN MET SLIB EN BIOMASSA VERGASSERS IN BEDRIJF

Ervaring met slibvergassing	Land	Slibvergasser in bedrijf?
Kopf Produktgas	Duitsland	2
MaxWest	Amerika	1
Tokyo Metropolitan Government	Japan	?
Kobelco	Japan	?
HoSt	Nederland	Pilot ervaring
University of Canterbury	Nieuw Zeeland	Pilot ervaring
ChemChar	Amerika	Pilot ervaring
Stamford WPCA/NEXTERRA	Amerika	Pilot ervaring
M2Renewables/Powerhouse/Pyromex	Duitsland	Pilot ervaring
Ervaring met biomassa vergassers		Biomassa vergassers gerealiseerd
Rheinbraun AG	Duitsland	Pilot co vergassing rwzi slib
NUON	Nederland	Pilot co vergassing rwzi slib
Siemens	Duitsland	Co vergassing rwzi slib (verplaatst naar India)
B&W Volund	Denemarken	Meerdere
Metso	Denemarken	Meerdere
Andritz / Carbona	Oostenrijk	Meerdere
Repotec	Oostenrijk	Meerdere
Rentech – ClearFuels	Amerika	Meerdere
Many others such as Carbona, Lurgi, TPS, Foster-Wheeler		

Ter referentie zijn de resultaten uit een in 2012 uitgevoerd EPA onderzoek opgenomen waarin onderzoek verricht is naar de leveranciers die een functionerende slibvergasser gerealiseerd hebben.

In het EPA onderzoek is net als in dit onderzoek van grof naar fijn gewerkt waarbij allereerst een literatuuronderzoek is uitgevoerd naar de potentiële leveranciers van slibvergassers waarna er contact is opgenomen met de betreffende bedrijven (zie onderstaande tabel). Na een verdere selectie kwam het EPA, net als dit onderzoek, uit op 2 serieuze leveranciers (Kopf en MaxWest).

No.	Company	Technology	Sludge TRL	Notes
1	ACTI	Fixed-bed Gasification	1	
2	Allied Syngas Corp	Fixed-bed Gasification	1	
3	BioConverters LLC	Biological Destruction	0	Not Gasification
4	Biomass Gas and Electric LLC	Fluid-bed Gasification	0	Company dissolved
5	Bio-Petrol	Pyrolysis	1	
6	Biosyn	Fluid-bed Gasification	1	
7	Carbona	Fluid-bed Gasification	0	
8	Coaltec Energy USA, Inc.	Fixed bed	0	
9	Community Power Corp	Fixed bed	0	
10	Ebara	Fluid-bed Gasification	3	Co-gasification with MSW
11	Energy Products of Idaho	Fluidized bed	0	Combustion
12	Enertech	Gasification	0	Fossil fuel gasification
13	Ensyn	Sludge Pyrolysis	0	
14	Foret Plasma Labs	Plasma Gasification	0	
15	Genahol LLC	Biomass Gasification	0	
16	Grand Teton Enterprises	Gasification	1	Type unknown
17	Green Planet Fuel and Energy	Gasification	0	Type unknown
18	Inetec	Anaerobic Digestion	0	Not Gasification
19	Innovative Logistics Solution	Gasification	1	Merged with Pyromex
20	Interstate Waste Technologies	Gasification	1	Type unknown
21	Lurgi	Catalytic process	0	Not gasification
22	Masada Resources Group	Hydrolysis	0	Not gasification
23	Maxwest	Fixed bed	5	Selected for report
24	Nexterra	Fixed bed	4	Selected for report
25	Omnifuel Technologies, Inc.	RDF Gasification	1	No sludge gasification
26	Pinnacle Biotech	No info available	0	
27	PRM Energy	Fixed-bed Gasification	1	
28	Prime Energy	Fixed-bed Gasification	3	
29	Princeton Environmental	Plasma Gasification	1	
30	Pyromex AG	Fixed-bed Gasification	4	Selected for report
31	Ren Waste	Gasification	1	Type unknown
32	Skelde	No info available	0	
33	Solena	Plasma Gasification	1	
34	Startech Environmental Corp	Plasma Gasification	1	Bankruptcy
35	Taylor Biomass Energy LLC	Fluid-bed Gasification	1	
36	TRI	Fluid-bed Gasification	1	
37	US Centrifuge	Dewatering technology	0	No sludge gasification
38	Westinghouse	Plasma Gasification	0	Only develop torches
39	Wright Environmental	No info available	0	
40	Ze-gen	Liquid Metal Gasification	0	
41	City of Stamford WPCA	Fixed bed	4	Selected for report
42	Bureau of Sewerage, Tokyo	Fluidized bed	5	Selected for report
43	Kopf	Fluidized bed	5	Selected for report
44	M2 Renewables	Dewatering technology	4	Selected for report

BIJLAGE 3

LITERATUURONDERZOEK

Voor het literatuuronderzoek zijn onder andere de volgende bronnen geraadpleegd:

SLIBKETENSTUDIE I & II

De Slibketenstudie (STOWA 2005-26) geeft geen informatie over slibvergassing. Er wordt vermeld dat er te weinig ervaring is met de vergassing van zuiveringsslib. In de Slibketenstudie II (STOWA 2010-33) is vergassing+verbranding uitgewekt. Hiervoor is een twee traps vergassingsstelsel gemodelleerd (met zuurstof uit een luchtscheiding installatie). Het gaat om een circulerend wervelbed vergasser (900 C) gevolgd door een verslakkende stofwolkvergasser (1.400 C) waarin de teercomponenten verder afgebroken worden en het as omgezet wordt in slakken. Voordat het slib de vergasser in gaat wordt het gedroogd tot 90 – 95% ds.

Er is een modellering uitgevoerd voor een slibvergasser, parallel aan een elektriciteitscentrale (op basis van uitgangspunten MER voor slibvergassing bij centrale Eemshaven, EPON Zwolle, 1998). Ook zijn ervaringen van een proefinstallatie in Borsele meegenomen. Reactortemperatuur van 1.500 C en stoom van 20 bar als vergassingsmedium. De berekende investeringskosten zijn 21,26 EUR per i.e. en de exploitatiekosten 4,22 EUR per i.e.

EPA 2012, TECHNOLOGY ASSESSMENT REPORT, AQUEOUS SLUDGE GASIFICATION TECHNOLOGIES

Het EPA heeft recent (2012) een uitgebreid assessment uitgevoerd naar de leveranciers die slibvergassers leveren. Uit een groot aantal eventuele leveranciers bleven uiteindelijk alleen Kopf en Maxwest over omdat de installaties van de overige leveranciers niet meer draaiden of er geen informatie over te verkrijgen was (Japanse slibvergassers). Geconcludeerd wordt dat slibvergassing kansrijk is maar dat er nog zeer weinig slibvergassers in de praktijk gerealiseerd zijn. Er moet intensief informatie verzameld worden om meer inzicht te verkrijgen in het functioneren van de slibvergassers. In vergelijking met het EPA onderzoek is het in ons onderzoek gelukt om betere/recentere informatie van Kopf te inventariseren. Overige informatie en resultaten uit dit onderzoek zijn in dit referentieonderzoek verwerkt.

SLIBVERWERKING ZEELAND B.V. 1997, EINDRAPPORTAGE PROEFBEDRIJF

In 1996 heeft er gedurende een jaar een pilot met een slibvergasser gedraaid bij Vlissingen-oost. Het doel van de pilot was om gedurende een jaar 2.000 ton droge stof te verwerken en daarna eventueel uit te breiden naar 6.000 en 12.000 ton. De vergasser was van het type vastbed vergasser (meestroom). De vergasser bleek niet in staat om 2.000 ton droge stof per jaar te verwerken waardoor de pilot destijds niet is voortgezet naar grotere capaciteiten. De verwerkingskosten bedroegen ongeveer 990 gulden per ton droge stof en waren fors hoger dan de geldende markttarieven.

ERVARINGEN CO-VERGASSING RWZI SLIB

Er is contact opgenomen met Tom Boots van de NUON. Bij de Willem Alexander Centrale (Buggenum) wordt verpoederde kool vergast. Deze installatie is ontwikkeld door Shell en in 2003 in bedrijf genomen. In de periode 1998 – 2006 is er sporadisch rwzi slib vergast om vast te stellen of dit slib geschikt is om als biomassa aan de vergasser toe te voegen. De vergasser in

Buggenum is van het type verslakkende 'Entrained Flow Vergasser' ofwel 'Stofwolkvergasser' die gekenmerkt wordt door een hoge temperatuur (1.300 – 1.600 °C) en de korte verblijftijd (*bron ECN 2004, Duurzaam synthesesgas, Een brug naar een duurzame energie- en grondstoffenvoorziening*).

