

stowa

ONDERZOEK NAAR DE ENERGIE- EN KOSTENASPECTEN
IN DE WATER- EN SLIBKETEN

SLIBKETENSTUDIE



RAPPORT

2005
26

UITVOUWBLAD

CONFIGURATIES IN DE WATER- EN SLIBLIJN (0= AFWEZIG; 1= AANWEZIG)

variant	eenheid	configuratie							
		1	2	3	4	5	6	7	8
voorbezinking	1 / 0	0	1	0	1	0	1	0	1
slibgisting	1 / 0	0	0	1	1	0	0	1	1
bio-P verwijdering	1 / 0	0	0	0	0	1	1	1	1

RWZI varianten:

- 1 Referentie;
- 2 Voorbezinking;
- 3 Slibgisting;
- 4 Voorbezinking + gisting;
- 5 Bio-P verwijdering;
- 6 Bio-P verwijdering + voorbezinking;
- 7 Bio-P verwijdering + gisting;
- 8 Bio-P verwijdering + voorbezinking + gisting

Varianten ontstaan voor de slibeindverwerking:

- 1 indirecte droging met restwarmte en verbranding in een wervelbed;
- 2 natte oxidatie;
- 3 meeverbranden in een AVI;
- 4 biologische droging, gevolgd door meestoken;
- 5 direct thermisch drogen met aardgas, gevolgd door meestoken;
- 6 indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door meestoken;
- 7 biologische droging, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
- 8 directe thermische droging met aardgas, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
- 9 indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
- 10 biologische droging, gevolgd door storten;
- 11 directe thermische droging met primaire energie, gevolgd door storten;
- 12 indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door storten.

Subvarianten op indirecte droging met restwarmte en verbranding in een wervelbed:

- 13 indirecte droging en verbranding in een wervelbed + tegendrukturbine;
- 14 indirecte droging en verbranding in een wervelbed + condensatieturbine;
- 15 indirecte droging en verbranding in een wervelbed + damprecompressie.

SLIBKETENSTUDIE

ONDERZOEK NAAR DE ENERGIE- EN KOSTENASPECTEN
IN DE WATER- EN SLIBKETEN

RAPPORT

2005

26

ISBN 90.5773.314.5



COLOFON

Utrecht, december 2005

UITGAVE STOWA, Utrecht

PROJECTUITVOERING

W.M. Wiegant (Royal Haskoning)
M. Würdemann (Royal Haskoning)
H.E. Kamphuis (Royal Haskoning)
J. van der Marel (JACOBS Consultancy)
W.F. Koopmans (Royal Haskoning)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

R. van Dalen (Waterschap Veluwe)
G. van Geest (Hoogheemraadschap Rijnland)
J. Jonk (Waterschap Brabantse Delta)
K. de Korte (Dienst Waterbeheer en Riolering)
L.D. Korving (NV Slibverwerking Noord-Brabant)
A. de Man (Waterschapsbedrijf Limburg)
C. Petri (Waterschap Rijn & IJssel)
C.A. Uijterlinde (STOWA)

FOTO OMSLAG RWZI Apeldoorn
Slibverbranding Noord-Brabant - M.Th. van der Wel

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2005-26
ISBN 90.5773.314.5

TEN GELEIDE

De verwerking van zuiveringsslib is in Nederland sinds een aantal jaren in grote lijn goed geregeld, althans dat is de wijd verspreide mening van de meeste waterkwaliteitsbeheerders. Toch blijft de verwerking van zuiveringsslib onderhevig aan een dynamische omgeving van onder meer stijgende verwerkingskosten, verwerkingscontracten van beperkte duur, veranderingen in de Europese en nationale wet- en regelgeving en nog onvoldoende verzekerde afzetmogelijkheden voor de reststoffen die bij de slibeindverwerking vrijkomen.

Bij het maken van keuzes voor de toekomstige slibverwerking is het overigens niet alleen noodzaak te kijken naar de slibverwerking op zichzelf, maar ook naar de gehele afvalwaterketen. In die keten zijn aanknopingspunten te vinden voor vermindering van de slibproductie in samenhang met een betere afvalwaterbehandeling.

In dat kader heeft STOWA besloten om de gehele waterzuiverings- en slibverwerkingsketen aan een nadere analyse te onderwerpen, met het doel om samen met de slibproducenten en -verwerkers een toekomstvisie op de water- en slibketen te presenteren als leidraad voor toekomstig beleid. Deze slibketenstudie levert een onderbouwing voor de wijze waarop de keten bij voorkeur dient te worden ingericht, waar het onderzoek zich op zou moeten richten, in welke richting geïnvesteerd zou kunnen worden etc.

De voornaamste aspecten die in de slibketenstudie zijn geanalyseerd, zijn energie, (fossiele) CO₂-emissie en verwerkingskosten. Bij de uitwerking van de diverse slibketens is rekening gehouden met kwaliteits- en duurzaamheidsaspecten, kosten en wettelijke bepalingen, voorschriften en normen. Ter ondersteuning van een objectieve vergelijking van ketenscenario's is een rekenmodel ontwikkeld en toegepast op de in de studie gekozen varianten voor rwzi's in combinatie met slibeindverwerkingstechnieken. Het rekenmodel, aan het rapport toegevoegd als CD-ROM, is zodanig van opzet dat ook alternatieve scenario's, al dan niet op basis van andere uitgangspunten, doorgerekend kunnen worden.

Utrecht, december 2005

De directeur van de STOWA

Ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

1 AANLEIDING

Ter onderbouwing van een toekomstvisie voor de water- en slibketen, als leidraad voor toekomstig beleid, heeft STOWA besloten om een slibketenstudie uit te voeren. De centrale probleemstelling van de slibketenstudie luidt:

Hoe kan met een minimale hoeveelheid fossiele energie-inbreng het CZV in het afvalwater omgezet worden in CO₂ en wordt de inzet van fossiele energie zoveel mogelijk vermeden door terugwinning van energie uit het CZV, aanwezig in het zuiveringsslib?

De belangrijkste toetsingscriteria van de studie zijn energie, emissies van fossiele CO₂ en de verwerkingskosten. Voorts wordt bij de slibketenstudie als uitgangspunt gehanteerd dat wordt voldaan aan de effluentkwaliteitseisen, de kwaliteits- en duurzaamheidsaspecten, de kosten en de wettelijke bepalingen, voorschriften en normen.

2 BESTAANDE SLIBSITUATIE IN NEDERLAND

In Nederland zijn circa 400 communale rioolwaterzuiveringsinstallaties in bedrijf die in totaal circa 380.000 ton slibdrogestof per jaar produceren. Het slib wordt in circa 100 installaties mechanisch ontwaterd tot gemiddeld circa 23% droge stof en vervolgens per as naar een slibeindverwerkingsinstallatie getransporteerd.

Bijna de helft (48%) van het Nederlandse mechanisch ontwaterde zuiveringsslib wordt verwerkt in de twee grootschalige slibverbrandingsinstallaties (in Dordrecht en Moerdijk). Ongeveer één derde (32%) van het slib wordt thermisch gedroogd. Er zijn momenteel zeven thermische slibdrooginstallaties in bedrijf (Garmerwolde, Heerenveen, Beverwijk, Amsterdam, Venlo, Susteren en Hoensbroek). Circa 13% van het slib wordt biologisch gedroogd (in Zutphen en Tiel). Het resterende deel (circa 7%) werd oorspronkelijk verwerkt in de natte oxidatie-installatie te Apeldoorn. Wegens het definitief uit bedrijf nemen van deze installatie, wordt dit slib tijdelijk geëxporteerd. Er wordt gewerkt aan een structurele oplossing.

De reststoffen die bij de slibeindverwerkingsinstallaties vrijkomen worden op dit moment hoofdzakelijk op de volgende manier afgezet:

- asresten die bij zelfstandige slibverbranding vrijkomen: vulstof in asfalt of vulmateriaal voor de Duitse kolen- of zoutmijnen;
- thermisch gedroogd slib: secundaire brandstof in elektriciteitscentrales en cementovens;
- biologisch gedroogd slib: secundaire brandstof.

Bij de inzet van thermisch of biologisch gedroogd slib in een cementoven wordt de daarbij resulterende verbrandingsas opgenomen in het cement. Dit stelt beperkingen aan de inzet van het slib (receptuur). Bij inzet van gedroogd slib in een kolengestookte elektriciteitscentrale maakt de as deel uit van de daarbij vrijkomende vliegias. Ook hier is de inzet van het slib aan randvoorwaarden gebonden, om de afzet van de vliegias niet te belemmeren.

De verwerkingstarieven voor de slibeindverwerking liggen in de range van € 250,- tot € 330,- per ton droge stof, inclusief BTW. Er wordt meestal afgerekend op basis van aangeleverd gewicht aan mechanisch ontwaterd zuiveringsslib.

3 WET- EN REGELGEVING

De verwerkingsinstallaties van zuiveringsslib in Nederland voldoen aan de bestaande Europese en Nederlandse wet- en regelgeving.

Op Europees niveau wordt de wet- en regelgeving primair bepaald door de richtlijn inzake het gebruik van zuiveringsslib in de landbouw (1986/278/EEG), de richtlijn 1999/31/EG betreffende het storten van afvalstoffen, de richtlijn 2000/76/EG betreffende verbranding van afval, de IPPC-richtlijn en de Verordening 259/93/EG betreffende de overbrenging van afvalstoffen binnen, naar en uit de Europese Gemeenschap (EVOA).

Op nationaal niveau wordt de wet- en regelgeving vooral bepaald door het Besluit en gebruik overige organische meststoffen (BOOM), het Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen, het Besluit verbranden afvalstoffen (BVA) in combinatie met het Besluit emissie-eisen stookinstallaties (BEES) en de Nederlandse emissierichtlijn (NeR).

In bovengenoemde regelgeving speelt tot op heden vooral het gehalte aan zware metalen in het zuiveringsslib een voorname rol. Op dit moment is de Europese Commissie bezig met het opstellen van een nieuwe Richtlijn voor het gebruik van zuiveringsslib, als onderdeel van een algemeen thematisch beleid gericht op de bescherming van de bodem. De nieuwe Richtlijn zal betrekking hebben op een breder spectrum van biologisch afbreekbare (afval)stoffen die op de bodem worden gebruikt, bijvoorbeeld compost (uit zuiveringsslib).

De nieuwe Richtlijn zal aanzienlijke beperkingen opleggen aan het gebruik van zuiveringsslib voor landbouwdoeleinden. De werkingssfeer van Richtlijn 86/278 zal zodanig worden verbreed dat er niet alleen zware metalen, maar ook organische verontreinigingen onder komen te vallen. Het gebruik van slib in de landbouw zal aan vier essentiële voorwaarden moeten voldoen:

- geen overschrijding van de maximale belasting met contaminanten en/of pathogene organismen;
- er moet een landbouwkundig belang mee gediend zijn (bodemverbetering in de vorm van nutriënten of organische stof);
- de toegediende hoeveelheid nutriënten mag de nutriëntenvraag van de gewassen niet te boven gaan;
- het gebruik mag niet leiden tot geurhinder.

De nieuwe Richtlijn zal naar verwachting weinig gevolgen hebben voor het gebruik van communaal zuiveringsslib in de landbouw in Nederland, maar het is van belang te realiseren dat de meerderheid van de Europese landen afzet in de landbouw nog altijd beschouwt als de primaire afzetroute. Indien in de aan Nederland grenzende landen de afzet naar de landbouw stagneert, dan kan bijvoorbeeld de export van mechanisch ontwaterd of gedroogd zuiveringsslib vanuit Nederland voor hoofdgebruik als brandstof in de knel komen.

De afzetmogelijkheden van het slib worden niet alleen bepaald door wet- en regelgeving. Ook de markt speelt een belangrijke rol. Ook al zou de afzet van communaal zuiveringsslib in de landbouw volgens de wet zijn toegestaan, dan wordt de afzet nog altijd bepaald door de mate van acceptatie door de agrarische sector, die in de diverse landen en regio's zeer verschillend kan zijn.

4 SLIBKETEN MODELLEERING

Om geselecteerde ketenscenario's op een gelijkwaardige, kwantitatieve wijze te kunnen vergelijken is een rekenmodel opgesteld van de slibketen. In dit rekenmodel staan de aspecten energie, CO₂-emissie en verwerkingskosten centraal. Het numerieke model gaat uit van een nieuw te realiseren slib/waterlijn en een nieuw te realiseren slibeindverwerking. Op grond van een nadere analyse van de berekeningsresultaten wordt de vertaalslag gemaakt naar het slibbeleid.

Bij de ontwikkeling van het rekenmodel is een algemeen kader gehanteerd waarin de randvoorwaarden zijn opgenomen. Tevens zijn de uitgangspunten voor de studie geformuleerd waaronder de samenstelling van het afvalwater, de effluenteisen, de schaalgrootte voor de RWZI (100.000 i.e.), de emissie-eisen naar de lucht, de schaalgrootte voor de slibeindverwerking (100.000 ton d.s./jaar voor verbranding en 20.000 ton d.s./jaar voor de overige technieken), het slibtransport, de begrenzing met betrekking tot energie en hulpstoffen (waaronder ook lagedruk stoom en biogas), de wijze van terugrekening naar primaire energie en de financiële uitgangspunten.

Het rekenmodel bestaat uit twee samengevoegde spreadsheet modellen:

- een rekenmodel voor de water- en sliblijn waarmee het traject wordt gemodelleerd vanaf het influent van de RWZI tot en met de mechanische slibontwatering (binnen de inrichting van de RWZI);
- een rekenmodel voor de slibeindverwerking waarmee het traject wordt gemodelleerd vanaf de mechanische slibontwatering tot aan de mineralisatie van het slib (buiten de inrichting van de RWZI).

5 RESULTATEN MODELBEREKENING

In de ketenscenario's zijn de volgende varianten opgenomen:

Varianten in de water- en sliblijn:

- wel of geen voorbezinking;
- wel of geen slibgisting.
- Wel of geen biologische P-verwijdering;

De drie varianten in de water- en sliblijn leiden tot acht (2³) verschillende afvalwaterzuiveringsconfiguraties, samengevat in onderstaande tabel S.1.

TABEL S.1 CONFIGURATIES IN DE WATER- EN SLIBLIJN (0= AFWEZIG; 1= AANWEZIG)

variant	eenheid	configuratie							
		1	2	3	4	5	6	7	8
voorbezinking	1 / 0	0	1	0	1	0	1	0	1
slibgisting	1 / 0	0	0	1	1	0	0	1	1
bio-P	1 / 0	0	0	0	0	1	1	1	1

Varianten in slibeindverwerkingstechnieken:

1. indirecte droging en verbranding in een wervelbed;
2. natte oxidatie;
3. meeverbranden in een AVI;
4. biologische droging, gevolgd door meestoken;
5. direct thermisch drogen met aardgas, gevolgd door meestoken;
6. indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door meestoken;
7. biologische droging, gevolgd door verbranding in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
8. directe thermische droging met aardgas, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
9. indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
10. biologische droging, gevolgd door storten;
11. directe thermische droging met aardgas, gevolgd door storten;
12. indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door storten;

De combinatie van de varianten resulteert in (8 x 12 =) 96 configuraties die met elkaar zijn vergeleken. Als referentie voor de vergelijking is gekozen voor variant 1 van de water- en sliblijn (zonder voorbezinking, zonder vergisting en zonder bio-P verwijdering) in combinatie met variant 1 van de slibeindverwerking (indirecte droging en verbranding in een wervelbed).

In tabel S.2 is een overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten van de modelberekeningen van de water- en sliblijn. In bijlage VI is een overzicht gegeven van de resultaten van de modelberekeningen voor alle RWZI varianten in combinatie met de 12 verschillende slibeindverwerkingstechnieken.

Een analyse van de modelberekeningen heeft geleid tot een selectie van ketenscenario's die in aanmerking komt voor een nadere energie-optimalisatiestudie.

Opgemerkt wordt dat het slibtransport vanuit zowel vanuit energetisch als economisch opzicht een ondergeschikte rol blijkt te spelen in de slibketen. Van bepaalde technieken was het van belang om ook de kosten voor de behandeling van het droogdamcondensaat expliciet mee te nemen.

TABEL S.2 OVERZICHT VAN DE BELANGRIJKSTE BEREKENINGSRESULTATEN VAN DE WATER- EN SLIBLIJN

element	eenheid	Variant							
		1	2	3	4	5	6	7	8
voorbezinking	1 / 0	0	1	0	1	0	1	0	1
slibgisting	1 / 0	0	0	1	1	0	0	1	1
bio-P	1 / 0	0	0	0	0	1	1	1	1
slibproductie	kg/d	4.559	4.794	3.623	3.468	4.089	4.321	3.141	3.005
d.s.-gehalte	%	21	24	24	25	21	24	24	25
E-verbruik	kW	236	223	247	236	240	226	253	239
E-productie	kW	0	0	64	107	0	0	64	107
investering	€/i.e.	309	320	322	338	302	310	315	328
exploitatie	€/i.e./j	34,10	35,60	35,10	36,60	32,90	34,00	33,90	35,10

6 ENERGIEOPTIMALISATIEBEREKENINGEN

Met het ontwikkelde slibeindverwerkingsmodel is een breed overzicht gegeven van de in Nederland toegepaste en/of in aanmerking komende slibeindverwerkingstechnieken. Er zijn echter modificaties op de hoofdvarianten die kunnen leiden tot een energetisch gunstiger resultaat.

Om meer inzicht te krijgen in de mogelijkheden van energie-efficiency is en daarmee tevens aan te geven wat de gevoeligheid van de slibketenberekening is, is een aanvullend energie-optimalisatieonderzoek uitgevoerd middels een vereenvoudigde exergie-analyse. Daarbij wordt de kwaliteit van de “energiedragers” brandstof, stoom en elektriciteit meegenomen. De exergie kan in eerste benadering worden gezien als het potentieel aan elektriciteit dat maximaal uit een energiedrager kan worden opgewekt.

De in het energieoptimalisatieonderzoek uitgewerkte hoofdvarianten zijn:

- Stand-alone verbranding;
- Parallele verbranding (hierbij wordt de opgewekte stoom aan een elektriciteitscentrale geleverd voor de opwekking van elektriciteit);
- Meestooksystemen (hierbij wordt het slib gedroogd en vervolgens direct in een kolencentrale verbrand voor de opwekking van elektriciteit).

Door het proces van slibverbranding en thermische slibdroging in onderdelen op te splitsen is inzichtelijk gemaakt waar exergieverliezen optreden en wat het potentieel is van mogelijke verbeteringsalternatieven.

Bij dit onderzoek is onder meer vastgesteld dat de belangrijkste exergieverliezen bij de slibeindverwerking optreden bij de overgang van warmte uit de vuurhaard naar de ketel, de slibdroging en de stoomcyclus:

- de grootste exergieverliezen treden op bij de overgang van warmte uit de vuurhaard naar de ketel. Deze verliezen kunnen worden beperkt door hoogwaardiger stoom te produceren en middels een stoomturbine elektriciteit op te wekken;
- droging met behulp van aardgas is de meest ongunstige methode. De exergie-efficiency van droging kan worden verbeterd door toepassing van laagwaardige stoom of damprecompressie;

- exergieverliezen in de stoomcyclus kunnen worden verminderd door gebruik te maken van de efficiëntere stoomcyclus van grootschalige elektriciteitscentrales (toepassen parallelle verbranding);
- exergieverliezen in de ketel kunnen verder worden verminderd door het slib direct in de ketel van een kolencentrale te verbranden.

De bovengenoemde verbeteringsmogelijkheden zijn doorgaans niet direct realiseerbaar, vanwege technische, milieuhygiënische, financiële en/of organisatorische belemmeringen.

7 KWALITATIEVE VERGELIJKING OVERIGE MILIEUASPECTEN SLIBEINDVERWERKING

Bij dit onderzoek is veel aandacht besteed aan het aspect energie. Bij het beoordelen van de slibverwerkingsketens kan niet voorbij worden gegaan aan de overige milieuaspecten, waaronder de verwerking van de reststoffen.

Deze overige milieuaspecten zijn in kwantitatief opzicht minder eenduidig te vergelijken, daar de milieueffecten sterk afhankelijk zijn van de getroffen reductiemaatregelen (gerealiseerde randvoorzieningen in specifieke lokale situaties), de verwerkingscapaciteiten en/of het grote aantal parameters waarvan het milieueffect moeilijk onderling vergelijkbaar is.

Er is voor de verschillende slibeindverwerkingstechnieken een globale, kwalitatieve beschouwing opgenomen van de milieuaspecten:

- bij verbranding, co-verbranding en meestoken van zuiveringsslib in een elektriciteitscentrale of cementoven ligt de nadruk van de milieueffecten op de emissie naar lucht;
- bij biologisch drogen en natte oxidatie ligt de nadruk van de milieueffecten vooral op de geuremissie en de emissie naar oppervlaktewater;
- geluidhinder is locatieafhankelijk en wordt vooral bepaald door het aan- en afvoer- verkeer;
- de reststoffen worden inmiddels voor 90% nuttig toegepast als vulstof in asfalt, als "versatzbau" in de Duitse mijnen, als grondstof voor cement of liften mee met de toepassingen voor bodemassen of vliegassen;
- het aspect bodem en grondwater vormt in het algemeen geen probleem;
- Het ruimtegebruik is bij biologisch drogen een aspect dat aandacht vraagt;
- de afzet van reststoffen kan een rol spelen bij verbranding en natte oxidatie.

In de praktijk blijkt dat de operationele installaties in Nederland voldoen aan de vergunningvoorschriften die zijn opgenomen in de milieuvergunning.

8 ANALYSE VAN DE SLIBKETENS

Als varianten voor de slibketen bij de RWZI zijn de toepassing van voorbezinking, slibgisting en biologische P-verwijdering gebruikt.

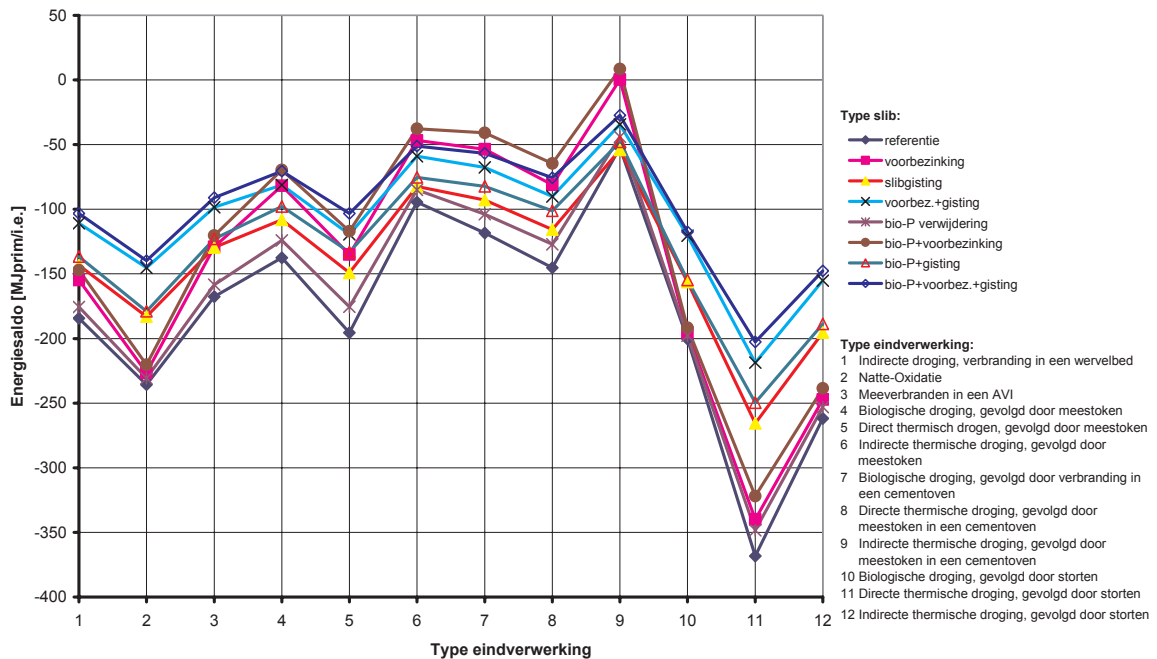
- Het toepassen van voorbezinking (zonder toepassing van gisting en zonder bio-P-verwijdering) leidt tot een lichte stijging van de slibproductie t.o.v. de referentie (RWZI variant 1). Het voorbezonden slib ondergaat geen aërobe stabilisatie, maar wordt direct naar de slibindikker of slibgisting geleid. Hierdoor stijgt de slibproductie per i.e. en ook het organisch gehalte van de slibdrogestof. Bovendien is de hoeveelheid chemisch slib relatief hoog in verband met de precipitatie van fosfaat in de voorbezinktank (t.b.v. CZV/P-verhouding in de beluchtingsruimte). Voorbezinking leidt tot een aanzienlijke reductie in

de volumes van de beluchtingsruimten en een verlaging van de benodigde beluchtings-energie;

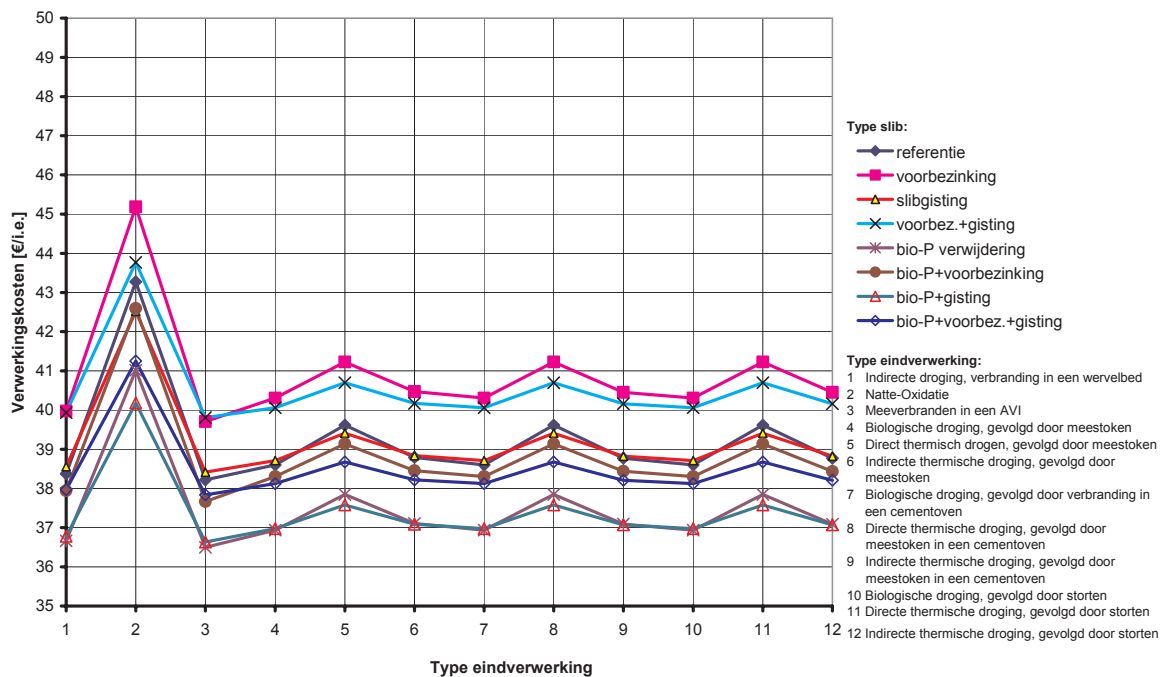
- door het toepassen van *slibgisting* neemt de productie van slibdrogestof sterk af (met circa 20%). Bovendien verbeteren in het algemeen de ontwateringseigenschappen van het slib, zodat ook een hoger droge stofgehalte kan worden gehaald na de mechanische ontwatering. De totale slibreductie t.o.v. de referentie (RWZI variant 1) is ruim 30%. Bij toepassing van slibgisting zonder voorbezinking wordt circa 25% van de hoeveelheid benodigde energie voor de water- en sliblijn teruggewonnen;
- door het toepassen van *voorbezinking in combinatie met slibgisting* neemt de slibreductie nog verder toe tot circa 34% t.o.v. de referentie (RWZI variant 1). Bij toepassing van voorbezinking in combinatie met slibgisting wordt circa 44% energie teruggewonnen;
- *biologische P-verwijdering* vermindert de productie aan chemisch slib. Het combineren van voorbezinking, slibgisting en bio-P verwijdering leidt op grond van het rekenmodel (en de gestelde uitgangspunten) tot een slibreductie van circa 36% t.o.v. de referentie (RWZI variant 1). Minder slib verbruikt bovendien minder energie bij de slibeindverwerking.

De berekeningsresultaten laten zien dat de RWZI, afhankelijk van het type zuivering, minimaal 88 MJ per i.e. per jaar (variant 4: met voorbezinking, met gisting, zonder bio-P verwijdering) en maximaal 151 MJ per i.e. per jaar (variant 5: zonder voorbezinking, zonder gisting, met bio-P verwijdering) aan primaire energie verbruikt.

FIGUUR 5.1 ENERGIESALDO PER I.E. VOOR DE TOTALE SLIBKETEN VOOR DE COMBINATIES VAN DE MEEST RELEVANTE SLIBEINDVERWERKINGSVARIANTEN



FIGUUR S.2 KOSTEN PER I.E. VOOR DE TOTALE SLIBKETEN VOOR ALLE 96 COMBINATIES, WEERGEGEVEN PER SLIBEINDVERWERKINGSVARIANT



Ten aanzien van de slibeindverwerking laten de berekeningsresultaten zien dat er, afhankelijk van de RWZI variant en de gekozen techniek, maximaal 189 MJ per i.e. per jaar aan primaire energie wordt verbruikt (van slib uit een RWZI zonder voorbezinking, zonder slibgisting en zonder bio-P verwijdering, gevolgd door directe thermische droging en storten) en maximaal 160 MJ per i.e. per jaar oplevert (van slib uit een RWZI met voorbezinking en bio-P verwijdering, indirecte thermische droging en meestoken in een cementoven).

De productie aan CO₂ is direct gerelateerd aan het primaire energieverbruik, uitgedrukt in MJ_{prim} per ton droge stof of per i.e. Zie hiervoor ook de laatste kolom van de tabellen van bijlage VI. De productie aan CO₂ bedraagt 56,1 kg per GJ aardgas.

Figuur S.1 laat zien dat de invloed van de keuze van de slibeindverwerkingstechniek op het energieverbruik bij een vergelijking van de slibketens veel groter is dan de invloed van de varianten in de water- en slijlijn.

De investering voor de slibeindverwerking ligt in de orde grootte van 8% van de totale investering voor de slibketen (d.w.z. inclusief de investering voor de aangesloten RWZI's). Deze investering kan worden gereduceerd tot circa 5% van de totale investering voor de slibketen wanneer de slibproductie per i.e. wordt gereduceerd door voorbezinking in combinatie met slibgisting en bio-P verwijdering.

De verwerkingskosten voor de water- en sliblijn variëren van circa € 39 per i.e. (met voorbezinking, zonder slibgisting, zonder bio-P verwijdering) tot circa € 44 per i.e. (met voorbezinking, met slibgisting, zonder bio-P verwijdering).

De kosten voor de slibeindverwerking liggen in de orde grootte van 7 tot 10% van de kosten voor de totale slibketen, uitgedrukt in €/i.e. De berekende kosten voor de slibeindverwerking variëren van circa € 3 per i.e. tot circa € 5 per i.e.

De kosten voor de slibeindverwerking zijn gevoelig voor het droge stofgehalte van het aangeleverde slib en de bezettingsgraad van de installatie.

9 CONCLUSIES

De conclusies van de studie zijn:

1. De kosten van de slibeindverwerking (in € per i.e.) maken maar een relatief klein gedeelte (<10%) uit van de totale kosten van de behandeling van een i.e. in de gecombineerde water- en sliblijn en de slibeindverwerking.
2. Daarentegen wordt de energiebalans van de totale sliblijn (van water- en sliblijn tot en met slibeindverwerking) in belangrijke mate bepaald door de gemaakte keuzes bij de slibeindverwerking. De water- en sliblijn wordt gekenmerkt door een overall energieverbruik, terwijl de energiebalans bij de slibeindverwerking varieert van een klein netto energieverbruik van 47 MJ/i.e. tot een surplus van 151 MJ/i.e., afhankelijk van de proceskeuze.
3. Wijzigingen in de toegepaste processen in de water- en sliblijn hebben gevolgen voor de hoeveelheid en samenstelling van het geproduceerde slib dat naar de slibeindverwerking gaat (en dus op kosten en energie), maar de *onderlinge verhoudingen* tussen de verschillende slibeindverwerkingsmethoden worden daardoor nauwelijks beïnvloed. Dat geldt vooral voor de verwerkingskosten. Dit leidt tot de belangrijke conclusie, dat de keuze voor een slibeindverwerkings-variant relatief onafhankelijk van de configuratie van de water- en sliblijn gemaakt kan worden. Zie ook figuren 5.10.3.a en 5.10.4.a.
4. De benuttingsgraad van een installatie heeft grote invloed op de verwerkingskosten bij de slibeindverwerking (niet op de energiebalans). Uit kosten oogpunt is het daarom gewenst een goede afstemming te realiseren tussen de hoeveelheid geproduceerd zuiverings-slib en de beschikbare of gecontracteerde slibeind-verwerkingscapaciteit. Aanbevolen wordt, om met dit aspect rekening te houden bij wijzigingen in de water- en sliblijn.
5. Bio-P-verwijdering heeft een gunstige invloed op de totale slibketen, zowel door verlaging van het energieverbruik als door verlaging van de slibeindverwerkingskosten.
6. Voorbezinking (zonder slibgisting) heeft een verlaging van het energieverbruik tot gevolg voor de totale keten, maar leidt tot een verhoging van de verwerkingskosten, mede omdat de slibproductie hoger is.
7. Slibgisting leidt tot een verlaging van de verwerkingskosten voor de slibketen door verlaging van de hoeveelheid te verwerken slibdrogestof per i.e. In de slibketens waar de energie in het slib in de slibeindverwerking efficiënt wordt aangewend, is slibgisting ongunstig voor het energiesaldo van de totale slibketen.

8. Op basis van de gehanteerde uitgangspunten (met name ook de gekozen schaalgrootte) blijkt variant 7 van de water- en sliblijn (géén voorbezinking, wel slibgisting, wel bio-P-verwijdering qua verwerkingskosten de meest gunstige variant. Dit komt mede door de relatief lage kosten voor de benodigde slibeindverwerking. Variant 8 (met voorbezinking, slibgisting en bio-P) is uit energetisch oogpunt de meest gunstige variant. Bij verdere stijging van de energieprijzen (of bij invoering van een MEP-subsidie op de daarbij geproduceerde extra energie) wordt deze variant ook uit een oogpunt van verwerkingskosten gunstig.
9. Geconstateerd is, dat aanpassingen in de water- en sliblijn die tot verbeteringen in de energiebalans van de RWZI leiden, normaliter een enigszins tegengesteld effect opleveren bij de slibeindverwerking. Het verdient daarom aanbeveling om bij dit soort aanpassingen in de water- en sliblijn rekening te houden met de effecten bij de slibeindverwerking.
10. Het omslagpunt voor de schaalgrootte van de RWZI waarbij slibgisting wel of niet gunstiger is, ligt -afhankelijk van de kosten van de eindverwerking van het slib- tussen 100.000 tot 200.000 i.e. Bij de exacte ligging van het omslagpunt spelen vanzelfsprekend vele andere kostenfactoren (rentepercentage, kosten van personeel, onderhoud, energie etc.) ook een voorname rol.
11. De methode van slibverwerking die momenteel in Nederland het meest wordt toegepast, slibeindverwerkingsvariant 1 (indirecte droging, gevolgd door verbranding in een wervelbedoven) is alleen kostentechnisch verantwoord bij de gekozen schaalgrootte (100.000 ton d.s./jaar) of groter en neemt bij de momenteel toegepaste procestechiek qua energiehuishouding een middenpositie in. Belangrijke voordelen van deze slibverwerkingsmethode zijn de technische betrouwbaarheid en het relatief onafhankelijk zijn van andere factoren (energiekosten, reststoffenverwerking).
12. Uit het energieoptimalisatie-onderzoek is gebleken dat bij de slibeindverwerkingsvariant 1 (indirecte droging, gevolgd door verbranding in een wervelbedoven) door aanpassingen in het energetisch ontwerp aanzienlijke verbeteringen mogelijk zijn. In hoeverre deze optimalisaties qua betrouwbaarheid van de technologie (toepassing van damprecompressie) dan wel qua kosten (toepassing van hogere stoomdrukken en stoomturbines) bij de huidige energieprijzen haalbaar zijn, vereist nog nader onderzoek.
13. Meestoken van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib in afvalverbrandings-installaties is eveneens een voor de slibeindverwerking in aanmerking komende goedkope optie. Daarbij moet opgemerkt worden dat de beschikbare verwerkingscapaciteit voor deze methode relatief beperkt is.
14. Uit energetisch oogpunt verdient thermisch drogen met restwarmte duidelijk de voorkeur boven thermische drogen met aardgas als slibeindverwerking. Grote invloed op de overall energiebalans heeft ook de toepassing van het gedroogde slib. Het meest gunstig is daarvoor meeverbranden in cementovens, waarbij wel opgemerkt moet worden, dat het gedroogde slib moet "concurreren" met andere meestook-brandstoffen en dat de cementoven-capaciteit in Nederland beperkt is. Afzet van het gedroogde slib wordt belemmerd door emissievoor-schriften, met name ten aanzien van de emissie van kwik.

15. Uit kostenoverwegingen komen biologisch en thermisch drogen in aanmerking voor toepassing bij een kleinere schaalgrootte. Bij een grotere schaal (> 50.000 ton d.s./jaar) is verbranding concurrerend. De kosten voor co-verbranding zijn lager, maar de capaciteit in Nederland is beperkt.
16. De berekende kosten voor natte oxidatie zijn aanzienlijk lager wanneer afvalwaterbehandeling en slibverwerking op één locatie plaatsvinden, zonder mechanische ontwatering en slibtransport, maar daarmee nog steeds een relatief dure verwerkingsmethode.
17. Slibtransport maakt onder Nederlandse omstandigheden minder dan 3% uit op de totale kosten van de slibketen en verbruikt minder dan 5% van de energie nodig voor de water- en sliblijn.

10 AANBEVELINGEN VOOR TOEKOMSTIG BELEID

Bij het vergelijken van de slibketenscenario's is uitgegaan van een nieuw te realiseren slib- en waterlijn en een nieuw te realiseren slibeindverwerking. Daarbij is geen rekening gehouden met bestaande situaties, lokale omstandigheden, het marktmechanisme, subsidiemogelijkheden en lokale kansen voor synergie. Ondanks deze verschillen met bestaande situaties kunnen de volgende aanbevelingen voor het toekomstig slibbeleid aan deze studie worden ontleend:

- het investeren in proceswijzigingen op de RWZI's met het doel om binnen de grenzen van de RWZI tot een energetisch gunstiger situatie te komen, leidt in veel gevallen niet zonder meer tot een energetisch gunstiger situatie voor de gehele slibketen;
- het investeren in proceswijzigingen op de RWZI's met het doel om binnen de grenzen van de RWZI tot een energetisch gunstiger situatie te komen, leidt in veel gevallen tot hoge kosten per bespaarde MWh (t.o.v. de referentiesituatie waarin geen investeringen worden gedaan) in vergelijking met de kosten voor een primaire brandstof;
- een beter energiesaldo van de totale slibketen kan vooral bereikt worden door de keuze van het slibeindverwerkingsscenario;
- samenwerking tussen elektriciteitsproducenten en verwerkers van zuiveringsslib zou bevorderd moeten worden om energie te besparen. Daarbij wordt gedacht aan gebruik van lagedruk stoom voor slibdroging en teruglevering van hoogwaardiger stoom aan de elektriciteitscentrale voor opwekking van elektriciteit. Dit systeem van parallelle verbranding is zowel vanuit milieuhygiënisch als vanuit energetisch opzicht gunstig;
- centraliseren van de verwerking in grootschalige installaties of decentraal drogen van zuiveringsslib en centraliseren van de verwerking van het gedroogde zuiveringsslib in een grootschalige installatie verdient aanbeveling. Effecten van transport wegen bij de huidige transportkosten niet op tegen de schaalvoordelen;

- een optimale bezetting van de operationele slibeindverwerkingsinstallaties is van groot belang. Daarvoor is een goede afstemming tussen de diverse slibproducenten en -verwerkers gewenst. De verwerkingskosten zijn zeer gevoelig voor onderbezetting van de installatie, terwijl een overbezetting kan leiden tot ongewenste milieueffecten of gebruikmaking van een onderlinge calamiteitenregeling;
- meer aandacht voor de mechanische ontwatering is gewenst, zowel met het oog op energiebesparing als met het oog op de reductie van de te verwerken hoeveelheid slib;
- het verdient aanbeveling een (MEP-)vergoeding toe te kennen aan de stookwaarde van het slib dat bestemd is voor de slibeindverwerking. Dit ter bevordering van de mechanische ontwatering en ter bevordering van investeringen gericht op de bevordering van het energietoelatingssaldo van de totale slibketen.