Tom Boots van NUON gaf aan dat de vergasser veel problemen had met de vergassing van rwzi slib omdat er vervuiling optrad. Samengevat noemde hij de volgende punten:

- In de centrale wordt 2.000 ton kolen per dag vergast → de testen met rwzi slib zijn uitgevoerd met 5% slib (100 ton p/d). De produktgaskoeler (die na de vergasser komt), slibde echter dicht door kalium, fosfaat en chloride afzettingen op de stoompijpen.
- Er was veel weerstand in de omgeving mbt vergassen rwzi slib. Men wilde niet dat er slib uit een rwzi vergast werd en dus volgde er protest.
- Wat overige biomassa stromen betreft. Kippenmest ging bijna net zo slecht als rwzi slib. Vergassen van stromen uit voedingsmiddelenindustrie ging beter (cacao schillen en pinda doppen) maar ook dit leverde afzettingen op. Nu wordt er alleen nog schoon hout vergast (15-20% van totale input), dat gaat goed.

Andere grootschalige kolenvergassers hebben positievere ervaringen met de co-vergassing van rwzi slib. Rheinbraun AG (RAG) heeft testen uitgevoerd in een hoge temperatuur wervelbedvergasser (Winkler Proces) waarin normaalgesproken bruinkool vergast wordt. In totaal is er 504 ton rwzi slib vergast en bleven de emissies ruim onder de Duitse standaarden. Rheinbraun AG oordeelde dat de combinatie van bruinkool en gedroogd rwzi slib positief was. Het nadeel is dat er grote afstanden afgelegd moeten worden om het rwzi slib bij een grootschalige kolenvergasser te krijgen waardoor kleinschalige slibvergassers toch positiever uit lijken te pakken (*bron, EPA*).

BIJLAGE 4

VERGELIJKING VERGASSEN EN VERBRANDEN

Deze tabel beschrijft de belangrijkste aspecten van vergassing en verbranding. Voor beide opties zijn de gegevens gebaseerd op een door HoSt geleverde technologie, welke door de uitvoerders als beste optie wordt gezien. Voor vergassing is dit een Circulating Fluidized Bed (CFB) vergasser. Voor verbranding een Bubbling Fluidized Bed (BFB) verbrander.

Aspect	Vergassing in CFB vergasser	Verbranding in BFB verbrander
<i>Complexiteit techniek</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Complexe technologie waarbij proces nauwkeurig gestuurd moet worden. • Processtabiliteit afhankelijk van brandstofdebiet en samenstelling. 	<ul style="list-style-type: none"> • Minder complexe technologie. Proces is robuust en kan fluctuaties brandstofdebiet en samenstelling verwerken.
<i>Temperatuur</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Circa 850°C in de vergasser. Temperatuur beperkt door luchttondermaat in vergasser. • De temperatuur in de vergasser is een afweging: een hoge temperatuur zorgt voor betere conversie. Een lagere temperatuur zorgt voor minder verbruik van brandstof voor het op temperatuur houden van de vergasser. • Verbranding produktgas bij hoge temperatuur in produktgas brander. 	<ul style="list-style-type: none"> • Circa 900°C in het fluidized bed van de verbrander. De temperatuur wordt beperkt door een grote luchtvermaat. • Een zo hoog mogelijke temperatuur is gewenst voor optimaal rendement. De temperatuur is beperkt door het smeltpunt van de as.
<i>Emissies/rookgas reiniging</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Voldoet aan emissies BVA (o.a. verblijftijd van 2 sec. op 850°C) door verbranding produktgas op hoge temperatuur. • Laagst mogelijke emissies. Afscheiding as voor produktgas brander. Schone verbranding produktgas. Minder vervuiling van ketel door beperkte as hoeveelheid in verbrandingsgassen. • Beperkt rookgasdebiet wat gereinigd wordt in rookgasreiniging. 	<ul style="list-style-type: none"> • Voldoet aan emissies BVA (o.a. verblijftijd van 2 sec. op 850°C) door verbranding slib op 900°C in fluidized bed. • Groot rookgasdebiet wat gereinigd wordt in rookgasreiniging.
<i>Efficiency/conversie</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Niet volledige koolstof conversie in de vergasser: circa 95%. Hierdoor blijft een deel van de energie onbenut achter in de afgevoerde koolstof in de as. • Vergassing met luchttondermaat. • Hoog rendement ketel door hoge verbrandingstemperatuur produktgas. • Optimale omzetting van slib naar elektriciteit. 	<ul style="list-style-type: none"> • Volledige koolstof conversie in de verbrander. De volledige energie inhoud van de brandstof wordt benut. • Verbranding met grote luchtvermaat. • Lager rendement ketel door lagere rookgastemperatuur. • Optimale omzetting van slib naar elektriciteit bij gebruik droog slib (15% vocht).
<i>Brandstofeisen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Homogeen brandstofmengsel aangevoerd met constant debiet voor stabiel bedrijf vergasser. • Droge brandstof vereist voor optimale efficiency: slib met 15% vocht. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluctuaties in het brandstofmengsel toelaatbaar. • Mogelijkheid tot verbranding nattere brandstof, tot 50% vocht. De nattere brandstof zorgt voor minder rendement (elektriciteit en warmte), maar ook voor minder warmte benodigd voor droging van het slib. De elektriciteitsproductie wordt circa 45kWe lager bij gebruik van slib met 50% vocht in plaats van 15%.

Aspect	Vergassing in CFB vergasser	Verbranding in BFB verbrander
<i>As (zie uitleg onder tabel)</i>	<ul style="list-style-type: none"> As afscheiding in temperatuur stappen. Eerste afscheiding op hoge temperatuur, tweede afscheiding na produktgas koelers. In de eerste cycloon wordt as zonder grote concentraties verontreinigingen afgescheiden. In de twee cycloon wordt as op een verlaagde temperatuur afgescheiden. Hiermee worden gecondenseerde alkali metalen en zware metalen met de as afgescheiden. Afscheiding as vindt voor het grootste deel plaats uit het produktgas in cyclonen. As kan als separate stromen afgevoerd worden. De op hoge temperatuur afgescheiden as kan worden hergebruikt. De op lage temperatuur afgescheiden as bevat zware metalen en dient als afval worden afgezet. As bevat niet geconverteerde koolstof. Vanwege de grote hoeveelheid as in het slib zal het koolstofpercentage in het as laag zijn (circa 4% op massa basis). Beperkte kans op vervuiling ketel door as, omdat het grootste deel van de as en alkali metalen voor de ketel al uit het produktgas verwijderd is. Resterende as wordt door middel van een doekenfilter uit de afgekoelde rookgassen na de ketel verwijderd, gemengd met eventueel gebruikte additieven voor rookgas reiniging. 	<ul style="list-style-type: none"> As afscheiding voor ketel op hoge temperatuur. Alleen as wordt afgescheiden, alkali metalen en zware metalen zijn nog niet gecondenseerd. As afscheiding vindt voor het grootste deel plaats uit het rookgas voor de ketel, door middel van een cycloon. As kan worden hergebruikt door beperkte verontreinigingen. As bevat geen onverbrande koolstof door grote luchtvermaat in verbrander. Kans op vervuiling ketel door condensatie alkalimetalen. Resterende as wordt door middel van een doekenfilter uit de afgekoelde rookgassen na de ketel verwijderd, gemengd met eventueel gebruikte additieven voor rookgas reiniging. Hier worden ook de zware metalen en gecondenseerde alkalimetalen afgescheiden.
<i>Installatiegrootte</i>	<ul style="list-style-type: none"> Relatief kleine reactor: beperkt luchtdebiet en hoge lucht en produktgas snelheid. Relatief kleine rookgasreiniging equipment vanwege beperkt rookgasdebiet. 	<ul style="list-style-type: none"> Relatief grote reactor: groot luchtdebiet en lage lucht/rookgassnelheid. Relatief grote rookgasreiniging equipment vanwege groot rookgasdebiet. Grootte van de droger kan verminderd worden door verwerking natter slib in verbrander. Hiermee wordt ook de verbrander beperkt kleiner.
<i>Overig</i>	<ul style="list-style-type: none"> Mogelijkheid tot verbranding produktgas in gasmotor. In de praktijk blijkt deze route echter nog niet toepasbaar vanwege de hoge eisen aan de produktgas kwaliteit. Mogelijkheid vergroting rendement door verbranding restkoolstof met produktgas (techniek in ontwikkeling). 	<ul style="list-style-type: none"> Bewezen concept: bestaande installatie van SNB in Moerdijk is ook een BFB verbrander.

As

De beschrijving van de eigenschappen van de as is gebaseerd op een rapport van HoSt en ECN over de vergassing van zuiveringsslib uit 2004 (1138rap01rev02). Deze gegevens zijn indicatief. Praktijkonderzoek is nodig met het betreffende zuiveringsslib om definitieve conclusies te trekken wat betreft de verontreinigingen van de verschillende as stromen. De as zonder verontreinigingen (afgevangen op hoge temperatuur) kan gebruikt worden voor verwerking in kunstmest. Er zit een beperkte hoeveelheid koolstof in de as bij vergassing (naar verwachting circa 4% op massa basis). De aanwezigheid van koolstof in deze as is voor de afzet bij ICL (waarschijnlijk) geen bezwaar. Bij andere verwerkers (zoals tzt Ecophos) zal uitgezocht moeten worden of as met koolstof gebruikt kan worden.

Elektriciteitsproductie

In de uitgewerkte situatie wordt de stoom voor het TDH proces onttrokken van de stoomcyclus, behorende bij de vergasser of verbrander. Dit heeft als grote voordeel dat er geen extra investering hoeft te worden gedaan voor een extra stoomketel.

Echter bij een grotere schaal zal deze afweging economisch gezien anders kunnen uitvallen. In dit geval is het waarschijnlijker dat een extra stoomketel bij de biogas WKK wel rendabel is. Hierdoor zal de elektriciteitsproductie in de stoomcyclus (bij zowel verbranding en vergassing) met circa 60kWe kunnen toenemen. Daarnaast zal bij het niet aftappen van stoom de stoomcondensator meer warmte leveren, doordat er meer stoom gecondenseerd zal worden.

BIJLAGE 5

WERKBEZOEK KOPF, MANNHEIM

NABESPREKING WERKBEZOEK

Direct na het werkbezoek is er een nabespreking gehouden met alle deelnemers. Tijdens deze nabespreking komen de volgende onderwerpen aan bod:

PROCESKEUZEN

Het teer en stofprobleem in het produktgas is opgelost. Bij de opwarming van het slib met het geproduceerde produktgas en vervolgens afkoelen van het gas tot < 500 C (van 800 C met een beetje water → quench), komen het teer + stof weer opnieuw in het slib. Restant komt in waswater. Wordt afgescheiden in een skimmer. Restant na actieve kool naar de waterlijn rwzi. Er is behoefte aan een goede stof- en massabalans (deze is opgevraagd). Dat maakt de kans voor gasmotoren weer groter. In Mannheim is deze niet aanwezig, maar wel in Balingen en deze werkt ook, maar het is een oud model. Knelpunt voor NL zijn de vergunningseisen. Het is de vraag of wij op dezelfde manier zo'n soepele eis kunnen krijgen als in Dld. Twijfels over de samenstelling van condensaat wat weer terug gaat naar waterzuivering. Luc, wat is het thermisch rendement van de installatie? Hoeveel potentieel thermische energie gaat er in en hoeveel thermische energie wordt er geleverd?

- In ons ontwerp gaat het produktgas vanuit de vergasser met 500 graden de verbrander in. Met 850 graden wordt de inkomende lucht voorverwarmd en daar komt 500 graden produktgas uit. HoSt geeft aan dat de warmtebalans bij ons efficiënter is. Het produktgas van 500 graden gaat direct de stoomcyclus in (boven de 500 graden houden zodat teer niet condenseert) en de warmte wordt dus benut
- Moderne, efficiënte, gasmotoren met hoog rendement zijn zeer gevoelig voor teercondensatie
- De gassen van 850 graden verwarmen de ingaande lucht voor naar 500 graden, dit moet teruggekoeld worden naar 35 graden om de teer te laten condenseren. Produktgas gaat met 500 graden door het gedroogde slib en komt er met 130 graden uit. Daarna wordt het verder gekoeld tot 35 graden. In deze stappen is er veel warmteverlies

De quench van 880 naar 500 C levert energetisch een rendementsverlies op van 10-15 %. De droger draait alleen op warmte uit het produktgas. Bij de vergasser zelf is warmte over die niet wordt benut. Dat levert ook een rendementverlies op. Dat kan veel beter.

SAMENSTELLING VAN DE AS

In het as van de vergasser wordt ook een deel zand afgescheiden. Er hoeft echter geen zand te worden gesuppleerd, omdat er genoeg zand/silicium in het slib zit. Kennelijk bevat het slib aldaar veel zand. Men is trouwens vaak opnieuw opgestart, dus is deze balans kloppend? Het asgehalte in het vergiste slib is tss 40 en 50 % en dat is wel hoog. Is dit in NL anders? Is niet kritisch, want suppletie van zand is het probleem niet. Er zijn trouwens 3 soorten as: bodemas, vliegias en filteras. De afgevoerde as bestaat uit 80% vliegias en 20% bedzand. Daarnaast is er nog filteras. Deze is vuil maar wordt weer teruggevoerd in het systeem

EMISSIE EISEN

Wat zijn de consequenties bij gebruik gasketel of een gasmotor tav de emissie-eisen. Verbranden valt sowieso onder 17BImSch met strenge eisen. Kopf heeft voor elkaar gekregen dat de vergasser onder 17BImSch valt (in NL BVA), maar het verstoken van produktgas bij de droger onder 4e BImSch (in NL BEES, zoals bij gasmotoren). Het is dus als het ware gesplitst. In NL is speciale aandacht om dergelijke knelpunten om een nieuwe techniek te boosten bij de overheid aan te kaarten (in kader green deal ws -rijk). Als een gasmotor 1% van het gas doorlaat, CO en C_xH_y , wat betekent dat dan (BVA of BEES)? De BEES heeft geen richtlijnen voor CO en C_xH_y en dioxinen. Komt daarmee een gasmotor toch weer in beeld? Luc heeft een memo geschreven over emissie eisen die spelen in Mannheim. Tauw zal intern hierover expert raadplegen.

KWIK

Een belangrijke vraag is wat er gebeurt met kwik (Hg). We hebben een kwikbalans nodig. Bij SNB komt Hg in de rookgassen. 20 % in doekenfilter, de rest in de wasser, wordt afgescheiden met actieve kool. Volgens Kopf komt het bij hun niet in de rookgassen (daarom geen doekenfilter), maar in de as. Er is echter weinig gemeten. Moet gemeten kunnen worden met Xref. Is dus discutabel. Is leemte in kennis. HoSt heeft ooit proeven gedaan bij ECN. Volgens HoSt komt kwik niet in de as terecht (alleen bij de laagste temperatuur cycloon (3^e) komt er een beetje in de as terecht). HoSt zal nagaan of rapport openbaar gemaakt kan worden. Mocht Hg wel in de as zitten, is dat weer ongunstig voor de inzet als meststof.

BESCHIKBAARHEID VAN P UIT DE AS EN GEHALTE AAN C IN AS

As: ca 4 % organisch gehalte. Dat is vrij laag. Afhankelijk van de verblijftijd in de vergasser en de fijnheid van de slibkorrels, hoe fijner hoe beter. Voor ICL is dit waarschijnlijk geen probleem. Uit plantproeven is gebleken dat de P voor 70 % kan worden benut. Dat is erg hoog. Bij SNB is de P helemaal niet beschikbaar, dus dit is ook discutabel. Hoe minder C in de as hoe meer gas (je raakt hiermee ca 5-10 % van de energie kwijt). Hier is echter weinig aan te doen. Asgehalte C in vlieggas. Ruud, in Balingen is het 30% en in Mannheim 3-4%. Verblijftijd in de vergasser bepaald de fractie C in de as.

TOEPASSING VAN AS

As deels in deponie, maar ook toepassen as in de wegebouw. Ze kunnen het afzetten en er moeten dus uitloogproeven gedaan zijn. Volgens Kopf logen de metalen niet uit bij standaard uitloogproeven. Dat is echter vreemd, bij SNB loogt het wel uit. Dat is dan ook weer in strijd met de mobiliteit van P. Heeft HoSt nog uitlooginfo ? Volgens Kopf logen de zware metalen niet uit de as. Bij verbranding logen de zware metalen, die omgezet zijn in zouten, wel uit. De verwachting is dat dit bij vergassing hetzelfde is. Er zijn nog veel twijfels, want Kopf mag het as afzetten als klasse 1 bouw materiaal, waaruit geen zware metalen mogen uitlogen.

ALGEMENE INDRUK

Kopf kwam met een open verhaal. Alles lag open. Het is duidelijk de opstart van een nieuwe technologie. Naar eigen zeggen zijn ze wereldwijd eigenlijk de enige die het onder de knie heeft.

EBARA in Japan is het niet gelukt om de vergasser stabiel te laten draaien. Er zijn 400 engineers mee bezig geweest maar de pogingen zijn nu gestaakt.

Balingen draait goed, er zijn twee in "voorbereiding", dat wil zeggen dat de vergunning is verleend. Mannheim draait nog niet goed en dat komt eigenlijk door veel randverschijnselen,

zoals storings aan pakkingen, sensoren, pompen, etc. Tijdens het bezoek was de vergasser in storting. Er zijn nieuwe pakkingen nodig (emissie CO en H₂) in het gebouw → overal sensoren, schakelen snel apparaat uit. Als de opstelling buiten staat (Balingen) speelt dit minder. Kopf heeft de project niet verkregen via tenders, maar 1 op 1 omdat er geen alternatieve leverancier is. Politiek besluit.