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 kennisinstituten 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 zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

SLIBKETENSTUDIE

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding en doel van de slibketenstudie	1
	1.2 Aanpak van de studie	1
	1.3 Leeswijzer	3
2	BESTAANDE SLIBKETENSITUATIE IN NEDERLAND	5
	2.1 Water- en sliblijn	5
	2.2 Slibeindverwerking	6
	2.3 Ontwikkelingen en verwerkingstarieven	7

3	WET- EN REGELGEVING	9
3.1	Bestaande wet- en regelgeving	9
	3.1.1 Bestaande EU-regelgeving	9
	3.1.2 Bestaande Nederlandse regelgeving	12
3.2	Beleidsontwikkelingen	14
	3.2.1 Europees beleid	14
	3.2.2 Nationaal beleid	18
3.3	Consequenties voor de keuze van de slibketen	20
4	SLIBKETEN MODELLERING	22
4.1	Doelstelling en kader van de slibketenmodellering	22
	4.1.1 Doelstelling	22
	4.1.2 Kader van het rekenmodel	22
	4.1.3 Beoogde resultaten	23
4.2	Uitgangspunten	23
	4.2.1 Algemeen	23
	4.2.2 Samenstelling afvalwater	24
	4.2.3 Effluenteisen	25
	4.2.4 Schaalgrootte water- en sliblijn	25
	4.2.5 Eisen t.a.v. de emissie naar lucht	26
	4.2.6 Schaalgrootte slibeindverwerking	27
	4.2.7 Slibtransport	27
	4.2.8 Begrenzing m.b.t. energie en hulpstoffen	27
	4.2.9 Financiële uitgangspunten	29
4.3	Beschrijving opzet van het model	31
	4.3.1 Algemeen	31
	4.3.2 Beschrijving van de elementen van het water- en sliblijnmodel	31
	4.3.3 Beschrijving van de elementen van het slibeindverwerkingsmodel	32
	4.3.4 Berekening van de emissies bij de slibeindverwerking	33
5	RESULTATEN MODELBEREKENINGEN	34
5.1	Inleiding	34
5.2	Keuze van de varianten	34
	5.2.1 Varianten water- en sliblijn	34
	5.2.2 Varianten slibeindverwerking	35
5.3	Berekeningsresultaten water- en sliblijn	39
	5.3.1 Uitkomsten van het water- en sliblijnmodel	39
	5.3.2 Vergelijking van de varianten	43
5.4	Berekeningsresultaten slibeindverwerking	45
	5.4.1 Uitkomsten voor de slibeindverwerking	45
	5.4.2 Vergelijking van de varianten	45
5.5	Berekeningsresultaten innovatieve slibverwerking	50
	5.5.1 Inleiding	50
	5.5.2 Beschrijving ultrasone voorbewerking van slib	50
	5.5.3 Berekeningsresultaten ultrasone voorbewerking	52
5.6	Berekeningsresultaten subvarianten slibeindverwerking	54
5.7	Berekeningsresultaten slibtransport	55
5.8	Berekeningsresultaten deelstroombehandeling	56
5.9	Effect van de MEP-subsidie	57
5.10	Vergelijking van de slibverwerkingsketens	58

	5.10.1 Algemeen	58
	5.10.2 Resultaten	58
6	ENERGIEOPTIMALISATIEBEREKENINGEN	63
	6.1 Opzet van het optimalisatieonderzoek	63
	6.2 Resultaten	65
	6.3 Conclusies en aanbevelingen uit het optimalisatieonderzoek	66
	6.4 Aanvullende kanttekeningen en algemene conclusies ten aanzien van de energieoptimalisatie	67
7	KWALITATIEVE VERGELIJKING OVERIGE MILIEUASPECTEN SLIBEINDVERWERKING	69
	7.1 Inleiding	69
	7.2 Kwalitatieve vergelijking	69
	7.2.1 Emissies naar lucht	69
	7.2.2 Geur	70
	7.2.3 Geluid	70
	7.2.4 Emissies naar oppervlaktewater	71
	7.2.5 Bodem en grondwater	71
	7.2.6 Reststoffen	71
	7.2.7 Hulpstoffen	72
	7.2.8 Ruimtegebruik	73
8	ANALYSE	74
	8.1 Inleiding	74
	8.2 Huidige situatie van slibverwerking in Nederland	74
	8.3 Consequenties van de wet- en regelgeving	75
	8.4 Water- en sliblijn	76
	8.4.1 Slibproductie	76
	8.4.2 Energie	76
	8.4.3 Kosten	76
	8.4.4 Mechanische slibontwatering	77
	8.5 Slibeindverwerking	78
	8.5.1 Energie	78
	8.5.2 Energieoptimalisatie	78
	8.5.3 Kosten van slibeindverwerking	79
	8.6 Slibtransport	79
	8.7 Gevoeligheid van de kosten voor de slibeindverwerking	79
	8.7.1 Gevoeligheid van de verwerkingskosten en het energieverbruik voor het droge stofgehalte	80
	8.7.2 Gevoeligheid van verwerkingskosten voor bezettingsgraad van slibeindverwerking	81
	8.7.3 Gevoeligheid van de verwerkingskosten voor de schaalgrootte	82
	8.8 Totale slibketen	83
	8.8.1 Energie	83
	8.8.2 Kosten	83
	8.9 Leemten in kennis	90
9	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	91
	9.1 Conclusies	91
	9.2 Aanbevelingen voor toekomstig beleid	93

	DEFINITIES	94
	REFERENTIES	95
	BIJLAGEN	
BIJLAGE I	OVERZICHT SLIBONTWATERING EN SLIBEINDVERWERKING IN NEDERLAND	97
BIJLAGE II	GEDETAILLEERDE UITKOMSTEN RWZI'S	99
BIJLAGE III	OVERZICHT NETTO PRIMAIRE ENERGIEBEHOEFTE OF -OVERSCHOT PER WATERZUIVERINGSVARIANT	105
BIJLAGE IV	PROCESBEREKENINGEN EN SCHEMA'S SLIBEINDVERWERKING	115
BIJLAGE V	ECONOMISCHE BEREKENINGEN SLIBEINDVERWERKING	131
BIJLAGE VI	OVERZICHT SLIBVERWERKINGSKETENS PER WATERZUIVERINGSVARIANT	163
BIJLAGE VII	EXERGIE ANALYSE SLIBEINDVERWERKINGSVARIANTEN	181
BIJLAGE VIII	VALIDATIE VAN HET REKENMODEL	203
BIJLAGE IX	INVENTARISATIE OVERIGE MILIEUASPECTEN	209
BIJLAGE X	VOORBEELD BEREKENING TRANSPORT	225
BIJLAGE XI	SCHEMA VAN HET REKENMODEL	227
BIJLAGE XII	TOELICHTING REKENMODEL MET CD-ROM	229

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING EN DOEL VAN DE SLIBKETENSTUDIE

In december 2002 heeft STOWA landelijk aandacht gevraagd voor een inventarisatie van onderzoeksvorstellen op het gebied van zuiveringsslib. Op grond van deze onderzoeksvorstellen, die in maart 2003 zijn ingediend, heeft STOWA besloten om de gehele waterzuiverings- en slibverwerkingsketen aan een nadere analyse te onderwerpen, met het doel om samen met de slibproducenten en -verwerkers een toekomstvisie op de water- en slibketen te presenteren als leidraad voor toekomstig beleid.

Om tot deze toekomstvisie te komen is deze slibketenstudie uitgevoerd. Deze studie levert een onderbouwing voor de wijze waarop de keten bij voorkeur dient te worden ingericht, waar het onderzoek zich op zou moeten richten, in welke richting geïnvesteerd zou kunnen worden etc.

De voornaamste aspecten die in de ketenstudie zijn geanalyseerd, zijn energie, (fossiele) CO₂-emissie en verwerkingskosten. Terwijl er primair voldaan wordt aan de eisen die gesteld zijn aan het effluent van de afvalwaterzuiveringsinstallatie, luidt de centrale probleemstelling van de slibketenstudie als volgt:

Hoe kan met een minimale hoeveelheid fossiele energie-inbreng het CZV in het afvalwater omgezet worden in CO₂ en wordt de inzet van fossiele energie zoveel mogelijk vermeden door terugwinning van energie uit het CZV, aanwezig in het zuiveringsslib?

Daarbij wordt aangetekend, dat bij de bepaling en uitwerking van de diverse slibketenscenario's rekening is gehouden met kwaliteits- en duurzaamheidsaspecten, kosten en wettelijke bepalingen, voorschriften en normen.

1.2 AANPAK VAN DE STUDIE

FASERING

De slibketenstudie is erop gericht om vóóraf geselecteerde ketenscenario's op een gelijkwaardige wijze te vergelijken, waarbij de kwantitatieve vergelijking op basis van energie, CO₂-emissie en verwerkingskosten centraal staat. Voor deze kwantificering is een rekenmodel ontwikkeld. Op grond van een nadere analyse van de berekeningsresultaten is een vertaalslag gemaakt naar het slibbeleid.

In de studie is de volgende fasering aangehouden:

Fase 1: Definitiefase;

Fase 2: Ontwikkeling van het rekenmodel;

Fase 3: Berekening van een gekozen referentiescenario;

Fase 4: Validatie van het rekenmodel en het uitvoeren van berekeningen;

Fase 5: Uitvoering van enkele optimalisatieberekeningen;

Fase 6: Analyse en toetsing aan het slibbeleid.

Parallel aan deze fasering is een inventarisatie uitgevoerd naar de bestaande en toekomstige wet- en regelgeving met betrekking tot de verwerking van zuiveringsslib in Nederland en Europa.

In de volgende paragrafen wordt een nadere toelichting gegeven op de fasering.

FASE 1: DEFINITIEFASE

Voor de uitwerking van de slibketenstudie was het nodig vóóraf een set uitgangspunten ten behoeve van het rekenmodel éénduidig vast te stellen. Het betreft met name:

- *de samenstelling van het te behandelen afvalwater;*
- *de eisen voor de emissie naar water en lucht;*
- *de schaalgrootte;*
- *de hulpstoffen;*
- *de definitie van energie, de te gebruiken grootte en de mee te nemen energieaspecten;*
- *het definiëren van het referentiescenario.*

FASE 2: ONTWIKKELING VAN HET REKENMODEL

Er is gebruik gemaakt van twee (bestaande) rekenmodellen:

- een rekenmodel voor de water- en slibverwerkingslijn (vanaf influent tot en met effluent en (mechanische) slibontwatering);
- een rekenmodel voor de slibeindverwerking voor het traject vanaf de (mechanische) slibontwatering tot en met de slibeindverwerking.

Tussen de beide modellen is een knip aangehouden.

De modellering betreft voornamelijk de massabalans, de energiebalans, de besparing op primaire energiedragers, de CO₂-emissie, de stikstofbalans, de effluent samenstelling, het gebruik aan hulpstoffen, de samenstelling van eindproducten/reststoffen en de globale kosten.

FASE 3: BEREKENING VAN HET REFERENTIE SCENARIO

De opgestelde modellen zijn in eerste instantie doorgerekend voor het gekozen referentiescenario. Daarbij is tevens een indruk verkregen van de gevoeligheid van het rekenmodel en de nauwkeurigheid van de berekeningsresultaten.

FASE 4: VALIDATIE VAN HET MODEL EN HET UITVOEREN VAN BEREKENINGEN

Zowel het water- en sliblijnmodel als het slibeindverwerkingsmodel zijn gevalideerd aan de hand van praktijkgegevens. Daar waar nodig zijn de rekenmodellen bijgesteld. Vervolgens zijn diverse ketenscenario's doorgerekend.

FASE 5: OPTIMALISATIE SLIBKETEN

In deze fase is het effect onderzocht van enkele optimalisaties in de slibeindverwerking:

- Het verbranden van zuiveringsslib en het thermisch drogen van zuiveringsslib zijn op de aspecten energie en exergie met behulp van het programma Aspen en/of GateCycle doorgerekend om de effecten van enkele optimalisaties in het procesontwerp te vergelijken met de basisopzet. Dit is nader toegelicht in hoofdstuk 6;
- er is een innovatieve slibverwerkingsmethode (ultrasone voorbehandeling van het slib voorafgaand aan de slibgisting) nader doorgerekend.

Parallel aan het onderzoek naar optimalisaties zijn in deze fase de voornaamste overige aspecten globaal (kwalitatief) beoordeeld, zoals:

- overige milieueffecten;
- kwaliteit van het uiteindelijke eindproduct;
- ruimtegebruik;
- overige duurzaamheidsaspecten.

FASE 6: ANALYSE EN TOETSING AAN SLIBBELEID

Nadat de verschillende ketenscenario's zijn doorgerekend met de rekenmodellen, de energie-optimalisaties zijn uitgevoerd en er een inventarisatie heeft plaatsgevonden van de overige (kwalitatieve) aspecten van de ketenscenario's, zijn de resultaten geanalyseerd en met elkaar vergeleken.

AFRONDINGSFASE

Op basis van de analyse van de resultaten van de doorgerekende slibketenscenario's zijn conclusies getrokken met betrekking tot de slibproductie van de keten, het energieverbruik, de investeringskosten en de verwerkingskosten.

1.3 LEESWIJZER

De rapportage, inclusief bijlagen, is als volgt opgezet:

In hoofdstuk 2 is een beknopte beschrijving gegeven van de huidige situatie in Nederland met betrekking tot de verwerking van het communale zuiveringsslib. Daarbij hoort ook bijlage I, waarin een overzicht wordt gegeven van de bestaande productie en verwerking per waterschap.

In hoofdstuk 3 wordt de wet- en regelgeving beschreven op Europees en Nationaal niveau zoals die momenteel geldt, met een doorkijk naar toekomstige beleidsontwikkelingen, resulterend in een overzicht van consequenties voor de keuze van een slibketen.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de slibketenmodellering. Een toelichting op de validatie van het rekenmodel is opgenomen in bijlage VIII. In bijlage XI is een algemeen schema opgenomen van de onderdelen die gemodelleerd zijn.

In hoofdstuk 5 vindt een selectie van slibketenscenario's plaats en worden de resultaten van de modelberekeningen gepresenteerd. Daarbij hoort ook bijlage II met de gedetailleerde uitkomsten voor de water-en sliblijn, bijlage III met een overzicht van de netto energiebehoefte of -overschot van de slibeindverwerkingsvarianten per type rioolwaterzuivering, bijlage IV met de processchema's van de slibeindverwerkingen en bijlage V met een weergave van de economische berekeningen van de slibeindverwerking. In bijlage VI wordt een totaaloverzicht gegeven van de slibketenscenario's. In bijlage X wordt separaat ingegaan op de benodigde energie voor het slibtransport ten opzichte van de energie die voor afvalwaterzuivering wordt gebruikt.

In hoofdstuk 6 wordt dieper ingegaan op enkele optimalisaties die doorgevoerd kunnen worden bij de slibeindverwerkingstechnieken verbranding en thermisch drogen. Een gedetailleerde toelichting is opgenomen in bijlage VII.

In hoofdstuk 7 wordt beknopt ingegaan op de kwalitatieve vergelijking van de overige milieuaspecten die een rol spelen bij de keuze van een slibketenscenario. Hierop wordt nader ingegaan in bijlage IX.

In hoofdstuk 8 worden de resultaten geanalyseerd en in hoofdstuk 9 zijn de conclusies en aanbevelingen opgenomen.

Het rekenmodel is toegevoegd als CD-ROM. Een handleiding voor gebruik van het rekenmodel is opgenomen in bijlage XII.

Tenslotte is aan het eind van dit rapport een uitvouwblad toegevoegd met relevante informatie als hulp bij het uit elkaar houden van de verschillende ketenscenario's.

2

BESTAANDE SLIBKETENSITUATIE IN NEDERLAND

2.1 WATER- EN SLIBLIJN

In Nederland zijn circa 400 communale rioolwaterzuiveringsinstallaties in bedrijf die in totaal circa 380.000 ton slibdrogestof per jaar produceren. Het slib wordt ontwaterd en naar een slibeindverwerkingsinstallatie getransporteerd.

De wijze waarop de slibverwerkingsketen is gestructureerd kan sterk verschillen per RWZI en per waterschap, afhankelijk van gemaakte (technische) keuzes in de water- en sliblijn tot en met de slibeindverwerking.

In de water- en sliblijn betreft het vooral keuzes zoals:

- Wel of geen voorbezinking;

Met voorbezinking wordt de belasting van de beluchtingstank gereduceerd, maar er wordt een niet gestabiliseerd primair slib geproduceerd dat een geheel andere samenstelling heeft in vergelijking met het deels gemineraliseerde secundaire slib. Voor primair slib is in het algemeen een behandeling vereist, bijvoorbeeld in de vorm van een slibgisting (anaërobe stabilisatie). Circa 60% van het totale aantal geloosde i.e. in Nederland wordt voorbezonden. Het betreft met name de grote RWZI's.

- Wel of geen slibgisting;

Door slibgisting wordt de hoeveelheid slibdrogestof verminderd en verbeteren in het algemeen ook de eigenschappen voor ontwatering. Slechts een kwart van het aantal RWZI's is uitgerust met een slibgisting. Daar het voornamelijk de grote RWZI's betreft die voorzien zijn van voorbezinking en slibstabilisatie door middel van slibgisting, wordt toch het slib van circa 55% van het totale aantal geloosde i.e. langs deze weg behandeld.

- Wijze van fosfaatverwijdering (chemisch of biologisch);

Met chemische fosfaatverwijdering wordt meer slib geproduceerd in vergelijking met biologische fosfaatverwijdering. In 2001 werd op meer dan 80% van het totale aantal geloosde i.e.'s een chemische of biologische P-verwijdering toegepast. Daarvan werd 68% door chemische P-verwijdering gerealiseerd, 23% door biologische P-verwijdering en 9% door een combinatie van beide (aanvullende chemicaliëndosering). De landelijke trend is dat chemische P-verwijdering geleidelijk wordt vervangen door biologische P-verwijdering.

- Wijze van (gravitaire) indikking;

Gravitaire ontwatering wordt op vrijwel alle RWZI's toegepast, alleen de mate waarin (primair slib of alle slib) en de wijze waarop (wel of niet toevoegen van chemicaliën) verschilt per RWZI en per waterschap. Dit hangt ook samen met de minimale capaciteit van de slibopslag.

- Wijze van mechanische ontwatering;

Tenslotte bepaalt de wijze van mechanische ontwatering in belangrijke mate het drogestofgehalte van het slib dat naar de slibeindverwerking wordt afgevoerd.

2.2 SLIBEINDVERWERKING

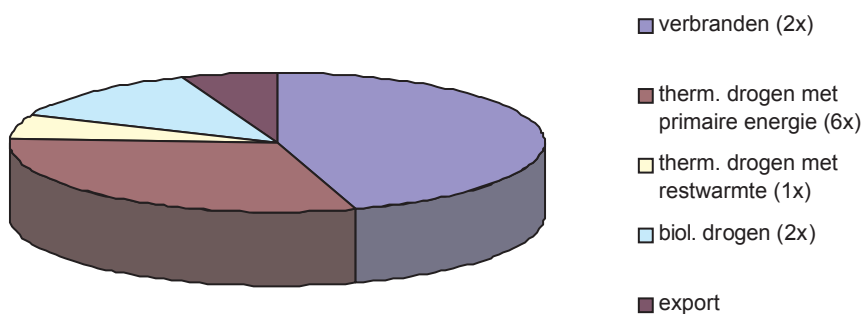
In tabel I.1 van bijlage I is een overzicht gegeven van de situatie in Nederland vanaf de mechanische ontwatering tot en met de eindverwerking. Voor het slib dat door de circa 400 RWZI's wordt geproduceerd zijn er circa 100 mechanische slibontwateringsinstallaties in bedrijf. Daarmee wordt een gemiddeld drogestofgehalte gehaald in de ordegrootte van 23%. Het mechanisch ontwaterde slib wordt vervolgens per as naar de slibeindverwerkingsinstallaties afgevoerd.

Circa 48% van het Nederlandse zuiveringsslib wordt verwerkt in de twee grootschalige slibverbrandingsinstallaties (in Dordrecht en Moerdijk). Circa 32% van het slib wordt thermisch gedroogd, waarvan ongeveer een vijfde deel met restwarmte. Er zijn zeven thermische slibdrooginstallaties momenteel in bedrijf (Garmerwolde, Heerenveen, Beverwijk, Amsterdam, Venlo, Susteren en Hoensbroek). Circa 13% van het slib wordt biologisch gedroogd (in Zutphen en Tiel). Het resterende deel (circa 7%) werd oorspronkelijk verwerkt in de natte oxidatie-installatie te Apeldoorn. Wegens het definitief uit bedrijf nemen van deze installatie, wordt dit slib voor de korte termijn geëxporteerd. Er wordt gewerkt aan een structurele oplossing.

De thermische en biologische slibdrooginstallaties hebben in Nederland een schaalgrootte van 10.000 tot 20.000 ton droge stof per jaar, overeenkomend met de slibproductie in de ordegrootte van een gemiddeld waterschap. De schaalgrootte van de slibverbrandingsinstallaties ligt in de ordegrootte van 100.000 ton slibdrogestof per jaar. In deze installaties wordt het zuiveringsslib verwerkt van meerdere waterschappen.

FIG. 2.2.1

VERDELING VAN DE SLIBEINDVERWERKING IN NEDERLAND OVER DE VERSCHILLENDE TECHNIEKEN



Bij figuur 2.2.1 wordt opgemerkt dat een deel van de energie die gebruikt wordt voor thermische slibdroging met primaire energie, geleverd wordt in de vorm van biogas afkomstig van de slibgisting.

De reststoffen die bij de slibeindverwerkingsinstallaties vrijkomen worden op dit moment hoofdzakelijk op de volgende wijzen afgezet:

- asresten die bij zelfstandige slibverbranding vrijkomen, als vulstof in asfalt of als vulmateriaal voor de Duitse kolen- en zoutmijnen.
- thermisch gedroogd slib als secundaire brandstof (E-centrales en cementovens);

- biologisch gedroogd slib eveneens als secundaire brandstof (in de vorm van compost);
- bij inzet van thermisch of biologisch gedroogd slib in een cementoven wordt de daarbij resulterende verbrandingsas opgenomen in de cement. Dit stelt beperkingen aan de inzet van het slib (receptuur);
- bij inzet van gedroogd slib in een kolengestookte elektriciteitscentrale maakt de as deel uit van de daarbij vrijkomende vlieg-as. Ook hier is de inzet van het slib aan randvoorwaarden gebonden, om de afzet van de vlieg-as niet te belemmeren.

2.3 ONTWIKKELINGEN EN VERWERKINGSTARIEVEN

STABILITEIT VAN DE SLIBKETEN

Hoewel er momenteel in grote lijn voldoende slibeindverwerkingscapaciteit voor mechanisch ontwaterd zuiveringsslib in Nederland is gerealiseerd, is de slibketensituatie in Nederland nog niet volledig gestabiliseerd. Dit wordt deels bepaald door de veranderende regelgeving, de vergunningensituaties (lokale omstandigheden), het marktmechanisme (zoals exportmogelijkheden en verwerkingscontracten tussen slibproducenten en verwerkers die met regelmaat opnieuw moeten worden gesloten), de technische mogelijkheden en de afzetmogelijkheden voor reststoffen. In het verleden zijn diverse slibverwerkingsroutes voortijdig beëindigd, bijvoorbeeld als gevolg van de regelgeving of het (voortijdig) sluiten van een slibverwerkingsinstallatie. Daar het slib toch elke dag wordt geproduceerd, zijn nieuwe, al dan niet duurzame, verwerkingsroutes gevonden.

ONTWIKKELINGEN

De laatste ontwikkelingen doen zich vooral voor op het gebied van de milieuverantwoorde verwerking van de reststoffen die vrijkomen bij de slibeindverwerking, zoals gedroogd zuiveringsslib, slibcompost en asrest. Beoogd was om het thermisch gedroogde slib en de slibcompost in te zetten als secundaire brandstof in cementovens en kolengestookte elektriciteitscentrales. Het moederbedrijf van de enige cementoven in Nederland (ENCI) heeft onlangs aangekondigd om de klinkerproductie bij ENCI stop te zetten, zodat ook de inzet van gedroogd zuiveringsslib op termijn daar zal worden stopgezet. Er is overeengekomen dat de oven in principe openblijft tot 2009. Halverwege 2007 wordt bekeken of dat nog steeds haalbaar is. Dit betekent dat het gedroogde slib nadien zal worden afgevoerd naar andere cementovens van hetzelfde moederbedrijf, vermoedelijk in België.

De meeste Nederlandse elektriciteitscentrales hebben nog geen vergunning voor de inzet van secundaire brandstoffen. Vergunningen die zijn verleend zonder afdoende IPPC-toets, worden als ze binnen de werkingssfeer van de richtlijn vallen, momenteel door de Afdeling rechtspraak van de Raad van State vernietigd of geschorst (sinds 2002 toen voor het eerst strijd met de richtlijn werd geconstateerd). Vergunningaanvragen zijn door het bevoegd gezag wel aan de Wet milieubeheer getoetst, maar er is geconstateerd dat de Wet milieubeheer niet voldoet aan de eisen van de IPPC-richtlijn. Naar verwachting zal er op korte termijn een groot aantal vergunningen worden geactualiseerd.

Op dit moment wordt nog circa 7% van het mechanisch ontwaterde zuiveringsslib geëxporteerd, maar dit zal naar verwachting aflopen vanwege het stortverbod dat in Duitsland per 1 juni 2005 is ingegaan voor onbehandeld afval. Hieronder valt ook mechanisch ontwaterd zuiveringsslib. Bovendien komt er in 2005 een Duitse verordening die per 1 januari 2007 een eind gaat maken aan de toepassing van communaal zuiveringsslib in de landbouw.

In technisch opzicht is er een ontwikkeling bij de afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) om zuiveringsslib mee te verbranden met het huishoudelijk- en bedrijfsafval (restafval). Dit houdt mede verband met de toename van de stookwaarde van het restafval. Hoewel de slibverwerkingscapaciteit van de AVI's beperkt is en er nog technische problemen zijn met vervuiling van de ketel en de uitstoot van bijvoorbeeld kwik, snijdt het mes aan twee kanten. Door de geleidelijke verandering van de samenstelling van het restafval, stijgt de stookwaarde van het restafval en worden de AVI's, die uitgelegd zijn voor het verbranden van integraal afval, thermisch gelimiteerd in doorzet. Door co-verbranding van restafval met zuiveringsslib wordt de stookwaarde van de brandstofmix verlaagd en kan het slib worden meeverbrand zonder vermindering van de doorzet aan huishoudelijk afval. Dit resulteert in een optimalere benutting van de AVI. Op deze manier is in principe een verantwoorde verwerkingsroute mogelijk, waarbij echter wel geldt, dat de beschikbare capaciteit beperkt is (niet alle AVI's zijn geschikt voor deze toepassing).

VERWERKINGSTARIEVEN

De verwerkingstarieven voor de meest relevante varianten van de slibeindverwerking liggen in de range van € 250,- tot € 330,- per ton droge stof, inclusief BTW. Er wordt afgerekend op basis van aangeleverd gewicht aan mechanisch ontwaterd zuiveringsslib. De verwerkingskosten zijn daarmee direct afhankelijk van het drogestofgehalte dat bij de mechanische ontwatering kan worden gehaald. Zo wordt bij de thermische droging feitelijk betaald per ton waterverdamping. Het tarief voor co-verbranding is minder goed te herleiden, omdat een vermenging plaatsvindt met de vaste en variabele lasten van de bestaande afvalverbrandingsinstallatie.

De kosten voor de water- en sliblijn zijn eveneens minder expliciet weer te geven, omdat zij deel uitmaken van de totale kosten voor de waterzuivering.

3

WET- EN REGELGEVING

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de wet- en regelgeving die van invloed kan zijn op de keuze van een slibverwerkingsketen. Het betreft de Europese en Nederlandse wet- en regelgeving, zowel bestaand als toekomstig. Daarbij is voornamelijk de wet- en regelgeving geïnventariseerd die betrekking heeft op de eindverwerking van het zuiveringsslib, waaronder hergebruik in de landbouw, storten, verbranden en exporteren ten behoeve van nuttige toepassing.

3.1 BESTAANDE WET- EN REGELGEVING

3.1.1 BESTAANDE EU-REGELGEVING

GEbruik VAN ZUIVERINGSSLIB IN DE LANDBOUW

Op 12 juni 1986 is de richtlijn inzake het gebruik van zuiveringsslib in de landbouw (1986/278/EEG) vastgesteld. De richtlijn heeft een tweeledig doel: het voorkomen van nadelige gevolgen voor de bodem, plant, dier en mens als gevolg van ongecontroleerd gebruik van zuiveringsslib in de landbouw en tevens het bevorderen van het juiste gebruik van zuiveringsslib. In deze richtlijn zijn normen opgenomen (zie tabel 3.1.1) voor de maximale gehalten van zware metalen (in mg/kg droge stof) in zuiveringsslib dat in de landbouw wordt gebruikt.

TABEL 3.1.1 OVERZICHT GEHANTEERDE NORMEN IN EUROPESE LANDE

Land	Grenswaarden voor zware metalen in zuiveringsslib voor landbouwkundig gebruik						
	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
EU ¹⁾	20/40	--	1.000/1750	16/25	300/400	750/1.200	2.500/4.000
Nederland ²⁾	1,25	75	75	0,75	30	100	300
Denemarken	0,4	100	1.000	0,8	30	120	4000
Noorwegen	4	125	1.000	5	80	100	1.500
Zweden	2	100	600	2,5	50	100	800
Finland	3	300	600	2	100	150	1.500
Duitsland	10	900	800	8	200	900	2.500
Oostenrijk ³⁾	4-10	300-500	400-500	4-10	80-100	150-500	1.600-2.000
Zwitserland ⁴⁾	5	500	600	5	80	500	2.000
Frankrijk	20	1.000	1.000	10	200	800	3.000
Spanje pH< 7	20	1.000	1.000	16	300	750	2.500
pH> 7	40	1.500	1.250	25	400	1.200	4.000
België (Vlaan.)	6	250	750	5	100	300	2.500
(Wall.)	10	500	600	10	100	500	2.000
Luxemburg	20-40	1.000-1.750	1.000-1.750	16-25	300-400	750-1.200	2.500-4.000
Italië	20	--	1.000	10	300	750	2.500
Ierland	20	--	1.000	16	300	750	2.500
Portugal	20	1.000	1.000	16	300	750	2.500

1) EU-Richtlijn 86/278;

2) BOOM m.i.v. 01/01/1995;

3) verschilt per staat;

4) Zwitserland zet geen communaal zuiveringsslib meer af in de landbouw;

5) Zie ook: <http://europa.eu.int/comm/environment/sludge>

Bij de implementatie van deze richtlijn zijn veel Europese landen bij de normering afgeveken van de in de richtlijn opgenomen normen. Ierland, Italië, Luxemburg, Portugal en Spanje hanteren normen die vergelijkbaar zijn met de richtlijn, Oostenrijk, België, Frankrijk en Duitsland hanteren iets strengere normen, terwijl Denemarken, Finland, Zweden en Nederland de strengste normen hanteren (zie bijgaande tabel 3.1.1). Het is opvallend dat veel Europese landen het slibbeleid hebben gericht op hergebruik in de landbouw en dat de gehanteerde normen dan ook zodanig hoog zijn, dat het communale zuiveringsslib hieraan kan voldoen.

STORTEN VAN ZUIVERINGSSLIB

Op 16 juni 1999 is de Richtlijn 1999/31/EG betreffende het storten van afvalstoffen gepubliceerd in het Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen. Voor Nederland en de omliggende landen houdt dit in, dat er een zodanige strategie ontwikkeld moet zijn/worden, dat uiterlijk binnen 5 jaar na de publicatiedatum van de richtlijn het naar stortplaatsen over te brengen biologisch afbreekbaar stedelijk afval wordt verminderd tot 75 gewichtsprocent van de totale hoeveelheid biologisch afbreekbaar stedelijk afval, geproduceerd in 1995 (referentiejaar). Binnen 8 jaar moet dit tot 50% zijn verminderd en binnen 15 jaar tot 35%. In Nederland heeft dit geleid tot een stortverbod voor organische afvalstoffen, waaronder mechanisch ontwaterd zuiveringsslib. In het Landelijk afvalbeheersplan (LAP) 2002-2012 is de prognose opgenomen dat er in 2006 geen brandbaar afval meer gestort wordt.

VERBRANDING VAN AFVAL

Op 4 december 2000 is de Richtlijn 2000/76/EG van het Europees Parlement en de Raad betreffende de verbranding van afval gepubliceerd. Deze richtlijn heeft ten doel de negatieve milieueffecten van de verbranding en meeverbranding van afval, in het bijzonder de verontreiniging door emissies in lucht, bodem, oppervlaktewater en grondwater, alsmede de daaruit voortvloeiende risico's voor de menselijke gezondheid, te voorkomen of, zover als haalbaar is te beperken.

Er is ook voorzien in speciale voorschriften voor cementovens, andere industriële sectoren en verbrandingsinstallaties die afvalstoffen meeverbranden, maar de richtlijn houdt geen verscherping in van het vigerende en in ontwikkeling zijnde Nederlandse beleid voor het meeverbranden van afval.

IPPC-RICHTLIJN

Door de EU is als belangrijk onderdeel van het Europese milieubeleid het 'Integrated Pollution and Prevention Control' beleid opgesteld (IPPC-richtlijn, 1996). De IPPC-richtlijn (voluit: Richtlijn 96/61 inzake de geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging) verplicht de lidstaten van de EU om grote milieuvervuilende bedrijven te reguleren door middel van een "integrale vergunning" (met in achtneming van alle mogelijke soorten van vervuiling).

Installaties van bedrijven waarop de richtlijn van toepassing is, moeten uiterlijk vanaf 31 oktober 2007 "IPPC-proof" zijn. Bestaande installaties die worden gewijzigd moeten echter al vanaf oktober 1999, toen de implementatietermijn van de richtlijn verstreek, aan de IPPC-eisen voldoen, als ze volgens de bevoegde autoriteiten "negatieve en significante effecten" kunnen hebben op mens en milieu.

Een belangrijk instrument voor de implementatie van dit beleid is het vaststellen van zogenaamde ‘best beschikbare technieken’ (best available techniques, BAT) voor een groot aantal industriële sectoren. Het begrip BAT komt grotendeels overeen met het begrip ‘stand-der-techniek’. Om richting te geven aan het begrip BAT heeft de Europese Commissie een internationale uitwisseling van informatie over BAT georganiseerd. Voor de desbetreffende specifieke bedrijfstakken en industriële processen, waaronder afvalverbranding, zijn of worden documenten opgesteld (BAT-referentiedocumenten ofwel BREF's) waarin staat beschreven welke technieken toegepast kunnen worden opdat een nieuw te bouwen installatie vanuit milieuoogpunt aan de stand der techniek voldoet.

De IPPC-richtlijn verplicht de lidstaten (en indirect dus ook het bevoegd gezag inzake de vergunningverlening) de BREF's in “aanmerking te nemen” bij het opstellen van de voorschriften voor milieuvergunningen; ook worden BREF's in de IPPC richtlijn aangeduid als “documenten waarmee rekening moet worden gehouden”. Eenmaal vastgesteld fungeert het als een officieel referentiedocument voor Nederlandse vergunningverleners.

Voor de verwerking van zuiveringsslib zijn met name de volgende twee BREF's van toepassing:

- 'Incineration of Waste'.
- 'Waste Treatment'

Het BREF voor Waste Incineration is momenteel nog niet officieel vastgesteld. Een eerste concept is verschenen in april 2003. Dit concept bevatte wel de beschrijving van een groot aantal technieken (verbranding en rookgasreiniging), maar de hoofdstukken, waarin wordt aangegeven, welke technieken als BAT kunnen worden beschouwd ontbraken nog. Een tweede concept is in maart 2004 gepubliceerd. Daarin zijn voorstellen opgenomen, welke technieken als BAT voor afvalverbranding kunnen worden beschouwd.

Deze voorstellen zijn eind 2004 in internationaal verband (door vertegenwoordigers van de vergunningsverlenende instanties en de industrie) besproken, waaruit een aantal wijzigingen zijn geresulteerd die in het voorjaar van 2005 officieel zijn gepubliceerd. De definitieve besluitvorming over het BREF Waste Incineration zal daarna nog een termijn van circa 1 jaar vragen.

Het BREF Waste Treatment bevindt zich momenteel in een overeenkomstige fase.

EXPORT VAN ZUIVERINGSSLIB

Op 6 mei 1994 is de Verordening 259/93/EG, beter bekend als de Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen (EVOA) van toepassing geworden. Daarin wordt het toezicht en de controle op de overbrenging van afvalstoffen binnen, naar en uit de Europese Gemeenschap geregeld. De EVOA geldt in principe voor alle afvalstoffen die landsgrenzen overschrijden. Hoewel afvaltransporten over de landsgrens in algemene zin verboden zijn, zijn toch in beginsel de landsgrenzen open. Daarom moet voor grensoverschrijdend afvaltransport een zogenaamde kennisgevingsprocedure worden doorlopen. Hiermee worden de autoriteiten van het uitvoerende, doorvoerende en invoerende land in kennis gesteld van de overbrenging van afvalstoffen.

Uitgangspunt is dat het verwerken van afval zo dicht mogelijk bij de bron moet plaatsvinden (nabijheidbeginsel). In- en uitvoer van reststoffen van waterzuivering en waterbereiding ten

behoefte van storten is in beginsel niet toegestaan. In- en uitvoer voor verbranden als vorm van verwijdering is toegestaan, zolang invoer niet leidt tot verdringing van Nederlands slib.

Uitvoer ten behoeve van inzet als recultiveringsgrond is toegestaan wanneer is aangetoond dat er in Nederland nog onvoldoende verwerkingscapaciteit is, en dat door een genomen investeringsbeslissing of op een andere wijze binnen een beperkte termijn wel in de benodigde verwerkingscapaciteit zal worden voorzien.

Zuiveringsslib afkomstig van rioolwaterzuiveringsinstallaties is een oranje-lijst-afvalstof. Uitvoer van zuiveringsslib is toegestaan voor "nuttige toepassing". Onder nuttig toepassen worden handelingen verstaan die zijn opgenomen in bijlage II B van de Kaderrichtlijn afvalstoffen, de zogenaamde R-handelingen. Het gaat daarbij met name om handelingen die worden uitgevoerd na het inzamelen en vervoeren van afvalstoffen en die ertoe leiden dat afvalstoffen opnieuw worden hergebruikt. De handelingen betreffen producthergebruik, materiaalhergebruik en het toepassen van een afvalstof met een hoofdgebruik als brandstof (of verbranden als vorm van nuttige toepassing). De oorspronkelijk opgenomen minimum grens voor de stookwaarde van 11,5 MJ/kg is niet meer een criterium voor de beoordeling of er sprake is van nuttige toepassing als brandstof.

Aan de in- en uitvoer voor het verbranden als vorm van verwijdering worden aan industriële en communale zuiveringsslibben (zogenaamde D-10 slibstromen zonder capaciteitsregulering) geen beperkingen opgelegd voor zover zij een stookwaarde hebben <11,5 MJ/kg (met <=1% chloor) of een stookwaarde van <15 MJ/kg (met >1% chloor).

3.1.2 BESTAANDE NEDERLANDSE REGELGEVING

Besluit en gebruik overige organische meststoffen (BOOM)

Richtlijn 1986/278/EEG is in Nederlands recht omgezet door middel van het Besluit kwaliteit en gebruik overige organische meststoffen (BOOM), dat per 1 januari 1993 in werking trad. In 1998 is het oorspronkelijke Besluit vervangen door een nieuw BOOM.

Voor het niet tijdig omzetten van de Richtlijn is Nederland in mei 1990 door de Europese Commissie in gebreke gesteld.

De belangrijkste reden voor de vertraging bij de implementatie (die al in juni 1989 gerealiseerd had moeten zijn) was het feit dat in het BOOM veel zaken tegelijk geregeld worden: niet alleen de kwaliteit, maar ook het gebruik van zowel zuiveringsslib als compost en "zwarte grond". Dit leidde tot juridische complicaties (ondermeer doordat het BOOM zowel op de Meststoffenwet als op de Wet bodembescherming gebaseerd was) en tot een groot aantal maatschappelijke reacties, die aanleiding gaven tot aanpassingen van het ontwerp-Besluit.

De reden voor de vervanging door een nieuw BOOM in 1998 was de "Securitel-affaire": het oorspronkelijke BOOM behoorde tot de Nederlandse regelgeving waarvan het ontwerp indertijd ten onrechte niet genotificeerd was overeenkomstig de EG-regels voor normen en technische voorschriften (Richtlijn 83/189).

Het BOOM gaat in een aantal opzichten verder dan Richtlijn 86/278. Zo zijn de eisen voor de maximale gehalten van zuiveringsslib voor gebruik in de landbouw aanzienlijk strenger dan die van de Europese Richtlijn (zie tabel 3.1.1). Verder staat het BOOM niet toe dat zuiveringsslib op niet-landbouwgrond wordt gebruikt.

In mei 1998 heeft de Minister van LNV aan de Tweede Kamer de bevindingen van een evaluatie van het BOOM toegezonden. Daarin wordt geconcludeerd dat voldaan wordt aan de hoofddoelstelling van het BOOM: de gefaseerde vermindering van de belasting van de bodem met zware metalen en arseen afkomstig uit zuiveringsslib, compost en zwarte grond.

Slib dat niet meer aan de kwaliteitsnormen voldoet, wordt buiten de landbouw afgezet en als afvalstof verwerkt. Dit geldt onder meer voor alle slib afkomstig van communale rioolwaterzuiveringsinstallaties.

BESLUIT STORTPLAATSEN EN STORTVERBODEN AFVALSTOFFEN

Het Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen (Staatsblad 2001, 493) heeft per 1 november 2001 het Besluit stortverbod afvalstoffen (Staatsblad 1995, 354) vervangen. Hiermee is de inhoud van het Besluit stortverbod afvalstoffen geactualiseerd, maar niet wezenlijk veranderd.

Voor de aangewezen categorie slib, afkomstig van inrichtingen voor het biologisch zuiveren van afvalwater houdt dit besluit een stortverbod in. De ingangsdatum voor dit stortverbod was 1 januari 2000 waarmee het storten van slib waarvan de bewerkingsstap uitsluitend heeft bestaan uit ontwateren, in Nederland werd beëindigd.

In de toelichting op het “oude” Besluit stortverbod afvalstoffen is de volgende tekst opgenomen: *“In het in de Staatscourant gepubliceerde ontwerpbesluit was ook een verbod tot het storten van residuen opgenomen, met dien verstande dat dit verbod niet zou gelden voor installaties die recent zijn opgericht dan wel in oprichting zijn en waarvoor vergunning is verleend vóór de dag waarop het ontwerpbesluit in de Staatscourant is gepubliceerd (23 maart 1994). Deze uitzondering zou gelden uiterlijk tot het jaar 2005. Naar aanleiding van de reacties van de Unie van Waterschappen en het IPO is het ontwerpbesluit aangepast in die zin dat met het oog op de afschrijving van reeds geïnvesteerd kapitaal het storten van residuen afkomstig van deze installaties niet aan een beperking in de tijd onderhevig zou zijn. Nader overleg met de UvW en het IPO heeft ertoe geleid dat ook voor provincies waar vergevorderde plannen bestaan voor de verwijdering van zuiveringsslib en is uitgegaan van de mogelijkheid van het storten van residuen, geen beperking zullen gelden. Deze aanpassingen komen erop neer dat geen sprake meer is van een stortverbod voor residuen.”*

De laatste zin van de toelichting liet zich niet éénduidig interpreteren. In de praktijk heeft dit ertoe geleid dat er in Nederland van wordt uitgegaan dat biologisch en thermisch gedroogd zuiveringsslib niet gestort mag worden.

BVA EN BEES

In Nederland gelden al sinds 1989 voor AVI's strengere emissie-eisen naar lucht (eerst middels de Richtlijn Verbranden en sinds 1993 conform het Besluit luchtmissies afval-verbranding) dan voor andere stookinstallaties, zoals vastgelegd in het Besluit emissie-eisen stookinstallaties (BEES) en de Nederlandse Emissierichtlijnen (NeR).

Toen begin jaren negentig de eerste initiatieven werden genomen om afval te gaan meestoken in deze andere stookinstallaties, met name in kolengestookte elektriciteitscentrales, is bezien welke emissie-eisen hieraan moesten worden gesteld. Dit heeft in 1994 geresulteerd in de circulaire “Optimaliseren van de eindverwijdering van afvalstoffen” van de Minister van VROM. Daarin zijn voorwaarden opgenomen door de thermische verwerking van afvalstoffen, anders dan door verbranding in een AVI.

Het streven naar harmonisatie van milieueisen in Europa heeft eind 2000 geleid tot de EG-richtlijn 2000/76/EG betreffende de verbranding van afval (zie paragraaf 3.1.3). Implementatie van deze richtlijn heeft in Nederland plaatsgevonden door de vervanging van het Bla door een nieuw Besluit verbranden afvalstoffen (BVA) en een daarmee samenhangende wijziging van het Besluit emissie eisen stookinstallaties (Bees)

Het BVA heeft ook betrekking op de emissies van kolencentrales die afvalstoffen (niet zijnde schone biomassa) meeverbranden, zoals gedroogd zuiveringsslib.

In sommige opzichten gaat het besluit verder dan de EU-Richtlijn. Zo zijn de emissie-eisen voor alle installaties voor stikstofoxiden, totaalstofdeeltjes en kwik nagenoeg overgenomen van het Bla, en dus strenger. Voor meeverbrandingsinstallaties zijn strengere eisen opgenomen voor kwik, cadmium, thallium, en zware metalen en voor meeverbranding in cementovens is de eis voor kwik en stofdeeltjes strenger.

Vooruitlopend op de implementatie van de EG-richtlijn is de circulaire "Emissiebeleid energiewinning uit biomassa en afval" (VROM, 2002) opgesteld. De circulaire diende tot het moment dat het BVA in werking was getreden als richtsnoer voor de vergunningverlening voor het meestoken van afvalstoffen in kolengestookte elektriciteitscentrales.

Momenteel is er nog discussie in Nederland, in hoeverre het BVA een volledige invulling geeft van de IPPC-richtlijn (zie paragraaf 3.1.1). Mogelijk wordt het BVA in de komende jaren nog bijgesteld.

3.2 BELEIDSONTWIKKELINGEN

3.2.1 EUROPEES BELEID

NIEUWE RICHTLIJN VOOR LANDBOUWKUNDIGE TOEPASSING

De Europese Commissie is momenteel bezig met het opstellen van een nieuwe Richtlijn voor het gebruik van zuiveringsslib, als onderdeel van een algemeen thematisch beleid gericht op de bescherming van de bodem (working document European commission on biowastes and sludges, januari 2004). De nieuwe Richtlijn zal betrekking hebben op een breder spectrum van biologisch afbreekbare (afval)stoffen die op de bodem worden gebruikt, bijvoorbeeld compost (uit zuiveringsslib). Het zal zich ook richten op een groter aantal aspecten van zuiveringsslib.

Het is de bedoeling dat er regels komen voor alle soorten communaal en industrieel slib en dat er geharmoniseerde strenge eisen aan daarin aanwezige verontreinigingen gesteld gaan worden. Er zullen met name aanzienlijke beperkingen worden opgelegd aan het gebruik van zuiveringsslib voor landbouwdoeleinden. De werkingssfeer van Richtlijn 86/278 zal zodanig worden verbreed dat er niet alleen zware metalen, maar ook organische verontreinigingen onder komen te vallen. Het gebruik van slib in de landbouw zal aan vier essentiële voorwaarden moeten voldoen:

- geen overschrijding van de maximale belasting met contaminanten en/of pathogene organismen;
- er moet een landbouwkundig belang mee gediend zijn (bodemverbetering in de vorm van nutriënten of organische stof);

- de toegediende hoeveelheid nutriënten mag de nutriëntenvraag van de gewassen niet te boven gaan;
- het gebruik mag niet leiden tot geurhinder.

Voordat slib aan de bodem mag worden toegediend zal het eerst één van de drie gespecificeerde behandelingen moeten ondergaan om pathogenen te bestrijden. De grenswaarden voor contaminanten zijn aanzienlijk strenger dan die in Richtlijn 86/278, zowel wat betreft de concentraties in het slib als de jaarlijkse hoeveelheden die mogen worden toegediend. De voorgestelde waarden staan in tabel 3.2.1 en 3.2.2. Deze ontwerpnormen hebben inmiddels aanleiding gegeven tot intensieve discussie, ondermeer omdat de vrees bestaat dat ze zullen leiden tot een verminderd hergebruik van slib en een stijging van andere verwerkingsmethoden, zoals verbranding.

TABEL 3.2.1 MAXIMALE GEHALTES VAN ZWARE METALEN IN ZUIVERINGSSLIB BESTEMD VOOR LANDBOUWGROND (IN MG PER KG DROGE STOF) VOLGENS RICHTLIJN 86/278 EN VOLGENS DE NIEUWE, IN VOORBEREIDING ZIJNDE RICHTLIJN

Stof	Richtlijn 86/278	Richtlijn in voorbereiding			BOOM
		Initieel	Middellange termijn	Lange termijn	
Cadmium	20 – 40	10	5	2	1,25
Koper	1.000 – 1.750	1.000	800	600	75
Kwik	16 – 25	10	5	2	0,75
Nikkel	300 – 400	300	200	100	30
Lood	750 – 1.200	750	500	200	100
Zink	2.500 – 4.000	2.500	2.000	1.500	300

TABEL 3.2.2 MAXIMALE HOEVEELHEID ZWARE METALEN DIE MET ZUIVERINGSSLIB AAN LANDBOUWGROND MAG WORDEN TOEGEDIEND (IN GRAM PER HECTARE PER JAAR) VOLGENS RICHTLIJN 86/278 EN VOLGENS DE NIEUWE, IN VOORBEREIDING ZIJNDE RICHTLIJN

Stof	Richtlijn 86/278	Richtlijn in voorbereiding
Cadmium	150	30
Koper	12.000	3.000
Kwik	100	30
Nikkel	3.000	900
Lood	15.000	2.250
Zink	30.000	7.500

(<http://www.eu-milieubeleid.nl/ch05s10.html>)

Met het oog op zuiveringsslib staan de volgende stellingen of punten van kritiek op de bestaande Richtlijn 86/278/EEC ter discussie bij de opstelling van de nieuwe Richtlijn:

- De definitie van zuiveringsslib dient te worden aangepast om beter te kunnen aangeven op welke soorten slib deze EU-Richtlijn betrekking heeft;
- Landbouwkundige toepassing zou voor zover mogelijk, op zo kort mogelijke afstand van de slibproductie moeten plaatsvinden, zodat negatieve milieueffecten door transport worden vermeden;
- Landbouwkundige toepassing van industriële slibben zou ook onder de Richtlijn moeten vallen;
- Toepassing op andere gronden dan landbouwgronden zou mogelijk moeten zijn;
- Het gebruik in natuurlijke bosgebieden moet worden verboden om de toename aan nutriënten te voorkomen;
- Er moet een maximale jaarlijkse stikstofgift per oppervlakte landbouwgrond worden opgenomen;

- Er zou onderscheid gemaakt moeten worden tussen de toepassingsmogelijkheden voor slib dat geproduceerd is langs conventionele weg of met geavanceerdere technieken met het oog op de reductie van pathogene organismen;
- De lozing van zware metalen en organische verontreinigingen op het riool, en daarmee in het slib, zou bij de bron moeten worden bestreden. De bestaande Richtlijn hanteert een end-of-pipe benadering;
- Gedacht wordt aan het bereiken van de lange termijn doelstelling, waarbij over circa 20 jaar 75% van het zuiveringsslib in principe geschikt zal zijn voor toepassing in de landbouw. Daarbij zouden de achtergrondwaarden voor zware metalen in de bodem niet dramatisch mogen toenemen;
- De maximaal toegestane concentraties aan zware metalen dienen te worden verlaagd, maar zodanig dat het merendeel van het Europese slib in de landbouw kan worden toegepast;
- In de bestaande Richtlijn zijn geen normen opgenomen voor de organische verontreinigingen aanwezig in het slib;
- Lidstaten moeten in de gelegenheid worden gesteld om de normeringen aan te scherpen met het oog op de landbouwkundige toepassing;
- Er dienen nadere voorschriften te worden opgenomen met betrekking tot bemonstering en analyse.

De nieuwe Richtlijn zal naar verwachting weinig gevolgen hebben voor het gebruik van communaal zuiveringsslib in de landbouw in Nederland, maar het is van belang te realiseren dat de meerderheid van de Europese landen afzet in de landbouw nog altijd beschouwt als de primaire afzetroute.

Indien in de aan Nederland grenzende landen de afzet naar de landbouw stagneert, dan kan de export van gedroogd zuiveringsslib vanuit Nederland voor hoofdgebruik als brandstof in de knel komen. In dat geval mag verwacht worden dat het slib uit Nederland op korte termijn wordt verdrongen door het slibaanbod uit het ontvangende land, temeer daar langdurige contracten voor afzet als secundaire brandstof worden belemmerd doordat exportvergunningen elk jaar opnieuw moeten worden aangevraagd bij het Ministerie van VROM.

ACCEPTATIE ZUIVERINGSSLIB VOOR LANDBOUWKUNDIGE TOEPASSING

Acceptatie per land

De afzetmogelijkheden van het zuiveringsslib worden niet alleen bepaald door wet- en regelgeving. Ook de markt speelt een belangrijke rol. Ook al zou de afzet van communaal zuiveringsslib in de landbouw volgens de wet zijn toegestaan, dan wordt de afzet nog altijd bepaald door de mate van acceptatie door de agrarische sector, die in de diverse landen zeer verschillend kan zijn.

In sommige Europese landen of regio's, zoals Nederland en Vlaanderen, is de discussie gevoerd en wordt zuiveringsslib niet meer toegepast in de landbouw. In sommige landen is de discussie nagenoeg voorbij. In Denemarken zijn de regels aangescherpt, terwijl in Engeland een overeenkomst is gesloten tussen de waterschappen en belanghebbenden. De boeren in Engeland ondersteunen de agrarische toepassing. In Zweden gaat de discussie in de richting van niet meer toepassen in de landbouw. In Duitsland leek landbouwkundige toepassing in landelijk gebied bij voorkeur te worden toegepast, maar onlangs zijn berichten verschenen om toepassing in de landbouw te beëindigen.

Noord Europa lijkt in het algemeen strengere regels te (gaan) hanteren in vergelijking met Zuid Europa.

Acceptatie door belanghebbenden

Het is duidelijk dat slibproducenten naar mogelijkheden zoeken om het zuiveringsslib tegen een zo laag mogelijk bedrag af te zetten binnen de wettelijke regels.

Boeren hebben belang bij organische meststoffen tegen een zo laag mogelijk tarief. Vanwege de afnemers van de agrarische producten, voornamelijk industrie en detailhandel die bepaalde kwaliteitscriteria nastreven (imago), kunnen boeren gedwongen worden om het gebruik van zuiveringsslib te beëindigen.

Economische factoren komen daarmee tegenover kwaliteit en veiligheid te staan, die op hun beurt weer invloed ondervinden van de politiek. Een belangrijke factor die in de politieke discussie over landbouwkundige toepassing een rol speelt is het gebrek aan kennis en informatie over de invloed van de kwaliteit van het zuiveringsslib op het milieu, de voedselkringloop en de gezondheid van mens en dier.

Bevordering van landbouwkundige toepassing

De ontwikkeling van de landbouwkundige toepassing van zuiveringsslib is vooral afhankelijk van de mogelijkheden om de kwaliteit en het vertrouwen in de slibkwaliteit te verbeteren.

Dit vergt inspanning om verontreiniging van het slib zoveel mogelijk te voorkomen en vergt een verbetering van de slibbehandeling en een gedegen monitoring van de slibkwaliteit. Hulpmiddelen daarbij kunnen zijn om de communicatie over de kwaliteit en gebruik van zuiveringsslib te verbeteren en verwerkingsprocessen te verbeteren en te certificeren.

STORTEN

De op 16 juni 1999 gepubliceerde Richtlijn 1999/31/EG betreffende het storten van afvalstoffen heeft in Nederland geleid tot een stortverbod voor zuiveringsslib. Maar ook in de omliggende landen zoals Duitsland en Engeland heeft dit geleid tot het afkondigen van stortverboden voor zuiveringsslib na 2004/05 (in Duitsland is per 1 juni 2005 een stortverbod ingegaan voor onbehandeld afval, waaronder mechanisch ontwaterd zuiveringsslib). Dit zal tot gevolg hebben dat in deze landen, waar op dit moment nog relatief veel zuiveringsslib wordt gestort, een ander slibbeleid zal worden gevoerd.

Op dit moment wordt onder meer vanuit Nederland thermisch gedroogd zuiveringsslib als secundaire brandstof afgezet bij elektriciteitscentrales en de cementindustrie in Duitsland. Het stortverbod zal naar verwachting zijn weerslag hebben op de Nederlandse export van gedroogd zuiveringsslib. Het is de vraag of er voldoende verwerkingscapaciteit in Nederland vergund is om dit op te vangen.

EXPORT

De Europese Commissie heeft op 30 juni 2003 een voorstel voor wijziging van de EVOA gepubliceerd (COM(2003)379). Dit voorstel is gedaan om de EVOA in overeenstemming te brengen met het gewijzigde OESO-verdrag C (2001) 107 en om diverse wensen vanuit de praktijk in de EVOA op te nemen. De Commissie heeft ook van de gelegenheid gebruik gemaakt om de opzet van de EVOA volledig te wijzigen.

Belangrijkste wijzigingsvoorstel is het aantal procedures te verlagen tot twee. De oranje en de rode lijst worden samengevoegd tot één en alle kennisgevingen moeten voortaan via de bevoegde autoriteit van verzending verlopen. Verder wordt voorgesteld de maximum termijn van de overbrengingsperiode te schrappen en wordt het insturen van de verklaring van verwerking verlengd tot één jaar. Als een land van uitvoer voldoende milieuverantwoorde capaciteit voor nuttige toepassing heeft, kan de afvalexport geweigerd worden.

3.2.2 NATIONAAL BELEID

Landelijk afvalbeheersplan (LAP)

In het milieueffectrapport voor de opstelling van het Landelijk afvalbeheersplan (LAP) zijn verwerkingsalternatieven voor communaal zuiveringsslib met elkaar vergeleken met behulp van een LCA. De volgende alternatieven zijn in de vergelijking betrokken:

- Verbranden (SVI);
- Meestoken in een AVI;
- Biologisch drogen en meestoken gedroogd slib in een E-centrale;
- Biologisch drogen en meestoken gedroogd slib in een cementoven;
- Thermisch drogen en meestoken gedroogd slib in een E-centrale;
- Thermisch drogen en meestoken gedroogd slib in een cementoven;
- Natte oxidatie;
- Vergassen en bijstook synthesegas in een E-centrale;
- Pyrolyse/smelten.

Om een zo hoogwaardig mogelijk afvalbeheer te bereiken, zijn in de sectorplannen van het LAP de minimumstandaarden opgenomen. De minimumstandaard geeft de minimale hoogwaardigheid aan van de be-/verwerking van een bepaalde afvalstof of categorie van afvalstoffen en is bedoeld om te voorkomen dat afvalstoffen laagwaardiger worden be-/verwerkt dan wenselijk is.

In het sectorplan voor zuiveringsslib, dat deel uitmaakt van het LAP, is aangegeven dat de minimumstandaard voor verwerking van het zuiveringsslib afkomstig van RWZI's en AWZI's thermisch verwerken is, al dan niet na voordrogen.

Gelet op de resultaten van het MER houdt de geformuleerde minimumstandaard in dat verbranding in verschillende typen installaties en al dan niet in combinatie met biologische danwel thermische voordroging is toegestaan, evenals vergassen gevolgd door nuttige toepassing van het verkregen gas. Natte oxidatie en smelten/pyrolyse zijn, op basis van de op dit moment beschikbare gegevens (MER-LAP), niet zonder meer toegestaan.

Het overall energetisch rendement van thermische verwerking van onbewerkt zuiveringsslib is beperkt. Storten leidt tot aanzienlijke emissies van methaan, ruimtebeslag etc. en scoort daarom, milieuhygiënisch gezien, aanzienlijk slechter. Het beleid is erop gericht het verlenen van vergunningen voor het drogen of composteren van zuiveringsslib als voorbehandeling voor het storten te beëindigen.

De wijze van verwerking in het buitenland is in een aantal gevallen laagwaardiger dan de Nederlandse minimumstandaard. Op grond van het zelfvoorzieningsbeginsel wordt de uitvoer ten behoeve van storten in beginsel niet toegestaan.

BESLUIT VERBRANDING AFVALSTOFFEN (BVA)

Zoals aangegeven in paragraaf 3.2.1 is in maart 2004 het Besluit verbranden afvalstoffen (BVA) van kracht geworden, waarmee de Richtlijn 2000/76/EG van het Europese Parlement en de Raad van de Europese Unie van 4 december 2000 betreffende de verbranding van afval (Pb EG L332) in de Nederlandse wetgeving is geïmplementeerd.

Momenteel is er nog discussie in Nederland, in hoeverre het BVA een volledige invulling geeft van de IPPC-richtlijn). Mogelijk wordt het BVA in de komende jaren nog bijgesteld.

TOEPASSING GEDROOGD ZUIVERINGSSLIB IN CEMENTOVENS

Gedroogd zuiveringsslib kan als een secundaire brandstof worden toegepast voor de productie van cement. Dit wordt in de praktijk gebracht door de enige cementfabriek in Nederland, namelijk van de ENCI in Maastricht. Zolang de bijgemengde hoeveelheid gedroogd zuiveringsslib beperkt blijft, kan de ENCI voldoen aan de in 1998 door de provincie afgegeven vergunning. Daarbij is kwik het meest kritische element.

Daar de AVI's aan strengere emissie-eisen zijn verbonden heeft de toenmalige minister Pronk op aandringen van de Vereniging van Afvalverwerkers (VVAV) de emissie-eis voor kwik voor de cementindustrie aangescherpt van 0,05 mg/Nm³ tot 0,01 mg/Nm³ in het ontwerp "Besluit verbranden afvalstoffen" (BVA). Dit zou tot strengere emissie-eisen leiden voor de ENCI bij de aanvraag van een nieuwe vergunning.

Door deze strenge emissiegrenswaarde zou de in het Landelijk afvalbeheersplan als meest hygiënisch verantwoord genoemde verwerking van zuiveringsslib, namelijk in de cementoven, vrijwel onmogelijk worden gemaakt. De hoeveelheid zuiveringsslib die ingezet zou kunnen worden, zou aanmerkelijk minder zijn dan de maximale hoeveelheid van 100.000 ton/jaar die in de huidige vergunning van ENCI wordt toegestaan.

Om deze verwerking van 100.000 ton/jaar aan zuiveringsslib niet te frustreren, is in het BVA de grenswaarde voor kwik weer verruimd tot 0,05 mg/Nm³. De norm wordt daarmee op het niveau gebracht van de Europese richtlijnen voor de verbranding van afval. Daarbij is tussen vertegenwoordigers van het Ministerie van VROM en ENCI op 18 september 2002 afgesproken dat ENCI uiterlijk binnen een tijdvak van 2,5 jaar vanaf die datum, zal aangeven wat de werkelijke uitworp van kwik is en welke maatregelen het bedrijf gaat treffen om de uitworp beneden de op basis van de grenswaarde van 0,05 mg/m³ berekende emissievracht van 125 kg per jaar te krijgen.

Daarmee werd de weg geopend voor het meestoken van gedroogd zuiveringsslib in cementovens. De verwerkingscapaciteit is echter beperkt vanwege de beperkte productiecapaciteit van cement in Nederland en voor de toekomst onzeker, omdat is aangekondigd dat de productie van klinker bij de ENCI wordt stopgezet.

VERWERKING VERBRANDINGSRESTEN VAN ZUIVERINGSSLIB

Bij de thermische conversie van zuiveringsslib (bijvoorbeeld bij verbranden) wordt onderscheid gemaakt in de navolgende reststoffen:

- bedas: zand en asresten afkomstig uit het wervelbed. Dit materiaal wordt periodiek vervangen waarbij het vervuilde zandbed wordt afgezet of nuttig toegepast, bijvoorbeeld als steunlaag op een stortplaats;
- vlieg-as: verbrandingsrestanten die met de rookgassen uit de verbrandingsruimte worden

- afgevoerd en daaruit worden afgescheiden. Deze stoffen kunnen nuttig worden toegepast als asfaltvulstof in de wegenbouw en als vulmateriaal in Duitse zoutmijnen (versatzbau);
- rookgasreinigingsresidu (RGR): in de rookgasreiniging ontstaan diverse residuen afhankelijk van de uitvoering hiervan. Voorbeelden van deze residuen zijn indampzout/filterkoek en beladen adsorbens (al dan niet opgemengd met kalk). Vanwege het kwikgehalte van deze residuen is nuttige toepassing moeilijk. Afhankelijk van de uitvoering van de rookgasreiniging worden deze reststoffen geïmmobiliseerd, gecontroleerd gestort, toegepast in Duitse zoutmijnen en/of verbrand. In sommige situaties kan het kwik worden teruggewonnen;
 - bodemas: (alleen ingeval van meestoken in een AVI) de grove as die na verbranding uit de verbrandingsruimte vrijkomt. Het wordt volledig nuttig toegepast in de wegenbouw, als funderingsmateriaal onder asfalt.

De in het LAP opgenomen minimumstandaard voor SVI-bedas en SVI-vliegas is nuttig toepassen in de vorm van materiaalhergebruik. Dit valt doorgaans onder het Bouwstoffenbesluit dat met ingang van 1 juli 1999 in werking is getreden.

De bouwstoffen worden in vier kwaliteitscategorieën ingedeeld, gebaseerd op de aanwezigheid van verontreinigende stoffen in de bouwstof en/of de uitloogbaarheid van verontreinigende stoffen.

De minimumstandaard voor het be- en verwerken van actief kool (SVI-rookgasreinigingsresidu) is verwijderen door verbranden in een DTO voorafgegaan door terugwinning van kwik. De minimumstandaard voor het be- en verwerken van filterkoek (SVI-rookgasreinigingsresidu) is verwijderen door storten op een C₂- danwel een C₃-stortplaats.

In- en uitvoer van SVI-reststoffen ten behoeve van verwijdering is in beginsel niet toegestaan. Met het oog op nuttige toepassing staan SVI-reststoffen op de oranje lijst van de EVOA. De uitvoer van vliegas en rookgasreinigingsresidu naar Duitsland voor berging in de mijnbouw (versatzbau), zoals momenteel toegepast door SNB en DRSH, is toegestaan.

NB: er is een verschil tussen de verschillende bergingen in de mijnbouw. Bij "versatzbau" heeft de mijn de plicht om de mijn op te vullen om verzakking van de mijn tegen te gaan. Deze toepassing is erkend als een nuttige toepassing. Als de mijn gevuld wordt zonder dat er een opvulplicht is, is er sprake van een "untertagedeponie" en is dit geen nuttige toepassing. Daarnaast is er nog een verschil tussen kolenmijnen en zoutmijnen. Zoutmijnen hebben het voordeel dat deze gegarandeerd droog zijn en er gegarandeerd dus geen metalen naar het grondwater kunnen lekken. De reststoffen van SNB en DRSH gaan naar een zoutmijn met een versatz-plicht.

3.3 CONSEQUENTIES VOOR DE KEUZE VAN DE SLIBKETEN

De wet- en regelgeving legt de volgende randvoorwaarden op aan de keuze van de slibketen-scenario's:

- toepassing van communaal zuiveringsslib in de landbouw is in Nederland niet meer mogelijk gezien de samenstelling (met name vanwege de zware metalen);
- storten van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib is in Nederland niet meer toegestaan (met name vanwege het gehalte aan organisch (brandbare) stof);

- het Nederlandse beleid is erop gericht om geen vergunningen meer af te geven voor export van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib;
- in- en uitvoer van zuiveringsslib ten behoeve van storten is in beginsel niet toegestaan. In- en uitvoer voor verbranden als vorm van verwijdering is toegestaan, zolang invoer niet leidt tot verdringing van Nederlands slib;
- de mogelijkheid bestaat dat de normering voor toepassing in de landbouw in het buitenland ruimer wordt gesteld dan in Nederland;
- export van gedroogd zuiveringsslib als secundaire brandstof naar buurlanden wordt in de toekomst mogelijk verdrongen door het slib van het ontvangende buurland als gevolg van de veranderingen in wet- en regelgeving. De normering voor toepassing in de landbouw kan hierop van invloed zijn;
- natte oxidatie en smelten/pyrolyse voldoen, op basis van de op dit moment beschikbare gegevens (MER-LAP), niet aan de minimumstandaard;
- het beleid is erop gericht het verlenen van vergunningen voor het drogen of composteren van zuiveringsslib als voorbehandeling voor het storten te beëindigen.

De te kiezen slibketenscenario's zullen aan de boven aangegeven consequenties worden getoetst om vast te stellen in hoeverre de keten voldoet aan de bestaande en te verwachten wet- en regelgeving.

De afzetmogelijkheden van het slib worden niet alleen bepaald door wet- en regelgeving. Ook de markt speelt een belangrijke rol.

Ook al zou de afzet van communaal zuiveringsslib in de landbouw volgens de wet zijn toegestaan, dan nog wordt de afzet nog altijd bepaald door de mate van acceptatie door de agrarische sector, die in de diverse landen zeer verschillend kan zijn.

4

SLIBKETEN MODELLERING

4.1 DOELSTELLING EN KADER VAN DE SLIBKETENMODELLERING

4.1.1 DOELSTELLING

Het modelleren van de slibketen heeft tot doel om vóóraf geselecteerde ketenscenario's op een gelijkwaardige, kwantitatieve wijze te kunnen vergelijken, waarbij de aspecten energie, CO₂-emissie en verwerkingskosten centraal staan. Op grond van een nadere analyse van de berekeningsresultaten wordt de vertaalslag gemaakt naar het slibbeleid.

4.1.2 KADER VAN HET REKENMODEL

Bij de uitwerking van het rekenmodel is het volgende algemene kader gehanteerd:

- het rekenmodel voor de water- en sliblijn is als volgt begrensd:
 - voor de waterlijn vanaf het influent van de RWZI (d.w.z. geen inzameling en transport van afvalwater) tot en met het effluent van de RWZI;
 - voor de sliblijn vanaf het afscheiden van slib in de RWZI tot en met de mechanische ontwatering.
- het rekenmodel voor de slibeindverwerking is als volgt begrensd:
 - transport vanaf de mechanische ontwatering naar de slibeindverwerking tot aan de mineralisatie (verwerking tot as) van het slib;
- er dient te worden voldaan aan de wet- en regelgeving en van toepassing zijnde richtlijnen met betrekking tot de kwaliteit van het effluent van de afvalwaterzuivering en de emissies naar de overige compartimenten als gevolg van de bewerkingen in de sliblijn en bij de slibeindverwerking;
- de studie is locatieafhankelijk, dat wil zeggen dat de lokale milieubelasting van een verwerkingsketen (zoals de aspecten geluid, ruimtebeslag etc.) slechts in algemene zin kwalitatief wordt beoordeeld;
- het transport van het ingedikte, uitgegiste en/of mechanisch ontwaterde zuiverings-slib wordt in de uitwerking betrokken¹, op basis van standaard afstanden;
- de studie heeft betrekking op de huidige generatie RWZI's voor vergaande biologische N- en P-verwijdering en mogelijke toekomstige configuraties van de RWZI, zoals inpassing van een membraanbioreactor, zandfiltratie of een vergaande fysisch-chemische voorbehandeling.

Het rekenmodel is ontwikkeld voor het vergelijken van slibketenscenario's waarbij wordt uitgegaan van een nieuw te realiseren slib/waterlijn en een nieuw te realiseren slibeindverwerking. Het rekenmodel is niet primair bestemd om een bestaande situatie van RWZI's en de slibeindverwerking te simuleren, hoewel dit met enige aanpassing van het model wel op een bestaande situatie zou kunnen worden toegesneden.

¹ Aangenomen wordt dat de invloed van het transport gering is. Deze aanname wordt onderbouwd in §5.6.

4.1.3 BEOOGDE RESULTATEN

In het rekenmodel dat wordt uitgewerkt tot de mineralisatie van het slib, worden de volgende parameters meegenomen:

- massabalansen voor diverse slibketens;
- energie (deze parameter wordt als hoofdlijn aangehouden bij het doorrekenen van de scenario's of denklijnen);
- emissies van de volgende stoffen naar de compartimenten water (water- en sliblijnmodel), lucht en reststoffen (slibeindverwerkingsmodel):
- CO₂ (van fossiele herkomst);
- fosfaat;
- zwavel (of SO₂);
- Hg en Cd;
- overige zware metalen;
- Fe en Al.

Gezien het feit dat de emissies naar lucht mede afhankelijk zijn van de specifieke situatie, betreft het hier indicatieve standaardemissies. Voor nadere informatie wordt verwezen naar hoofdstuk 7.

- kosten worden in het rekenmodel meegenomen op basis van kengetallen. De resultaten zijn uitsluitend bestemd voor de onderlinge vergelijking van de verschillende keten-scenario's.

4.2 UITGANGSPUNTEN

4.2.1 ALGEMEEN

Voor de uitwerking van de slibketenstudie is het van belang om vóóraf de uitgangspunten ten behoeve van het rekenmodel éénduidig vast te stellen. Sommige uitgangspunten zijn uitsluitend bestemd om het aantal door te rekenen varianten in deze studie te beperken en kunnen in een later stadium door de gebruiker van het rekenmodel worden gevarieerd. Een voorbeeld daarvan is de samenstelling van het afvalwater. Andere uitgangspunten zijn bedoeld om de omvang van het model te beperken. Een voorbeeld daarvan zijn de schaalgroottes van de RWZI's en de slibeindverwerking op grond waarvan kengetallen voor de kostenberekening zijn gebaseerd.

In de volgende paragrafen zijn de gehanteerde sets uitgangspunten weergegeven, inclusief een korte toelichting. Het betreft:

- de samenstelling van het te behandelen afvalwater;
- de eisen met betrekking tot de emissies naar water via het effluent van de RWZI;
- de schaalgrootte van de RWZI;
- de eisen met betrekking tot de emissies naar lucht ten behoeve van de slibeindverwerking van het mechanisch ontwaterde zuiveringsslib;
- de schaalgrootte van de slibeindverwerking;
- het transport. Met het oog op de kosten, de minimale schaalgroottes voor het bedrijven van bepaalde verwerkingssystemen en de bijbehorende standaard transportafstanden voor het slib, zijn keuzes gemaakt;
- energie en hulpstoffen. Het betreft met name de definitie van energie, de te gebruiken grootheden, de mee te nemen energieaspecten, de standaard samenstellingen, de proces-eigenschappen, de systeemgrenzen etc.;
- financiële uitgangspunten.

Opgemerkt wordt dat enkele in dit rapport gebruikte termen nader gedefinieerd zijn op de pagina met definities, voorafgaand aan de bijlagen.

4.2.2 SAMENSTELLING AFVALWATER

Er is uitgegaan van “standaard”-huishoudelijk afvalwater.

De karakteristieken voor dit afvalwater zijn ontleend aan gegevens over 1994 en 1995 van de milieustatistieken van het CBS² en redelijk in overeenstemming met eerder onderzoek³. Voor zwevende stof is uitgegaan van een verhouding van ZS : BZV van 1,00⁴.

Voor de debieten is uitgegaan van veronderstellingen zoals samengevat in tabel 4.2.1. Deze gegevens zijn eerder geformuleerd in een rapport voor de CIW⁵. De in tabel 4.2.2 gehanteerde i.e. is gebaseerd op een totaal zuurstofverbruik (TZV) van 136 g/d. TZV is hierbij een parameter voor de som van de zuurstofbindende stoffen:

$$TZV = CZV + 4,57 \times N_{kj}$$

Andere definities voor i.e. worden in dit rapport niet gebruikt.

TABEL 4.2.1

AFVALWATERKARAKTERISTIEKEN

Parameter	eenheid	waarde
debiet:		
DWA	m ³ /d per i.e.	0,120
RWA	m ³ /h per i.e.	0,044
totale hoeveelheid	m ³ /d per i.e.	0,183
concentraties:		
CZV	mg/l	523
BZV	mg/l	191
N _{kj}	mg/l	48
P _{tot}	mg/l	8
ZS	mg/l	191

TABEL 4.2.2

AFVALWATERKARAKTERISTIEKEN VOOR EEN RWZI VAN 100.000 I.E.

Parameter	eenheid	100.000 i.e.
debieten		
DWA	m ³ /h	750
DWA	m ³ /d	12.000
RWA	m ³ /h	4.400
totale aanvoer	m ³ /d	18.320
vrachten		
CZV	kg/d	9.581
BZV	kg/d	3.499
N _{kj}	kg/d	879
P _{TOT}	kg/d	147
ZS	kg/d	3.499

² CBS 1997. Milieustatistieken - Waterkwaliteitsbeheer, deel b: zuivering van afvalwater 1995. CBS, Voorburg/Heerlen, 1997.

³ STOWA 1998. Huishoudelijk afvalwater: berekening van de zuurstofvraag. STOWA, Utrecht.

⁴ Gegevens van Hoogheemraadschap van Rijnland geven een gemiddelde van 0,92 ± 0,21 voor 26 RWZI's over 1999-2003. De indruk bestaat dat de verhouding in het oosten van Nederland wat hoger is.

⁵ Commissie Integraal Waterbeheer 1999. Financiering Zuiveringsbeheer -Voorstel voor een nieuwe heffingsmaatstaf en bouwsteen in de discussie rond de financiering van het waterbeheer. CIW, Den Haag, 1999.

ONTWERPTEMPERATUREN

Voor het ontwerp van een RWZI is de ontwerptemperatuur één van de belangrijkste parameters. Voor het ontwerp van de RWZI wordt uitgegaan van een minimumtemperatuur van 11°C. Dit is de temperatuur die bepalend is voor de te handhaven sibleeftijd.

Voor de berekening van de gemiddelde slibproductie en de benodigde beluchtingsenergie wordt uitgegaan van een gemiddelde temperatuur van 14°C. De te installeren beluchtingcapaciteit wordt berekend voor een maximale temperatuur van 20°C.

ZWAVEL

Voor zwavel in zuiveringsslib wordt uitgegaan van de gemiddelde samenstelling zoals opgenomen in het Landelijk afval beheerplan, zijnde 10 g S/kg slib d.s. In uitgegist slib kan het zwavelgehalte lager zijn, afhankelijk van de mate waarin het gebonden is (bijvoorbeeld door FeCl₃-dosering) tijdens de vergisting. Indien er geen binding van zwavel plaatsvindt, kan het verlies aan zwavel via het biogas circa 0,5 – 1,0 g S/kg slib d.s. zijn.

4.2.3 EFFLUENTEISEN

Voor de ontwikkeling van het rekenmodel wordt er vanuit gegaan dat er voldaan dient te worden aan de wet- en regelgeving en de van toepassing zijnde richtlijnen met betrekking tot de kwaliteit van het effluent van de afvalwaterzuivering, zijnde de effluenteisen die behoren bij het Lozingenbesluit Wvo Stedelijk Afvalwater.

De effluenteisen zijn, samen met de vrachten, bepalend voor de uitkomst van de verdeling van de beluchte ruimte in anoxische en aërobe ruimte, voor de anaërobe ruimte in geval van biologische P-verwijdering, of de extra slibproductie in geval van chemische P-verwijdering. De effluenteisen voor BZV en zwevend stof hebben in wezen geen invloed op de dimensionering van de RWZI. In tabel 4.2.3 zijn de effluenteisen weergegeven.

TABEL 4.2.3 EFFLUENTEISEN VOLGENS AMVB, DE VERONDERSTELDE GEMIDDELTE EFFLUENTKwaliteit, EN EVENTUELE STRENGERE EFFLUENTEISEN, ZOALS DIE MOGELIJK IN DE TOEKOMST GELDIG KUNNEN WORDEN

Parameter	Eenheid	Huidige eis	Gemiddelde	Toekomstige eis
BZV5 (20°C) *	mg/l	20	5	5
CZV *	mg/l	125	75	75
N-totaal **	mg/l	10	10	2,2
P-totaal ***	mg/l	1	1	0,15
Zwevende stof *	mg/l	30	10	5

* : 95%-percentiel-waarde. De maximale waarden zijn CZV 250 mg/l, BZV 40 mg/l en OB 75 mg/l;

** : als kalenderjaargemiddelde;

*** : als voortschrijdend gemiddelde van 10 etmaalmonsters.

4.2.4 SCHAALGROOTTE WATER- EN SLIBLIJN

Om het aantal door te rekenen varianten te beperken is een keuze gemaakt voor de schaalgrootte van de RWZI. Dit is met name van belang in verband met de kostenberekening.

Op grond van de onderstaande tabel 4.2.4 waarin de grootte van de Nederlandse RWZI's nader is aangegeven, is gekozen voor een ontwerpgrootte van 100.000 i.e.

TABEL 4.2.4 GEGEVENS VAN HET CBS OVER RWZI'S¹

Capaciteitsklasse	aantal RWZI's	aantal i.e. behandeld	gemiddelde ontwerpbelasting ¹
i.e. à 54 g BZV	-	i.e. x 1.000	i.e. à 54 g BZV ²⁾
< 5.000	66	163	2.500
5.000 - 10.000	62	432	7.000
10.000 - 25.000	87	1.364	15.700
25.000 - 50.000	71	2.478	35.000
50.000 - 100.000	71	4.982	70.200
100.000 - 250.000	47	6.698	142.500
> 250.000	19	8.262	434.800

1: Berekend door deling van het totaal aantal i.e. door het aantal RWZI's in de klasse;

2: 1 i.e. à 54 g BZV komt overeen met 1,54 i.e. van 136 gTZV/jaar.

Voor de ontwerpgrootte van 100.000 i.e. zijn de influentgegevens en de effluenteisen samengevat in tabel 4.2.5. Merk op dat een installatie van 100.000 i.e. à 136 g TZV een 'wettelijke' ontwerpgrootte heeft van circa 70.000 i.e. (à 54 gr. BZV) en daarmee dus niet hoeft te voldoen aan een effluenteis van 1 mg P/l.

TABEL 4.2.5 SAMENVATTING VAN DE INFLUENTGEGEVENS EN EFFLUENTEISEN

parameter	eenheid	influent	effluent
debieten			
DWA	m ³ /h	1.200	-
RWA	m ³ /h	4.400	-
totale aanvoer	m ³ /h	18.320	-
concentraties			
CZV	mg/l	523	125
BZV	mg/l	191	20
Nkj	mg/l	48	3,5
Nitraat	mg/l	0	-
totaal-N	mg/l	48	10
P-totaal	mg/l	8	2
OB	mg/l	191	30

4.2.5 EISEN T.A.V. DE EMISSIE NAAR LUCHT

Voor de ontwikkeling van het rekenmodel wordt er vanuit gegaan dat er voldaan dient te worden aan de wet- en regelgeving en de van toepassing zijnde richtlijnen op de emissies naar de overige compartimenten als gevolg van de bewerkingen in de sliblijn.

EMISSIE NAAR LUCHT

In de huidige situatie moeten afvalverbrandingsinstallaties voldoen aan de emissie-eisen opgenomen in het Besluit verbranden afvalstoffen (BVA). De hierin opgenomen emissie-eisen hebben zowel betrekking op zelfstandige slibverbrandingsinstallaties als op meeverbrandingsinstallaties. Meeverbrandingsinstallaties zijn technische eenheden die in hoofdzaak bestemd zijn voor de opwekking van energie of de vervaardiging van producten en waarin afvalstoffen of de producten van thermische behandeling als brandstof worden gebruikt of waarin afvalstoffen thermisch worden behandeld ten behoeve van verwijdering.