OVERIGE ASPECTEN TIJDENS DE NABESPREKING MET KOPF:

- De vergasser in Mannheim heeft tot nu toe 1.000 uur gedraaid. De vergasser in Balingen draait sinds 2002. In 2012 is de capaciteit van de vergasser in Balingen verdubbeld tot 300 gh/h input en sindsdien heeft deze vergasser 1.700 uur gedraaid.
- 10% van de voeding van de gistingstanks in Mannheim bestaat uit externe afvalstoffen zoals voedselresten en vetten
- MWM (Motor Werken Mannheim) gaat in de nabije toekomst de gasmotoren bouwen voor het verbranden van het produktgas
- In noord Duitsland mag rwzi slib nog op het land gebracht worden maar dit gaat binnenkort veranderen
- In Duitsland kost het afzetten van gedroogd slib € 40 – 60 per ton. In Nederland kost de afzet van gedroogd slib ongeveer € 30 per ton
- bij slibdroging bedraagt het energiegebruik van een banddroger 800 Watt per liter verdampt water
- het koolfilter wordt in principe 2 - 3 maal per jaar vervangen
- de filterassen worden teruggebracht naar de droging en opnieuw in het proces gebracht.
- Gedroogd slib moet 85-90 % droog zijn. (> 75 % ten minste). < 70 % is probleem transport. Het mag ook niet te droog zijn.
- Verblijftijd SGT is 15 d (Mesofiel 38 C). Dat is de ATV richtlijn. Daarna 40-50 % asrest. Is voor hun normaal (voor NL is dat hoog).
- In de VS heeft CH₂m hill (global leader in full-service engineering, construction, and operations) 70 verschillende vergassingsystemen geïnventariseerd en daar vervolgens 3 systemen uit geselecteerd om een pilot mee te draaien. Het systeem van Kopf zat hierbij. Deze zouden worden aangelegd in een zeer duur gebied bij NY. Kwam ander management en toen is het gecancelled.

BIJLAGE 6

ANTWOORDEN OP VRAGEN KOPF

Antwoorden op vragen door Kopf
November 2012

General questions

 Which gasification technology is used (fixed, fluidized, other)?

 Bubbling fluidized bed gasification

 What is the capacity of the sludge gasification plants (tons dry solids per year)?

 Balingen: 2000 tDS/a

 Mannheim: 4250 tDS/a

 For how many years is the gasifier in operation?

 Balingen: since 2002 (pilot plant)

 Mannheim: since 2012

 How much fte is necessary to run the sewage sludge gasification plants?

 Balingen: 0.5 per shift

 Mannheim: 0.3 per shift

Financial

 What are the operation and maintenance costs of the gasifier per year?

 Operation costs depend on local factors and product properties.

 Maintenance costs:

 Balingen: approx. 2% of investment costs per year

 Mannheim: approx. 2% of investment costs per year

 What are the investment costs of the gasifiers (including gas treatment, thermo oxidizer, etc)?

 Balingen: 4,2Mio €

 Mannheim: 7,5Mio €

 Assumed lifetime of the gasifier (including gas treatment, thermo oxidizer, etc)?

 20 a

Input material

 Which types of sludges are gasified (primary, secondary, other)?

 Primary/Secondary digested sludge

 What kind of dryer is used (belt dryer? Greenhouses?) and what dry solids content is reached in the dryer?

 Balingen: Belt dryer (88 – 95%DS)

 Mannheim: Drum dryer (92 – 98%DS)

 Preferably belt dryer (remaining humidity is necessary for gasification)

 What is the composition of the off gas and filtrate of the sludge dryer?

 Balingen: dryer not in scope of supply (TA Luft)

 Mannheim: dryer not in scope of supply (TA Luft)

 How is ammonia removed from the off gas of the dryer and from the produktgas?

 Balingen: NH₃ incinerated in TNO to mainly N₂ and partly NO_x

 Mannheim: : multi stage scrubber/washer removes NH₃

 Ammonia is an issue for dryers but not so much for TNO

 What is the dry solids, organic dry solids and ash content of the input?

 Balingen: DS: see above, organic: 50 – 60%, ash 40 – 50%

 Mannheim: DS: see above, organic: 50 – 60%, ash 40 – 50%

Is pretreatment of the input material necessary (diameter, temperature, etc)?

Max particle size 10mm (for gasifier); $d_{90}=5\text{mm}$

What is the annual thermal and electric energy use of the dryers?

Balingen: not in scope of supply (0,83 kW/L water evaporation)

Mannheim: not in scope of supply (approx. 0,95 kW/L water evaporation)

Gasifier

With what kind of technology is heat and/or electricity produced from the produktgas?

Balingen: electricity and heat (for dryer heating)

Mannheim: heat only (for dryer heating)

What kind of gas cleaning system is used (please describe)?

Balingen: Cyclone, Patented quench and absorber stage, fine filtration with ceramic filter
, Muti stage condensation

Mannheim: Cyclone, Patented quench and absorber stage, fine filtration with ceramic filter
, Muti stage condensation and multi stage scrubber

What is the electricity use of the gas treatment (kWhe and MWh/y)?

Balingen: data available for complete system. See below

Mannheim: data available for complete system. See below

What is the energy production capacity of the gasification plants (MWe, MWth)?

Balingen:

MWe: 0.15 MWh/h; 0,4MWth (ratio thermal / electrical can be varied; 0,56MWh/h available)

Mannheim:

MWe: 0 MWh/h; MWth 1,5MWh/h

Energy output depends on sludge quality (organic content and compsostion)

What is the electricity (MWe/y) and thermal energy use (MWth/y) of the complete gasifier system (gasifier, cyclone, air and water treatment, etc)?

Balingen:

Electrical consumption: 30 kWh/h

Thermal consumption: 0 kWh/h

Mannheim:

Electrical consumption: 70 kWh/h

Thermal consumption: kWh/h

What are the costs for the disposal of the ash and are these costs stable?

Balingen: 0€(only costs for transportation)

Mannheim: no data available

How much chemicals (bicarbonate, CaCO_3 , etc) are used in the flue gas treatment (tons per year)?

No chemicals needed for gas treatment. Only for water softening for condenser II (consumption depending on the available water hardness) and chemicals for H_2S removal (consumption depending on sludge quality)

What is the composition of the produktgas from the gasifier (% CO , H_2 , CO_2 , N_2 , O_2 , C_xH_y (tars), CO , NO_x , SO_x , HCl , NH_3 , HCN , COS , dust, heavy metals)?

CO : 16.7%

H_2 : 14.9%

CO_2 : 14.5%

N_2 : 48.5%

O_2 :

C_xH_y : 4%

(tars): 250mg/m³

NO_x

SO_x

HCl

NH_3

HCN

COS

Dust

heavy metals

Waste streams

Which waste streams are produced in the installation (air, water, solids) and in which quantities?

See below

Where in the process are these waste streams produced and at which temperature?

Balingen: Condensate: 30 – 40°C; Ash <60°C; Exhaust gas form thermal oxidizer 400 – 850°C

Mannheim: Condensate: 30 – 40°C; Ash <60°C; Exhaust gas form thermal oxidizer 400 – 850°C

What is the composition of these waste streams (Ash:% of heavy metals +Hg, Fe, Al, carbon, phosphate, potassium, natrium, silica)?

Depends on sludge quality

What are the concentrations of C_xH_y (tars), CO, NO_x, SO_x, HCl, NH₃, HCN, H₂, COS, dust, heavy metals **before** the flue gas treatment?

See composition of produktgas

What are the concentrations of C_xH_y (tars), CO, NO_x, SO_x, HCl, NH₃, HCN, H₂, COS, dust, heavy metals **after** the flue gas treatment?

n.a.

Emission norms

What are the **emission norms** for

TA Luft

Operation and maintenance

For how much time (hours/days) is the gasifier out of operation for maintenance during the year?

Operating hours: 7000 – 7500 h/a

Have there been problems with corrosion and/or scaling?

Stainless steel quality is suitable for the application.

Scaling is prevented by softening the condenser water.

The gas cooler (quench) is provided with demineralized water (demineralisatzion unit in scope of supply)

Have there been problems with ash and/or tar deposits in the flue gas pipework/thermo oxidizer?

Ash deposits are prevented through fine filtration of the produktgas.

Tar deposits are prevented by trace heating of pipes and equipment.

Have silicon residues in the CHP unit been measured?

CHP not in scope of supply

Are there other reasons wh_y the gasifiers have been out of operation?

For how much time (days) functions the gasifier without a stop (on average)?