Voor de geur- en stofemissie wordt uitgegaan van de Nederlandse emissie Richtlijn (NeR).

4.2.6 SCHAALGROOTTE SLIBEINDVERWERKING

Ook bij de slibeindverwerkingsinstallaties is een keuze gedaan voor de schaalgrootte. Deze wordt echter meer bepaald door de systeemkeuze. Verbrandingsinstallaties hebben uit oogpunt van bedrijfsvoering een hogere verwerkingscapaciteit in vergelijking met biologische of thermische droogtechnieken. Voor de eindverwerkingsinstallaties wordt in dit onderzoek uitgegaan van de volgende twee schaalgroottes:

- 20.000 ton d.s./jaar voor biologische drooginstallaties, thermische drooginstallaties, natte oxidatie en meestoken in een AVI;
- 100.000 ton d.s./jaar voor verbrandingsinstallaties (beschikbaarheid van 7.500 uur per jaar).

4.2.7 SLIBTRANSPORT

Een toename van de schaalgrootte van de RWZI's heeft doorgaans weinig invloed op de transportafstanden voor mechanisch ontwaterd zuiveringsslib. Bij veel waterschappen met kleine RWZI's zijn de mechanische ontwateringsinstallaties reeds gecentraliseerd opgesteld.

Een toename van de schaalgrootte van de slibeindverwerking heeft doorgaans wel een toename van de transportafstanden voor mechanisch ontwaterd zuiveringsslib tot gevolg. Voor de verschillende schaalgroottes wordt uitgegaan van de volgende gemiddelde transportafstanden (enkele reis):

- voor ingedikt slib naar een centrale vergisting 10 km/vracht van 30 m³ (enkele reis);
- voor ingedikt (uitgelist) slib naar een centrale ontwatering 10 km/vracht van 30 m³ (enkele reis);
- voor mechanisch ontwaterd slib naar een eindverwerker met een capaciteit van respectievelijk:
 - 20.000 ton d.s./jaar: 45 km/vracht van 30 ton;
 - 100.000 ton d.s./jaar: 75 km/vracht van 30 ton.

4.2.8 BEGRENZING M.B.T. ENERGIE EN HULPSTOFFEN

ALGEMEEN

Het rekenmodel is primair gebaseerd op de massabalans en de energiebalans van de inrichting, begrensd door het hekwerk rondom de inrichting. Met behulp van deze balansen worden de besparing op primaire energiedragers, de CO₂-emissie (van fossiele herkomst), de stikstofbalans, de samenstelling van het effluent, het gebruik aan hulpstoffen, de samenstelling van eindproducten/reststoffen en de globale kosten berekend.

Daarnaast wordt het transport (buiten de inrichting) in de berekeningen meegenomen voor zover het transport van ingedikt slib of mechanisch ontwaterd slib betreft.

WAARDERING BIOGAS

Bij de RWZI's met een slibgisting wordt in het rekenmodel uitgegaan van een continue productie van biogas en een continue benutting in één of meer gasmotoren (vullast gedurende een bedrijfstijd van 8760 uur per jaar). Het methaangehalte van het biogas is gesteld op 65% en het elektrisch rendement van de gasmotor is gesteld op 35%. De door de gasmotor geleverde warmte (rendement van 50%) wordt benut voor het op temperatuur houden van de gistingstank. Met verdere benutting van de vrijkomende warmte is geen rekening gehouden. Er wordt bij de berekening van de energieproductie geen rekening gehouden met eventueel affakkelen van biogas.

ENERGETISCHE BEOORDELING

De energetische beoordeling van de diverse uitgewerkte alternatieven vindt plaats op basis van het criterium:

- verbruik van, dan wel besparing op de fossiele brandstof aardgas, gemeten in kJ_{prim} per kg d.s.

Gezien de wijze waarop energiedragers in Nederland normaliter worden omgezet in elektriciteit, worden energieverbruiken en -opbrengsten van andere energiedragers omgerekend op basis van de volgende uitgangspunten:

- 1 m_0^3 aardgas heeft een onderste verbrandingswaarde van 31,65 MJ;
- elektriciteit wordt geacht te zijn opgewekt uit aardgas met een netto elektrisch rendement van circa 50%
- voor brandstoffen op basis van biomassa of afval (zoals houtchips, RDF e.d.) wordt uitgegaan van een netto elektrisch rendement van circa 25%.

De aangegeven netto rendementen worden in de praktijk niet altijd gehaald, maar in andere gevallen overschreden. De aangegeven waarden kunnen als een goede algemene richtlijn worden gehanteerd.

WAARDERING LAGEDRUK STOOM

In bepaalde gevallen is een verdere energetische optimalisering mogelijk door toepassing van warmtekrachtkoppeling en levering van restwarmte aan of door een nabijgelegen procesinstallatie van derden, bijvoorbeeld een elektriciteitscentrale. Daarbij wordt gebruik gemaakt van lagedruk aftapstoom ("restwarmte") bij een drukniveau van circa 10 bar als energiedrager voor het droogproces. Met deze "restwarmte" wordt het slib gedroogd tot een granulaat met een drogestofgehalte van circa 90%, maar dit gaat wel ten koste van enige elektriciteitsproductie.

De waarde van deze lagedruk stoom, uitgedrukt als primaire energie, is als volgt meegenomen in het rekenmodel voor de slibeindverwerking:

De waardering (in MJ_{prim}) is het product van een factor maal de enthalpie van de benodigde stoom. De genoemde factor is weer afhankelijk van de temperatuur van de benodigde stoom. Bij een temperatuur van minder dan 60°C is de waarde nul. Bij een temperatuur hoger dan 60°C is de factor gelijk aan het resultaat van de volgende functie:

$$1,35 * (T - 40) / (T + 273) + 0,05 \text{ waarbij } T \text{ gelijk is aan de temperatuur in } ^\circ\text{C};$$

Warmte op een laag temperatuurniveau ($<60^\circ\text{C}$), zoals vrijkomend bij de condensatie van droogdampen bij thermische slibdroging wordt gewaardeerd op 20% van de energie-inhoud.

INZET GEDROOGD SLIB

Bij de inzet van gedroogd zuiveringsslib als secundaire brandstof in een cementoven is in het rekenmodel voor de slibeindverwerking aangenomen dat daarbij 100% primaire brandstof wordt vervangen en dat deze primaire brandstof aardgas is. Aardgas kan met een rendement van 50% in elektriciteit worden omgezet.

Bij de inzet van gedroogd zuiveringsslib in een kolencentrale is in het rekenmodel aangenomen dat het gedroogde slib steenkool vervangt. Steenkool wordt in een kolencentrale met een rendement van circa 40% omgezet in elektriciteit. Dat is in de huidige situatie een reëel rendement. Weliswaar zijn er ontwikkelingen voor rendementsverhoging (bijvoorbeeld door

toepassing van stoomtemperaturen van 700°C), maar toepassing daarvan is op dit moment nog onzeker.

De met het rekenmodel van de slibeindverwerking berekende exergetische score voor de inzet van gedroogd slib in een kolencentrale bedraagt $40/50 = 80\%$ van die in een cementoven. Verdringing van een GJ steenkool levert dus exergetisch minder op dan een GJ aardgas, maar de prijs van steenkool is ook aanzienlijk lager dan die van een GJ aardgas.

Daarbij moet worden opgemerkt dat door de inzet van andere alternatieve brandstoffen in de klinkerproductie er bij ENCI al bespaard wordt op traditionele brandstoffen zoals aardgas en bruinkool. Het is dus niet aannemelijk dat er door de inzet van gedroogd zuiveringsslib uitsluitend op aardgas wordt bespaard. Bovendien is de verwerkingscapaciteit van de cementovens beperkt. Een groot scala van secundaire brandstoffen kan langs deze weg worden ingezet. De toepassing van gedroogd zuiveringsslib kan door andere secundaire brandstoffen worden verdrongen.

INVLOEDEN VAN BUITENAF

Invloeden van buitenaf (van buiten het hekwerk) worden verwaarloosd zolang de invloed op alle berekeningsresultaten minder is dan 5%. Enkele voorbeelden:

- bij natte oxidatie van zuiveringsslib wordt zuivere zuurstof gebruikt. Zuivere zuurstof wordt beschouwd als een energiedrager die eventueel ter plaatse kan worden aangeemaakt. De daarbij gebruikte hoeveelheid fossiele brandstof maakt meer dan 5% uit van de totale hoeveelheid fossiele energie die door het proces wordt gebruikt en wordt derhalve in de berekening meegenomen;
- bij het biologisch drogen van zuiveringsslib worden houtchips gebruikt. Met deze houtchips kan het gebruik van een hoeveelheid fossiele energie worden vermeden die groter kan zijn dan 5% op het totale verbruik aan fossiele energie en wordt derhalve in de berekening meegenomen;
- bij de ontwatering van zuiveringsslib kan ijzerchloride worden toegepast. De hoeveelheid ijzer kan meer dan 5% uitmaken op de totale hoeveelheid ijzer aanwezig in de reststoffen en wordt derhalve meegenomen in de berekening;
- actief kool kan gebruikt worden als adsorptiemateriaal in de rookgasreiniging van een slibverbrandingsinstallatie. Dit filter zal periodiek worden vervangen. Indien de hoeveelheid verbruikt actief kool minder is dan 5% van het totaal aan te verwijderen reststoffen en ook minder dan 5% invloed heeft op de concentraties van de onderzochte componenten in de reststoffen, dan wordt dit materiaal niet verder in de berekening meegenomen.

Alle stoffen die van buitenaf in de slibketen worden gebruikt zijn separaat in beschouwing genomen en zonodig zijn enkele globale berekeningen uitgevoerd.

4.2.9 FINANCIËLE UITGANGSPUNTEN

De kosten worden in het rekenmodel meegenomen op basis van kengetallen (zie tabel 4.2.6), zowel voor de investering als voor de exploitatie. Zij zijn primair bedoeld om verschillen aan te geven in scenario's en te kiezen slibketens. De berekende kosten zijn slechts indicatief en bedoeld ter onderlinge vergelijking met andere varianten.

TABEL 4.2.6

AANGEHOUDEN FINANCIËLE KENGETALLEN

Parameter:	Aangenomen waarde ¹⁾	eenheid
rente	5	% per jaar
afschrijving grond	Geen ²⁾	
afschrijvingstermijn bouwkundig	30	jaar
afschrijvingstermijn mechanisch	15	jaar
afschrijvingstermijn mobiele bedrijfsmiddelen	5	jaar
onderhoud bouwkundig	1,5	% v/d investering
onderhoud mechanisch/elektrisch	6	% v/d investering
onderhoud mobiele bedrijfsmiddelen	7,5	% v/d investering
personeelskosten (per fte)		
- management	€ 90.000,-	per jaar
- technische dienst	€ 70.000,-	per jaar
- personeel dagdienst	€ 50.000,-	per jaar
- personeel ploegendienst	€ 65.000,-	per jaar
elektriciteitsverbruik	€ 0,05	per kWh
terugleververgoeding elektriciteit	€ 0,03	per kWh
diesel	€ 0,90	per liter
aardgas	€ 0,17	per m ³
stoom (155°C, 5 bar)	€ 5,37	per GJ
water	€ 1,00	per m ³
houtchips	€ 11,50	per m ³
zuivere zuurstof	€ 40,-	per ton, incl. BTW
FeCl ₃ (40 gew.%)	€ 173,-	per ton, incl. BTW
NaOH	€ 250,-	per ton, incl. BTW
polymeer	€ 6,-	per kg actief
zuiveringsheffing	€ 50,-	per v.e.
(stort)kosten reststoffen ³⁾	€ 50,-	per ton
stortkosten chemisch afval	€ 200,-	per ton
verzekering (als % van de investering)	0,35%	
diversen (als % van de exploitatiekosten)	5%	

1) bedragen inclusief BTW;

2) rekenkundig wordt een afschrijvingstermijn van 1000 jaar gehanteerd;

3) vooralsnog is een bedrag gehanteerd van € 50,- per ton voor alle geproduceerde reststoffen.

Deze kosten zijn echter sterk afhankelijk van specifieke (markt-)omstandigheden

4.3 BESCHRIJVING OPZET VAN HET MODEL

4.3.1 ALGEMEEN

Bij de ontwikkeling en toepassing van het rekenmodel is eerst één slibketenscenario geheel uitgewerkt, alvorens is overgegaan tot de uitwerking van de overige scenario's. Voor dit eerste scenario is uitgegaan van de waterzuiverings- en slibverwerkingsroute waarlangs de meeste slibdrogestof in Nederland wordt verwerkt. Daarbij werd niet alleen een systeem, maar ook een schaalgrootte gekozen. Dit scenario komt later in deze studie overeen met RWZI-variant 8. Het rekenmodel is aan de hand van dit scenario gevalideerd, waarvan de uitwerking is opgenomen in bijlage VIII.

Het ontwikkelde numerieke rekenmodel bestaat in feite uit twee samengevoegde spreadsheet modellen:

1. het rekenmodel voor de water- en sliblijn;
2. het rekenmodel voor de slibeindverwerking.

Ad. 1 Dit model berekent voor diverse uitvoeringsvormen van RWZI's de verschillende samenstellingen van het slib na de RWZI. Uitvoerresultaten zijn onder meer drogestofgehalte en organisch stofgehalte.

Ad. 2 Dit model heeft als ingangsparameters de uitvoerresultaten van het rekenmodel voor de water- en sliblijn. In dit model worden de verschillende processen om (mechanisch) ontwa-terd slib te verwerken energetisch en kostentechnisch doorgerekend.

MODELSHEMA

In bijlage XI is een schematisch overzicht gegeven van de structuur van het rekenmodel, waaruit inzichtelijk is, welke verschillende varianten zijn uitgewerkt.

4.3.1 BESCHRIJVING VAN DE ELEMENTEN VAN HET WATER- EN SLIBLIJNMODEL

Het water- en sliblijnmodel kan worden toegepast om vanuit een bekende afvalwatersamenstelling en -hoeveelheid een RWZI te dimensioneren. De uitvoer van het model bestaat uit, naast een opgave van de gehanteerde effluentsamenstelling, een overzicht van de verwachte slibproducties, energieverbruiken en exploitatiekosten.

Voor het uitvoeren van de berekeningen is een groot aantal parameters nodig. Voor veel van deze waarden is een defaultwaarde ingevoerd, waarvan indien gewenst, kan worden afgeweken. De voornaamste in te voeren gegevens betreffen:

- afvalwaterkarakteristieken;
- interne stromen;
- temperatuur;
- effluenteisen.

Het model dient te worden gebruikt vanuit Excel. De Excel-worksheet bevat verschillende tabbladen die vernoemd zijn naar het betreffende procesonderdeel van de zuivering. De volgende elementen zijn in het model opgenomen:

- Waterlijn
 - Voorbezinking
 - Anaërobe ruimte
 - Gecombineerde nitrificatie en denitrificatieruimte

- Nabezinking
- Membraanbioreactor
- Zandfiltratie
- Sliblijn
 - Indikking
 - Slibgisting
 - Na-indikking
 - Slibontwatering
 - Slibopslag
 - Slibtransport
- Overig
 - Retourstromen
 - Luchtbehandeling
- Ondersteunend
 - Invoerblad
 - Eindoverzicht
 - Kostenoverzicht
 - Herhaling invoergegevens
 - Eenheidsprijzen
 - Additionele berekeningen
 - Data over pompen, blowers en centrifuges

Per tabblad wordt het betreffende onderdeel gedimensioneerd. Berekeningen omvatten dimensies van het betreffende onderdeel, verbruiken van energie en chemicaliën, slibproductie en de samenstelling van de water- of slibstroom, zoals deze het onderdeel verlaat. De kosten worden per onderdeel aan de hand van eenheidsprijzen berekend en zijn uitgesplitst in civiele kosten en werktuigbouwkundige kosten.

Het uiteindelijke resultaat is een gezuiverd afvalwater met een bepaalde –vooraf opgegeven– effluentkwaliteit en een slibproductie die hoort bij het gekozen systeem. De slibproductie kan afzonderlijk worden voorzien van eigenschappen die niet of nauwelijks uit de waterlijn zijn te berekenen, zoals het gehalte aan zware metalen en dergelijke. De investeringskosten in de water- en sliblijn worden berekend en aan de hand van de uitgevoerde berekeningen wordt een schatting gemaakt van de verbruikte chemicaliën, de verbruikte en/of geproduceerde energie, en de daarbij behorende kosten.

4.3.3 BESCHRIJVING VAN DE ELEMENTEN VAN HET SLIBEINDVERWERKINGSMODEL

Het rekenmodel voor de slibeindverwerking kan worden toegepast om vanuit een bekende slibsamenstelling en –hoeveelheid een eindverwerking energetisch en economisch door te rekenen. Als invoer voor het model kan gebruik worden gemaakt van de berekeningsresultaten afkomstig van het water- en sliblijnmodel. Met het rekenmodel kan de slibeindverwerking worden doorgerekend voor verschillende slibsamenstellingen afkomstig van verschillende RWZI varianten om daarmee volledige slibketens energetisch en economisch met elkaar te kunnen vergelijken.

Het model is opgebouwd uit de volgende tabbladen:

- Legenda;
- Uitgangspunten;
- Totaal overzicht;

- Tabel energie;
- Overzicht;
- Resultaten RWZI model;
- Stoomcondities;
- Vaste constanten;

Vervolgens zijn er voor elke gemodelleerde slibeindverwerkingstechniek twee tabbladen opgenomen:

- één rekenblad;
- één blad met een processchema met de resultaten van het voorgaande rekenblad.

Het betreft in totaal 12 slibeindverwerkingstechnieken en nog drie specifieke varianten op de techniek “indirect drogen met restwarmte, gevolgd door verbranding in een wervelbed”. De varianten houden verband met de energieoptimalisatieberekeningen die nader toegelicht zijn in hoofdstuk 6.

De primaire resultaten zijn zowel in overzichtstabellen als grafisch weergegeven.

Daarna volgen de economische berekeningen. Naast een invoerblad met algemene economische uitgangspunten die voor alle slibeindverwerkingstechnieken gelden, zijn twee tabbladen opgenomen die specifiek geldig zijn voor de betreffende slibeindverwerkingstechniek:

- één tabblad met de specifieke economische uitgangspunten;
- één tabblad met de economische berekening.

De eindresultaten van de economische berekeningen van alle slibeindverwerkingstechnieken worden weergegeven in een overzichtstabel.

4.3.4 BEREKENING VAN DE EMISSIES BIJ DE SLIBEINDVERWERKING

Voor het berekenen van de emissies van de slibeindverwerking wordt uitgegaan van een samenstelling van het mechanisch ontwaterde zuiveringsslib zoals weergegeven op het tabblad “Uitgangspunten”. Aangenomen is dat de analyses van het mechanisch ontwaterde zuiveringsslib een nauwkeuriger beeld geven van de samenstelling, in vergelijking met een berekende samenstelling van het zuiveringsslib op basis van de gedefinieerde samenstelling van het influent.

Per slibeindverwerkingstechniek wordt in het model op basis van kengetallen berekend welke hoeveelheid van een bepaalde stof via de rookgassen naar de lucht wordt geëmitteerd en welke hoeveelheid van diezelfde stof achterblijft in de asrest. Deze balans hoeft niet direct sluitend te zijn, omdat een deel van de stof via het rookgasreinigingsresidu kan worden afgevoerd.

5

RESULTATEN MODELBEREKENINGEN

5.1 INLEIDING

Rekening houdend met de doelstelling van de slibketenstudie zijn ketenscenario's samengesteld door combinatie van de navolgende keuzes:

Keuzes voor de water- en sliblijn:

- wel of geen voorbezinking;
- wel of geen slibgisting.
- biologische of chemische P-verwijdering;

Combinatie van de drie keuzes in de water- en sliblijn heeft geleid tot (2^3) acht verschillende configuraties van afvalwaterzuiveringsinstallaties.

Er zijn tevens 12 slibeindverwerkingstechnieken (zie paragraaf 5.2.2) gekozen. De combinatie van de keuzes resulteert in ($8 \times 12 =$) 96 varianten die met elkaar zijn vergeleken. Nadere analyse van deze vergelijking heeft geleid tot een selectie van ketenscenario's die in aanmerking komen voor een verdergaande optimalisatie. In hoofdstuk 6 en bijlage VII is een nadere beschrijving gegeven van de onderzochte optimalisaties.

5.2 KEUZE VAN DE VARIANTEN

5.2.1 VARIANTEN WATER- EN SLIBLIJN

De varianten voor de water- en sliblijn zijn samengevat in tabel 5.2.1, waarin tevens de retourstromen voor stikstof per variant zijn gegeven.

TABEL 5.2.1 SAMENVATTING VAN DE VARIANTEN. 0: AFWEZIG; 1: AANWEZIG; RETOUR VAN STIKSTOF IS AANGEGEVEN IN PROCENTEN VAN DE INFLUENTVRACHT

variant	voorbezinking	slibgisting	bioP	retour
1	0	0	0	0,9
2	1	0	0	1,8
3	0	1	0	9,2
4	1	1	0	11,2
5	0	0	1	0,9
6	1	0	1	1,8
7	0	1	1	10,6
8	1	1	1	12,2

Variant 1 wordt voor de berekeningen als referentie aangehouden.

Bij de keuze van de varianten zijn de volgende defaultwaarden relevant:

- Voor de rendementen van de voorbezinking zijn aangehouden:
 - CZV en BZV: 30 %;
 - N_{tot} : 8%;
 - P_{tot} : 5 %;
 - zwevende stof: 50 %.
- bij (aanvullende) ijzerdosering is uitgegaan van een netto Me/P verhouding (dat is de Me/P verhouding voor de nog te verwijderen P) van 2,1 (dit komt bij chemische P-verwijdering neer op een bruto Me/P verhouding van ongeveer 1,0 en bij biologische P-verwijdering op een Me/P verhouding van 0-0,2);
- verblijftijd van 25 dagen en temperatuur 30°C voor slibgisting;
- slibontwatering met een centrifuge met een ontwateringsresultaat van 25% droge stof bij toepassing van slibgisting én voorbezinking, van 24% bij toepassing van slibgisting óf voorbezinking, en van 21% bij het ontbreken van beide.

De slibhoeveelheid die door één RWZI van 100.000 i.e. wordt geproduceerd is bij lange na niet voldoende voor de verwerkingscapaciteit van één slibeindverwerkingsinstallatie. Het aantal RWZI's dat nodig is om de aan te leveren hoeveelheid slib te produceren, verschilt per water- en sliblijnvariant. Bij variant 2 produceert een RWZI van 100.000 i.e volgens de modellering 4.794 kg d.s./dag en bij variant 8 is dit slechts 3.005 kg d.s./dag. Dit houdt in dat een slibeindverwerkingsinstallatie bij variant 2 het slib van minder RWZI's (minder i.e.'s) kan verwerken in vergelijking met variant 8. Voor het later vergelijkbaar maken van de slibverwerkingskosten, zullen de kosten per i.e. weer zichtbaar gemaakt moeten worden.

Bij een aantal slibeindverwerkingstechnieken (o.a. biologische droging en thermische slibdroging) komt een grote hoeveelheid stikstof vrij. In diverse praktijksituaties wordt deze afvalwaterstroom als retourstroom behandeld in de naastgelegen RWZI. In het rekenmodel wordt de behandeling van deze retourstroom toegerekend aan de slibeindverwerking. Dat wil zeggen dat de slibeindverwerking wordt voorzien van een zuiveringsinstallatie waarin het procesafvalwater wordt behandeld alvorens het wordt geloosd op oppervlaktewater. Ook het energieverbruik van de zuivering, berekend op basis van kengetallen, wordt toegeerekend aan de slibeindverwerking.

5.2.2 VARIANTEN SLIBEINDVERWERKING

In paragraaf 5.3 zijn de berekeningsresultaten gegeven van de acht varianten die voor de water- en sliblijn zijn uitgewerkt. De berekende slibhoeveelheden en samenstellingen zijn overgenomen in het rekenmodel van de slibeindverwerking. Het gaat daarbij vooral om de hoeveelheid geproduceerde slibdrogestof per jaar, het drogestofgehalte en de organische fractie in het slib.

Bij de slibeindverwerking zijn vier basis verwerkingstechnieken onderscheiden, namelijk:

- Verbranden;
- Thermisch drogen;
- Biologisch drogen;
- Natte oxidatie.

Bij verbranden is nog onderscheid gemaakt in monoverbranding en co-verbranding in een afvalverbrandingsinstallatie. Bij thermisch drogen is nog onderscheid gemaakt in indirect (met restwarmte) en direct (met primaire energie/aardgas) thermisch drogen (voor een toelichting op de thermische droogvarianten wordt verwezen naar het kader aan het slot van deze paragraaf).

De droogtechnieken hebben nog een vervolgstap voor het afzetten van het gedroogde slib. De reststoffen (compost en thermisch gedroogd slibgranulaat) kunnen bij een elektriciteitscentrale of bij een cementoven worden afgezet als een secundaire brandstof, of worden gestort. Bij het meestoken in de cementoven vervangt de reststof daarbij per thermische eenheid de primaire brandstof (aardgas) voor 100%. Storten is in Nederland niet meer toegestaan, maar deze slibketen is nog wel als variant meegenomen.

Natte oxidatie is wel als techniek meegenomen, maar wordt in Nederland inmiddels niet meer toegepast.

Aldus zijn de volgende varianten ontstaan voor de slibeindverwerking:

1. indirecte droging met restwarmte en verbranding in een wervelbed;
2. natte oxidatie;
3. meeverbranden in een AVI;
4. biologische droging, gevolgd door meestoken;
5. direct thermisch drogen met aardgas, gevolgd door meestoken;
6. indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door meestoken;
7. biologische droging, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
8. directe thermische droging met aardgas, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
9. indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
10. biologische droging, gevolgd door storten;
11. directe thermische droging met aardgas, gevolgd door storten;
12. indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door storten.

Subvarianten op indirecte droging met restwarmte en verbranding in een wervelbed:

13. indirecte droging en verbranding in een wervelbed + tegendrukturbine;
14. indirecte droging en verbranding in een wervelbed + condensatieturbine;
15. indirecte droging en verbranding in een wervelbed + dampcompressie.

De eerste 12 varianten voor de slibeindverwerking zijn bij de corresponderende schaalgrootte, uitgedrukt in ton d.s./jaar, gecombineerd met de acht varianten van de waterlijn. Deze 96 varianten zijn vergeleken met het oog op energie, investeringskosten en verwerkingskosten. De drie laatstgenoemde varianten (13 t/m 15) zijn meegenomen in verband met het energieoptimalisatieonderzoek dat in hoofdstuk 6 nader is toegelicht.

NIET MEEGENOMEN VARIANTEN

Opgemerkt wordt dat technieken als damprecompressie en twee-trapsdroging voor het thermisch drogen van zuiveringsslib niet als volwaardige variant zijn opgenomen, omdat er nog onvoldoende ervaring mee is. Dergelijke droogtechnieken worden in de chemische procestechniek en de levensmiddelenstechniek wel toegepast, maar zuiveringsslib vertoont een aantal lastige eigenschappen (aanwezigheid van vezels, schuimvorming, vervuiling, aanwezigheid van vetten en eiwitten, wisselende samenstelling etc.), waardoor de toepassing problemen oplevert. Gezien het in theorie goede “energetische” potentieel van deze technieken is damprecompressie wel als subvariant meegenomen en zijn beide technieken in het energieoptimalisatieonderzoek (zie hoofdstuk 6) betrokken.

Technieken als verglazing en vergassing zijn eveneens niet opgenomen vanwege de beperkte praktijkervaring met zuiveringsslib.

SCHAALGROOTTE

Zoals in paragraaf 4.2.6 is aangegeven, wordt voor deze studie uitgegaan van standaard schaalgroottes per slibeindverwerkingstechniek om het aantal varianten te beperken. De investeringen zijn geraamd op basis van de ontwerpcapaciteit (100%). De exploitatiekosten zijn berekend op basis van de werkelijk aangeleverde hoeveelheid slib waarvoor 92% van de ontwerpcapaciteit als defaultwaarde is aangenomen.

Toelichting op de terminologie van:

- **direct/indirect thermisch drogen**
- **drogen met primaire energie/met restwarmte**

Er bestaan in het kader van deze slibketenstudie diverse manieren om een aantal verschillende uitvoeringsvormen van thermisch drogen te onderscheiden:

- onder direct drogen wordt verstaan, de uitvoeringsvorm, waarbij een warmtedragend medium (normaliter hete (rook)gassen) rechtstreeks in contact komt met het te drogen zuiveringslib. De bij de droging gevormde droogdampen worden in het warmtedragend medium opgenomen;
- bij indirect drogen blijven het warmtedragend medium (meestal stoom, heet water of thermische olie) en het te drogen slib gescheiden door een (metalen) wand.

Voordeel van indirecte droging is, dat de gevormde (sterk geurende) droogdampen afzonderlijk kunnen worden gecondenseerd en daardoor eenvoudiger kunnen worden behandeld. Tweede voordeel is, dat de droging bij lagere temperaturen kan plaatsvinden, waardoor toepassing van restwarmte met een lagere temperatuur mogelijk is. Een nadeel van indirecte droging is de lastiger technische uitvoering, omdat de warmtegeleiding via een metalen wand gepaard gaat met vervuilingsverschijnselen (aanbakking) en slijtage.

Anderzijds kan onderscheid gemaakt worden tussen:

- drogen met primaire energie, bijvoorbeeld aardgas
- drogen met (laagwaardiger) restwarmte, bijvoorbeeld aftapstoom uit een stoomturbine;

Uit energetisch oogpunt verdient drogen met restwarmte de voorkeur. De mate van voorkeur wordt mede bepaald door de aard van de restwarmte (met name het temperatuurniveau).

Bij toepassing van primaire energie voor thermische droging van zuiveringslib wordt vaak directe droging toegepast. Bij indirecte droging zijn de mogelijkheden voor het toepassen van restwarmte eenvoudiger dan bij directe droging, met name vanwege de lagere droogtemperaturen. Daarbij moet echter opgemerkt worden dat er uitzonderingen bestaan. Ook bij directe droging kan restwarmte worden toegepast en er bestaan ook indirecte drogers die met aardgas worden bedreven.

Daarom wordt in deze rapportage zoveel mogelijk de volgende terminologie gehanteerd:

- enerzijds: droging met primaire energie of aardgasgestookt drogen (veelal met toepassing van directe droging);
- anderzijds: drogen met restwarmte (veelal met toepassing van indirecte droging);

In de in deze rapportage opgenomen tabellen en figuren wordt korthedshalve soms alleen directe en indirecte droging vermeld.

5.3 BEREKENINGSRESULTATEN WATER- EN SLIBLIJN

5.3.1 UITKOMSTEN VAN HET WATER- EN SLIBLIJNMODEL

In de navolgende tabellen wordt een aantal opvallende elementen van de met het model berekende uitkomsten voor de acht verschillende varianten van de water- en sliblijn samengevat. Een gedetailleerde presentatie van de resultaten van de berekeningen is in bijlage II opgenomen.

TABEL 5.3.1 SAMENVATTING VAN DE BELANGRIJKSTE ELEMENTEN VAN DE VERSCHILLENDE RWZI-VARIANTEN

element	eenheid	RWZI-variant							
		1	2	3	4	5	6	7	8
voorbezinking	1 / 0	0	1	0	1	0	1	0	1
slibgisting	1 / 0	0	0	1	1	0	0	1	1
bio-P	1 / 0	0	0	0	0	1	1	1	1
voorbezinking									
aantal	-	0	1	0	1	0	1	0	1
diameter	m	0	47,30	0	47,30	0	47,30	0	47,30
volumes									
anaëroob	m ³	0	0	0	0	1.200	1.200	1.200	1.200
aëroob	m ³	9.200	6.000	9.130	5.910	8.160	4.960	8.060	4.890
anoxisch	m ³	4.750	6.380	5.800	8.060	4.220	5.270	5.280	6.840
totaal	m ³	13.950	12.380	14.930	13.970	13.580	11.430	14.540	12.930
nabezinking									
aantal	-	4	4	4	4	4	4	4	4
diameter	m	38,90	38,90	38,90	38,90	38,90	38,90	38,90	38,90
slibindikking									
primair									
aantal	-	0	1	0	1	0	1	0	1
diameter	m		7,90		7,90		7,90		7,90
secundair									
aantal	-	2	2	2	2	2	2	2	2
capaciteit		50	50	50	50	50	25	50	25
slibgisting									
aantal	-	0	0	1	1	0	0	1	1
volume	m ³	-	-	1.349	1.816	-	-	1.345	1.812

Tabel 5.3.1 laat zien dat de aanwezigheid van voorbezinking een reductie in de volumes van de beluchte ruimten oplevert. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de geringere aanvoer van zwevende stof. Wel wordt het aandeel anoxische ruimte bij het toepassen van voorbezinking groter, doordat de BZV/N verhouding ongunstiger wordt.

De slibproducties zijn samengevat in tabel 5.3.2.

TABEL 5.3.2 SAMENVATTING VAN DE ONTWATERD SLIBPRODUCTIES IN DE VERSCHILLENDE VARIANTEN

element	eenheid	Variant							
		1	2	3	4	5	6	7	8
voorbezinking	1 / 0	0	1	0	1	0	1	0	1
slibgisting	1 / 0	0	0	1	1	0	0	1	1
bio-P	1 / 0	0	0	0	0	1	1	1	1
slibproductie									
drogestof ex ¹⁾	kg/d	4.094	4.107	3.151	2.772	4.089	4.101	3.141	2.762
chemisch slib	kg/d	465	687	471	696	0	220	0	244
totaal ds	kg/d	4.559	4.794	3.623	3.468	4.089	4.321	3.141	3.005
organisch	kg/d	2.866	2.973	1.937	1.656	2.862	2.969	1.931	1.650
asgehalte	%	37	38	47	52	30	31	39	45
volumestroom	m ³ /d	21,7	20,0	15,1	13,9	19,5	18,0	13,1	12,0
d.s.-gehalte	%	21	24	24	25	21	24	24	25
gehalte o.s.	%	63	62	53	48	70	69	61	55
E ²⁾ van o.s.	MJ/kg	19,9	22,7	19,9	19,9	19,9	22,8	19,9	19,9

1) exclusief chemisch slib;

2) E: energie-inhoud van organische stof

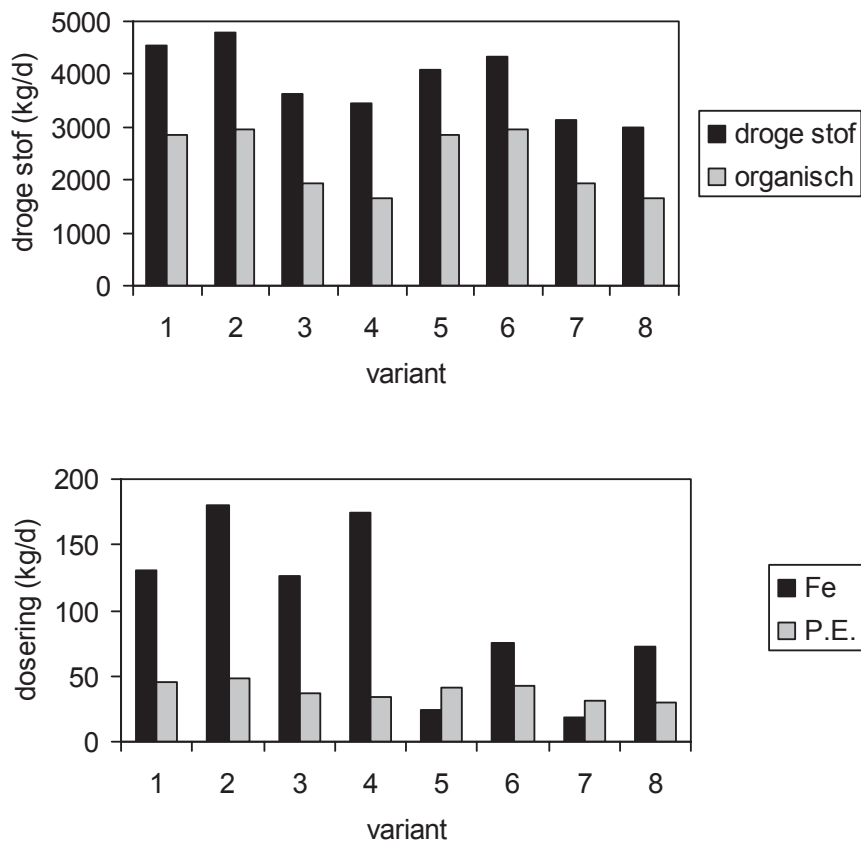
Tabel 5.3.2 laat onder meer het volgende zien:

- het toepassen van voorbezinking (variant 2) leidt tot een lichte stijging van de slibproductie t.o.v. de referentie (variant 1). Het voorbezonden slib ondergaat geen aërobe stabilisatie, maar wordt direct naar de slibindikker of slibgisting geleid. Hierdoor stijgt de slibproductie per i.e. en ook het organisch gehalte van de slibdrogestof. Bovendien is de hoeveelheid chemisch slib relatief hoog in verband met de precipitatie van fosfaat in de voorbezinktank afgestemd op een optimale CZV/P-verhouding in de beluchtingsruimte;
- door het toepassen van slibgisting (variant 3) neemt de productie van slibdrogestof sterk af (met circa 20%) ten opzichte van variant 1. Bovendien verbeteren in het algemeen de ontwaterings-eigenschappen van het slib, zodat ook een hoger droge stofgehalte kan worden gehaald na de mechanische ontwatering. De totale reductie van de slibvolumestroom ten opzichte van de referentie (RWZI variant 1) is ruim 30%;
- door het toepassen van voorbezinking in combinatie met slibgisting (variant 4) neemt de slibreductie nog verder toe tot circa 25% t.o.v. de referentie (variant 1);
- door biologische P-verwijdering vermindert de productie aan chemisch slib. Het combineren van voorbezinking, slibgisting en bio-P verwijdering (variant 8) leidt op grond van het rekenmodel (en de gestelde uitgangspunten) tot een slibreductie van circa 34% t.o.v. de referentie (variant 1).

Slibproductie en chemicaliënverbruik zijn grafisch samengevat in figuur 5.3.1. Volgens verwachting is de slibproductie in variant 1 zonder voorbezinking kleiner dan in de variant 2 met voorbezinking. De slibproductie van de varianten met slibgisting (3, 4, 7 en 8) is kleiner dan de varianten zonder slibgisting (1, 2, 5 en 6).

FIGUUR 5.3.1

SAMENVATTING VAN DE SLIBPRODUCTIE EN HET CHEMICALIËNVERBRUIK VOOR DE VERSCHILLENDE VARIANTEN



Het verschil in slibproductie tussen de verschillende varianten is aanzienlijk. Het energie- en chemicaliënverbruik is samengevat in tabel 5.3.3.

TABEL 5.3.3

VERBRUIK VAN CHEMICALIËN EN ENERGIE IN DE VERSCHILLENDE VARIANTEN. NIET GEBRUIKTE CHEMICALIËN ZIJN NIET WEERGEGEVEN

element	eenheid	Variant							
		1	2	3	4	5	6	7	8
voorbezinking	1 / 0	0	1	0	1	0	1	0	1
slibgisting	1 / 0	0	0	1	1	0	0	1	1
bio-P	1 / 0	0	0	0	0	1	1	1	1
chemicaliën									
FeCl ₃	kg Fe/d	130	181	126	175	25	75	19	72
P.E.	kg/d	46	48	36	35	41	43	31	30
energieverbruik									
beluchting	kW	185	169	199	185	190	171	206	189
totaal	kW	236	223	247	236	240	226	253	239
energieverbruik									
beluchting	MJ/kg ds ¹	7,01	6,09	9,49	9,22	8,03	6,84	11,33	10,87
totaal	MJ/kg ds ¹	8,95	8,04	11,78	11,76	10,14	9,04	13,92	13,74
biogasproductie	m ³ /d	0	0	675	1.136	0	0	673	1.134
energieproductie	kW	0	0	64	107	0	0	64	107
energieproductie	MJ/kg ds ¹	0	0	3,01	5,29	0	0	3,46	6,10

¹) teruggerekend naar primaire brandstof per kg d.s. geproduceerd slib.

Tabel 5.3.3 laat met het oog op het energieverbruik onder meer het volgende zien:

- bij de water- en sliblijn wordt onafhankelijk van de gekozen variant, 70 tot 80% van de energie gebruikt voor de beluchting;
- toepassing van voorbezinking leidt tot een aanzienlijke reductie in de volumes van de beluchtingsruimten (tabel 5.3.1) en een verlaging van de benodigde beluchtingsenergie;
- bij toepassing van slibgisting zonder voorbezinking (variant 3) wordt circa 26% van de hoeveelheid benodigde energie teruggewonnen. Bij toepassing van voorbezinking in combinatie met slibgisting (variant 4) wordt circa 45% teruggewonnen;
- door bio-P verwijdering wordt de inzet van chemicaliën en daarmee de productie van chemisch slib, vermeden. Minder slib verbruikt ook minder energie bij de slibeindverwerking.

Vanzelfsprekend is het verbruik van ijzer in varianten zonder biologische P-verwijdering (1 t/m 4) veel groter dan in varianten met biologische P-verwijdering (5 t/m 8).

De investerings- en exploitatiekosten zijn samengevat in tabel 5.3.4.