5 – 15 days

BIJLAGE 7

UITWERKING OVERIGE ASPECTEN

VARIATIE IN SLIBONTWATERING

Omdat er in Nederland nog weinig ervaring is met de ontwatering van TDH slib is voor variant 3 het effect van een variërend droge stof gehalte in de eindontwatering onderzocht. Als minimum is uitgegaan van een droge stof gehalte van 25% en als maximum 35%. Specifiek is berekend of de warmtevraag in beide gevallen gedekt kan worden door de verbranding van produktgas en biogas (warmte overschot of tekort). Tevens is in onderstaande tabel het (eventuele) overschot aan elektriciteit van de sliblijn opgenomen. Voor variant 2 is er geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd omdat met deze configuratie (wel vergisting, geen TDH) reeds voldoende ervaring is.

TABEL 1 EFFECT VAN VARIERENDE DROGE STOF GEHALTE OP WARMTE- EN ELEKTRICITEITPRODUCTIE

Aspecten	Eenheid	Variant 3 30% ds	Variant 3 25% ds	Variant 3 35% ds
Warmteproductie	MWh th / j	918	171	1.665
Elektriciteitsproductie	MWh e / j	6.508	6.508	6.508

Uit de gegevens in bovenstaande tabel kan worden afgeleid dat de warmteproductie sterk beïnvloed wordt door het drogestofgehalte dat behaald wordt in de slibeindontwatering. Bij een droge stofgehalte van 25% is er immers meer warmte nodig in de banddroger.

Type TDH

Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om te bepalen wat het effect van veranderende droge stof concentraties in de voorontwatering van de TDH is op de warmtebalans. Een lager droge stof gehalte in de TDH betekent dat het debiet wat voorafgaand aan de TDH verwarmd moet worden toeneemt. De resultaten van deze analyse worden weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 2 EFFECT VAN VARIEREND DROGE STOF GEHALTE TDH OP WARMTEPRODUCTIE

Aspecten	Eenheid	Variant 3 17% ds	Variant 3 7% ds
Warmteproductie	MWh th / j	918	- 1.897

Uit bovenstaande tabel valt af te leiden dat een lager drogestofgehalte in de aanvoer van de TDH een negatief effect heeft op de warmtebalans. De totale warmte vraag van de sliblijn wordt uiteindelijk zo groot dat bij onvoldoende indikking (7% DS) extern warmte aan het proces geleverd zal moeten worden. Een andere bijkomstigheid van een minder vergaande indikking is dat de totale slibstroom naar de vergisting groter wordt, waardoor de dimensies van de gistingstanks groter zijn of uiteindelijk het toepassen van twee gistingstanks noodzakelijk zal zijn.

BIOLOGISCHE OF CHEMISCHE P-VERWIJDERING

Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de asrest van de droge stof om te bepalen welk effect dit heeft op de energiebalans. In alle gevallen is aangenomen dat het vochtgehalte 15% is. De asrest in het gedroogde slib heeft invloed op de calorische waarde van het slib. Omdat de totale hoeveelheid organische stof echter niet afneemt zal de energiebalans nauwelijks beïnvloed worden.

De calorische waarde wordt lager bij een hoger asgehalte. Dit kan er uiteindelijk toe leiden dat het slib verder moet worden gedroogd alvorens deze vergast kan worden. In deze studie is slibdroging tot 85% droge stof voldoende voor de vergassing bij een variërend ingaand asgehalte tot maximaal 49%. Wanneer het asgehalte hoger wordt zal er meer warmte verloren gaan met het zand en as. De calorische waarde van het verkregen produktgas uit de vergasser zal ook lager worden. Daarnaast moet voor de procesvoering ook rekening gehouden worden met een hoger asgehalte. Zo zal er meer zand gedoseerd moeten worden om een stabiele vergassing te waarborgen.

VARIATIE IN KOSTEN AS AFZET

De exploitatiekosten zijn berekend met een afzettarief van 100 euro per ton in plaats van 0 euro per ton.

VARIATIE IN BOUWRENTE

De exploitatiekosten zijn berekend met een bouwrente van 6% in plaats van 4%

VERGROTING VAN HET AANTAL FTE (5 IN PLAATS VAN 2,5)

Er is nog weinig inzicht in het aantal FTE wat nodig is om de beschreven installaties te bedrijven. De kostentechnische effecten van een verdubbeling van het aantal FTE van 2,5 naar 5 is inzichtelijk gemaakt.

schaal Utrecht	Uitgangspunten duurzaamheid H7	
11.000 ton ds/jaar	40 % as	
30 % ds	4.400 ton as	
36.667 ton koek/jaar	100 % ds	
30 m3/transport	30 m3/transport	
1.222 transporten	147 transporten	
82 km per transport SNB	40 km van Utrecht naar ICL	
100.222 transportkm	112 km van SNB naar ICL	
0,9 kg CO2/km	72 km verschil naar ICL	
88 ton CO2 besparen	10.560 transportkm	110.782
	9 ton CO2 besparen	
Totaal =	97 ton CO2 bespaard	
	460 g CO2/kWh	Agentschap NL
aardgas	20.087 MWh/j	
	3,6 MJ/kWh	1,8 kg CO2/m3 aardgas
	72.311.529 MJ/j	8,5 ton CO2 per huishouden
	31,7 MJ/m3 aardgas	
	2.284.724 m3 aardgas/j	

BIJLAGE 8

MASSA- EN ENERGIE BALANSEN EN PFD'S VAN DE VERSCHILLENDE VARIANTEN

Omschrijving	unit	value		
		case 1	case 2	case 3
Elektriciteit overzicht met stoomcyclus				
E-productie				
biogas WKK	MWhe/year			5634
stoomcyclus	MWhe/year	2922	1760	873
totaal	MWhe/year	2922	1760	6508
Warmte balans met stoomcyclus				
TDH				
steam required for TDH	MW/hth/year t/h			3558 0,56
Digestion/CHP + TDH				
heat required for digestion	MW/hth/year		3300	0
heat available cooling digester	MW/hth/year			1052
heat available from biogas CHP (or boiler case 2)	MW/hth/year		9156	6065
netto heat available from CHP	MW/hth/year		5856	6065
Drying				
heat required for drying	MW/hth/year	20226	11189	6032
steam cycle				
heat production	MW/hth/year	18409	11316	4906
steam production	t/h			0,56
warmtebalans met stoomcyclus				
warmte beschikbaar voor droger	MW/hth/jaar	18409	17172	10971
bruto warmteverraag droger	MW/hth/jaar	33711	18648	10053
warmtebalans droger (negatief is warmte tekort)	MW/hth/jaar	-15301	-1476	918

Elektriciteit overzicht met syngas motor					
E-productie					
biogas WKK	MWhe/year				3866
syngas motor	MWhe/year	4406			2933
totaal	MWhe/year	4406	7235	7235	6799
warmtebalans met syngasmotor					
TDH					
steam required for TDH	MWtht/year t/h				3558 0,56
Digestion/CHP + TDH					
heat required for digestion	MWtht/year	3300			1052
heat available cooling digester	MWtht/year				4275
heat available from biogas CHP (or boiler case 2)	MWtht/year				4275
netto heat available from CHP					
Drying					
heat required for drying	MWtht/year	11189			6032
Gasification + syngas use					
gas engine	MWtht/year				3503
heat production	MWtht/year	5263			
warmtebalans met stoomcyclus					
warmte beschikbaar voor droger	MWtht/jaar	11119			7778
bruto warmtevraag droger	MWtht/jaar				10053
warmtebalans droger (negatief is warmte tekort)	MWtht/jaar	-7528	-25069		-2275

BALANSEN SCHAAL UTRECHT (EERSTE KOLOM IS VERGASSEN MET STOOMCYCLUS, TWEEDE VERGASSEN GASMOTOR MET VERBRANDEN BIOGAS, DERDE TOEPASSEN RESTWARMTE, VIERDE MONOVERBRANDEN MET 85 % DS EN VIJFDE MONOVERBRANDEN MET 40 % DS