TABEL 5.3.4 SAMENVATTING VAN DE BEREKENDE KOSTEN VAN INVESTERING EN EXPLOITATIE

element	eenheid	Variant							
		1	2	3	4	5	6	7	8
voorbezinking	1 / 0	0	1	0	1	0	1	0	1
slibgisting	1 / 0	0	0	1	1	0	0	1	1
bio-P	1 / 0	0	0	0	0	1	1	1	1
investering									
civiel	x €1.000	17.615	18.040	18.565	19.235	17.220	17.540	18.155	18.735
W,E,M & R	x €1.000	12.820	13.475	13.220	14.035	12.500	12.950	12.855	13.540
totaal	x €1.000	30.875	32.010	32.240	33.780	30.175	30.995	31.475	32.795
exploitatie									
kapitaal	x €1.000/j	2.405	2.495	2.505	2.630	2.350	2.415	2.445	2.550
bedrijfsvoering									
onderhoud	x €1.000/j	473	494	489	517	461	476	476	500
energie	x €1.000/j	189	174	201	188	192	176	205	191
energie (gas)	x €1.000/j	0	0	-48	-80	0	0	-48	-80
chemicaliën									
FeCl ₃	x €1.000/j	46	70	47	70	0	23	0	26
PE	x €1.000/j	98	103	78	75	88	93	68	65
personeel	x €1.000/j	151	173	194	216	151	173	194	216
laboratorium	x €1.000/j	46	46	46	46	46	46	46	46
Rijksheffing	x €1.000/j	0	0	0	0	0	0	0	0
subtotaal	x €1.000/j	1.003	1.060	1.007	1.032	938	987	941	964
totaal	x €1.000/j	3.408	3.555	3.512	3.662	3.288	3.402	3.386	3.514
kosten per i.e.									
investering	€/i.e.	309	320	322	338	302	310	315	328
exploitatie	€/ie ⁻¹ .j ⁻¹	34,10	35,60	35,10	36,60	32,90	34,00	33,90	35,10

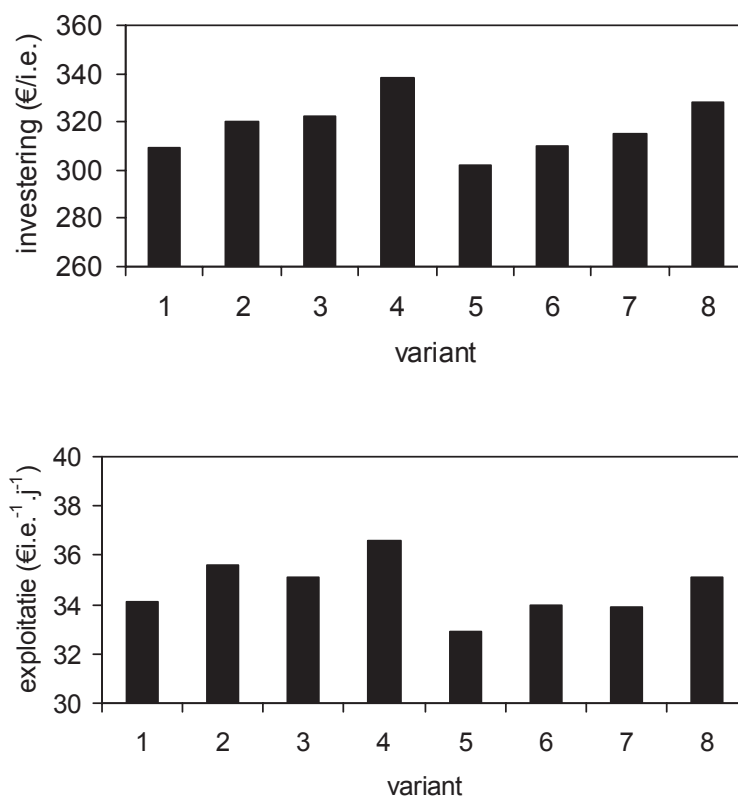
1) de in deze tabel berekende exploitatiekosten zijn exclusief slibeindverwerking.

Tabel 5.3.4 laat zien dat:

- de kosten voor energie circa 19% bedragen van de totale variabele exploitatielasten en circa 5 tot 6% van de totale exploitatielasten van de RWZI;
- de kosten voor de water- en sliblijn variëren van € 32,90 per i.e. (zonder voorbezinking, zonder slibgisting, met bio-P verwijdering) tot € 36,60 per i.e. (met voorbezinking, met slibgisting, zonder bio-P verwijdering).

De kosten van de verschillende varianten zijn grafisch samengevat in figuur 5.3.2. De verschillen tussen de varianten lijken groter dan ze in werkelijkheid zijn: de kosten voor de verwerking van het slib zijn namelijk nog niet opgevoerd. Deze zijn natuurlijk lager in varianten met een geringere slibproductie.

FIGUUR 5.3.2 INVESTERINGSKOSTEN (BOVEN) EN EXPLOITATIEKOSTEN (ONDER) PER I.E. VOOR DE VERSCHILLENDE VARIANTEN.



5.3.2 VERGELIJKING VAN DE VARIANTEN

In de tabellen 5.3.5 en 5.3.6 worden de gemiddelde investerings- en exploitatiekosten vergeleken van de varianten:

- met en zonder bio-P verwijdering;
- met en zonder voorbezinking;
- met en zonder slibgisting;
- met en zonder voorbezinking+slibgisting.

In de laatste kolom van de tabellen zijn ter illustratie ook de exploitatiekosten inclusief een indicatief bedrag voor de slibverwerkingskosten van €120,- per ton mechanisch ontwaterd slib opgenomen. Varianten met biologische P-verwijdering hebben 2,5 % lagere investeringskosten, 5,1 % lagere exploitatiekosten en er wordt vooral minder slib gevormd.

TABEL 5.3.5 VERGELIJKING VAN DE VERSCHILLENDE VARIANTEN IN DE WATER- EN SLIBLIJN

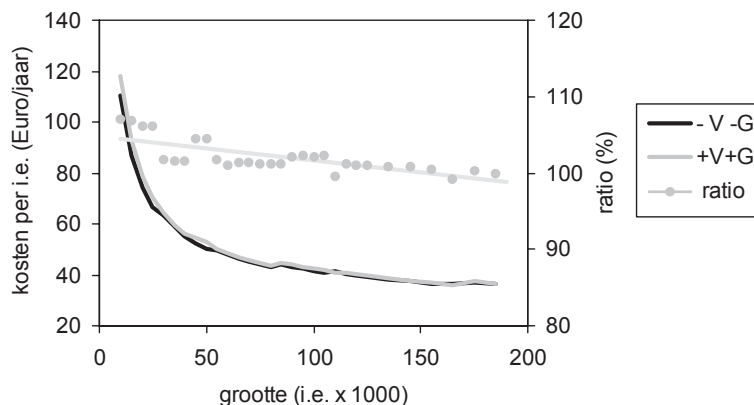
Varianten	nummers	gem. investering in €/i.e.	gem. exploitatie in €/i.e./j
zonder bio-P	1, 2, 3, 4	322	35.35
met bio-P	5, 6, 7, 8	314	33.98
verschil in %		-2,6	-3,9
zonder voorbezinking	1, 3, 5, 7	312	34.00
met voorbezinking	2, 4, 6, 8	324	35.33
verschil in %		3,8	3,9
zonder slibgisting	1, 2, 5, 6	310	34.15
met slibgisting	3, 4, 7, 8	326	35.18
verschil in %		5,0	3,0
zonder gisting / voorbezinking	1, 2, 3, 5, 6, 7	313	34.27
met gisting / voorbezinking	4, 8	333	35,85
verschil in %		6,4	4,6

1) deze tabel geeft een "tussenresultaat" van het rekenmodel van de water- en sliblijn.

Varianten met voorbezinking zijn iets duurder dan die zonder voorbezinking. Dat geldt zowel voor de investeringen als voor de exploitatie. Ook slibgisting is bij de gekozen grootte van de RWZI duurder dan het niet toepassen ervan. Rekening houdend met de lagere slibproductie blijken de verschillen in exploitatie marginaal te zijn. Dit geldt in dezelfde mate voor de combinatie van voorbezinking en slibgisting. Een deel van de verschillen in de kosten van de exploitatie komt op rekening van de aangenomen verbeterde ontwateringsgraad bij toepassing van voorbezinking en slibgisting.

Bij een grotere schaal van de RWZI (nu 100.000 i.e. à 136 g TZV, hetgeen niet zeer groot is) zal slibgisting iets gunstiger uitvallen. Het omslagpunt ligt -afhankelijk van de kosten van de eindverwerking van het slib- tussen 150.000 tot 200.000 i.e. Bij de exacte ligging van het omslagpunt spelen vanzelfsprekend vele andere kostenfactoren (kosten van personeel en energie, hoogte van de rente en dergelijke) ook een voorname rol. Een illustratief voorbeeld wordt gegeven in figuur 5.3.3.

FIGUUR 5.3.3 KOSTEN VAN DE ZUIVERING MET EN ZONDER VOORBEZINKING EN SLIBGISTING. DE KOSTEN ZIJN UITGEDRUKT IN JAARLIJKSE KOSTEN VOOR DE EXPLOITATIE PER I.E., INCLUSIEF SLIBVERWERKING. DE ONREGELMATIGHEID VAN DE VERHOUDING WORDT VEROORZAAKT DOOR OVERGANGEN IN HET AANTAL VOOR- EN NABEZINKERS, HET AANTAL STRATEN EN DERGELIJKE



5.4 BEREKENINGSRESULTATEN SLIBEINDVERWERKING

5.4.1 UITKOMSTEN VOOR DE SLIBEINDVERWERKING

Voor de eerste 12 eindverwerkingsvarianten zijn het energieverbruik, de energieopbrengst en het netto energieverbruik berekend, zowel uitgedrukt in primaire energie per ton droge stof ($\text{MJ}_{\text{prim.}}/\text{ton d.s.}$) als in primaire energie per inwoner equivalent ($\text{MJ}_{\text{prim.}}/\text{i.e.}$).

Voor deze berekening is gebruik gemaakt van de energetische modellering en de bijbehorende massa- en energiebalans. De resultaten zijn weergegeven in bijlage III. De processchema's met berekeningsresultaten zijn opgenomen in bijlage IV.

Voor de bijbehorende schaalgroottes (zie paragraaf 4.2.6) en een drogestofgehalte van 21% zijn per eindverwerkingsvariant de investeringskosten en de verwerkingskosten bepaald. In bijlage V is de raming van de investerings- en exploitatiekosten per variant nader aangegeven.

Per verwerkingstechniek is onder de specifieke uitgangspunten aangegeven, welke installatiegrootte als basis heeft gediend voor het ramen van de investeringskosten. Investeringskosten voor andere verwerkingscapaciteiten worden berekend op basis van de schaalfactoren die gehanteerd zijn voor de verschillende onderdelen van de investering (civiel, mechanisch/electrisch etc.).

Bijvoorbeeld:

Voor de verwerkingstechniek van indirecte droging met restwarmte en verbranding in een wervelbed, is de investering geraamd voor een installatie met een verwerkingscapaciteit van 28.000 ton d.s./jaar. De investering voor een installatie met een andere verwerkingscapaciteit is daarvan afgeleid met behulp van de schaalfactoren die ook op het blad van de specifieke uitgangspunten zijn weergegeven.

5.4.2 VERGELIJKING VAN DE VARIANTEN

In tabel 5.4.1 is een overzicht gegeven van het energieverbruik en de energieopbrengst van elke eindverwerkingsvariant, uitgedrukt in $\text{GJ}_{\text{prim.}}/\text{ton d.s.}$, uitgaande van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib met een drogestofgehalte van 21% en een organisch gehalte van 60%. In tabel 5.4.2 is een overzicht gegeven van het energieverbruik en de energieopbrengst van elke eindverwerkingsvariant, uitgedrukt in $\text{MJ}_{\text{prim.}}/\text{i.e.}$

Voor de gepresenteerde berekeningen in tabellen 5.4.1 en 5.4.2 is voor de water- en sliblijn uitgegaan van RWZI variant 1. Voor gedetailleerde berekeningsresultaten voor de andere varianten voor de water- en sliblijn wordt verwezen naar bijlage III.

In tabel 5.4.3 en 5.4.4 is een vergelijking opgenomen van de investeringskosten en de verwerkingskosten voor elke eindverwerkingsvariant, uitgaande van RWZI variant 1 en een slibdrogestofgehalte van 21%. Ontwerp- en verwerkingscapaciteiten van de slibeindverwerking die ten grondslag liggen aan de verschillende slibketens, zijn afgestemd op de gekozen standaard capaciteiten per techniek (zie ook paragraaf 4.2.6).

Voor een nadere detaillering wordt verwezen naar bijlage IV (procesberekeningen) en bijlage V (kostenberekeningen).

TABEL 5.4.1 OVERZICHT VAN DE NETTO PRIMAIRE ENERGIEBEHOEFTE OF -OVERSCHOT (G_{PRIM}/TON D.S.) OP BASIS VAN DE SLIBSAMENSTELLING ZOALS GEPRODUCEERD DOOR RWZI VARIANT 1 (ZONDER VOORBEZINKING, SLIBGISTING OF BIO-P VERWIJDERING).

Type rioolwaterzuivering: **1**

Per ton d.s.	Netto primaire energiebehoefte of -overschot [G _{PRIM} /ton d.s.]										Netto		CO ₂ -emissie [kg/ton d.s.]	
	Primair	Elektrisch	Stoom/ condensaat	Zuurstof/hout	Condensaat-behandeling	Secundair/ Elektrisch/ Stoom	Overschot	Tekort	Saldo [G _{PRIM} /ton d.s.]					
I Stand-alone slibverwerking														
1	Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	0	2.207	0	0	0	0	0	65	0	-2.144	0	-2.14	120,3
2	Nette oxidatie	760	2.210	0	2.885	14	636	0	0	0	-5.233	0	-5,23	293,6
II Afvalverbrandingsinstallatie														
3	Meeverbranden in een AVI	0	1.080	0	0	0	0	0	-56	0	-1.136	0	-1,14	63,7
III Elektriciteitscentrales														
4	Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	1.584	0	1.521	1	0	3.774	0	667	0	0	0,67	-37,4
5	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	11.394	1.800	0	0	2	0	10.385	0	0	-2.812	0	-2,81	157,7
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	0	2.160	5.793	0	2	0	10.452	763	3.259	0	0	3,26	-182,8
IV Cementovens														
7	Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	1.584	0	1.521	1	4.930	0	0	1.823	0	0	1,82	-102,3
8	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	10.401	1.800	0	0	2	12.410	0	0	206	0	0	0,21	-11,6
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	0	2.160	5.133	0	2	13.085	0	0	5.780	0	0	5,79	-324,8
VI Storten														
10	Biologische droging, storten	0	1.584	0	1.521	1	0	0	0	0	-3.107	0	-3,11	174,3
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	11.394	1.800	0	0	2	0	0	0	0	-13.197	0	-13,20	740,3
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	0	2.160	5.043	0	2	407	0	0	0	-6.799	0	-6,80	381,4
VI Varianten														
13	Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+tegenrotor turbine	0	2.207	559	0	2	0	2.999	0	231	0	0	0,23	-13,0
14	Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatturbine	0	2.562	0	0	2	0	2.766	0	191	0	0	0,19	-10,7
15	Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+dampprecompressie	0	2.635	0	0	2	0	3.138	0	501	0	0	0,50	-28,1

TABEL 5.4.2 OVERZICHT VAN DE NETTO PRIMAIRE ENERGIEBEHOEFTE OF -OVERSCHOT (MJ_{PRIM./L.E.}) OP BASIS VAN DE SLIBSAMENSTELLING ZOALS GEPRODUCEERD DOOR RWZI VARIANT 1 (ZONDER VOORBEZINKING, SLIBGISTING OF BIO-P VERWIJDERING).

	werkbare hoeveelheid in ton d.s./jaar				verbranden				biologisch drogen				matte oxidatie				CO ₂ emissie [kg/l.e.]
	Aantal i.e.s totaal		18.400		18.400		18.400		18.400		18.400		18.400		Netto		
	5.528/751		1.105.750		1.105.750		1.105.750		1.105.750		1.105.750		Saldo [MJ _{prim./l.e.}]				
Per i.e.																	
Netto primaire energiebehoefte of -overschot [MJ _{prim./l.e.}]																	
	Energieverbruiken				Energieopbrengst				Netto				CO ₂ emissie [kg/l.e.]				
	Primair	Elektrisch	Stoom/ condensaat	Zuurstof/hout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort	Saldo [MJ _{prim./l.e.}]						
I Standalone slibwerking																	
1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	0	37	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	-36	-36,67	2,0	
2 Natte oxidatie	13	37	0	48	0,2	11	0	0	0	0	0	0	0	-87	-87,08	4,9	
II Afvalverbrandingsinstallatie																	
3 Meeverbranden in een AVI	0	18	0	0	0,0	0	-1	0	0	0	0	0	0	-19	-18,91	1,1	
III Elektriciteitscentrales																	
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	26	0	25	0,0	0	63	0	0	0	0	0	0	11	11,09	-0,6	
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	190	30	0	0	0,0	0	173	0	0	0	0	0	0	-47	-46,79	2,6	
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	0	36	96	0	0,0	0	174	13	54	0	0	0	0	54	54,24	-3,0	
IV Cementoven																	
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	26	0	25	0,0	82	0	0	0	0	0	0	0	30	30,34	-1,7	
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	173	30	0	0	0,0	207	0	0	0	0	0	0	0	3	3,43	-0,2	
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	0	36	85	0	0,0	218	0	0	0	0	0	0	0	96	96,35	-5,4	
VI Storten																	
10 Biologische droging, storten	0	28	0	25	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-52	-51,70	2,9
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	190	30	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	-220	-219,60	12,3	
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	0	36	84	0	0,0	7	0	0	0	0	0	0	0	-113	-113,14	6,3	
VI Varianten																	
13 1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+legenturbine	0	37	9	0	0,0	0	50	0	0	0	0	0	0	4	3,84	-0,2	
14 2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatieturbine	0	43	0	0	0,0	0	46	0	0	0	0	0	0	3	3,18	-0,2	
15 3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+dampcompressie	0	44	0	0	0,0	0	52	0	0	0	0	0	0	8	8,33	-0,5	

TABEL 5.4.3 OVERZICHT INVESTERINGSKOSTEN (X € 1.000,-, INCL. BTW) BIJ AANGEGEVEN ONTWERPCAPACITEIT (NAUWKEURIGHEID +/-20%) UITGAANDE VAN SLIBSAMENSTELLING VARIANT 1

	Indirecte dr. + verbr. wervelbed (100.000 t d.s./j)	Natte oxidatie (20.000 t d.s./j)	Meeverbranden in AVI (20.000 t d.s./j)	Biol. dr. + meestoken (20.000 t d.s./j)	Direct therm. dr. + meestoken (20.000 t d.s./j)	Indirect therm. dr. + meestoken (20.000 t d.s./j)
Grond	1.181	352	250	868	423	423
Engineering	8.585	2.819	1.500	60	1.634	1.634
Investering bouwkundig	19.502	6.183	4.000	10.372	5.531	5.531
Investering mech/elec.	60.098	21.530	12.000	5.586	10.011	10.011
Deelstroombehandeling	1.720	1.880	0	225	385	385
Inv. mob. bedrijfsmiddelen	0	0	0	806	0	0
Bouwbegeleiding	5.366	1.691	1.000	60	1.226	1.226
Leges/verg.	644	245	200	28	204	204
Fin./bouwrente	4.769	1.641	948	889	951	951
Onvoorzien	15.022	5.169	2.985	2.800	2.997	2.997
B.T.W.	22.209	7.887	4.348	4.122	4.439	4.439
Totaal	139.096	49.397	27.230	25.814	27.801	27.801

TABEL 5.4.3 (VERVOLG)

	Biol. dr. + verbr. in cementoven (20.000 t d.s./j)	Direct therm. dr. + cementoven (20.000 t d.s./j)	Indir. therm. dr. + cementoven (20.000 t d.s./j)	Biol. droging + storten	Direct therm. dr. + storten	Indirect therm. dr. + storten (20.000 t d.s./j)
Grond	868	423	423	868	423	423
Engineering	60	1.634	1.634	60	1.634	1.634
Investering bouwkundig	10.372	5.531	5.531	10.372	5.531	5.531
Investering mech/elec.	5.586	10.011	10.011	5.586	10.011	10.011
Deelstroombehandeling	225	385	385	225	385	385
Inv. mob.	806	0	0	806	0	0
Bouwbegeleiding	60	1.226	1.226	60	1.226	1.226
Leges/verg.	28	204	204	28	204	204
Fin./bouwrente	889	951	951	889	951	951
Onvoorzien	2.800	2.997	2.997	2.800	2.997	2.997
B.T.W.	4.122	4.389	4.439	4.122	4.439	4.389
Totaal	25.814	27.801	27.801	25.814	27.801	27.801

**TABEL 5.4.4 OVERZICHT VAN DE KOSTEN VAN SLIBEINDVERWERKING BIJ AANGEGEVEN VERWERKINGSCAPACITEIT (IN € PER TON D.S.)
UITGAANDE VAN SLIBSAMENSTELLING VARIANT 1**

	Indirecte dr. + verbr. wervelbed (92.000 t d.s./j)	Natte oxidatie (18.400 t d.s./j)	Meeverbranden in AVI (18.400 t d.s./j)	Biol. dr. + meestoken (18.400 t d.s./j)	Direct therm. dr. + meestoken (18.400 t d.s./j)	Indirect therm. dr. + meestoken (18.400 t d.s./j)
Kapitaalslasten	119,18	214,16	116,47	107,70	115,62	115,62
Onderhoud	42,37	75,25	42,39	29,96	37,15	37,15
Personeelskosten	22,77	83,97	16,44	33,70	38,59	38,59
Overige vaste kosten	3,35	5,81	3,33	3,20	3,27	3,27
Energie	19,37	24,73	20,12	29,62	75,56	26,20
Water	1,19	0,95	1,19	0,01	2,00	2,00
Chemicaliën	19,05	12,29	19,05	-	-	-
Reststoffen	20,57	38,28	29,55	55,00	50,00	50,00
Opbrengsten	-0,13	-	0,23	-	-	-
Deelstroombehandeling	10,43	97,20	-	12,51	10,51	10,51
Totaal	258,16	552,63	248,77	271,69	332,69	283,34

De kosten van natte oxidatie betreffen de situatie, waarin op de RWZI mechanisch ontwaterd wordt, waarna het slib per as naar de centrale slibeindverwerkingsinstallatie wordt getransporteerd. Als afvalwaterbehandeling en slibeindverwerking op één locatie plaatsvinden, zonder mechanische ontwatering en slibtransport, zijn de kosten aanzienlijk lager.

Opgemerkt moet worden, dat de hier gepresenteerde verwerkingskosten sterk afhankelijk kunnen zijn van specifieke (markt-)omstandigheden etc., zodat in incidentele situaties aanzienlijke afwijkingen mogelijk zijn.

TABEL 5.4.4 (VERVOLG)

	Biol. dr. + verbr. in cementoven (18.400 t d.s./j)	Direct therm. dr. + cementoven (18.400 t d.s./j)	Indir. therm. dr. + cementoven (18.400 t d.s./j)	Biol. droging + storten (18.400 t d.s./j)	Direct therm. dr. + storten (18.400 t d.s./j)	Indirect therm. dr. + storten (18.400 t d.s./j)
Kapitaalslasten	107,70	115,62	115,62	107,70	115,62	115,62
Onderhoud	29,96	37,15	37,15	29,96	37,15	37,15
Personeelskosten	33,70	38,59	38,59	33,70	38,59	38,59
Overige vaste kosten	3,20	3,27	3,27	3,20	3,27	3,27
Energie	29,62	75,56	24,93	29,62	75,56	24,75
Water	0,01	2,00	2,00	0,01	2,00	2,00
Chemicaliën	-	-	-	-	-	-
Reststoffen	55,00	50,00	50,00	55,00	50,00	50,00
Opbrengsten	-	-	-	-	-	-
Deelstroombehandeling	12,51	10,51	10,51	12,51	10,51	10,51
Totaal	271,69	332,69	282,06	271,69	332,69	281,89

Opgemerkt moet worden, dat de hier gepresenteerde verwerkingskosten sterk afhankelijk kunnen zijn van specifieke (markt-)omstandigheden etc., zodat in incidentele situaties aanzienlijke afwijkingen mogelijk zijn.

5.5 BEREKENINGSRESULTATEN INNOVATIEVE SLIBVERWERKING

5.5.1 INLEIDING

Om de toepasbaarheid van het rekenmodel en de wijze van analyseren van de berekeningsresultaten te demonstreren is in deze paragraaf een berekening uitgevoerd voor een innovatieve slibverwerkingsmethode. Gekozen is voor de ultrasone behandeling van zuiverings-slib voordat het naar de slibgisting wordt geleid. Met deze voorbehandeling wordt beoogd om de biogasproductie te verhogen en daarmee het energieverbruik in de water- en sliblijn te verminderen. De bewerking heeft echter invloed op het organisch gehalte van het slib dat naar de slibeindverwerking gaat. De vraag doet zich voor wat de invloed is op de energiebalans van de totale slibketen.

5.5.2 BESCHRIJVING ULTRASONE VOORBEWERKING VAN SLIB

Voorbehandeling met ultrasoon geluid kan worden toegepast voor de verbetering van de vergistbaarheid van slib. Door de ultrasone geluidsgolven ontstaan microscopische luchtbelletjes die bij het in elkaar klappen hoge temperatuur en druk opleveren. Hierdoor kunnen bacteriecellen en macromoleculen uiteenvallen. De verbetering van de vergistbaarheid heeft vooral toepassing op secundair slib. Op primair slib is het effect veel geringer⁶.

Op grond van literatuurgegevens wordt vastgesteld dat het effect van de ultrasone voorbehandeling groter is naarmate de verblijftijd van het slib in de slibgisting korter is:

- bij een verblijftijd van 8 dagen bij 37°C en 23,5 % afbraak van organische stof zonder ultrasone voorbehandeling⁷, verbeterde de afbraak van organische stof door ultrasone voorbewerking met 20 tot 100%, afhankelijk van de mate van desintegratie van het slib;
- bij een verblijftijd van 15 dagen bij 35°C was het verschil in biogasproductie tussen wel en niet behandeld slib uit een systeem zonder voorbezinking 6% in methaanproductie. Bij directe vergelijking bleek bij een verblijftijd van 8 dagen de afbraak van organische stof toe te nemen van 27 naar 38%, een relatieve toename van 41%, maar bij 16 dagen slechts van 32 naar 42%, dus 31% relatieve toename⁶;
- bij een verblijftijd van 22 dagen bij 37°C verbeterde de afbraak van organische stof van primair slib met circa 10%, van 45,8 naar 50,3%; deze getallen werden echter niet ondersteund door een grotere biogasproductie⁸;
- bij hoge tot zeer hoge verblijftijden is het effect vrijwel nihil⁹. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat de bacteriecellen bij hoge verblijftijden in de slibgisting vanzelf ook wel uiteenvallen of worden afgebroken.

Het effect kan dus worden opgevat als een wijziging in de factor K in de berekening van de afbraak van slib volgens Chen & Hashimoto. Deze formule voor de afbraak luidt:

$$\frac{R}{B} = \frac{\Theta - 1}{\Theta - 1 + K}$$

6. Neis U, K Nickel & A Tiehm 2000. Enhancement of anaerobic sludge digestion by ultrasonic disintegration.

Water Science & Technology 42 (9): 73-80.

7. Tiehm A, K Nickel, M Zellhorn & U Neis 2001. Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization.

Water Research 35: 2003-2009.

8. Tiehm A, K Nickel & U Neis 1997. The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge.

Water Science & Technology 36 (11): 121-128.

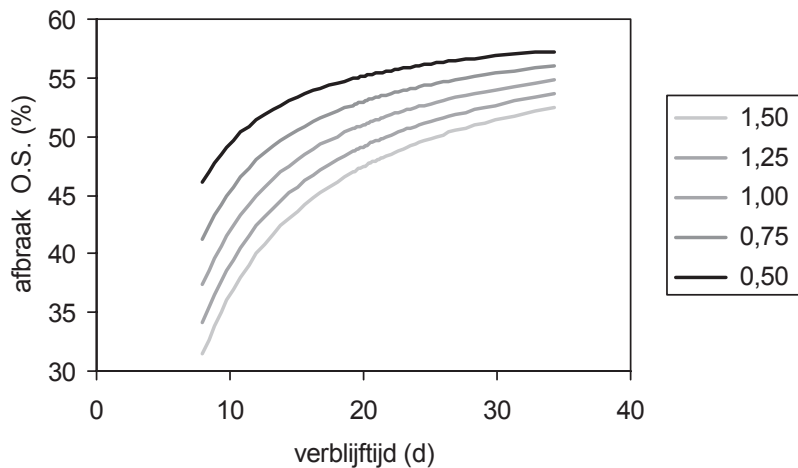
9. Eder B, F W Günthert, J Müller, A Tiehm, H Hruschka, J Kopp, P Kunz, R Otte-Witte, K-G Schmelz & K Seiler 2001.

Verfahrensvergleich und Ergebnisse der mechanischen Klärschlamm-desintegration. 2. Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe AK 1.6 "Klärschlamm-desintegration", Korrespondenz Abwasser 48: 393 - 400.

waarin R het percentage afbraak is van de organische stof, B het maximum haalbare percentage afbraak, Θ de dimensieloze slibleef tijd (slibleef tijd gedeeld door minimum slibleef tijd voor methaangisting) en K de afbraakconstante is.

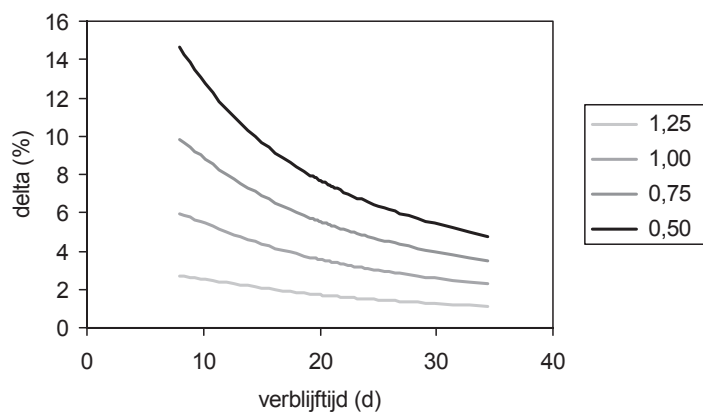
In figuur 5.5.1 is het afbraakrendement gegeven als functie van de verblijftijd bij verschillende waarden van de constante K .

FIGUUR 5.5.1 RENDEMENT VAN DE AFBRAAK VAN ORGANISCHE STOF ALS FUNCTIE VAN DE SLIBLEEFTIJD BIJ VERSCHILLENDE WAARDEN VAN DE CONSTATE K , DIE IN DE FIGUUR (OMKADERD) ZIJN AANGEGEVEN



Een verlaging van de afbraakconstante leidt in dit model niet tot een verbetering van de uiteindelijke mogelijke afbraak van organische stof, maar wel tot een snellere afbraak. De verschillen die in de afbraak (ten opzichte van die bij $K=1,5$) worden berekend zijn weer gegeven in figuur 5.5.2.

FIGUUR 5.5.2 VERSCHIL IN RENDEMENT VAN DE AFBRAAK VAN ORGANISCHE STOF ALS FUNCTIE VAN DE SLIBLEEFTIJD BIJ VERGELIJKING MET AFBRAAKCONSTANTE $K = 1,50$ BIJ VERSCHILLENDE WAARDEN VAN DE CONSTATE K



Aangezien de verbetering van de afbraak redelijk overeenkomt met een daling van $K=1,5$ tot $K=0,5$, is deze K verder aangehouden. Dit komt dan neer op 13% bij een verblijftijd van 10 dagen, 9,6 % bij 15 dagen, 7,7 % bij 20 dagen en 5,4% bij 30 dagen. De verbetering van de afbraak is hiermee sterk afhankelijk van de verblijftijd en neemt langzaam af tot vrijwel nul.

Zoals in het voorgaande is uiteengezet, wordt “default” uitgegaan van

- geen verlaging van de afbraakconstante voor primair slib;
- verlaging van de afbraakconstante voor secundair slib van 1,5 naar 0,5;
- vermindering van de benodigde hoeveelheid polymeer voor de ontwatering (default 2 g /kg ds);
- verbetering van het ontwateringsresultaat (default 3%).

Voor de kosten, het energieverbruik, de verbetering van de slibontwatering en de reductie in het verbruik van poly-elektrolyt zijn de gegevens gebruikt, zoals die zijn samengevat in onderstaande tabel 5.5.1.

TABEL 5.5.1 KARAKTERISTIEKEN VAN ULTRASONE BEHANDELING

Parameter	Eenheid	waarde
Investeringskosten	€	$Q_{\text{slib}} \cdot 0,9 \times 15.000$
Energieverbruik	kWh/m ³ *	0,5
verbetering ontwatering	%	3
reductie PE verbruik	g / kg ds	2

*: heeft betrekking op de hoeveelheid slib die in behandeling wordt genomen.

5.5.3 BEREKENINGSMETHODEN ULTRASONE VOORBEWERKING

In het rekenmodel kan voor de effecten van de voorbehandeling worden opgegeven of secundair slib of alle slib in behandeling wordt genomen, welk percentage van het slib in behandeling wordt genomen, en wat de effecten zijn op de kinetische constanten voor de slibgisting. Met bovenstaande getallen is een vergelijking gemaakt tussen het wel en niet opnemen van ultrasone voorbehandeling van het secundaire slib voor de variant met voorbezinking, slibgisting en biologische P-verwijdering. De belangrijkste resultaten zijn samengevat in tabel 5.5.2.

TABEL 5.5.2 RESULTATEN VAN BEREKENINGEN MET EN ZONDER ULTRASONE VOORBEHANDELING VAN HET SLIB

parameter	eenheid						
verblijftijd gisting	d	15	15	20	20	25	25
ultrasone behandeling	ja / nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
slibproductie							
droge stof totaal	kg/d	2.996	3.090	2.931	3.005	2.892	2.954
organische stof	kg/d	1.641	1.734	1.575	1.650	1.537	1.598
afbraak organische stof	%	43,8	40,6	46,1	43,5	47,4	45,3
asgehalte	%	45	44	46	45	47	46
volumestroom	m ³ /d	10,7	12,4	10,5	12,0	10,3	11,8
drogestofgehalte	%	28	25	28	25	28	25
gehalte organisch	%	55	56	54	55	53	54
verbruik chemicaliën							
FeCl ₃	kg/d	72	73	72	72	71	72
PE	kg/d	30	31	29	30	29	30
productie energie							
productie biogas	m ³ /d	1.131	1.060	1.190	1.134	1.225	1.179
gistingsgas ¹⁾	MJ/kg d.s.	6,10	5,54	6,56	6,10	6,84	6,45

1) teruggerekend naar primaire brandstof per kg d.s. geproduceerd slib.

TABEL 5.5.3 ENERGETISCHE EN FINANCIËLE VERGELIJKING VAN DE TOEPASSING VAN DE ULTRASONE VOORBEHANDELING VAN ZUIVERINGSSLIB AFKOMSTIG VAN EEN RWZI MET VERGISTING OVER DE TOTALE SLIBKETEN BIJ EEN VERBLIJFTIJD VAN 20 DAGEN

	eenheid	Zonder ultrasone voorbehandeling	Met ultrasone voorbehandeling
Energieverbruik			
water- en sliblijn	MJ _{prim./i.e.}	83	89
slibeindverwerking	MJ _{prim./i.e.}	20	15
totaal	MJ _{prim./i.e.}	103	104
Investing			
water- en sliblijn	€/i.e.	327,95	332,20
slibeindverwerking	€/i.e.	16,59	16,18
Verwerkingskosten			
water- en sliblijn	€/i.e.	35,14	35,80
slibeindverwerking	€/i.e.	2,83	2,73
totaal	€/i.e.	37,97	38,53

Op grond van de berekeningsresultaten van het rekenmodel weergegeven in tabel 5.5.3, gebaseerd op de gekozen uitgangspunten, kan worden geconcludeerd dat het gebruik van de ultrasone voorbehandeling leidt tot een hoger energieverbruik, ondanks de hogere productie aan biogas en tot hogere verwerkingskosten voor de totale slibketen. De winst in de slibeindverwerking wordt vooral gehaald door de realisatie van een hoger droge stofgehalte na de mechanische ontwatering. Dit leidt tot een lager energieverbruik en een lagere investering. Er dient bij deze uitkomsten te worden aangetekend, dat de invloed van de behandeling op de modelparameters nog in onderzoek is (STOWA-onderzoek). Wijziging van de parameters kan leiden tot wijziging van bovenstaande conclusies.

5.6 BEREKENINGRESULTATEN SUBVARIANTEN SLIBEINDVERWERKING

Vooruitlopend op de uitvoering van de energieoptimalisatieberekeningen (hoofdstuk 6) zijn voor de in paragraaf 5.2.2 aangegeven subvarianten 13, 14 en 15 proces- en kostenberekeningen uitgevoerd. Het betreft subvarianten op slibeindverwerkingsvariant 1 (indirecte droging met restwarmte en verbranding in een wervelbed), waarbij een gunstiger energiehuishouding wordt gerealiseerd door:

- toepassing van een hogere stoomdruk en installatie van een tegendrukturbine (variant 13);
- toepassing van een hogere stoomdruk en installatie, twee-traps-droging en installatie van een condensatieturbine (variant 14);
- toepassing van damprecompressie bij de voordroging van het slib en elektriciteitsproductie middels een condensatieturbine (variant 15).

De resultaten van de procesberekeningen en de economische berekeningen zijn meegenomen in de overzichten van bijlagen III, IV, V en VI.

TABEL 5.6.1 OVERZICHT RESULTATEN VARIANTEN OP INDIRECTE DROGING EN VERBRANDING

	Eenheid	Indirecte droging en verbranding in een wervelbed			
		referentie	met tegendruk-turbine	met condensatieturbine	met damprecompressie
Energiesaldo					
RWZI	GJ _{prim} /ton d.s.	-8,93	-8,93	-8,93	-8,93
Slibeindverwerking	GJ _{prim} /ton d.s.	-2,14	0,23	-0,19	0,50
Totaal	GJ _{prim} /ton d.s.	-11,08	-8,70	-8,74	-8,43
Verwerkingskosten					
RWZI	€/ton d.s.	2.048	2.048	2.048	2.048
Slibeindverwerking	€/ton d.s.	258	256	267	257
Totaal	€/ton d.s.	2.306	2.304	2.315	2.305
Energie					
RWZI	GJ _{prim} /i.e.	-0,149	-0,149	-0,149	-0,149
Slibeindverwerking	GJ _{prim} /i.e.	-0,036	0,004	0,003	0,008
Totaal	GJ _{prim} /i.e.	-0,184	-0,145	-0,145	-0,140
Verwerkingskosten					
RWZI	€/i.e.	34,08	34,08	34,08	34,08
Slibeindverwerking	€/i.e.	4,30	4,26	4,44	4,28
Totaal	€/i.e.	38,38	38,34	38,52	38,36

De resultaten in tabel 5.6.1 laten zien dat er binnen een variant (in dit geval indirecte droging en verbranding in een wervelbed) door modificaties ook hogere energetische rendementen haalbaar zijn, terwijl de kosten nagenoeg gelijk blijven. Deze subvarianten kunnen zich in energetisch opzicht meten met de andere technieken. Daarom zijn voor de in Nederland meest gangbare slibeindverwerkingsvarianten (verbranden en thermisch drogen) meer gedetailleerde energetische (en exergetische) berekeningen uitgevoerd, waarbij een aantal subvarianten zijn onderzocht. Voor dit energieoptimalisatieonderzoek wordt verwezen naar hoofdstuk 6.

5.7 BEREKENINGSRESULTATEN SLIBTRANSPORT

In het rekenmodel van de water- en sliblijn is een transportberekening opgenomen voor het berekenen van het energieverbruik en het berekenen van de transportkosten. Het betreft het transport van nat slib van de RWZI naar de mechanische slibontwatering en van het ontwaterde zuiveringsslib van de mechanische slibontwatering naar de slibeindverwerking.

In het rekenmodel van de slibeindverwerking is een transportberekening opgenomen van het energieverbruik en de kosten van het transport van slib en/of reststoffen (+ overige afvalstoffen) naar een eindverwerking (storten, verbranden etc.).

TRANSPORTENERGIE

Vanuit energetisch opzicht is het energieverbruik voor transport gering ten opzichte van de hoeveelheid energie die gebruikt wordt door de RWZI.

Om dit te illustreren is in bijlage X een voorbeeldberekening uitgevoerd. Voor een gemiddelde situatie wordt achtereenvolgens uitgegaan van:

- het transport van nat slib (3,5% d.s.) over 10 km naar een mechanische ontwateringsinstallatie m.b.v. een tankwagen (30 ton);
- het transport van het mechanisch ontwaterde zuiveringsslib (23% d.s.) over 45 km naar een thermische drooginstallatie m.b.v. een containerwagen (totale belading 30 ton);
- het transport van het gedroogde granulaat (92% d.s.) over een afstand van 100 km naar een cementoven m.b.v. een trekkeroplegger (totale belading 30 ton).

Per ton slibdrogestof is in totaal 1.180 ton.km transport benodigd. Daarbij wordt circa 440 MJ aan primaire energie verbruikt.

De hoeveelheid energie die door de rioolwaterzuiveringsinstallatie wordt gebruikt in de referentiesituatie bedraagt 8,94 GJ_{prim}/ton d.s.

De transportenergie bedraagt daarmee minder dan 5% van het energieverbruik van de RWZI. Er wordt verondersteld dat afwijkingen in het aangenomen patroon van slibtransport niet van doorslaggevende invloed zullen zijn op de berekeningsresultaten van de slibketen-scenario's. De transportenergie is bewust niet afgezet tegen het energieverbruik van de totale slibketen, omdat het verschil in energieverbruik in de slibeindverwerking sterk kan verschillen per slibketen.

TRANSPORTKOSTEN

De kosten van het slibtransport zijn eveneens van geringe invloed op de totale kosten van de slibketen. De transportkosten per ton drogestof worden niet alleen bepaald door het droge stofgehalte van het getransporteerde slib en het aantal transportkilometers, maar ook door de laad- en lostijden. Vooral het transport van nat slib over relatief korte afstanden kan in hoge kosten per ton.kilometer resulteren, omdat het aandeel van de laad- en lostijden groot is.

Voor het natte slibtransport liggen de kosten in de ordegrootte van € 1,25 per m³, uitgaande van een transportafstand van circa 10 km, overeenkomend met circa € 35,- per ton droge stof bij een drogestofgehalte van 3,5%. De kosten voor het transport van mechanisch ontwaterd slib over een afstand van 45 km liggen in de ordegrootte van € 4,50 per m³, overeenkomend met € 20,- per ton droge stof bij een drogestofgehalte van 23%. De kosten voor het transport

van het gedroogde granulaat over een afstand van 100 km liggen in de orde grootte van € 7,- per ton, overeenkomend met € 7,5 per ton droge stof bij een drogestofgehalte van 92%.

De totale transportkosten per ton droge stof voor het bovenomschreven voorbeeld komen daarmee op € 62,50 per ton droge stof. Voor het referentiescenario zijn de berekende kosten voor de gehele slibketen € 2.306,- per ton droge stof. De kosten voor het slibtransport liggen daarmee in de orde grootte van 3% op de totale kosten voor de slibketen en zijn daarmee eveneens niet van doorslaggevende invloed.

5.8 BEREKENINGSMETHODEN DEELSTROOMBEHANDELING

Bij een aantal slibeindverwerkingstechnieken komt er een grote hoeveelheid afvalwater vrij met een hoog stikstofgehalte. Het betreft met name biologisch drogen, thermisch drogen en natte oxidatie. In de praktijk staan deze verwerkingsinstallaties meestal direct naast een grote RWZI waarop het afvalwater direct wordt geloosd. De RWZI ontvangt hierdoor een hoge extra stikstoflast.

Bij de opzet van het rekenmodel is besloten om de slibeindverwerking uit te breiden met een voorzuiveringsinstallatie bestemd om de stikstofconcentratie te verlagen. Er hoeft daardoor niet te worden gerekend met een retourstroom naar de naastgelegen RWZI. Energieverbruik, investeringskosten en exploitatiekosten worden toegerekend aan de slibeindverwerking.

In tabel 5.4.2 is een overzicht gegeven van de netto primaire energiebehoefte of -overschot ($G_{\text{prim./i.e.}}$) op basis van de slibsamenstelling zoals geproduceerd door RWZI variant 1 (zonder voorbezinking, slibgisting of bio-P verwijdering). Daarin is ook aangegeven hoeveel het energieverbruik is van de deelstroombehandeling. Dit energieverbruik is verwaarloosbaar ten opzichte van het totale energieverbruik van de slibketen.

In tabel 5.8.1 is een overzicht gegeven van de kosten voor de deelstroombehandeling per ton droge stof in vergelijking met de totale kosten van de slibketen per ton droge stof. Behalve bij natte oxidatie, zijn de kosten van de deelstroombehandeling minder dan 4% van de totale kosten voor de slibeindverwerking.

**TABEL 5.8.1 OVERZICHT KOSTEN DEELSTROOMBEHANDELING T.O.V. DE TOTALE KOSTEN VAN DE SLIBKETEN VOOR DE REFERENTIE (RWZI VARIANT 1),
UITGEDRUKT IN € PER TON DROGE STOF**

	Kosten deelstroom- behandeling € per ton d.s.	Totale kosten slibeindverwerking € per ton d.s.
Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	10,43	258,16
Natte-oxidatie	97,20	552,63
Meeverbranden in een AVI	-	248,77
Biologische droging gevolgd door meestoken in een E-centrale	12,51	271,69
Thermisch drogen met primaire energie, gevolgd door meestoken in een E-centrale	10,51	332,69
Thermisch drogen met restwarmte, gevolgd door meestoken in een E-centrale	10,51	283,34
Biologische droging gevolgd door verbranding in cementoven	12,51	271,69
Thermisch drogen met primaire energie, gevolgd door meestoken in cementoven	10,51	332,69
Thermisch drogen met restwarmte gevolgd door meestoken in cementoven	10,51	282,06
Biologische droging gevolgd door storten	12,51	271,69
Thermisch drogen met primaire energie gevolgd door storten	10,51	332,69
Thermisch drogen met restwarmte gevolgd door storten	10,51	281,89

5.9 EFFECT VAN DE MEP-SUBSIDIE

Het doel van de Stimulering van de milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie (MEP) is het stimuleren van de productie van milieubewust opgewekte elektriciteit in Nederland. In aanmerking voor een bijdrage komen energieproducenten die de volgende energievormen leveren op het Nederlandse net:

- duurzame of klimaatneutrale elektriciteit (instandhouding of beheer), en
- elektriciteit opgewekt met een warmtekrachtkoppeling (WKK).

Op de productie van elektriciteit uit biogas dat geproduceerd wordt uit communaal zuiverings-slib wordt geen MEP-subsidie verstrekt. Echter, gedroogd zuiverings-slib valt onder zuivere biomassa. In het geval dat het wordt meegestookt in een elektriciteitscentrale kan de hoge MEP-subsidie van € 97,- per MWh worden verkregen wanneer een positieve beschikking is afgegeven. Geconcludeerd kan worden dat zowel de brandstof als het gevolgde proces van belang is bij het verkrijgen van certificaten en subsidie.

Bovenstaande houdt in dat de MEP-subsidie het vergisten van zuiverings-slib minder aantrekkelijk maakt in vergelijking met het meestoken van het organische bestanddeel van het slib in een elektriciteitscentrale of cementoven. Dit vergt laatste vergt minder investering en verlaagt de verwerkingskosten.

5.10 VERGELIJKING VAN DE SLIBVERWERKINGSKETENS

5.10.1 ALGEMEEN

Voor het vergelijken van de slibverwerkingsketens is in bijlage VI voor elk van de acht RWZI varianten een totaaloverzicht opgenomen met de berekeningsresultaten van het energieverbruik, de investeringen en de verwerkingskosten van de 12 eindverwerkingsvarianten. De emissies naar lucht zijn ook in het model opgenomen.

De gepresenteerde resultaten zijn zowel uitgedrukt per ton slib droge stof als per i.e. Er is uitgegaan van de oorspronkelijk gekozen (standaard) verwerkingscapaciteiten (zie paragraaf 4.2.6).

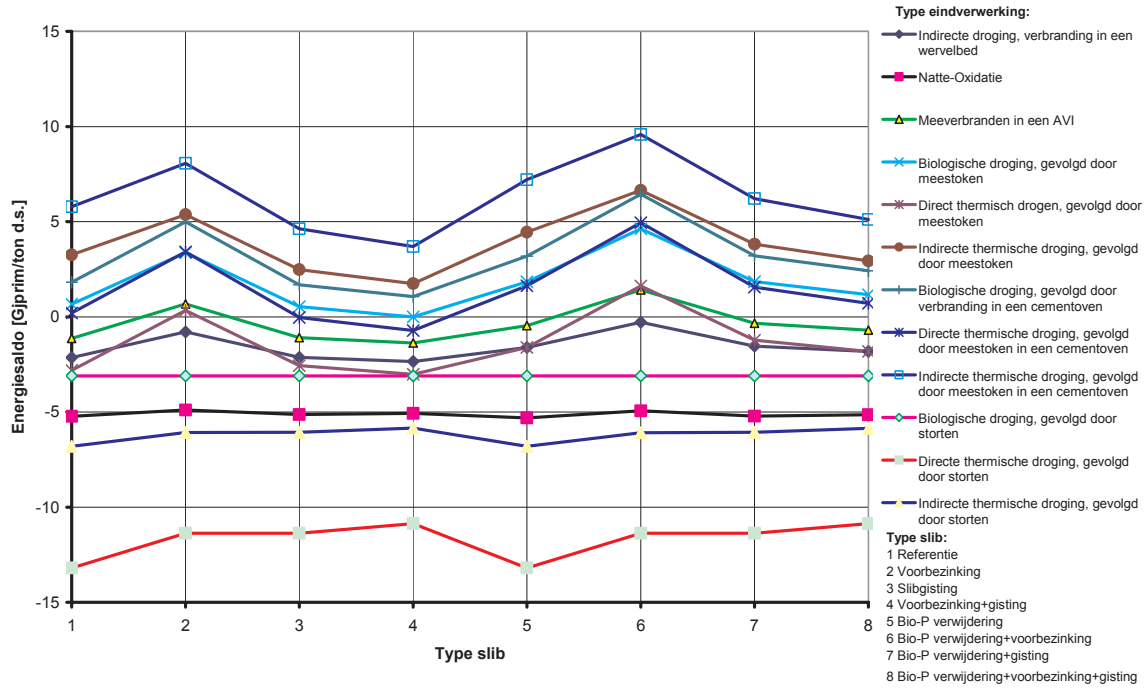
De slibproductie varieert per RWZI variant. Een lage slibproductie moet leiden tot de verwerking van het slib afkomstig van een groter aantal RWZI's. Hoewel het tarief per ton d.s. gelijk blijft, daalt het tarief per i.e. en omgekeerd.

5.10.2 RESULTATEN

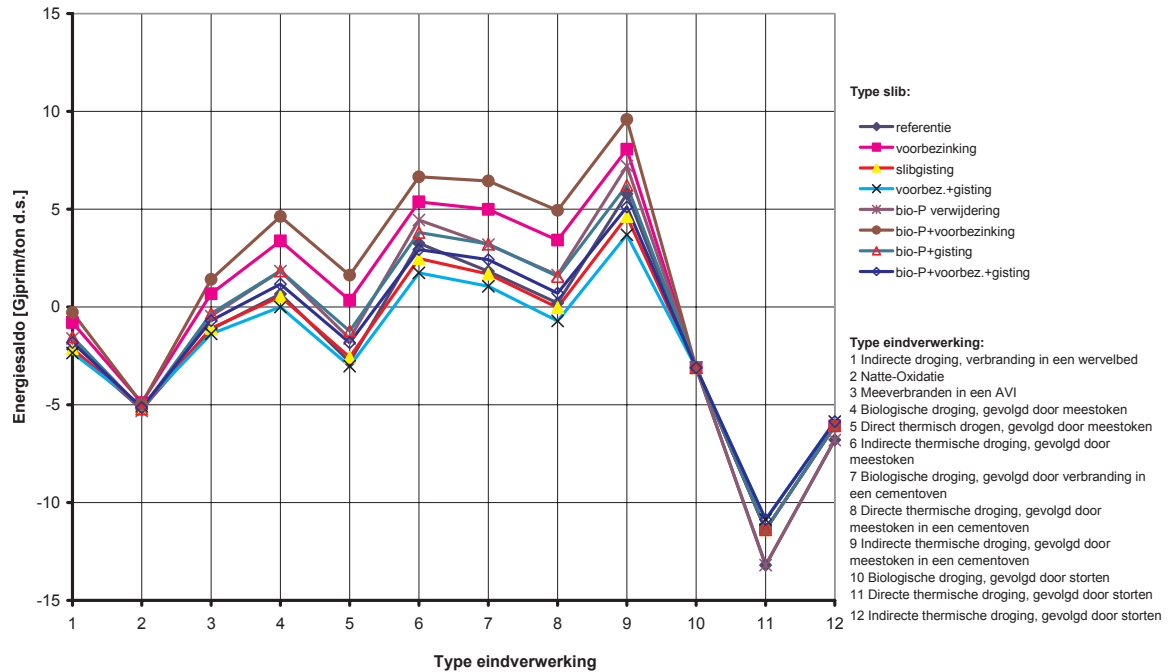
De resultaten van de berekeningen voor de slibeindverwerking en van de totale slibketen voor alle 96 combinaties van RWZI- en slibeindverwerkingsvarianten zijn grafisch weergegeven in de navolgende figuren 5.10.1 t/m 5.10.4:

- fig. 5.10.1.a: Energiesaldo per ton droge stof voor de slibeindverwerking voor alle 96 combinaties, weergegeven per RWZI-variant;
- fig. 5.10.1.b: Energiesaldo per ton droge stof voor de slibeindverwerking voor alle 96 combinaties, weergegeven per slibeindverwerkingsvariant;
- fig. 5.10.2.a: Kosten per ton droge stof voor de slibeindverwerking voor alle 96 combinaties, weergegeven per RWZI-variant;
- fig. 5.10.2.b: Kosten per ton droge stof voor de slibeindverwerking voor alle 96 combinaties, weergegeven per slibeindverwerkingsvariant.
- fig. 5.10.3.a: Energiesaldo per i.e. voor de totale slibketen voor alle 96 combinaties, weergegeven per RWZI-variant;
- fig. 5.10.3.b: Energiesaldo per i.e. voor de totale slibketen voor alle 96 combinaties, weergegeven per slibeindverwerkingsvariant;
- fig. 5.10.4.a: Kosten per i.e. voor de totale slibketen voor alle 96 combinaties, weergegeven per RWZI-variant;
- fig. 5.10.4.b: Kosten per i.e. voor de totale slibketen voor alle 96 combinaties, weergegeven per slibeindverwerkingsvariant.

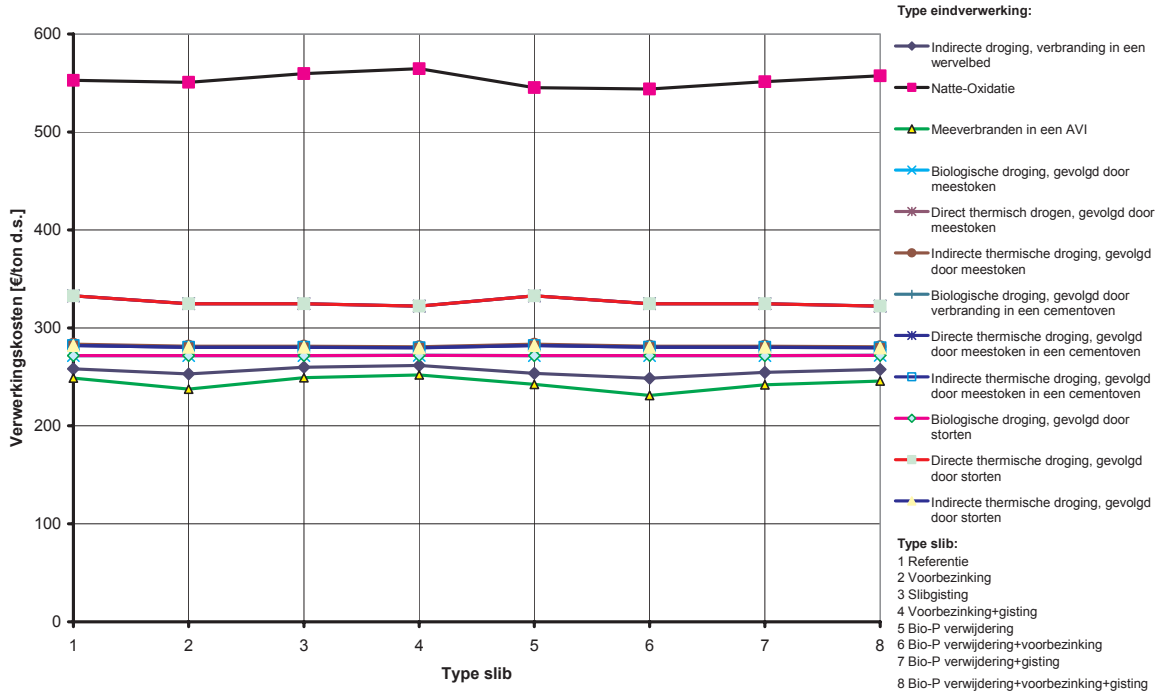
FIGUUR 5.10.1.A ENERGIESALDO PER TON DROGE STOF VOOR DE SLIBEINDVERWERKING VOOR ALLE 96 COMBINATIES, WEERGEGEVEN PER RWZI-VARIANT



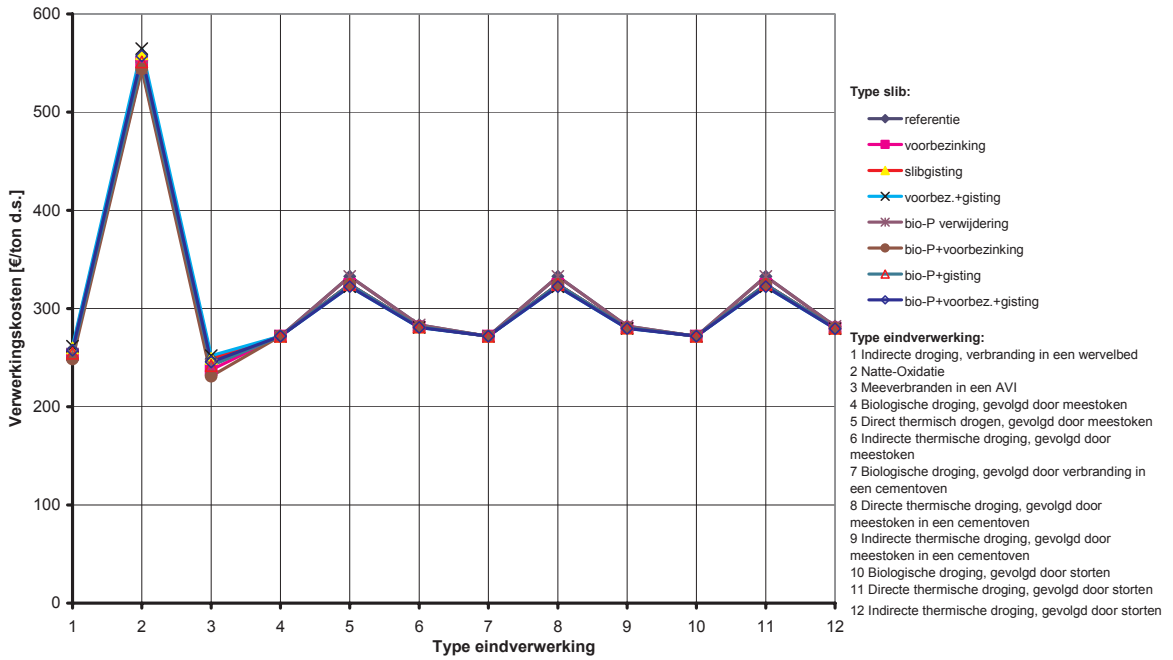
FIGUUR 5.10.1.B ENERGIESALDO PER TON DROGE STOF VOOR DE SLIBEINDVERWERKING VOOR ALLE 96 COMBINATIES, WEERGEGEVEN PER SLIBEINDVERWERKINGS-VARIANT



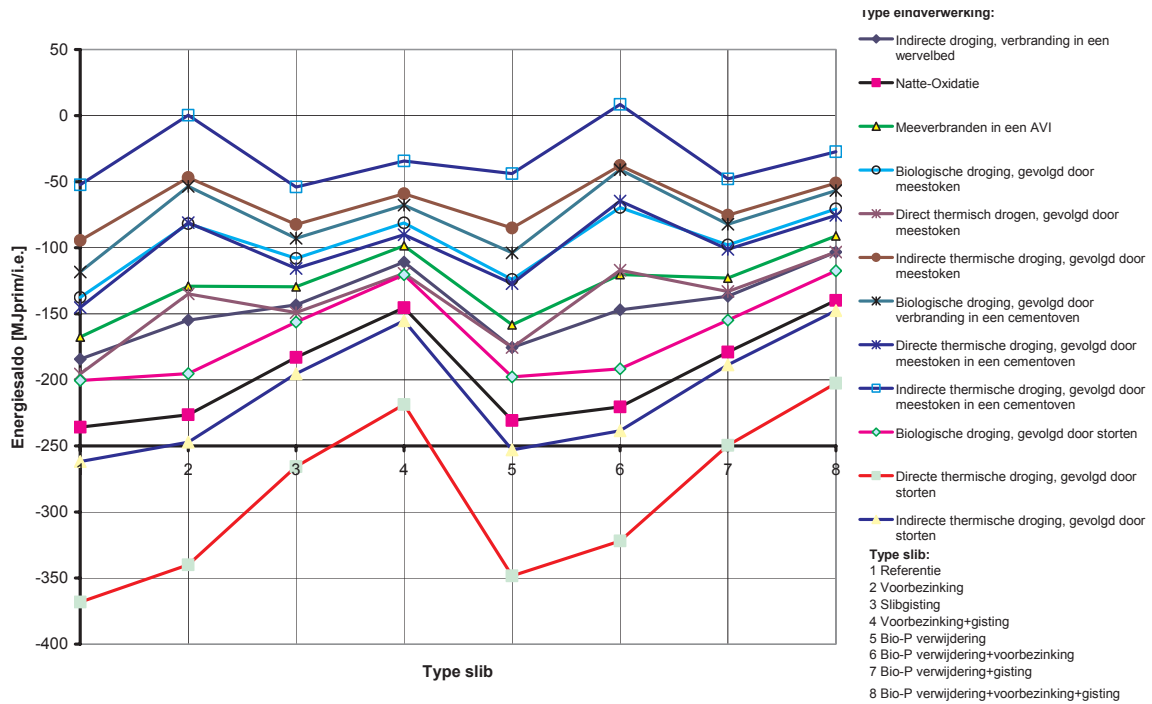
FIGUUR 5.10.2.A KOSTEN PER TON DROGE STOF VOOR DE SLIBEINDVERWERKING VOOR ALLE 96 COMBINATIES, WEERGEGEVEN PER RWZI-VARIANT



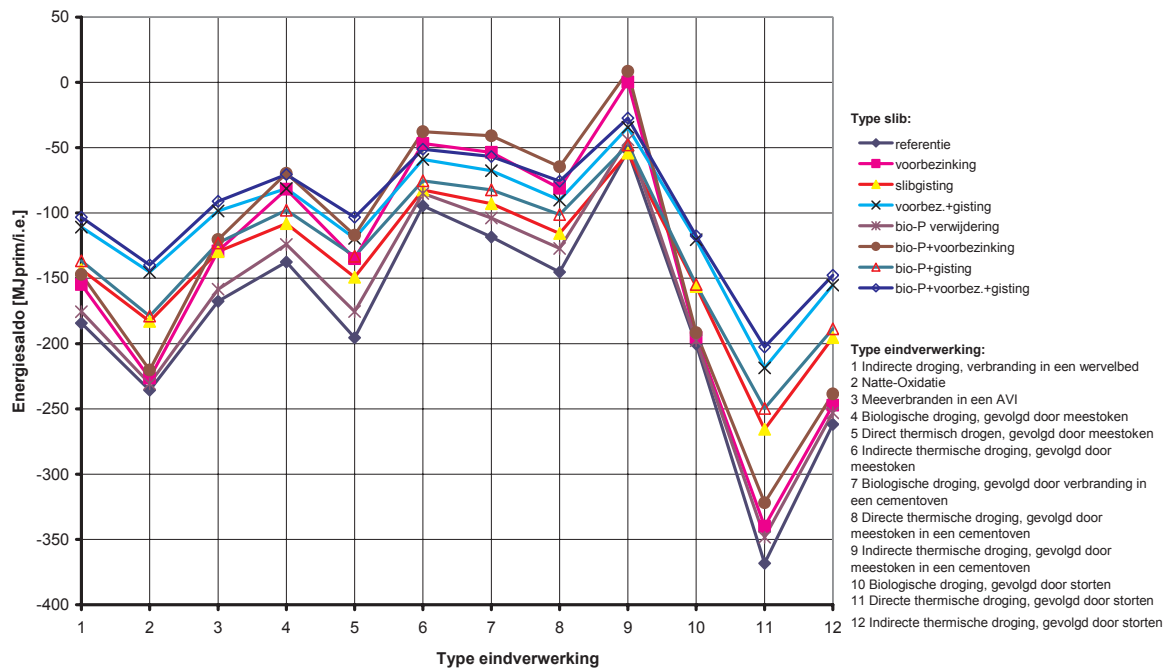
FIGUUR 5.10.2.B KOSTEN PER TON DROGE STOF VOOR DE SLIBEINDVERWERKING VOOR ALLE 96 COMBINATIES, WEERGEGEVEN PER SLIBEINDVERWERKINGSVARIANT



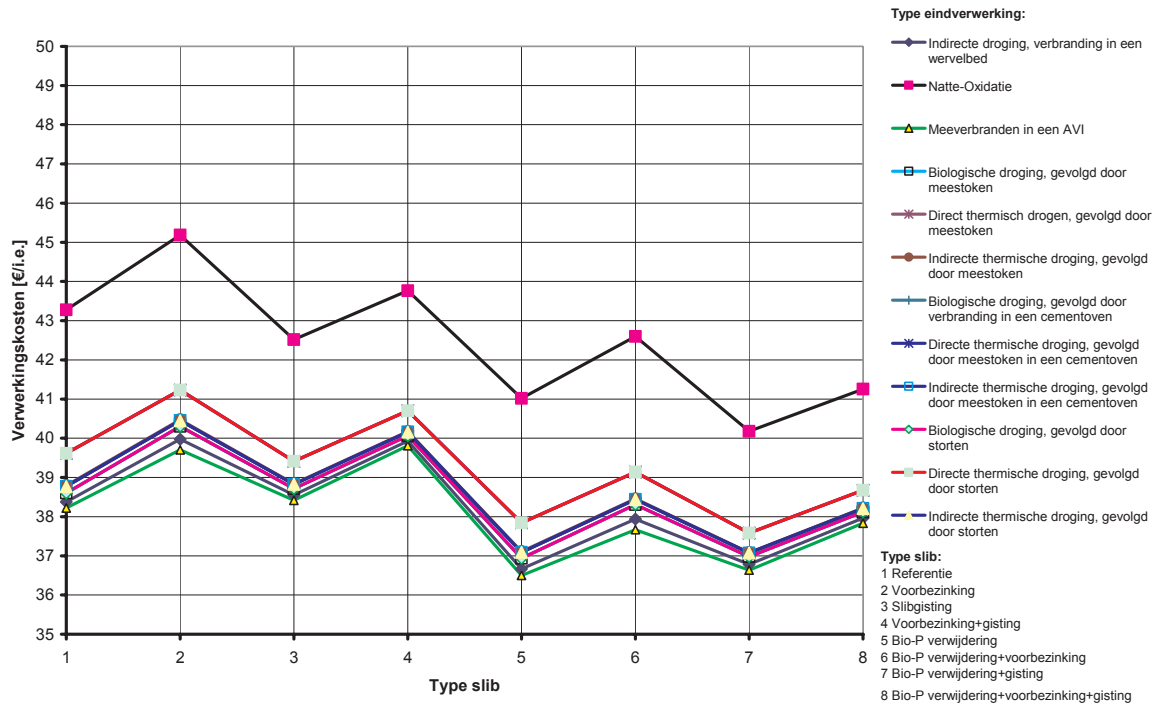
FIGUUR 5.10.3.A ENERGIESALDO PER I.E. VOOR DE TOTALE SLIBKETEN VOOR ALLE 96 COMBINATIES, WEERGEGEVEN PER RWZI-VARIANT



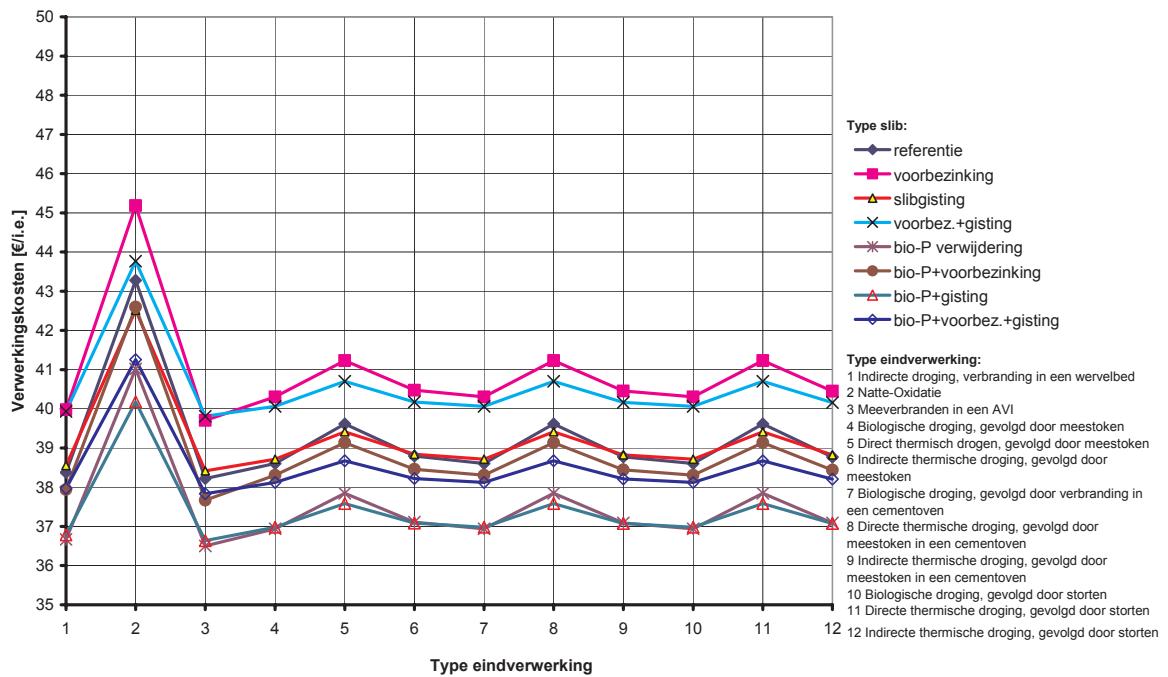
FIGUUR 5.10.3.B ENERGIESALDO PER I.E. VOOR DE TOTALE SLIBKETEN VOOR ALLE 96 COMBINATIES, WEERGEGEVEN PER SLIBEINDVERWERKINGSVARIANT



FIGUUR 5.10.4.A KOSTEN PER I.E. VOOR DE TOTALE SLIBKETEN VOOR ALLE 96 COMBINATIES, WEERGEGEVEN PER RWZI-VARIANT



FIGUUR 5.10.4.B KOSTEN PER I.E. VOOR DE TOTALE SLIBKETEN VOOR ALLE 96 COMBINATIES, WEERGEGEVEN PER SLIBEINDVERWERKINGSVARIANT



6

ENERGIEOPTIMALISATIEBEREKENINGEN

6.1 OPZET VAN HET OPTIMALISATIEONDERZOEK

De in het slibeindverwerkingsmodel uitgewerkte slibverwerkingstechnieken geven een breed overzicht van de in Nederland toegepaste en/of in aanmerking komende slibverwerkingsopties. De toegepaste berekeningen zijn gebaseerd op uit de praktijk afkomstige kengetallen, echter niet op procesberekeningen. Uit enkele uitgewerkte varianten is gebleken, dat er modificaties mogelijk zijn die kunnen leiden tot een energetisch gunstiger opzet. De toegepaste rekentechniek van het slibeindverwerkingsmodel geeft wel een totaaloverzicht van de met dergelijke modificaties bereikbare resultaten, maar verschaft weinig inzicht in de factoren die bij het bereiken van deze resultaten een rol spelen.

Om meer inzicht te geven van wat er in dit opzicht mogelijk is en daarmee tevens aan te geven wat de gevoeligheid van de slibketenberekening kan zijn, is een aanvullend energieoptimalisatieonderzoek uitgevoerd. Daarbij is gebruik gemaakt van het thermodynamische procesrekenprogramma GateCycle. Het onderzoek is uitgevoerd door Jacobs Consultancy Nederland. De volledige rapportage is opgenomen als bijlage VII.

In het energieoptimalisatieonderzoek is een aantal systemen voor de verbranding van slib verder uitgewerkt en vergeleken middels een vereenvoudigde exergie-analyse. Daarbij wordt de kwaliteit van de “energiedragers” brandstof, stoom en elektriciteit meegenomen. De exergie kan in eerste benadering worden gezien als het potentieel aan elektriciteit die maximaal uit een energiedrager kan worden opgewekt. Vooral de exergetische waarde van stoom is sterk afhankelijk van de stoomcondities.

Deze berekeningsmethodiek geeft een goed inzicht in welke factoren een bepalende rol spelen bij het realiseren van een optimaal energetisch rendement. Vooral de toegepaste stroomschema’s (“Sankey-diagrammen”) geven een duidelijk beeld.

De in het energieoptimalisatieonderzoek uitgewerkte hoofdsystemen zijn:

- Stand-alone verbranding

Hierbij wordt het slib gedroogd en verbrand in een zelfstandige installatie, waarbij stoom en/of elektriciteit wordt gegenereerd, zonder koppeling met andere installaties. Binnen dit hoofdsysteem zijn de volgende alternatieven met verschillende stoomcondities en droogtechnieken uitgewerkt:

- Alternatief 1*: Wervelbedverbranding met voorgeschakelde indirecte droging met restwarmte;
- Alternatief 2*: Wervelbedverbranding met indirecte droging met restwarmte, waarbij de geproduceerde stoom wordt toegepast in een tegendrukturbine, alvorens voor de droging te worden benut;
- Alternatief 3: Wervelbedverbranding met tweetraps indirecte droging. Bij dit alternatief wordt het optredende stoomoverschot benut in een condensatieturbine;

- Alternatief 4: Wervelbedverbranding met voorgeschakelde droging middels damprecompressie en benutting van de geproduceerde stoom in een condensatieturbine;
 - Alternatief 5: Wervelbedverbranding, met directe droging met aardgas middels toepassing van steunbrandstof in het wervelbed.
- **Parallele verbranding**
 Hierbij wordt het slib gedroogd en verbrand in een zelfstandige installatie. De opgewekte stoom wordt vervolgens aan een elektriciteitscentrale geleverd voor de opwekking van elektriciteit. De voor de slibdroging benodigde stoom (met lagere stoomcondities) wordt betrokken van de elektriciteitscentrale. Binnen dit hoofdsysteem zijn de volgende alternatieven voor parallelle verbranding in combinatie met een kolengestookte centrale en een gascentrale (STEG) uitgewerkt:
 - Alternatief 6a: Parallele verbranding in combinatie met een kolencentrale;
 - Alternatief 6b: Parallele verbranding in combinatie met een STEG centrale;
 - Alternatieven 6c en 6d zijn in principe gelijk aan de alternatieven 6a en 6b, maar er is een verschil in de exergieberekening, omdat de systeemgrenzen verschillend gekozen zijn.
 - **Meestooksystemen**
 Hierbij wordt het slib gedroogd en vervolgens direct in een kolencentrale meegestookt voor de opwekking van elektriciteit. Binnen dit hoofdsysteem zijn de volgende alternatieven met een verschillende mate van slibdroging uitgewerkt:
 - Alternatief 7a: Ontwaterd slib meestoken in een kolencentrale (directe droging met kolen in de vuurhaard);
 - Alternatief 7b: Gedeeltelijk gedroogd slib meestoken in een kolencentrale;
 - Alternatief 7c*: Maximaal gedroogd slib meestoken in een kolencentrale;
 - Alternatief 7d: Maximaal gedroogd slib (d.m.v. aardgas) meestoken in een kolencentrale;
 - Alternatief 7e: Maximaal gedroogd slib (d.m.v. een combinatie van aardgas en damprecompressie) meestoken in een kolencentrale.

De van een asterix (*) voorzien alternatieven zijn ook in het slibeindverwerkingsmodel als variant opgenomen.

In de uitgevoerde (globale) exergie-analyse wordt vooral de kwaliteit van de geproduceerde stoom in de beschouwing meegenomen. Door het proces van slibverbranding in stukken op te splitsen is inzichtelijk gemaakt waar exergieverliezen optreden en wat het potentieel is van verbeteringsalternatieven.

6.2 RESULTATEN

De berekeningsresultaten van de bestudeerde alternatieven zijn weergegeven in tabel 6.2.1 en grafisch weergegeven in figuur 6.2.1.

TABEL 6.2.1 OVERZICHT EXERGIE ANALYSE SLIBVERWERKINGALTERNATIEVEN

Slibverwerkingsalternatieven	Energie input	Electr. prod.	Exergie export stoom	Energie import stoom	Functioneel exergetisch rendement	Exergie verlies	Netto exergie output
	MW _{th}	MW _{el}	MW _{th}	MW _{th}	%	MW	MW
1) Indirecte droging met restwarmte, wervelbed	12,62	-0,07	0,42	0,00	3,3%	12,27	0,35
2) Indirecte droging, wervelbed + tegendrukturbine	12,62	1,09	0,06	0,00	9,1%	11,47	1,15
3) Indirecte droging, wervelbed + condensatieturbine	12,62	1,35	0,00	0,00	10,7%	11,27	1,35
4) Indirecte droging, wervelbed + damprecompressie	12,62	1,52	0,00	0,00	12,0%	11,10	1,52
5) Direct drogen met aardgas	12,62	-2,42	0,00	0,00	-19,2%	15,04	-2,42
6a) Parallel verbranding Kolen (180 bar/ 540°C) ¹⁾	12,62	-0,11	3,31	1,48	14,3%	10,91	1,71
6b) Parallel verbranding STEG (95 bar/ 510°C) ¹⁾	12,62	-0,09	3,13	1,47	13,1%	11,05	1,58
6c) Parallel verbranding Kolen (180 bar/ 540°C) ²⁾	12,62	1,61	0,00	0,00	12,7%	11,02	1,61
6d) Parallel verbranding STEG (95 bar/ 510°C) ²⁾	12,62	1,51	0,00	0,00	12,0%	11,11	1,51
7a) Meestoken ontwaterd slib	12,62	1,59	0,00	0,00	12,6%	11,03	1,59
7b) Meestoken half gedroogd slib	12,62	3,03	0,00	0,00	24,0%	9,59	3,03
7c) Meestoken max. gedroogd slib	12,62	3,87	0,00	0,00	30,7%	8,75	3,87
7d) Meestoken van met aardgas gedroogd slib	12,62	0,02	0,00	0,00	0,2%	12,60	0,02
7e) Meestoken van met damprecompressie gedroogd slib	12,62	4,29	0,00	0,00	34,0%	8,33	4,29

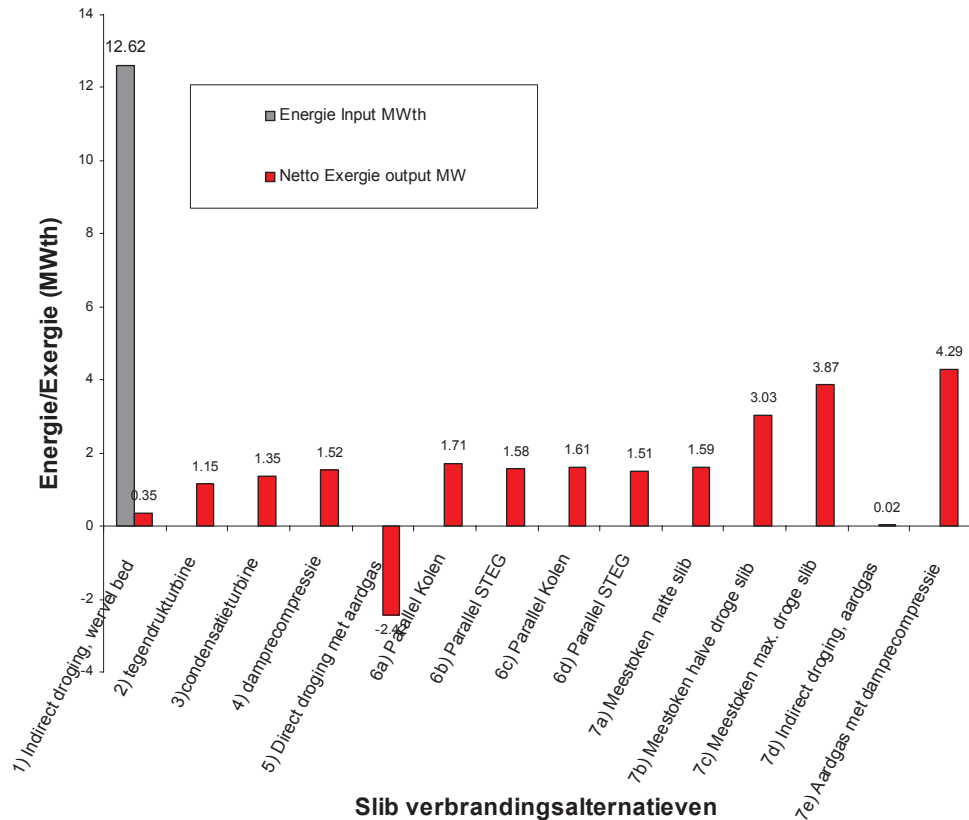
1) In dit geval is de systeemgrens om de slibverwerkingsinstallatie gelegd en wordt feitelijk de exergie bepaald van de stoom die aan de elektriciteitscentrale wordt geleverd;

2) In dit geval is de systeemgrens gelegd om de slibverwerkingsinstallatie plus een gedeelte van de elektriciteitscentrale. De exergie wordt bepaald van de elektriciteit die de centrale uit de geleverde stoom produceert. Hierin is het rendement van de centrale verdisconteerd.

In bovenstaande tabel 6.2.1 komen een aantal uitgewerkte alternatieven in opzet overeen met de varianten die met het slibeindverwerkingsmodel zijn doorgerekend. Het wordt echter opgemerkt dat de resultaten van het energieoptimalisatieonderzoek niet volledig vergelijkbaar zijn met de resultaten van het slibeindverwerkingsmodel. De laatste kolom van tabel 6.2.1 geeft het resultaat van de energieoutput, terwijl met het slibeindverwerkingsmodel de bespaarde hoeveelheid primaire energie is berekend. Bovendien is bij de energieoptima-

lisatieberekeningen uitgegaan van een enigszins afwijkende slibsamenstelling en is alleen gerekend met energetische procesverbruiken en -opbrengsten, terwijl het algemene elektriciteitsverbruik niet is meegenomen.