Omschrijving	unit	Case 3 (na TDH) vergassing drogen slib tot 85% DS	Case 3 (na TDH) vergassing + gasmotor drogen slib tot 85% DS	Case 3 (na TDH) vergassing + gasmotor drogen slib tot 85% DS	Case 3 (na TDH) verbranding drogen slib tot 85% DS	Case 3 (na TDH) verbranding nat 40% DS
Warmte balans met stoomcyclus						
TDH						
Warmte benodigd voor de productie van stoom. Hierbij wordt uitgegaan van een ingaande slibtemperatuur van 24 C						
Deze ingaande slibtemperatuur wordt bereikt met de restwarmte uit de vergister (3455 MWh/jaar). De warmte uitwisseling vindt plaats voor de indikstap voor de TDH						
In het geval van een stoomcyclus wordt stoom afgetap uit de turbine.						
Bij een gasmotor voor de verbranding van syngas wordt de warmte uit de biogas / gasmotor gehaald						
Netto steam required for TDH	MWhth/year	10073	10073	10073	10073	10073
Steam	kWth t/h		1185 1,60	1185 1,60		
Digestion/CHP + TDH						
heat required for digestion	MWhth/year	0			0	0
heat available cooling digester	MWhth/year	3453	3453	3453	3453	3453
Energy available in biogas for heat or heat and electricity (85% from energy in b biogas boiler (85% heat)		34780	34780	34780	34780	34780
biogas CHP (42% electricity, 43% heat)						
Heat for TDH from Biogas boiler / WKK						
De TDH werkt 8500 uur per jaar. De vergasser 7200 uur. In de stoomcyclus berekening is uitgegaan van 1,6 ton/hr voor 7200 uur per jaar. De overige 1300 uur zal er biogas op een ketel verstoekt moeten worden. Dit is 1541 MWhth/jaar						
wanneer er geen stoomcyclus is moet alle warmte voor de TDH uit de biogasketel en/of WKK worden gehaald.						
netto heat available from CHP + boiler	MWhth/year	16713	29544	7419	16713	16713
	MWhth/year					
Drying						
heat required for drying	MWhth/year	18427	18427	18427	18427	9186
Input vergasser						
brandstof	ton/jaar	12.956	12.956	12.956	12.956	27.532
brandstof	ton ds/jaar	11.013	11.013	11.013	11.013	11.013
Input brandstof	kW	5199	5.199	5.199	5199	3823
Cold gas efficiency vergasser	%	69%	69%	69%	69%	
Energy in wet syngas (cold)	kW	3549	3549	3549		
steam cycle						
Draaiuren	uren/jaar	7200				
warmte in rookgas efficiency		87%			92%	94%
Warmte in rookgas	kW	4543			4784	3588
	MWhth/jaar	32707				
Ketel efficiency	%	86,9%			80,8%	81,1%
Warmte in stoom	kW	3948			3865	2909
	MWhth/jaar	28426				
isentropisch rendement turbine	%	58,8%			58,8%	58,8%
generator rendement	%	91,0%			91,0%	91,0%
heat production (with steam tap)	MWhth/year	16387			15898	10483
	kW	2276			2208	1456
steam production for TDH	t/h	1,57			1,57	1,57
heat production (without TDH)	MWhth/year	24068			24068	17911
	kW	3343			3390	2488
steam production	t/h	0			0	0
gas motor syn gas						
warmte productie per jaar (43%)	MWhth/year		11241	11241		
	kWth		1561	1561		
warmtebalans met stoomcyclus						
warmte beschikbaar voor droger bruto	MWhth/jaar	33100	30712	18660	32610	27196
efficiency dryer	%	60%	60%	60%	60%	60%
warmte beschikbaar voor drogen netto	MWhth/jaar	19860	18427	11196	19566	16317
warmtebalans droger (negatief is warm)	MWhth/jaar	2388	0	-12052	1898	11886

	Case 3 (na TDH) vergassing drogen slib tot 85% DS	Case 3 (na TDH) vergassing + gasmotor drogen slib tot 85% DS	Case 3 (na TDH) vergassing + gasmotor drogen slib tot 85% DS	Case 3 (na TDH) verbranding drogen slib tot 85% DS	Case 3 (na TDH) verbranding nat 40% DS
Electriciteit productie					
Digestion/CHP + TDH					
Productie	MWhe/jaar kWe	16527 1944	5236 616	17288 2034	16527 1944
Steam cycle (vergasser/verbrander)					
Productie	MWhe/jaar kWe	3053 424			2974 413
		11% 14%			10% 14%
<i>Indien geen aftap bij turbine voor TDH</i>	kWe	542		531	400
Gasmotor (vergasser/verbrander)					
Electriciteit (36% rendement)	MWhe/year kWe		9411 1307	9411 1307	
elektriciteitsproductie per jaar					
elektrisch vermogen					
Totaal e productie					
Productie	MWhe/jaar kWe	19580 2368	14647 1923	26699 3341	19501 2357
					18588 2231

Extra info vergasser

Vergasser				
Fuel input	kW	5043	5043	3834
Warmte in vergassingslucht (voorverwarmd)	kW	167	22	11
heating value syngas	kW	3648	0	0
warmte in syngas/rookgas	kW	1062	4784	3588
energieverlies as + char (warmte en LHV)	kW	395	176	176
warmteverlies zand verversing	kW	5	6	6
warmteverlies vergasser/verbrander	kW	100	101	75

deze warmte verlies je bij de gasmotor

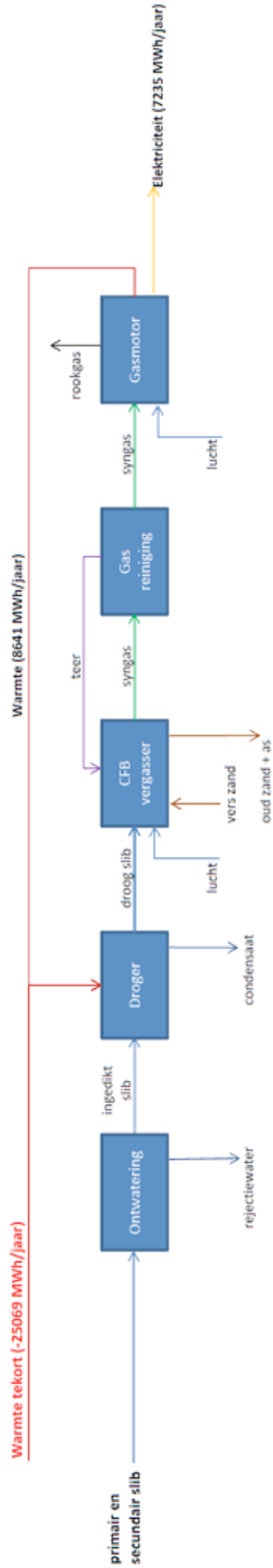
Syngas brander

syngas LHV	kW	3648
syngas warmte	kW	697
verbrandingslucht warmte (voorverwarmd) afkoelen synga	MWht/jaar kW	5016 198
	MWht/jaar	1427

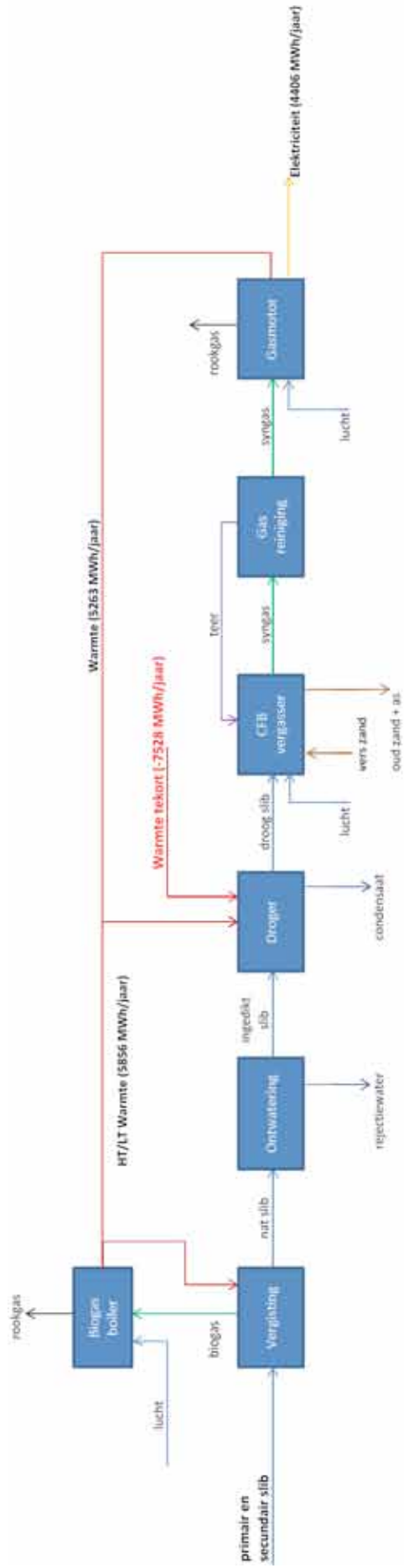
deze warmte kan bij de gasmotor niet gebruikt worden voor het voorverwarmen van verbrandingslucht, maar wel bij het drogen

SCHEMATISCHE WEERGAVEN VAN VARIANTEN,

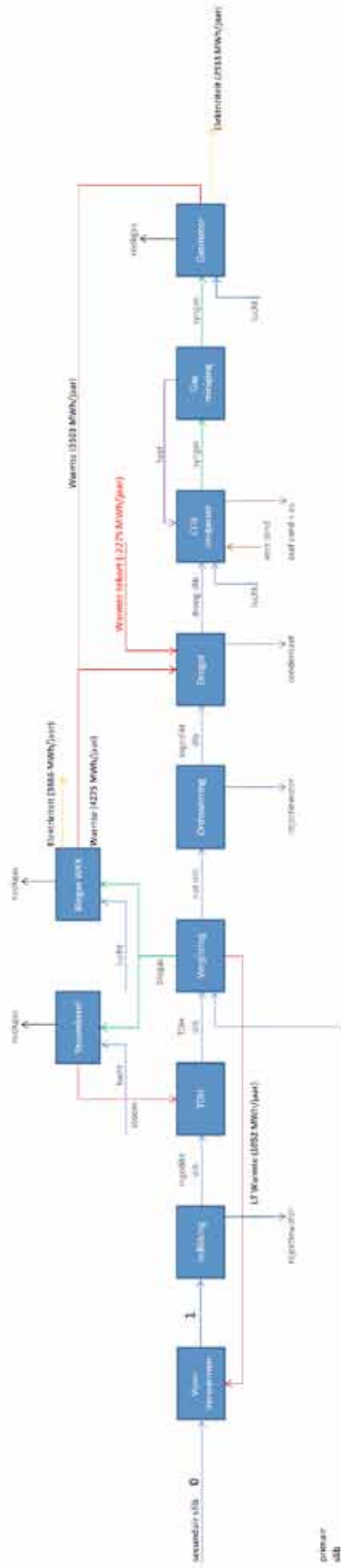
SCHAALGROOTTE NIEUWEGEIN
 VARIANT 1, GASMOTOR



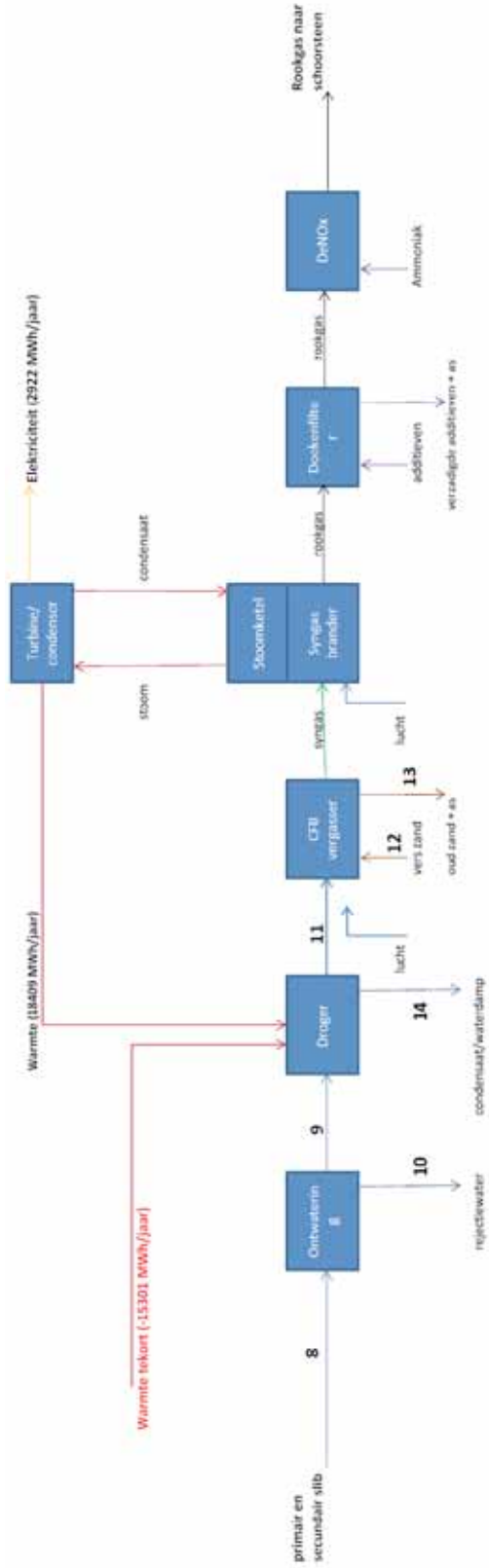
VARIANT 2, GASMOTOR



VARIANT 3_GASMOTOR



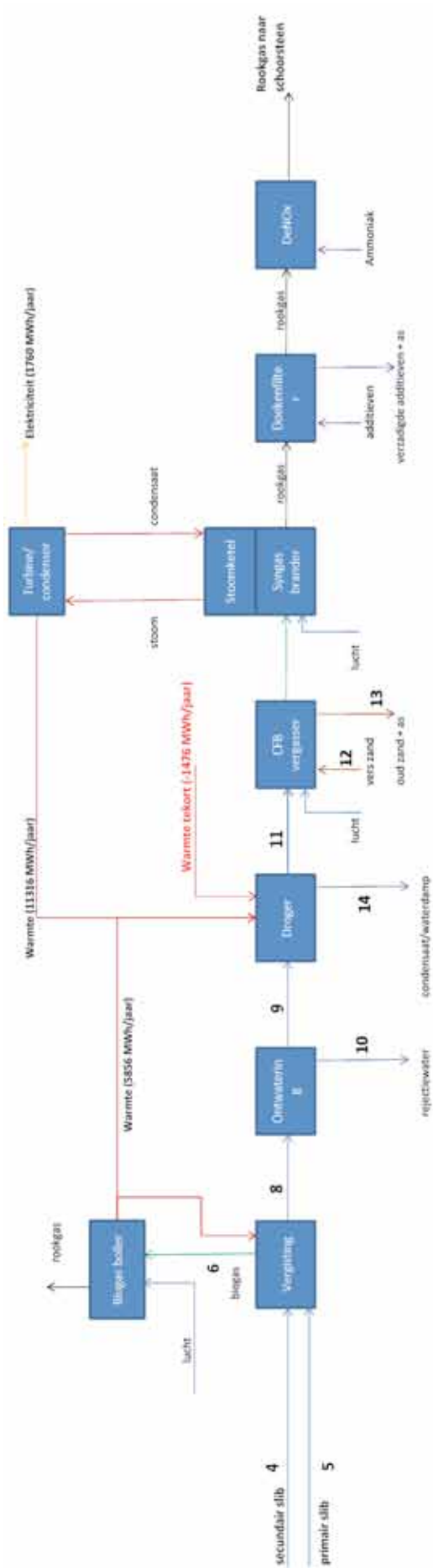
VARIANT 1, STOOMCYCLUS



Case 1

Materiaal	Unit	wt + gasruis	ruwwater slib	rejectiewater	droog slib	zand	as/asen	water
tozaai debiet	ton/year	116667	34032	62035	7941	11	11	14
DN debiet	ton/year	7000	6183	420	680			20850
l/sg	%	6%	15%	0.55%	85%			
DN debiet	ton/year	5138	4829	368	4829			
in debiet	ton/year	1853	1751	112	1751	155	1996	

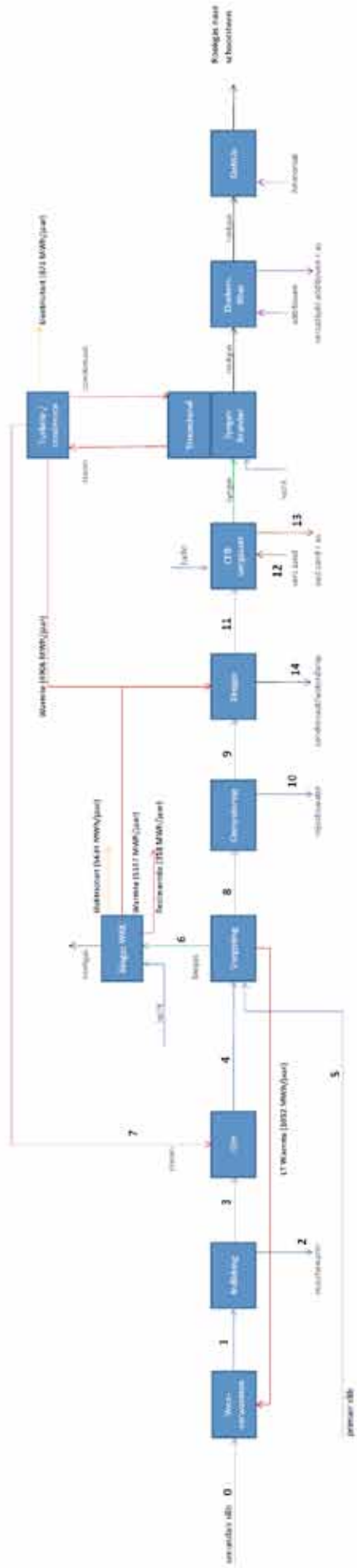
VARIANT 2, STOOMCYCLUS



Case 7

Materiaal	Unit	secundair slib	primaire slib	biogas	vergieter in (4+5)	afgevoerd	afgevoerd slib	rejectiewater	droog slib	zand	ammoniak	water
total opbreijt	ton/year	87500	29187	5	116267	114754	20189	94563	5463	12	11	14736
OS 4-kollet	ton/year	5250	1790	6%	7000	4880	4641	294	4641			
OS 2	%	6%	6%		6%	4%	23%	0.31%	85%			
OS 4-kollet	ton/year	3825	1400		5225	3165	2975	196	2975			
as opbreijt	ton/year	1425	350		1775	1775	1669	107	1669	109	1778	
Cha	ton/year											
	ton/year		1,093,313									