FIGUUR 6.2.1 NETTO EXERGIEPRODUCTIE VAN DE BESTUDEERDE ALTERNATIEVEN



6.3 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN UIT HET OPTIMALISATIEONDERZOEK

Uit het energieoptimalisatieonderzoek zijn een aantal conclusies getrokken, die hier onverkort worden aangegeven (de tekst is voor de leesbaarheid in dit verband in een aantal gevallen wat verder uitgewerkt):

1. De grootste exergieverliezen treden op de bij de overgang van de warmte uit de vuurhaard naar de ketel. Deze verliezen kunnen worden beperkt door hoogwaardiger stoom te produceren en middels een stoomturbine elektriciteit op te wekken (alternatieven 2, 3 en 4). Ook een verdere vóórdroging van het slib met laagwaardige stoom heeft een afname van de exergieverliezen in de vuurhaard/ketel tot gevolg. In de alternatieven 7a, 7b en 7c is dat zichtbaar gemaakt voor een kolenketel; voor een wervelbedverbrander geldt hetzelfde. Hoewel de exergieverliezen in de droging toenemen worden deze meer dan gecompenseerd door de afname van verliezen in de vuurhaard/ketel. De alternatieven 1 t/m 6 kunnen door verdere voordroging van het slib worden geoptimaliseerd.
2. De tweede oorzaak van exergieverliezen is de slibdroging. De meest ongunstige wijze van drogen is die met behulp van aardgas. De droging kan worden verbeterd door toepassing van laagwaardige stoom voor drogen (alternatief 2 t.o.v. 1) en door damprecompressie (alternatieven 3 en 4). Met gebruik van damprecompressie kunnen met name de alternatieven 7b en 7c nog verder geoptimaliseerd worden. Dit heeft tot gevolg dat met alternatief 7c in potentie het hoogste energetisch rendement kan worden bereikt. Damprecompressie leidt echter wel tot een geringe toename van exergieverliezen in de vuurhaard/ketel en de stoomcyclus. Verder

dient bij deze techniek opgemerkt te worden, dat hij voor zuiveringsslib in de praktijk nog onvoldoende bewezen is (zie ook de opmerking daaromtrent in paragraaf 5.2.2).

3. De derde oorzaak van exergie verliezen is de stoomcyclus. Deze exergie verliezen kunnen worden verminderd door, middels parallelle verbranding, gebruik te maken van de efficiëntere stoomcyclus van grootschalige elektriciteitscentrales (alternatief 6).
4. Tenslotte kunnen de exergie verliezen in de ketel verder worden verminderd door het slib direct in de ketel van een kolencentrale te verbranden (alternatief 7). Hierbij worden de exergie verliezen maximaal beperkt als het slib eerst met laagwaardige warmte maximaal wordt voorgedroogd.

Ten aanzien van de conclusies kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

1. De beperking van exergie verliezen in de droging kunnen worden gecombineerd met parallelle verbranding en meestook waardoor het exergetisch rendement van deze alternatieven verder toeneemt.
2. Het alternatief van parallelle verbranding (alternatief 6) is berekend met stoomcondities van respectievelijk 180 bar/ 540°C en 95 bar/ 510°C. Vanwege het risico op vuurhaardcorrosie kan er voor worden gekozen om de temperatuur te verlagen en de stoom vóór de superheaters van de kolen- of gascentrale in te koppelen. Dit leidt tot een geringe verlaging van het exergetisch rendement.
3. Een deel van de hogere elektriciteitsproductie bij het hoofdsysteem meestoken (alternatief 7) wordt veroorzaakt door de lagere eindrookgastemperatuur bij de kolencentrale (circa 100°C) in vergelijking tot de hoofdsystemen van stand-alone en parallelle verbranding (waarbij wordt uitgegaan van een eindtemperatuur na de ketel van 180°C).
4. Een voordeel van meestoken zou kunnen zijn dat de slibdroging en kolencentrale niet fysiek naast elkaar hoeven te liggen. Dit in tegenstelling tot parallelle verbranding. Maar in dat geval dient voor de slibdroging wel restwarmte uit een andere bron beschikbaar te zijn, dan wel damprecompressie te worden toegepast.
5. Een nadeel van meestoken is dat als gevolg van slibverbranding de as van de kolencentrale minder geschikt kan worden voor hergebruik. Tevens is een nadeel dat bij de kolencentrale minder vergaande rookgasreiniging (met name t.a.v. kwik) plaatsvindt in vergelijking met stand-alone slibverbranding.

6.4 AANVULLENDE KANTTEKENINGEN EN ALGEMENE CONCLUSIES TEN AANZIEN VAN DE ENERGIEOPTIMALISATIE

In aanvulling op de directe conclusies uit het energieoptimalisatieonderzoek zoals aangegeven in de voorgaande paragraaf, kunnen de volgende meer algemene kanttekeningen en conclusies worden getrokken:

- Het energieoptimalisatieonderzoek heeft niet als doel, om nu al tot een keuze voor een optimale energetische opzet voor een thermische verwerkingsketen voor zuiveringsslib te komen. Het dient uitsluitend om, in aanvulling op de resultaten van het slibeindverwerkingsmodel (waarin een breed scala van technieken wordt doorgerekend), inzichtelijk te maken welke factoren een rol spelen bij het energetisch optimaliseren van een aantal specifieke verwerkingsketens. Dit, omdat uit het slibeindverwerkingsmodel duidelijk werd, dat tussen de diverse thermische verwerkingsketens aanzienlijke verschillen in energetisch rendement bestaan.

De voorgestelde verbeteringen zijn niet altijd (meestal niet) direct realiseerbaar, vanwege ofwel technische, milieuhygiënische, financiële en/of organisatorische belemmeringen, zoals in de volgende punten wordt toegelicht:

- De beperking van de exergie verliezen in de vuurhaard/ketel (zie conclusie 1) vereist de toepassing van hoge-druk/hoge-temperatuur stoomketels. Dit leidt vanaf temperaturen van 400 – 450°C tot een verhoogd risico op vuurhaardcorrosie. Dergelijke hoge drukstoomketels zijn bovendien duurder, hetgeen met name zwaar kan wegen bij kleine schaalroottes.
- Droging met laagwaardige warmte (zie conclusie 2) heeft ook zijn beperkingen: als de stoomtemperatuur te laag wordt, neemt het benodigde drogeroppervlak toe en wordt de droger verhoudingsgewijs duurder. Verder bestaat er met technieken als damprecompressie en twee-trapsdroging met zuiveringsslib nog onvoldoende ervaring.
- “parallele” verbranding (zie conclusie 3) vereist een gecombineerde bedrijfsvoering met een elektrische centrale, en daarmee een goed voorbereide en langdurige samenwerking met een elektriciteitsproductiebedrijf. Bovendien dient er een elektrische centrale beschikbaar (of nog beter, in voorbereiding) te zijn, waarmee een dergelijke parallele bedrijfsvoering kan worden gerealiseerd.
- Het meestoken van (al dan niet voorgedroogd) zuiveringsslib in een kolengestookte elektriciteitscentrale vereist ook een langdurige samenwerking met de bedrijver van een dergelijke installatie. Bovendien is de inzet van gedroogd zuiveringsslib nog onderwerp van overleg, vanwege de milieuhygiënische aspecten (vooral enige toename van de kwikuitstoot en de invloed op de samenstelling van de reststoffen).

Anderzijds kan opgemerkt worden, dat uit de energieoptimalisatiestudie ook blijkt dat met het overwinnen van deze belemmeringen aanzienlijke voordelen te boeken zijn. Tegenover een exergetisch rendement van de huidige verwerkingstechnieken, variërend van negatief tot ongeveer neutraal, staat een mogelijke winst aan exergetisch rendement van 10-15% voor de meeste varianten, tot maximaal 25-35% voor de meest gunstige varianten. Ter oriëntatie voor de financiële effecten: een rendementswinst van 15% komt overeen met een extra elektriciteitsopbrengst van circa € 30,- per ton d.s. (waarvan circa 1/2 besparing op brandstofverbruik en 1/2 extra opbrengst van MEP-gelden).

7

KWALITATIEVE VERGELIJKING OVERIGE MILIEUASPECTEN SLIBEINDVERWERKING

7.1 INLEIDING

Bij dit onderzoek is veel aandacht besteed aan het aspect energie en in mindere mate aan de aspecten zoals emissies en reststoffen. Bij het beoordelen van de slibverwerkingsketens kan echter niet voorbij worden gegaan aan de overige milieuaspecten. Deze overige milieuaspecten zijn in kwantitatief opzicht minder eenduidig te vergelijken, daar de milieueffecten sterk afhankelijk zijn van de getroffen reducerende maatregelen (gerealiseerde randvoorzieningen in specifieke lokale situaties), de verwerkingscapaciteiten en/of het grote aantal parameters waarvan het milieueffect moeilijk onderling vergelijkbaar is.

Voorbeelden:

- De emissies naar lucht en water kunnen weliswaar van de hele slibketen worden gesommeerd en worden uitgedrukt in een gewichtseenheid per ton slibdrogestof, maar het aantal parameters is groot. De emissie per parameter kan per slibverwerkingsketen verschillen. Het milieueffect van verschillende parameters is moeilijk vergelijkbaar;
- De totale geuremissie van een slibketen kan worden gesommeerd en worden uitgedrukt in een aantal geureenheden per ton slibdrogestof, maar daarmee ligt de lokaal optredende immissie nog niet vast. Het wel of niet gebruiken van bijvoorbeeld een schoorsteen ter verdunning van de geuremissie kan bijvoorbeeld een belangrijke rol spelen;
- Geluid is per verwerkingsinstallatie weliswaar terug te rekenen tot één puntbron of een geluidbelasting per m², maar het vergelijken van de immissie van verschillende verwerkingscapaciteiten is minder eenvoudig. De geluidimmissie is bovendien sterk afhankelijk van getroffen randvoorzieningen en lokale omstandigheden. Het grote aantal mogelijke randvoorzieningen heeft tot gevolg dat het aantal te vergelijken slibverwerkingsketens sterk zou toenemen.

Om toch gevoel te krijgen voor de overige milieuaspecten is in bijlage IX per slibeindverwerking een kwantitatieve indicatie gegeven van de emissies aan de hand van meetresultaten afkomstig van bestaande installaties in Nederland.

7.2 KWALITATIEVE VERGELIJKING

7.2.1 EMISSIES NAAR LUCHT

Emissies naar de lucht spelen met name een rol bij het verbranden en meeverbranden van zuiveringsslib. Er is sprake van een breed scala aan verontreinigende componenten in de ongereinigde rookgassen, maar bij alle toegepaste verwerkingsketens dienen de verbrandingsemissies aan dezelfde regelgeving te voldoen (BVA). De daardoor opgelegde emissie-eisen kunnen niet worden gerealiseerd zonder de toepassing van rookgasreinigingsvoorzieningen.

Wel kan opgemerkt worden, dat deze rookgasreinigingsvoorzieningen bij de meestookopties (elektriciteitscentrale, cementoven) in het algemeen minder specifiek zijn dan bij de specifieke verbrandingsinstallaties voor slib of afval (SDI's en AVI's) en daardoor voor een aantal componenten, binnen de door de regelgeving bepaalde marges, hogere emissies opleveren.

Voor nagenoeg alle componenten is het door de BVA voorgeschreven emissieniveau echter reeds zodanig laag, dat verdere verlaging binnen de aanwezige marge niet of nauwelijks milieugevolgen heeft. Een uitzondering betreft het element kwik, dat daarom bij de toepassing van zuiveringsslib in meestooksituaties om bijzondere aandacht vraagt.

Bij thermische drogen worden de bij de droging gevormde dampen weer gecondenseerd, waardoor de directe emissies naar lucht, afkomstig uit het slib zeer gering zijn. Wel kunnen er emissies naar lucht optreden van een stookinstallatie, die dan echter op een andere (meestal fossiele) brandstof bedreven wordt.

Bij natte oxidatie komt een beperkte hoeveelheid onvolledig verbrand gas vrij uit de reactor. De meeste in het slib aanwezige verontreinigende componenten blijven in de vloeistoffase achter. Het genoemde gas wordt naverbrand waarbij de resterende emissies van verontreinigende componenten sterk worden gereduceerd.

Bij composteren is de aandacht voornamelijk gericht op het beperken van de emissie aan ammoniak.

7.2.2 GEUR

Het verbranden van geurcomponenten, zoals toegepast bij slibverbranding, thermisch drogen en meeverbranden in een AVI, heeft een sterk reducerend effect op de geuremissie. De geuremissie van deze verwerkingsmethoden in relatie tot de capaciteit is relatief gering. Wel dienen soms specifieke maatregelen getroffen te worden in geval van grootschalige slibopslag.

Bij composteren daarentegen blijft de geuremissie een belangrijk punt van aandacht en kan een capaciteitsbeperkende factor vormen.

De geuremissie van natte oxidatie is gering. De potentiële geurbronnen betreffen het vrijkomende gas, dat thermisch wordt naverbrand, waarbij de geurvormende componenten effectief worden vernietigd en de filterpersinstallatie, die in pandig opgesteld is.

7.2.3 GELUID

Het meeverbranden van zuiveringsslib in een AVI levert geen aantoonbare toename van het geluidemissieniveau buiten de grens van de verwerkingsinrichting. De aanvoer van zuiveringsslib maakt slechts voor enkele procenten deel uit van het totale aantal transportbewegingen voor aanvoer van afval en hulpstoffen en afvoer van reststoffen van een dergelijke grootschalige installatie.

De slibverwerkingsactiviteiten bij verbranden, thermisch drogen en composteren vinden voornamelijk in pandig plaats. Het geluidniveau in de bedrijfshal is met het oog op de arbeidsomstandigheden veelal minder dan 80 dB(A). Dit bepaalt de geluidbelasting op de gevel van het gebouw. Hoe groter de verwerkingscapaciteit, hoe groter de installatie en des te groter de geluidbelasting. In bepaalde gevallen kunnen buiten opgestelde koelinstallaties een extra geluidsbron zijn, maar dit is afhankelijk van de lokale situatie.

Bij natte oxidatie wordt de geluidemissie vooral bepaald door de randapparatuur die niet altijd in pandig staat opgesteld, zoals de bijbehorende afvalwaterzuiveringsinstallatie.

7.2.4 EMISSIES NAAR OPPERVLAKTEWATER

Bij het verbranden van slib kan er een (proces)emissie naar water optreden wanneer er een nat rookgasreinigingssysteem wordt toegepast. De in de rookgasreiniging opgevangen verontreinigingen hopen zich op in het waswatersysteem en om de concentratie van dit waswater te begrenzen dient een deelstroom geloosd te worden. Er bestaan diverse manieren om met dit afvalwater om te gaan.

Bij toepassing van (semi-)droge rookgasreinigingssystemen ontstaat er geen afvalwater.

Bij een groot deel van de Nederlandse AVI's, die op een enkele uitzondering na voorzien zijn van natte rookgasreiniging, komt geen procesafvalwater vrij. Het vrijkomende afvalwater wordt in de installatie zelf verdampt, waarbij de verontreinigingen als een droog residu kunnen worden opgevangen. Verder is een Nederlandse slibverbrandingsinstallatie (SNB) voorzien van een separate indampinstallatie voor het afvalwater uit de rookgasreiniging.

Als er wel procesafvalwater vrijkomt, wordt dit behandeld in een speciale fysisch-chemische afvalwaterbehandelingsinstallatie die de verontreinigende componenten met zeer hoge verwijderingsrendementen uit het water afscheidt, met uitzondering van de oplosbare zouten (chloriden). Dergelijke installaties worden normaliter bedreven in een "maritiem" milieu (zoals bijvoorbeeld de installatie van DRSB, die via een RWZI loost op de Merwede), waarbij de resterende chloridevracht voor het milieu acceptabel is.

Bij thermisch drogen en natte oxidatie komt een hoeveelheid condenswater of waswater vrij uit de droogluchtbehandeling, waarin een grote hoeveelheid CZV en N aanwezig is. Een dergelijke stroom dient op een RWZI te worden geloosd.

Ook bij natte oxidatie komt een grote hoeveelheid stikstof vrij uit de reactor. Deze waterstroom wordt biologisch gezuiverd, maar vormt nog steeds een belangrijke belasting van de bijbehorende RWZI.

7.2.5 BODEM EN GRONDWATER

De verontreiniging van bodem en grondwater is bij geen van de verwerkingsmethoden van groot belang. De installaties zijn over het algemeen zodanig uitgevoerd dat er langs deze weg geen negatieve milieueffecten te verwachten zijn.

Een uitzondering betreft natte oxidatie volgens het ondergrondse systeem, waarbij ten gevolge van technische mankementen, ondergrondse lozing van koelwater is opgetreden.

7.2.6 RESTSTOFFEN

Alle slibketens worden beschouwd tot aan de mineralisatie van het slib. Daarmee zijn samenstelling en volume van de asrest in principe vergelijkbaar. Alleen het vochtgehalte en de toepassing kunnen nog verschillen.

De asrest die vrijkomt bij monoverbranding wordt voor meer dan 90% nuttig toegepast als vulstof in asfalt en als "versatzbau" in de Duitse mijnen.

De asrest die bij het meeverbranden in een AVI ontstaat, kan gedeeltelijk meeliften met de nuttige toepassing van de bodemassen van de AVI als funderingsmateriaal voor wegen. Daarbij betreft de mogelijke beïnvloeding van de kwaliteit van de bodemassen door (de asrest van) het zuiveringslib wel een aandachtspunt. Momenteel bestaat er een kritische situatie ten aanzien van de criteria die het Bouwstoffenbesluit aan de eigenschappen van de bodemas stelt. Als zou blijken, dat het meeverbranden van zuiveringslib extra problemen oplevert, kan dit sterk beperkend werken. Een en ander kan van geval tot geval verschillen en is momenteel nog onderwerp van nader onderzoek.

De asrest die resteert na toepassing van thermisch gedroogd zuiveringslib (en eventueel compost) als secundaire brandstof, komt in het cement terecht of kan meeliften met de toepassing van de vliegafkomstig van de kolencentrales.

Ook in deze beide laatste gevallen stelt de toepassing van het cement cq. van de vliegasen randvoorwaarden aan de hoeveelheden en de samenstelling van het toe te passen lib.

Voor de nuttige toepassing van het filterperslib dat bij natte oxidatie vrijkomt, vormt het relatief hoge vochtgehalte een belemmering. Er zijn wel diverse opties onderzocht, maar grootschalige toepassing is uitgebleven.

Overigens kan in algemene zin worden opgemerkt, dat de toepassing van dit soort reststoffen een ontwikkelingstraject vereist. Verwerkingscontracten kunnen eigenlijk alleen worden afgesloten nadat er op praktijkschaal (demonstratieschaal) voldoende ervaring is opgebouwd. Het heeft na ingebruikname van DRSH en SNB ook enkele jaren geduurd voordat de reststoffen nuttig konden worden toegepast.

7.2.7 HULPSTOFFEN

Bij het composteren worden uitsluitend houtchips toegevoegd die verschillende functies vervullen: als structuurmateriaal, als tijdelijke vochtabsorber en als aanvullende brandstof. De houtchips zijn ook als energiedrager ("brandstof") meegenomen in het rekenmodel.

Bij thermisch drogen worden geen bijzondere hulpstoffen ingezet naast de als energiedrager toegepaste brandstof. Bij de benutting van het gedroogde lib (de volgende stap van de keten) kan dit wel het geval zijn, afhankelijk van de eindverwerker.

Bij het verbranden van lib worden met name in de rookgasreiniging diverse hulpstoffen toegepast, zoals kalk en/of natronloog, eventueel actief kool e.d. Bij het meeverbranden in een AVI neemt het verbruik aan chemicaliën toe in de rookgasreiniging als gevolg van de toename van NO_x -gehalte en het SO_2 -gehalte in de rookgassen. Ook bij de kolencentrales en de cementovens zal meer SO_2 verwijderd moeten worden.

De toegepaste chemicaliën en de bijbehorende hoeveelheden kunnen van geval tot geval verschillen vertonen, afhankelijk van het ontwerp van het toegepaste rookgas-reinigings-systeem. Uitgaande van eenzelfde slibsamenvoeging zullen de verbruiken echter in dezelfde orde van grootte liggen.

Bij natte oxidatie worden verschillende hulpstoffen gebruikt, waarbij de technisch zuivere zuurstof als een vorm van energiedrager ("brandstof") is meegenomen in het rekenmodel. Daarnaast wordt vooral zuur gebruikt voor het reinigen van de reactor in verband met scaling. De meeste hulpstoffen worden echter in de installatie zelf verwerkt.

Een beoordeling van de verschillende methoden ten aanzien van het aspect hulpstoffen is niet eenvoudig omdat de milieueffecten van de verschillende hulpstoffen moeilijk vergelijkbaar zijn.

7.2.8 RUIMTEGEBRUIK

Ten aanzien van het ruimtegebruik kan algemeen worden gesteld, dat composteren relatief veel ruimte vergt en de benodigde ruimte vrijwel evenredig is met de verwerkingscapaciteit.

Meeverbranden in een AVI vergt zeer weinig ruimte, en heeft vrijwel geen relatie met de verwerkingscapaciteit. Wel dient, zoals aangegeven, de benodigde AVI-capaciteit voorhanden (en geschikt voor de toepassing) te zijn.

Het ruimtegebruik voor natte oxidatie wordt voornamelijk bepaald door het oppervlak van de randvoorzieningen zoals de buffers voor nat slib, de afvalwaterzuivering en de slibontwatering. De kern van het proces neemt extreem weinig oppervlak in beslag.

Bij de overige verwerkingsmethoden zijnde verbranden en thermisch drogen, wordt het ruimtegebruik per ton d.s. vooral bepaald door de totale verwerkingscapaciteit van de inrichting. Verbranden neemt iets meer ruimte in vanwege de rookgasreiniging, maar de capaciteit van de verbrandingsinstallaties is in de praktijk meestal groter in vergelijking met de thermische drooginstallaties.

8

ANALYSE

8.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt een beknopt overzicht gegeven van de huidige situatie van de slibverwerking in Nederland (paragraaf 8.2), alsmede een overzicht van de consequenties van de vigerende wet- en regelgeving op dit gebied (paragraaf 8.3).

Vervolgens worden op basis van de resultaten van het slibketenonderzoek voor zowel de water- en sliblijn als voor de slibeindverwerking deelconclusies geformuleerd, die een inzicht geven in de verschillende aspecten en factoren die per onderdeel een rol spelen. Het betreft achtereenvolgens:

- de slibproductie;
- het energieverbruik van de water- en sliblijn;
- de investerings- en exploitatiekosten van de water- en sliblijn;
- de mechanische ontwatering;
- de energieaspecten van de slibeindverwerking;
- de opties voor verdere energieoptimalisatie;
- de kosten van de slibeindverwerking;
- de kosten van slibtransport (inclusief reststoffen).

Aansluitend wordt middels een gevoeligheidsanalyse speciaal (paragraaf 8.7) aandacht besteed aan die factoren die met name de kosten van de slibeindverwerking bepalen (d.s.-gehalte, bezettingsgraad, schaalgrootte).

In de voorlaatste paragraaf (paragraaf 8.8) worden de deelconclusies voor de water- en sliblijn en voor de slibeindverwerkingslijn gecombineerd. Daarbij wordt ingegaan op de aspecten energie, investerings- en verwerkingskosten voor de totale slibketen.

Het hoofdstuk wordt afgesloten met een beknopte paragraaf, waarin de belangrijkste leemtes in de benodigde kennis voor de praktische toepassing van de resultaten worden aangegeven.

Vervolgens worden in hoofdstuk 9 enkele overkoepelende conclusies geformuleerd.

8.2 HUIDIGE SITUATIE VAN SLIBVERWERKING IN NEDERLAND

De huidige situatie ten aanzien van de slib(eind)verwerking in Nederland kan als volgt worden weergegeven:

- bijna de helft van het Nederlandse zuiveringsslib wordt verwerkt in de twee grote slibverbrandingsinstallaties (in Dordrecht en Moerdijk). De bij de verbranding vrijkomende warmte wordt benut voor een gedeeltelijke voordroging van het slib. De vrijkomende asresten worden nuttig toegepast als vulstof in de asfaltindustrie en in Duitse zoutmijnen;
- circa een derde van het slib wordt thermisch gedroogd in zeven drooginstallaties (in Garmerwolde, Heerenveen, Beverwijk, Amsterdam, Venlo, Susteren en Hoensbroek).

Alleen de installatie in Beverwijk gebruikt daarbij restwarmte. De installatie in Amsterdam gebruikt biogas, afkomstig van slibgisting. Het gedroogde slib wordt als secundaire brandstof afgezet bij de kolengestookte elektriciteits-centrales en cementovens;

- circa 13% van het slib wordt biologisch gedroogd (in Zutphen en Tiel);
- het resterende deel (circa 7%) wordt geëxporteerd;
- de natte oxidatie-installatie te Apeldoorn is uit bedrijf genomen;
- een van de thermische drooginstallaties (Amsterdam) zal binnenkort worden gesloten. Het slib, dat daar verwerkt wordt zal daarna grotendeels worden meeverbrand in de AVI Amsterdam.

Daar het storten van gedroogd zuiveringsslib in Nederland niet meer is toegestaan (zie ook paragraaf 8.2) en natte oxidatie niet operationeel is, kan worden gesteld dat momenteel voor de Nederlandse situatie de meest reële opties voor de slibeindverwerkingstechnieken zijn:

- monoverbranding (indirecte droging met restwarmte, gevolgd door wervelbedverbranding);
- thermisch drogen met primaire energie of restwarmte, gevolgd door meestoken in een cementoven of (buitenlandse) e-centrale;
- biologisch drogen met meestoken in een cementoven of (buitenlandse) e-centrale;
- meeverbranding in een AVI.

8.3 CONSEQUENTIES VAN DE WET- EN REGELGEVING

De wet- en regelgeving legt de volgende randvoorwaarden op aan de keuze van de scenario's voor de slibeindverwerking:

- toepassing van communaal zuiveringsslib in de landbouw is in Nederland niet meer mogelijk gezien de samenstelling (vooral vanwege het zware metaalgehalte);
- storten van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib is in Nederland niet meer toegestaan (vooral vanwege het gehalte aan organisch (brandbare) stof);
- het Nederlandse beleid is erop gericht om geen vergunningen meer af te geven voor export van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib;
- in- en uitvoer van zuiveringsslib ten behoeve van storten is in beginsel niet toegestaan, maar het is onduidelijk of hieraan altijd de hand wordt gehouden. In- en uitvoer voor verbranden als vorm van verwijdering is toegestaan, zolang invoer niet leidt tot verdringing van Nederlands slib;
- er is een nieuwe Europese richtlijn in ontwikkeling voor landbouwkundige toepassing. Er dient rekening mee te worden gehouden, dat de normering voor toepassing in de landbouw in het buitenland ruimer blijft gesteld dan in Nederland. De mate van acceptatie van communaal zuiveringsslib door de agrarische sector is in de diverse landen nog zeer verschillend;
- export van gedroogd zuiveringsslib als secundaire brandstof naar Duitsland wordt in de toekomst mogelijk verdrongen door Duits slib als gevolg van de veranderingen in wijzigingen van de daar geldende wet- en regelgeving. Met name het stortverbod voor mechanisch ontwaterd zuiveringsslib en de normering voor toepassing in de Duitse landbouw of voor recultivering kan daarbij van invloed zijn;
- natte oxidatie en smelten/pyrolyse voldoen, op basis van de op dit moment beschikbare gegevens (afkomstig uit het MER van het LAP), niet aan de in het LAP aangegeven minimumstandaard;
- het overheidsbeleid is erop gericht het verlenen van vergunningen voor het drogen of composteren van zuiveringsslib als voorbehandeling voor het storten te beëindigen;
- bij alle vormen van thermische omzetting (mineralisatie) van de slibdrogestof dient

voldaan te worden aan de emissiegrenswaarden naar lucht uit het Besluit Verbranden Afvalstoffen (BVA).

8.4 WATER- EN SLIBLIJN

Als referentie voor de water- en sliblijn gaat het rekenmodel uit van een RWZI met een ontwerpcapaciteit van 100.000 i.e. zonder voorbezinking, zonder slibgisting en zonder bio-P verwijdering (RWZI variant 1). Er zijn zeven varianten uitgewerkt. Bevindingen op grond van een vergelijking met de referentie zijn verwoord in de paragrafen 8.4.1 t/m 8.4.4.

8.4.1 SLIBPRODUCTIE

Ten aanzien van de slibproductie (uitgedrukt in tonnen droge stof) wordt op basis van het slibketenonderzoek het volgende geconstateerd (zie tabel 5.3.2):

- toepassing van voorbezinking leidt tot een toename van de slibproductie met circa 5%;
- toepassing van vergisting leidt tot een afname van de slibproductie met circa 20%;
- toepassing van voorbezinking in combinatie met vergisting (RWZI variant 4) leidt tot een daling van de slibproductie met circa 24% ten opzichte van de referentie (RWZI variant 1);
- toepassing van bio-P verwijdering leidt tot een afname van de slibproductie met circa 10%, vooral door een daling van de hoeveelheid chemisch slib;
- de laagste slibproductie (afname met 34%) wordt bereikt door toepassing van voorbezinking, slibvergisting en bio-P verwijdering (RWZI variant 8).

8.4.2 ENERGIE

Ten aanzien van energieverbruik wordt het volgende geconstateerd in vergelijking met de referentie (RWZI variant 1, zie tabel 5.3.3):

- 70 tot 80% van het energieverbruik van een RWZI wordt verbruikt voor de beluchting;
- toepassing van voorbezinking (zonder vergisting) leidt tot een verlaging van het verbruik aan beluchtingsenergie met circa 9%;
- toepassing van vergisting (zonder voorbezinking, variant 3) leidt tot een toename van het energieverbruik van de RWZI met circa 5%. Door de omzetting van biogas in elektriciteit neemt het totale netto energieverbruik van de RWZI af met circa 22%;
- toepassing van voorbezinking in combinatie met vergisting en opwekking van elektriciteit uit biogas (RWZI variant 4) leidt tot een daling van het energieverbruik van de RWZI met circa 44%;
- toepassing van bio-P verwijdering leidt tot een kleine toename van het energieverbruik van de RWZI met circa 2%;
- het laagste energieverbruik van de RWZI (44% minder dan voor RWZI variant 1) wordt bereikt door een combinatie van voorbezinking en slibgisting, zonder bio-P verwijdering.

8.4.3 KOSTEN

Ten aanzien van de investerings- en exploitatiekosten worden de volgende deelconclusies getrokken in vergelijking met de referentie (zie tabel 5.3.4):

INVESTERINGSKOSTEN

- alleen RWZI variant 5 resulteert in een verlaging van de investeringskosten t.o.v. de referentie (RWZI variant 1). Alle overige varianten met een andere configuratie van de water- en sliblijn t.o.v. RWZI-variant 1, resulteren in een toename van de investeringskosten;
- toepassing van voorbezinking leidt tot een toename van de investeringskosten voor de RWZI met circa 4%;

- toepassing van vergisting leidt tot een toename van de investeringskosten voor de RWZI met circa 4%;
- toepassing van voorbezinking in combinatie met vergisting leidt tot een toename van de investeringskosten voor de RWZI met circa 9%;
- toepassing van bio-P verwijdering leidt tot een daling van de investeringskosten voor de RWZI met circa 2%.

Het effect van de schaalgrootte van de RWZI is van geringe invloed op de procentuele verschillen in de investeringskosten tussen de varianten.

EXPLOITATIEKOSTEN PER I.E., INCLUSIEF KAPITAALLASTEN, EXCLUSIEF SLIBEINDVERWERKINGSKOSTEN

- toepassing van voorbezinking (RWZI variant 2) leidt tot een toename van de exploitatielasten van de RWZI met circa 4%. Dit wordt veroorzaakt door een toename van de kapitaallasten, de onderhoudskosten en het chemicaliënverbruik, deels gecompenseerd door een afname van het energieverbruik voor de beluchting;
- toepassing van slibgisting (RWZI variant 3) leidt tot een toename van de exploitatielasten van de RWZI met circa 3%. Dit wordt veroorzaakt door een toename van de kapitaallasten en de onderhoudskosten, deels gecompenseerd door een afname van het netto energieverbruik en het chemicaliënverbruik;
- toepassing van voorbezinking met slibgisting (RWZI variant 4) leidt tot een toename van de exploitatielasten van de RWZI met circa 7%. Dit wordt veroorzaakt door een toename van de kapitaallasten en de onderhoudskosten, deels gecompenseerd door een afname van het netto energieverbruik en het chemicaliënverbruik;
- toepassing van bio-P verwijdering leidt tot een afname van de exploitatielasten van de RWZI met circa 4% a.g.v. een afname van de kapitaallasten, het onderhoud en het chemicaliënverbruik.

Opgemerkt wordt, dat er op dit moment geen MEP-subsidie gegeven wordt op de elektriciteit, geproduceerd door benutting van biogas uit zuiveringsslib. Als dat wel het geval zou zijn, heeft dat voor de water- en sliblijn een gunstig effect op de toepassing van slibgisting.

8.4.4 MECHANISCHE SLIBONTWATERING

In het rekenmodel voor de water- en sliblijn is ook de mechanische ontwatering opgenomen. Voor de mechanische ontwatering van slib met circa 4% droge stof tot slib met circa 23% droge stof wordt circa 80 kWh per ton d.s. verbruikt. Dit komt overeen met 576 MJ_{prim} per ton d.s. voor het afscheiden van circa 20,7 ton water per ton slibdrogestof, gemiddeld circa 28 MJ_{prim}/ton water. In vergelijking met de verdamping van een ton water, dat circa 2500 MJ_{prim} kost, is dit een relatief goedkope wijze om het water af te scheiden. Over het traject van 4% d.s. tot 23% d.s. zou verdamping ongeveer 100 maal zoveel energie vergen. Optimalisatie van de mechanische ontwatering is van belang, niet alleen uit oogpunt van energiebesparing in het vervolg van de slibketen, maar ook om de hoeveelheid slib die bestemd is voor de slibeindverwerking, te reduceren.

In het rekenmodel wordt het percentage droge stof dat met de mechanische ontwatering wordt gehaald op basis van praktijkervaringen aangenomen (als defaultwaarde). Voor de mechanische ontwatering van uitgegist slib wordt bijvoorbeeld een hoger droge stofgehalte aangehouden in vergelijking met de ontwatering van niet vergist secundair slib. Dat het droge stofgehalte een gevoelige parameter is laat ook paragraaf 8.7.1 zien.

8.5 SLIBEINDVERWERKING

Als referentie voor de slibeindverwerking gaat het rekenmodel uit van indirecte thermische droging met restwarmte, in combinatie met wervelbedverbranding (slibeindverwerkingsvariant 1). Er zijn elf slibeindverwerkingsvarianten uitgewerkt, waarvan de resultaten in vergelijkingstabellen zijn opgenomen (zie o.a. bijlage VI).

8.5.1 ENERGIE

Met het oog op het energieverbruik wordt het volgende geconstateerd ten opzichte van slibeindverwerkingsvariant 1 (zie tabellen 5.4.1 en 5.4.2):

- bij de droogtechnieken is vooral de wijze waarop de reststof wordt ingezet zeer bepalend voor het energiesaldo van de slibeindverwerking. Toepassing in een cementoven (mits daarbij primaire brandstof wordt verdrongen) resulteert in een hoger energiesaldo dan meestoken in een E-centrale. Meestoken resulteert in een veel hoger energiesaldo dan storten;
- indirecte thermische droging (met restwarmte) gevolgd door meestoken in een cementoven is in energetisch opzicht voor alle RWZI varianten de meest gunstige slibeindverwerking. Directe thermische droging (met aardgas) gevolgd door storten is het meest ongunstig;
- met de varianten tegendrukturbine, condensatieturbine of damprecompressie is het negatieve energiesaldo van slibeindverwerkingsvariant 1 te reduceren tot circa nul (zie ook tabel 5.6.1);
- het energiesaldo van de slibeindverwerking is sterk afhankelijk van de gekozen slibeindverwerkingstechniek. De samenstelling van het slib beïnvloedt wel het energiesaldo van de slibeindverwerking, maar dit blijft voor de meeste slibeindverwerkingstechnieken verhoudingsgewijs gelijk.

8.5.2 ENERGIEOPTIMALISATIE

Het energieoptimalisatieonderzoek bij slibverbranding en thermische slibdroging leidt tot de volgende conclusies:

- de grootste exergieverliezen treden op bij de overgang van de warmte uit de vuurhaard naar de ketel. Dit is het gevolg van het grote verschil tussen de temperatuur van de rookgassen in de vuurhaard en de temperatuur van de stoom. Deze verliezen kunnen worden beperkt door hoogwaardiger stoom te produceren en vervolgens de hoogwaardige stoom middels een (tegendruk-)stoomturbine elektriciteit op te wekken. De daarna resterende lage-drukstoom heeft nog voldoende energie-inhoud voor de slibdroging;
- de tweede oorzaak van exergieverliezen is de slibdroging. De meest ongunstige wijze van drogen is die met behulp van aardgas. In dat geval wordt een energiedrager die kan worden ingezet voor elektriciteitsproductie met een hoog rendement, benut voor een droogproces dat ook met restwarmte kan worden uitgevoerd. De exergieverliezen tijdens de droging kunnen worden beperkt door toepassing van laagwaardige stoom voor het drogen en eventueel ook door de toepassing van damprecompressie (hetgeen echter nog geen stand der techniek is);
- de derde oorzaak van exergieverliezen is de stoomcyclus. Onder meer vanwege de schaal-grootte wordt een stoomcyclus met een beperkt energetisch rendement toegepast. Deze exergieverliezen kunnen worden verminderd door, middels parallelle verbranding, gebruik te maken van de efficiëntere stoomcyclus van grootschalige elektriciteits-centrales;
- tenslotte kunnen de exergieverliezen in de ketel verder worden verminderd door het slib direct (in mechanisch ontwaterde vorm) in de ketel van een kolencentrale te verbranden, omdat dan van de gunstige energiehuishouding van de kolencentrale gebruik kan worden

gemaakt. Hierbij worden de exergie verliezen maximaal beperkt als het slib eerst met laagwaardige warmte maximaal wordt voorgedroogd.

8.5.3 KOSTEN VAN SLIBEINDVERWERKING

Ten aanzien van investerings- en exploitatiekosten is het volgende geconstateerd (zie tabellen 5.4.3 en 5.4.4):

INVESTERINGSKOSTEN

- de specifieke investeringskosten voor de slibeindverwerking zijn vooral gevoelig voor de schaalgrootte;
- de specifieke investeringskosten voor verbranding zijn gevoeliger voor de schaalgrootte dan technieken zoals biologisch drogen en thermisch drogen;
- de investeringskosten voor de slibeindverwerking bedragen voor de referentiesituatie circa € 1.400 per verwerkte ton d.s./jaar of € 25,- per i.e. (incl. BTW). Dit is gering ten opzichte van de investering van circa € 300,- per i.e. voor de RWZI's.

EXPLOITATIEKOSTEN

- hoe minder slib per i.e. in de water- en sliblijn wordt geproduceerd, des te lager zijn de kosten per i.e. voor de slibeindverwerking, uitgaande van een gelijkblijvende belasting en schaalgrootte;
- de kosten voor de slibeindverwerking variëren van circa € 250 per ton d.s. (voor meestoken in een AVI) tot circa € 330 per ton d.s. (voor thermische droging met aardgas). De kosten voor natte oxidatie zijn nog hoger (berekend op € 550,- per ton d.s.), maar het is aannemelijk dat voor deze verwerkingsmethode het slib niet vóóraf zal worden ontwaterd. Deze verwerkingskosten kunnen dan met ruim € 100,- per ton d.s. worden verlaagd;
- de exploitatiekosten zijn zeer gevoelig voor de bezettingsgraad van de slibeindverwerkingsinstallatie (zie ook figuur 8.7.3).

8.6 SLIBTRANSPORT

Ten aanzien van het slibtransport per as tussen RWZI, mechanische slibontwatering, slibeindverwerking en reststoffenverwerking kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- de benodigde energie voor het slibtransport is doorgaans minder dan 5% van het energieverbruik door de RWZI. Afwijkingen ten opzichte van het aangenomen patroon van slibtransport zijn niet van doorslaggevende invloed op de vergelijking van de totale slibketenscenario's;
- de totale transportkosten van het zuiveringsslib liggen in de orde grootte van 3% van de totale kosten voor de totale slibketen.

8.7 GEVOELIGHEID VAN DE KOSTEN VOOR DE SLIBEINDVERWERKING

Uit een analyse van de resultaten van het slibeindverwerkingsmodel blijkt, dat de verwerkingskosten en de energiebalans van de slibeindverwerking vooral worden beïnvloed door het droge stofgehalte van het aangeleverde zuiveringsslib na mechanische ontwatering, de bezettingsgraad van de slibverwerkingsinstallatie en de schaalgrootte van de slibeindverwerking. Deze invloeden zijn hieronder nader toegelicht en grafisch weergegeven.