VARIANT 3, STOOMCYCLUS

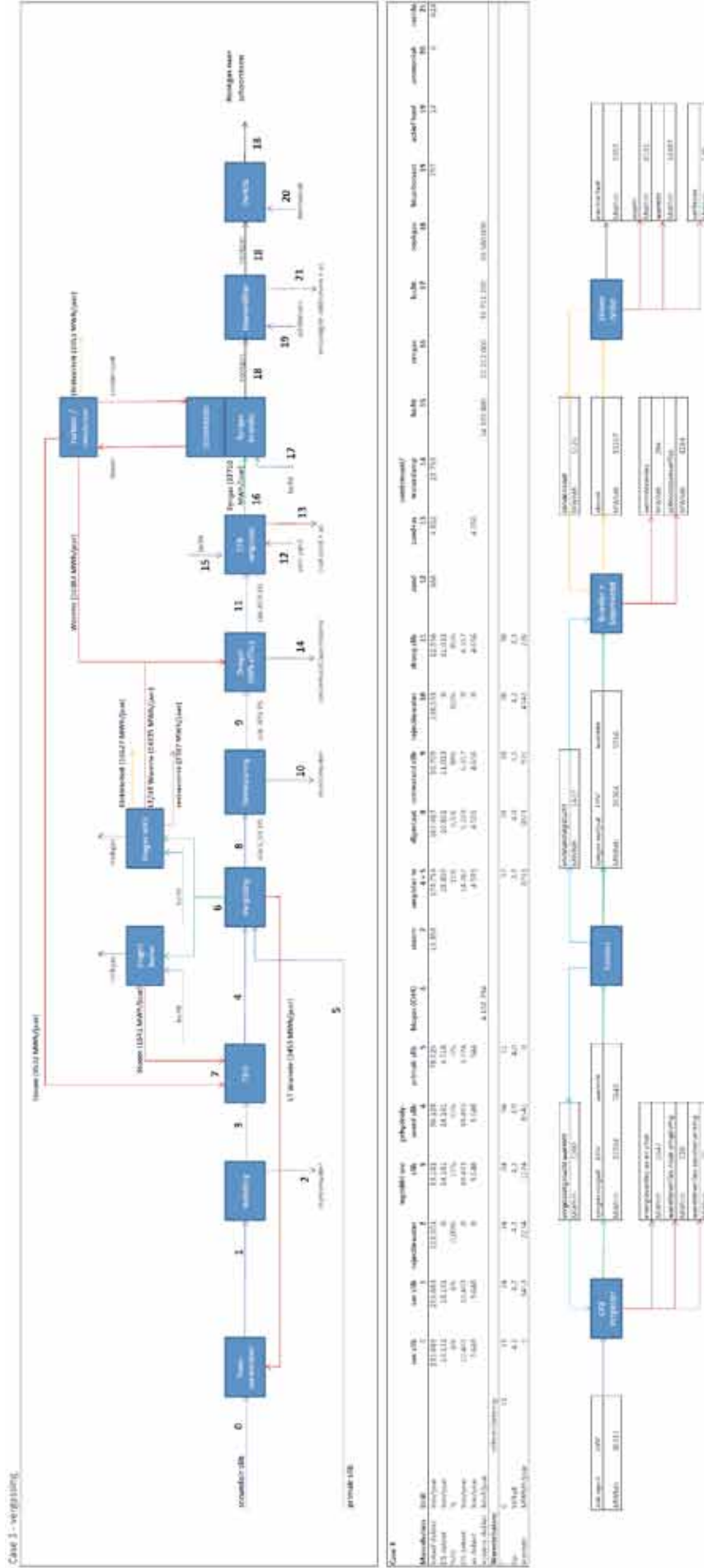


Case 3

Massabalans	Unit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Totaal debiet	ton/year	87.500	87.500	59.088	28.412	32.985	29.167	4.738	62.152	59.633	12.016	47.617	4.241	11	12	13
DS debiet	ton/year	5.250	5.250	4.20	4.830	4.830	1.750	0	6.580	3.819	3.605	214	3.665	11	12	13
%DS	%	0	6%	0,71%	17%	15%	6%	0	11%	6%	30%	0,45%	85%	11	12	13
DS debiet	ton/year	3.825	3.825	306	3.519	3.519	1.400	0	4.919	2.158	2.037	121	2.017	11	12	13
as-debiet	ton/year	1.425	1.425	114	1.311	1.311	310	0	1.661	1.661	1.568	93	1.568	11	12	13
CH4	Nm ³ /jaar														855	1.723

SCHAALGROOITE UTRECHT, VERGASSING

VERGASSING CASE 3, STOOMCYCLUS



BIJLAGE 9

EMISSIE-EISEN BVA

A-tabellen

afvalverbrandingsinstallaties, meeverbrandingsinstallaties voor de thermische behandeling van onbehandelde en ongesorteerde huishoudelijke afvalstoffen of van bedrijfsafvalstoffen die naar aard en samenstelling met zodanige afvalstoffen overeenkomen, en meeverbrandingsinstallaties waarbij meer dan 40% van de opgewekte warmte afkomstig is van gevaarlijke afvalstoffen/resultaten van de metingen herleid tot een zuurstofgehalte van 11%, behalve bij herleiding van de meetresultaten van rookgas afkomstig van de verbranding van afgewerkte olie, hierbij geldt een zuurstofpercentage van 3%

Component	daggemiddelde	100% van de halfuurgemiddelden	97% van de halfuurgemiddelden in een kalenderjaar
gasvormige en vluchtige organische stoffen, uitgedrukt in totaal organische koolstof	10 mg/m ³	20 mg/m ³	10 mg/m ³
Zoutzuur	10 mg/m ³	60 mg/m ³	10 mg/m ³
Waterstoffluoride	1 mg/m ³	4 mg/m ³	2 mg/m ³
Zwaveldioxide	50 mg/m ³	200 mg/m ³	50 mg/m ³
Het totaal aan stofdeeltjes	5 mg/m ³	15 mg/m ³	5 mg/m ³

Component	berekend over	I	II
Kwik	bemonsteringsperiode van ten minste 30 minuten en ten hoogste 8 uur	0,05 mg/m ³	0,05 mg/m ³
de som van cadmium en thallium	bemonsteringsperiode van ten minste 30 minuten en ten hoogste 8 uur	0,05 mg/m ³	0,1 mg/m ³
de som van antimoon, arseen, chroom, kobalt, koper, lood, mangaan, nikkel en vanadium	bemonsteringsperiode van ten minste 30 minuten en ten hoogste 8 uur	0,5 mg/m ³	1 mg/m ³

kolom II: tot 1 januari 2007 de emissiegrenswaarden voor verbrandingsinstallaties die zich bevinden in een inrichting waarvoor vóór 31 december 1996 een vergunning is verleend voor het in werking hebben van de desbetreffende installatie en waarin uitsluitend gevaarlijke afvalstoffen worden verbrand

kolom I: emissiegrenswaarden in de overige gevallen

Koolmonoxide
97% van het daggemiddelde: 50 mg/m ³
alle halfuurgemiddelden in een willekeurige periode van 24 uur: 100 mg/m ³ of
95% van alle 10-minutengemiddelden in een willekeurige periode van 24 uur: 150 mg/m ³

dioxinen en furanen
de totale concentratie van dioxinen en furanen, berekend over een bemonsteringsperiode van ten minste zes uur en ten hoogste acht uur 0,1 ng/m ³

	Stikstofoxiden			
	100% van de daggemiddelden	100% van de maandgemiddelden	100% van de halfuurgemiddelden	97% van de halfuurgemiddelden in een kalenderjaar
verbrandingsinstallaties met een vermogen ≥ 20 MWth *	200 mg/m ³	70 mg/m ³	400 mg/m ³	200 mg/m ³
verbrandingsinstallaties met een vermogen < 20 MWth en een energetisch rendement ≥ 40% *	200 mg/m ³	130 mg/m ³	400 mg/m ³	200 mg/m ³
verbrandingsinstallaties met een vermogen < 20 MWth en een energetisch rendement < 40% *	200 mg/m ³	200 mg/m ³ ** 70 mg/m ³	400 mg/m ³ ***	200 mg/m ³ ***