8.7.1 GEVOELIGHEID VAN DE VERWERKINGSKOSTEN EN HET ENERGIEVERBRUIK VOOR HET DROGE STOFGEHALTE

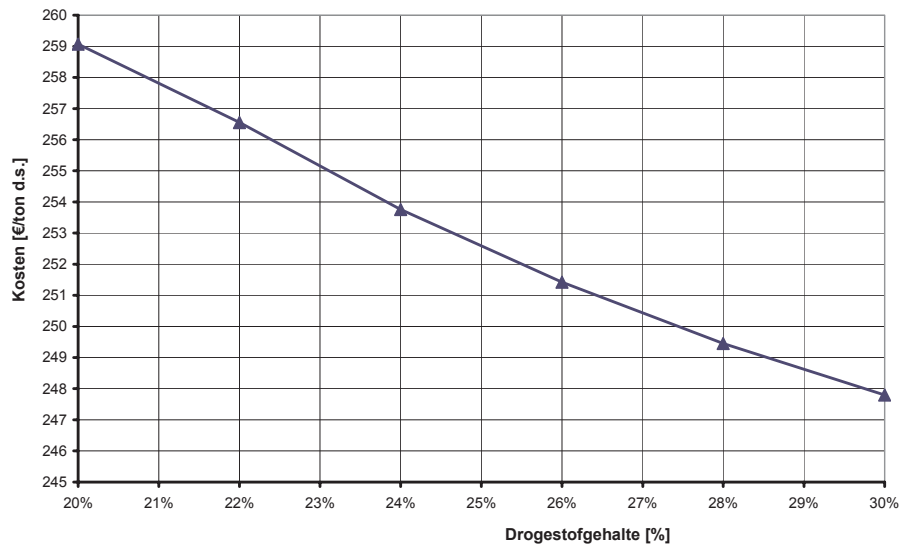
Het droge stofgehalte van het slib na mechanische ontwatering heeft invloed op de kosten en het energieverbruik (eventueel de energieopbrengst) van de slibeind-verwerking. Figuren 8.7.1 en 8.7.2 laten de verwerkingskosten en het energieverbruik zien per ton d.s. in relatie tot het droge stofgehalte van het slib na mechanische ontwatering, voor de slibeindverwerking-variant indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door wervelbedverbranding.

Uit de figuur blijkt, dat het droge stofgehalte een duidelijke invloed heeft op het energieverbruik, maar dat de invloed op de verwerkingskosten (in €/ton d.s.) beperkt is.

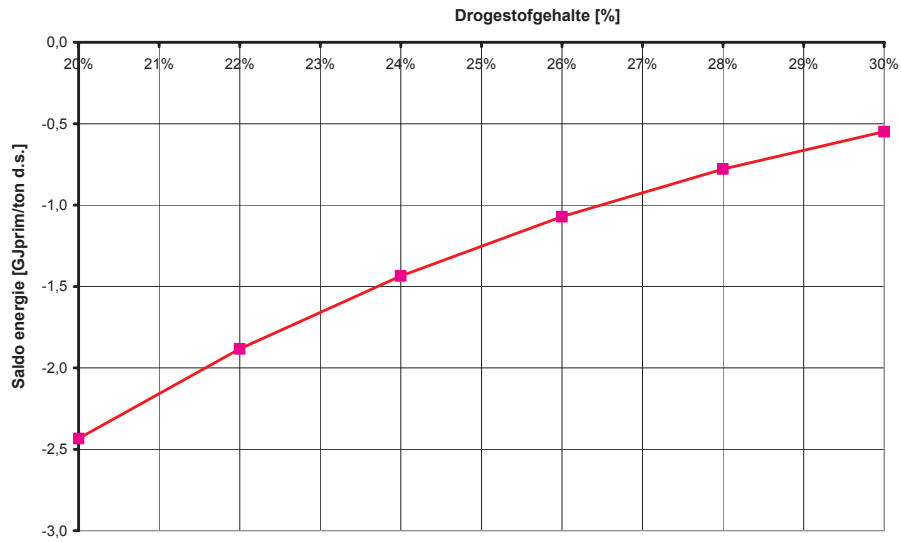
Opgemerkt wordt, dat deze gevoeligheidsanalyse uitsluitend betrekking heeft op het droge stofgehalte na mechanische ontwatering en dat geen rekening is gehouden met eventuele wijzigingen in de hoeveelheid droge stof ten gevolge van een gewijzigde procesvoering in de water- en sliblijn.

Verder wordt opgemerkt, dat uitgegaan is van de huidige energieprijzen. Als in de toekomst de energieprijzen stijgen, zal de invloed van het drogestofgehalte op de verwerkingskosten toenemen.

FIGUUR 8.7.1 KOSTEN SLIBEINDVERWERKING IN RELATIE TOT HET D.S.-GEHALTE VOOR INDIRECTE THERMISCHE DROGING MET RESTWARMTE, GEVOLGD DOOR VERBRANDING



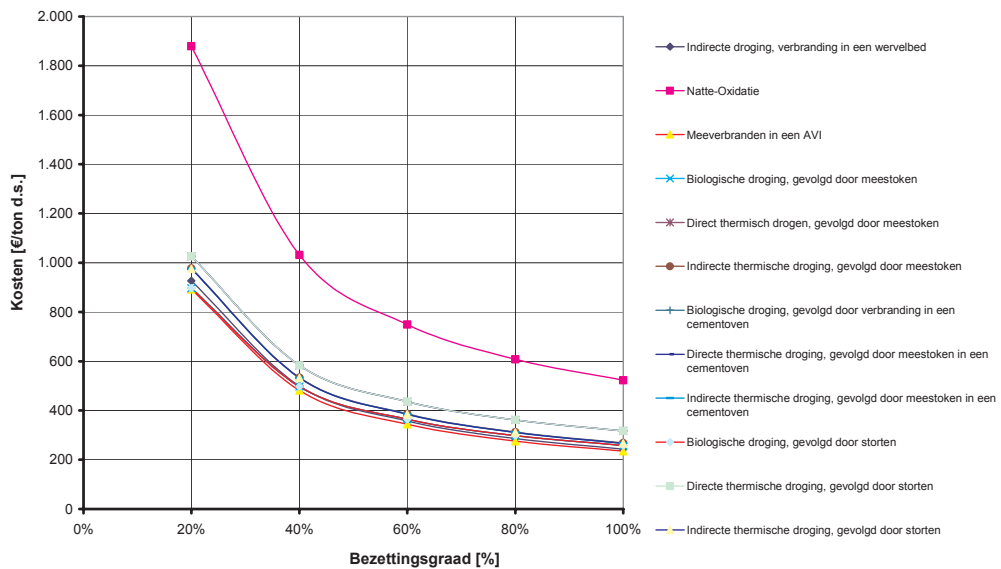
FIGUUR 8.7.2 ENERGIEVERBRUIK PER TON D.S. IN RELATIE TOT HET D.S.-GEHALTE VOOR INDIRECTE THERMISCHE DROGING MET RESTWARMTE, GEVOLGD DOOR VERBRANDING



8.7.2 GEVOELIGHEID VAN VERWERKINGSKOSTEN VOOR BEZETTINGSGRAAD VAN SLIBEINDVERWERKING

Figuur 8.7.3 laat zien in hoeverre de verwerkingskosten van de slibeindverwerking per ton droge stof afhankelijk zijn van de bezettingsgraad van de installatie ten opzichte van de ontwerpcapaciteit. In de uitwerking van de verschillende varianten is als basis een bezettingsgraad aangehouden van 92%, overeenkomend met circa 8.000 bedrijfsuren per jaar.

FIGUUR 8.7.3 KOSTEN SLIBEINDVERWERKING PER TON D.S. IN RELATIE TOT DE BEZETTINGSGRAAD VAN DE SLIBEINDVERWERKING



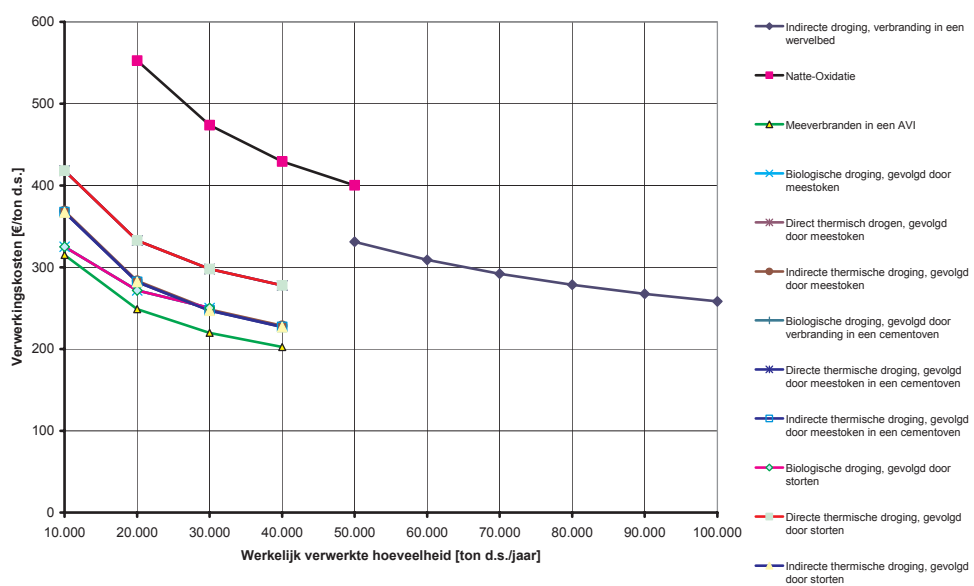
Uit de figuur blijkt, dat de bezettingsgraad een forse invloed heeft op de verwerkingskosten. Met name bij bezettingsgraden beneden 70% beginnen de verwerkingskosten fors toe te nemen.

In dit verband wordt wel opgemerkt, dat bezettingsgraden van 100% moeilijk zijn te realiseren, vanwege optredende variaties in het slibaanbod (bijvoorbeeld seizoensafhankelijk) en vanwege een benodigde reserve voor het opvangen van calamiteiten.

8.7.3 GEVOELIGHEID VAN DE VERWERKINGSKOSTEN VOOR DE SCHAALGROOTTE

Figuur 8.7.4 laat de afhankelijkheid zien van de verwerkingskosten per ton d.s. van de slibeindverwerking in relatie tot de schaalgrootte bij een bezettingsgraad van 92%.

FIGUUR 8.7.4 KOSTEN SLIBEINDVERWERKING PER TON D.S. IN RELATIE TOT DE SCHAALGROOTTE VAN DE SLIBEINDVERWERKING, UITGAANDE VAN EEN BEZETTINGSGRAAD VAN 92%.



Op grond van bovenstaande grafiek kan worden geconcludeerd dat de schaalgrootte ook een duidelijke invloed heeft op de slibeindverwerkingskosten, maar minder dan de bezettingsgraad. Boven een schaalgrootte van 60.000 ton d.s./jaar wordt monoverbranden economisch haalbaar. Bij kleinere schaalgroottes komen thermische droging en biologische droging in aanmerking.

Opgemerkt kan worden dat biologisch drogen minder gevoelig is voor de schaalgrootte dan bijvoorbeeld verbranden en natte oxidatie. Bij een schaalgrootte van 100.000 ton d.s./jaar komen de verwerkingskosten op hetzelfde niveau. In de praktijk is een dergelijke schaalgrootte niet voor elke techniek (bijvoorbeeld biologisch drogen en meestoken in een AVI) toepasbaar.

8.8 TOTALE SLIBKETEN

8.8.1 ENERGIE

Met het oog op het energieverbruik wordt het volgende geconstateerd:

- het energieverbruik van de verschillende RWZI varianten ligt in dezelfde orde van grootte. Het energiesaldo van de totale slibketen wordt vooral beïnvloed door de slibeindverwerking. Dit geldt in het bijzonder voor de slibeindverwerkingsvarianten met biologische of thermische droging (zie ook figuur 5.10.1.b);
- de totale slibketen (bij de standaard schaalgroottes) resulteert als ene uiterste in een overschot aan primaire energie van $9 \text{ MJ}_{\text{prim}}/\text{i.e.}$ (met voorbezinking, zonder gisting en met bio-P verwijdering, gevolgd door thermische droging met restwarmte en meestoken in een cementoven), terwijl in het andere uiterste geval het energieverbruik $368 \text{ MJ}_{\text{prim}}$ per i.e. bedraagt (zonder voorbezinking, zonder slibgisting en zonder bio-P verwijdering, gevolgd door thermisch drogen met primaire energie en storten). Zie ook tabel 8.8.1;
- de verschillen tussen de energiesaldo's voor de verschillende slibsamenstellingen bij de slibeindverwerking zijn groter dan bij de totale slibketen (zie ook figuren 5.10.1.a en 5.10.3.a). Een gunstig energetisch effect bij de RWZI (bijvoorbeeld slibgisting) wordt gedeeltelijk uitgevlakt door een minder gunstig effect bij de slibeindverwerking;
- toepassing van voorbezinking en bio-P verwijdering hebben een gunstig effect op het energiesaldo van de totale slibketen (zie tabel 8.8.2 en 8.8.3);
- slibgisting resulteert in een lager energiesaldo bij de slibeindverwerkingsvarianten die een hoog energetisch rendement hebben (zie tabel 8.8.4);
- verbranding als slibeindverwerking lijkt veel minder gevoelig voor variaties in de samenstelling van het slib zoals dat door de RWZI wordt geproduceerd in vergelijking met de overige slibeindverwerkingstechnieken (zie figuur 5.10.1.a);
- het energiesaldo is zeer gevoelig voor het droge stofgehalte van het aangeboden slib. Één procent hoger droge stofgehalte door de mechanische ontwatering resulteert in circa 5% minder energieverbruik bij de slibeindverwerking. Bovendien wordt daarmee de hoeveelheid te verwerken zuiveringsslib gereduceerd. Vooral bij thermisch drogen is deze afhankelijkheid erg groot;
- de productie aan CO_2 is direct gerelateerd aan het primaire energieverbruik, uitgedrukt in MJ_{prim} per ton droge stof of per i.e. Zie hiervoor ook de laatste kolommen van tabellen 5.4.1 en 5.4.2. De productie aan CO_2 bedraagt $56,1 \text{ kg}$ per GJ aardgas.

8.8.2 KOSTEN

INVESTERINGSKOSTEN

- bij het referentiescenario zijn de investeringskosten per i.e. voor de slibeindverwerking circa 8% van de investeringskosten per i.e. voor de totale slibketen, d.w.z. inclusief de 55,3 RWZI's (zie tabellen 5.3.4 en 5.4.3). De totale investering per i.e. is voor de referentiesituatie berekend op € 334,-;
- indien er meer in de water- en sliblijn wordt geïnvesteerd, zoals bij variant 8 (voorbezinking, slibgisting en bio-P verwijdering), waarbij tegelijkertijd minder slib wordt geproduceerd, dan kan de genoemde 8% dalen tot circa 5% van de investering voor de totale keten. De totale investering per i.e. is berekend op € 345,-. Door te investeren in vermindering van de slibproductie bij de RWZI, stijgt de investering per i.e. voor de totale slibketen;

- de investeringskosten per i.e. voor de slibeindverwerking zijn afhankelijk van de gekozen schaalgrootte. Bij verbranden en natte oxidatie is deze afhankelijkheid groter dan bij biologisch drogen en meeverbranden in een AVI. Thermisch drogen neemt een middenpositie in.

EXPLOITATIEKOSTEN

- de kosten voor de slibeindverwerking variëren tussen de € 3 en € 5 per i.e. Dit is gemiddeld circa 10% van de kosten voor de totale slibketen (d.w.z. inclusief de RWZI's) die tussen de € 36 en € 42 per i.e. liggen. Zie ook tabel 8.8.1;
- in het algemeen zijn de kosten voor de RWZI bepalend voor de totale kosten per i.e. voor waterzuivering plus slibeindverwerking. Hoge kosten voor de waterzuivering worden slechts ten dele gecompenseerd door lagere kosten voor de eindverwerking van het slib;
- natte oxidatie (met name wanneer het slib niet rechtstreeks wordt verwerkt, maar eerst mechanisch wordt ontwaterd) en biologisch drogen gevolgd door storten zijn relatief dure verwerkingstechnieken. Verbranden en co-verbranden resulteren in de laagste verwerkingskosten voor de totale slibketen;
- de kosten per i.e. worden vooral bepaald door de hoeveelheid geproduceerd slib per i.e. en door de gekozen eindverwerkingstechniek. De slibsamenstelling verandert weinig aan de rangvolgorde van de verschillende eindverwerkingstechnieken;
- Bio-P verwijdering en slibgisting verlagen de exploitatiekosten, terwijl voorbezinking tot hogere exploitatiekosten leidt (zie tabellen 8.8.2, 8.8.3 en 8.8.4).

TOELICHTING OP DE VERGELIJKINGSTABELLEN 8.8.1 T/M 8.8.4

Voor de beoordeling van de totale slibketen zijn de volgende vier tabellen toegevoegd:

- tabel 8.8.1: met een overzicht van de berekeningsresultaten voor energie en kosten per i.e. voor de totale slibketen;
- tabel 8.8.2: waarin gelijke slibketens met en zonder bio-P verwijdering op basis van energie en verwerkingskosten met elkaar zijn vergeleken;
- tabel 8.8.3: waarin gelijke slibketens met en zonder voorbezinking op basis van energie en verwerkingskosten met elkaar zijn vergeleken;
- tabel 8.8.4: waarin gelijke slibketens met en zonder slibgisting op basis van energie en verwerkingskosten met elkaar zijn vergeleken;
- tabel 8.8.5: waarin gelijke slibketens met en zonder voorbezinking+vergisting op basis van energie en verwerkingskosten met elkaar zijn vergeleken.

In de laatste vier tabellen is in de derde kolom onder Energie en onder Verwerkingskosten het effect vastgesteld van de aanpassing (resp. bio-P verwijdering, voorbezinking, slibgisting, voorbezinking+vergisting). Een positief effect onder energie houdt in dat het energieverbruik van de slibketen met de gewijzigde configuratie lager is dan zonder de wijziging. Een positief effect onder verwerkingskosten houdt in dat de kosten van de slibketen met de wijziging van de configuratie lager zijn dan de kosten zonder de wijziging.

TABEL 8.8.1

OVERZICHT ENERGIE EN KOSTEN PER I.E. VOOR DE TOTALE SLIBKETEN

	Energie			Verwerkingskosten		
	RWZI	slibverwerking	Totaal	RWZI	slibeindverwerking	Totaal
	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]
RWZI var.1	-0,149	-0,0357	-0,184	34,08	4,30	38,38
RWZI var.2	-0,141	-0,0139	-0,155	35,55	4,43	39,98
RWZI var.3	-0,115	-0,0281	-0,143	35,12	3,43	38,55
RWZI var.4	-0,081	-0,0298	-0,111	36,62	3,31	39,93
RWZI var.5	-0,151	-0,0241	-0,176	32,88	3,78	36,66
RWZI var.6	-0,143	-0,0044	-0,147	34,02	3,92	37,94
RWZI var.7	-0,119	-0,0176	-0,137	33,86	2,92	36,78
RWZI var.8	-0,083	-0,0200	-0,103	35,14	2,83	37,97

Meeverbranden in een AVI

	Energie			Verwerkingskosten		
	RWZI	slibverwerking	Totaal	RWZI	slibeindverwerking	Totaal
	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]
RWZI var.1	-0,149	-0,0189	-0,168	34,08	4,14	38,22
RWZI var.2	-0,141	0,0118	-0,129	35,55	4,16	39,71
RWZI var.3	-0,115	-0,0144	-0,130	35,12	3,29	38,41
RWZI var.4	-0,081	-0,0173	-0,098	36,62	3,19	39,81
RWZI var.5	-0,151	-0,0069	-0,158	32,88	3,62	36,50
RWZI var.6	-0,143	0,0222	-0,120	34,02	3,65	37,67
RWZI var.7	-0,119	-0,0038	-0,123	33,86	2,77	36,63
RWZI var.8	-0,083	-0,0076	-0,091	35,14	2,69	37,83

Biologische droging, gevolgd door meestoken

	Energie			Verwerkingskosten		
	RWZI	slibverwerking	Totaal	RWZI	slibeindverwerking	Totaal
	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]
RWZI var.1	-0,149	0,0111	-0,138	34,08	4,52	38,60
RWZI var.2	-0,141	0,0591	-0,082	35,55	4,76	40,31
RWZI var.3	-0,115	0,0071	-0,108	35,12	3,59	38,71
RWZI var.4	-0,081	0,0000	-0,081	36,62	3,44	40,06
RWZI var.5	-0,151	0,0274	-0,124	32,88	4,05	36,93
RWZI var.6	-0,143	0,0730	-0,070	34,02	4,29	38,31
RWZI var.7	-0,119	0,0212	-0,098	33,86	3,12	36,98
RWZI var.8	-0,083	0,0128	-0,071	35,14	2,98	38,12

TABEL 8.8.1

VERVOLG

	Energie			Verwerkingskosten		
	RWZI	slibverwerking	Totaal	RWZI	slibeindverwerking	Totaal
	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]
RWZI var.1	-0,149	-0,0468	-0,195	34,08	5,54	39,62
RWZI var.2	-0,141	0,0059	-0,135	35,55	5,68	41,23
RWZI var.3	-0,115	-0,0340	-0,149	35,12	4,29	39,41
RWZI var.4	-0,081	-0,0382	-0,119	36,62	4,08	40,70
RWZI var.5	-0,151	-0,0241	-0,176	32,88	4,97	37,85
RWZI var.6	-0,143	0,0256	-0,117	34,02	5,12	39,14
RWZI var.7	-0,119	-0,0141	-0,133	33,86	3,72	37,58
RWZI var.8	-0,083	-0,0200	-0,103	35,14	3,54	38,68

Indirecte thermische droging, gevolgd door meestoken

	Energie			Verwerkingskosten		
	RWZI	slibverwerking	Totaal	RWZI	slibeindverwerking	Totaal
	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]
RWZI var.1	-0,149	0,0542	-0,094	34,08	4,71	38,79
RWZI var.2	-0,141	0,0940	-0,047	35,55	4,92	40,47
RWZI var.3	-0,115	0,0328	-0,082	35,12	3,72	38,84
RWZI var.4	-0,081	0,0221	-0,059	36,62	3,55	40,17
RWZI var.5	-0,151	0,0664	-0,085	32,88	4,23	37,11
RWZI var.6	-0,143	0,1049	-0,038	34,02	4,44	38,46
RWZI var.7	-0,119	0,0437	-0,075	33,86	3,23	37,09
RWZI var.8	-0,083	0,0322	-0,051	35,14	3,08	38,22

Directe thermische droging, gevolgd door meestoken in een cementoven

	Energie			Verwerkingskosten		
	RWZI	slibverwerking	Totaal	RWZI	slibeindverwerking	Totaal
	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]
RWZI var.1	-0,149	0,0034	-0,145	34,08	5,54	39,62
RWZI var.2	-0,141	0,0598	-0,081	35,55	5,68	41,23
RWZI var.3	-0,115	-0,0004	-0,116	35,12	4,29	39,41
RWZI var.4	-0,081	-0,0091	-0,090	36,62	4,08	40,70
RWZI var.5	-0,151	0,0243	-0,127	32,88	4,97	37,85
RWZI var.6	-0,143	0,0780	-0,065	34,02	5,12	39,14
RWZI var.7	-0,119	0,0179	-0,101	33,86	3,72	37,58
RWZI var.8	-0,083	0,0078	-0,076	35,14	3,54	38,68

Indirecte thermische droging, gevolgd door meestoken in een cementoven

	Energie			Verwerkingskosten		
	RWZI	slibverwerking	Totaal	RWZI	slibeindverwerking	Totaal
	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	Saldo [GJprim/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]
RWZI var.1	-0,149	0,0963	-0,052	34,08	4,69	38,77
RWZI var.2	-0,141	0,1411	0,000	35,55	4,90	40,45
RWZI var.3	-0,115	0,0612	-0,054	35,12	3,71	38,83
RWZI var.4	-0,081	0,0467	-0,034	36,62	3,54	40,16
RWZI var.5	-0,151	0,1075	-0,044	32,88	4,21	37,09
RWZI var.6	-0,143	0,1511	0,009	34,02	4,42	38,44
RWZI var.7	-0,119	0,0713	-0,048	33,86	3,21	37,07
RWZI var.8	-0,083	0,0560	-0,027	35,14	3,07	38,21

TABEL 8.8.2

EFFECTEN VAN BIO-P VERWIJDERING OP DE TOTALE SLIBKETEN

Bio-P verwijdering RWZI varianten	Energie			Verwerkingskosten		
	zonder bio-P [GJprim/i.e.]	met bio-P [GJprim/i.e.]	effect	zonder bio-P [€/i.e.]	met bio-P [€/i.e.]	effect
Indir. droging, verbr.						
var. 1 versus var. 5	-0,184	-0,176	+	38,38	36,66	+
var. 2 versus var. 6	-0,155	-0,147	+	39,98	37,94	+
var. 3 versus var. 7	-0,143	-0,137	+	38,55	36,78	+
var. 4 versus var. 8	-0,111	-0,103	+	39,93	37,97	+
Meeverbranden AVI						
var. 1 versus var. 5	-0,168	-0,158	+	38,22	36,50	+
var. 2 versus var. 6	-0,129	-0,120	+	39,71	37,67	+
var. 3 versus var. 7	-0,130	-0,123	+	38,41	36,63	+
var. 4 versus var. 8	-0,098	-0,091	+	39,81	37,83	+
Biol. dr.+ meestoken						
var. 1 versus var. 5	-0,138	-0,124	+	38,60	36,93	+
var. 2 versus var. 6	-0,082	-0,070	+	40,31	38,31	+
var. 3 versus var. 7	-0,108	-0,098	+	38,71	36,98	+
var. 4 versus var. 8	-0,081	-0,071	+	40,06	38,12	+
Dir. therm. dr. + meestoken						
var. 1 versus var. 5	-0,195	-0,176	+	39,62	37,85	+
var. 2 versus var. 6	-0,135	-0,117	+	41,23	39,14	+
var. 3 versus var. 7	-0,149	-0,133	+	39,41	37,58	+
var. 4 versus var. 8	-0,119	-0,103	+	40,70	38,68	+
Indir. therm. dr. + meestoken						
var. 1 versus var. 5	-0,094	-0,085	+	38,79	37,11	+
var. 2 versus var. 6	-0,047	-0,038	+	40,47	38,46	+
var. 3 versus var. 7	-0,082	-0,075	+	38,84	37,09	+
var. 4 versus var. 8	-0,059	-0,051	+	40,17	38,22	+
Dir. therm. dr.+ cementoven						
var. 1 versus var. 5	-0,145	-0,127	+	39,62	37,85	+
var. 2 versus var. 6	-0,081	-0,065	+	41,23	39,14	+
var. 3 versus var. 7	-0,116	-0,101	+	39,41	37,58	+
var. 4 versus var. 8	-0,090	-0,076	+	40,70	38,68	+
Indir. therm. dr. + cementoven						
var. 1 versus var. 5	-0,052	-0,044	+	38,77	37,09	+
var. 2 versus var. 6	0,000	0,009	+	40,45	38,44	+
var. 3 versus var. 7	-0,054	-0,048	+	38,83	37,07	+
var. 4 versus var. 8	-0,034	-0,027	+	40,16	38,21	+

Op grond van tabel 8.8.2 kan geconcludeerd worden, dat toepassing van bio-P in alle gevallen een gunstig effect heeft op de energiebalans en op de verwerkingskosten.

TABEL 8.8.3

EFFECTEN VAN VOORBEZINKING (ZONDER SLIBGISTING) OP DE TOTALE SLIBKETEN

Voorbezinking RWZI varianten	Energie			Verwerkingskosten		
	zonder VBT [GJprim/i.e.]	met VBT [GJprim/i.e.]	effect	zonder VBT [€/i.e.]	met VBT [€/i.e.]	effect
Indir. droging, verbr.						
var. 1 versus var. 2	-0,184	-0,155	+	38,38	39,98	-
var. 3 versus var. 4	-0,143	-0,111	+	38,55	39,93	-
var. 5 versus var. 6	-0,176	-0,147	+	36,66	37,94	-
var. 7 versus var. 8	-0,137	-0,103	+	36,78	37,97	-
Meeverbranden AVI						
var. 1 versus var. 2	-0,168	-0,129	+	38,22	39,71	-
var. 3 versus var. 4	-0,130	-0,098	+	38,41	39,81	-
var. 5 versus var. 6	-0,158	-0,120	+	36,50	37,67	-
var. 7 versus var. 8	-0,123	-0,091	+	36,63	37,83	-
Biol. dr.+ meestoken						
var. 1 versus var. 2	-0,138	-0,082	+	38,60	40,31	-
var. 3 versus var. 4	-0,108	-0,081	+	38,71	40,06	-
var. 5 versus var. 6	-0,124	-0,070	+	36,93	38,31	-
var. 7 versus var. 8	-0,098	-0,071	+	36,98	38,12	-
Dir. therm. dr. + meestoken						
var. 1 versus var. 2	-0,195	-0,135	+	39,62	41,23	-
var. 3 versus var. 4	-0,149	-0,119	+	39,41	40,70	-
var. 5 versus var. 6	-0,176	-0,117	+	37,85	39,14	-
var. 7 versus var. 8	-0,133	-0,103	+	37,58	38,68	-
Indir. therm. dr. + meestoken						
var. 1 versus var. 2	-0,094	-0,047	+	38,79	40,47	-
var. 3 versus var. 4	-0,082	-0,059	+	38,84	40,17	-
var. 5 versus var. 6	-0,085	-0,038	+	37,11	38,46	-
var. 7 versus var. 8	-0,075	-0,051	+	37,09	38,22	-
Dir. therm. dr.+ cementoven						
var. 1 versus var. 2	-0,145	-0,081	+	39,62	41,23	-
var. 3 versus var. 4	-0,116	-0,090	+	39,41	40,70	-
var. 5 versus var. 6	-0,127	-0,065	+	37,85	39,14	-
var. 7 versus var. 8	-0,101	-0,076	+	37,58	38,68	-
Indir. therm. dr. + cementoven						
var. 1 versus var. 2	-0,052	0,000	+	38,77	40,45	-
var. 3 versus var. 4	-0,054	-0,034	+	38,83	40,16	-
var. 5 versus var. 6	-0,044	0,009	+	37,09	38,44	-
var. 7 versus var. 8	-0,048	-0,027	+	37,07	38,21	-

Op grond van tabel 8.8.3 kan geconcludeerd worden, dat toepassing van voorbezinking in alle gevallen een gunstig effect heeft op de energiebalans, maar tevens een ongunstig effect op de verwerkingskosten. Dit is mede het gevolg van de toename van de hoeveelheid slib en de daarmee samenhangende extra slibeindverwerkingskosten.

Bij de vergelijking van RWZI variant 1 versus variant 2 bij indirecte droging en verbranding (slibeindverwerkingsvariant 1) levert de voorbezinking een energetisch voordeel van circa 29 MJ/i.e./jaar tegen een kostenstijging van circa € 1,60 per i.e. per jaar. Ter vergelijking levert een m³ aardgas 31,65 MJ tegen een kostprijs van circa € 0,15 per m³.

TABEL 8.8.4

EFFECTEN VAN SLIBGISTING OP DE TOTALE SLIBKETEN

Slibgisting RWZI varianten	Energie			Verwerkingskosten		
	zonder GT [GJprim/i.e.]	met GT [GJprim/i.e.]	effect	zonder GT [€/i.e.]	met GT [€/i.e.]	effect
Indir. droging, verbr.						
var. 1 versus var. 3	-0,184	-0,143	+	38,38	38,55	-
var. 2 versus var. 4	-0,155	-0,111	+	39,98	39,93	+
var. 5 versus var. 7	-0,176	-0,137	+	36,66	36,78	-
var. 6 versus var. 8	-0,147	-0,103	+	37,94	37,97	-
Meeverbranden AVI						
var. 1 versus var. 3	-0,168	-0,130	+	38,22	38,41	-
var. 2 versus var. 4	-0,129	-0,098	+	39,71	39,81	-
var. 5 versus var. 7	-0,158	-0,123	+	36,50	36,63	-
var. 6 versus var. 8	-0,120	-0,091	+	37,67	37,83	-
Biol. dr.+ meestoken						
var. 1 versus var. 3	-0,138	-0,108	+	38,60	38,71	-
var. 2 versus var. 4	-0,082	-0,081	+	40,31	40,06	+
var. 5 versus var. 7	-0,124	-0,098	+	36,93	36,98	-
var. 6 versus var. 8	-0,070	-0,071	-	38,31	38,12	+
Dir. therm. dr. + meestoken						
var. 1 versus var. 3	-0,195	-0,149	+	39,62	39,41	+
var. 2 versus var. 4	-0,135	-0,119	+	41,23	40,70	+
var. 5 versus var. 7	-0,176	-0,133	+	37,85	37,58	+
var. 6 versus var. 8	-0,117	-0,103	+	39,14	38,68	+
Indir. therm. dr. + meestoken						
var. 1 versus var. 3	-0,094	-0,082	+	38,79	38,84	-
var. 2 versus var. 4	-0,047	-0,059	-	40,47	40,17	+
var. 5 versus var. 7	-0,085	-0,075	+	37,11	37,09	+
var. 6 versus var. 8	-0,038	-0,051	-	38,46	38,22	+
Dir. therm. dr.+ cementoven						
var. 1 versus var. 3	-0,145	-0,116	+	39,62	39,41	+
var. 2 versus var. 4	-0,081	-0,090	-	41,23	40,70	+
var. 5 versus var. 7	-0,127	-0,101	+	37,85	37,58	+
var. 6 versus var. 8	-0,065	-0,076	-	39,14	38,68	+
Indir. therm. dr. + cementoven						
var. 1 versus var. 3	-0,052	-0,054	-	38,77	38,83	-
var. 2 versus var. 4	0,000	-0,034	-	40,45	40,16	+
var. 5 versus var. 7	-0,044	-0,048	-	37,09	37,07	+
var. 6 versus var. 8	0,009	-0,027	-	38,44	38,21	+

Op grond van tabel 8.8.4 kan geconcludeerd worden, dat toepassing van vergisting een gunstig effect heeft op de verwerkingskosten in die gevallen waarin de kosten voor de slibeindverwerkingstechniek hoog zijn. Dit is mede het gevolg van de afname van de hoeveelheid slib en de daarmee samenhangende reductie op de slibeindverwerkingskosten.

De invloed van vergisting op een slibketenscenario is energetisch gunstig indien de organische stof in het slib bij de slibeindverwerking met een laag rendement in energie wordt omgezet. Indien het omzetrement hoog is, zoals bij toepassing van gedroogd slib in een cementoven of E-centrale, dan is vergisting niet gunstig voor het energieselddo van de totale slibketen.

TABEL 8.8.5

EFFECTEN VAN VOORBEZINKING MET SLIBGISTING OP DE TOTALE SLIBKETEN.

Slibgisting RWZI varianten	Energie			Verwerkingskosten		
	zonder VBT/GT [GJprim/i.e.]	met VBT/GT [GJprim/i.e.]	effect	zonder GT [€/i.e.]	met VBT/GT [€/i.e.]	effect
Indir. droging, verbr.						
var. 1 versus var. 4	-0,184	-0,111	+	38,38	39,93	-
var. 5 versus var. 8	-0,176	-0,103	+	36,66	37,97	-
Meeverbranden AVI						
var. 1 versus var. 4	-0,168	-0,098	+	38,22	39,81	-
var. 5 versus var. 8	-0,158	-0,091	+	36,50	37,83	-
Biol. dr.+ meestoken						
var. 1 versus var. 4	-0,138	-0,081	+	38,60	40,06	-
var. 5 versus var. 8	-0,124	-0,071	+	36,93	38,12	-
Dir. therm. dr. + meestoken						
var. 1 versus var. 4	-0,195	-0,119	+	39,62	40,70	-
var. 5 versus var. 8	-0,176	-0,103	+	37,85	38,68	-
Indir. therm. dr. + meestoken						
var. 1 versus var. 4	-0,094	-0,059	+	38,79	40,17	-
var. 5 versus var. 8	-0,085	-0,051	+	37,11	38,22	-
Dir. therm. dr.+ cementoven						
var. 1 versus var. 4	-0,145	-0,090	+	39,62	40,70	-
var. 5 versus var. 8	-0,127	-0,076	+	37,85	38,68	-
Indir. therm. dr. + cementoven						
var. 1 versus var. 4	-0,052	-0,034	+	38,77	40,16	-
var. 5 versus var. 8	-0,044	-0,027	+	37,09	38,21	-

Op grond van tabel 8.8.5 kan geconcludeerd worden, dat toepassing van voorbezinking in combinatie met vergisting in alle gevallen gunstig is voor het energietoestand, maar in geen van de gevallen gunstig is voor de kosten. Nadere analyse is nodig van de besparing op energie en de gemaakte extra kosten, afgezet tegen de kosten voor energie uit fossiele brandstoffen.

8.9 LEEMTEN IN KENNIS

Bij de opzet van het rekenmodel zijn de volgende voorname leemten in kennis vastgesteld:

- het voorspellen van het ontwateringspercentage op basis van de samenstelling van het ingangsproduct, de toe te voegen chemicaliën en de eigenschappen van de ontwateringsapparatuur;
- praktijkinformatie over de toepassing van damprecompressie en tweetrapsverdamper.

9

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

9.1 CONCLUSIES

1. De kosten van de slibeindverwerking (in € per i.e.) maken maar een relatief klein gedeelte (<10%) uit van de totale kosten van de behandeling van een i.e. in de gecombineerde water- en sliblijn en de slibeindverwerking.
2. Daarentegen wordt de energiebalans van de totale sliblijn (van water- en sliblijn tot en met slibeindverwerking) in belangrijke mate bepaald door de gemaakte keuzes bij de slibeindverwerking. De water- en sliblijn wordt gekenmerkt door een overall energieverbruik, terwijl de energiebalans bij de slibeindverwerking varieert van een klein netto energieverbruik van 47 MJ/i.e. tot een surplus van 151 MJ/i.e., afhankelijk van de proceskeuze.
3. Wijzigingen in de toegepaste processen in de water- en sliblijn hebben gevolgen voor de hoeveelheid en samenstelling van het geproduceerde slib dat naar de slibeindverwerking gaat (en dus op kosten en energie), maar de onderlinge verhoudingen tussen de verschillende slibeindverwerkingsmethoden worden daardoor nauwelijks beïnvloed. Dat geldt vooral voor de verwerkingskosten. Dit leidt tot de belangrijke conclusie, dat de keuze voor een slibeindverwerkings-variant relatief onafhankelijk van de configuratie van de water- en sliblijn gemaakt kan worden. Zie ook figuren 5.10.3.a en 5.10.4.a.
4. De benuttingsgraad van een installatie heeft grote invloed op de verwerkingskosten bij de slibeindverwerking (niet op de energiebalans). Uit kosten oogpunt is het daarom gewenst een goede afstemming te realiseren tussen de hoeveelheid geproduceerd zuiveringsslib en de beschikbare of gecontracteerde slibeindverwerkingscapaciteit. Aanbevolen wordt, om met dit aspect rekening te houden bij wijzigingen in de water- en sliblijn.
5. Bio-P-verwijdering heeft een gunstige invloed op de totale slibketen, zowel door verlaging van het energieverbruik als door verlaging van de slibeindverwerkingskosten.
6. Voorbezinking (zonder slibgisting) heeft een verlaging van het energieverbruik tot gevolg voor de totale keten, maar leidt tot een verhoging van de verwerkingskosten, mede omdat de slibproductie hoger is.
7. Slibgisting leidt tot een verlaging van de verwerkingskosten voor de slibketen door verlaging van de hoeveelheid te verwerken slibdrogestof per i.e. In de slibketens waar de energie in het slib in de slibeindverwerking efficiënt wordt aangewend, is slibgisting ongunstig voor het energiesaldo van de totale slibketen.
8. Op basis van de gehanteerde uitgangspunten (met name ook de gekozen schaalgrootte) blijkt variant 7 van de water- en sliblijn (géén voorbezinking, wel slibgisting, wel bio-P-verwijdering qua verwerkingskosten de meest gunstige variant. Dit komt mede door de relatief lage kosten voor de benodigde slibeindverwerking. Variant 8 (met voorbezinking, slibgisting en bio-P) is

uit energetisch oogpunt de meest gunstige variant. Bij verdere stijging van de energieprijzen (of bij invoering van een MEP-subsidie op de daarbij geproduceerde extra energie) wordt deze variant ook uit een oogpunt van verwerkingskosten gunstig.

9. Geconstateerd is, dat aanpassingen in de water- en sliblijn die tot verbeteringen in de energiebalans van de RWZI leiden, normaliter een enigszins tegengesteld effect opleveren bij de slibeindverwerking. Het verdient daarom aanbeveling om bij dit soort aanpassingen in de water- en sliblijn rekening te houden met de effecten bij de slibeindverwerking.
10. Het omslagpunt voor de schaalgrootte van de RWZI waarbij slibgisting wel of niet gunstiger is, ligt –afhankelijk van de kosten van de eindverwerking van het slib– tussen 100.000 tot 200.000 i.e. Bij de exacte ligging van het omslagpunt spelen vanzelfsprekend vele andere kostenfactoren (rentepercentage, kosten van personeel, onderhoud, energie etc.) ook een voorname rol.
11. De methode van slibverwerking die momenteel in Nederland het meest wordt toegepast, slibeindverwerkingsvariant 1 (indirecte droging, gevolgd door verbranding in een wervelbedoven) is alleen kostentechnisch verantwoord bij de gekozen schaalgrootte (100.000 ton d.s./jaar) of groter en neemt bij de momenteel toegepaste procestechniek qua energiehouding een middenpositie in. Belangrijke voordelen van deze slibverwerkingsmethode zijn de technische betrouwbaarheid en het relatief onafhankelijk zijn van andere factoren (energiekosten, reststoffenverwerking).
12. Uit het energieoptimalisatie-onderzoek is gebleken dat bij de slibeindverwerkingsvariant 1 (indirecte droging, gevolgd door verbranding in een wervelbedoven) door aanpassingen in het energetisch ontwerp aanzienlijke verbeteringen mogelijk zijn. In hoeverre deze optimalisaties qua betrouwbaarheid van de technologie (toepassing van damprecompressie) dan wel qua kosten (toepassing van hogere stoomdrukken en stoomturbines) bij de huidige energieprijzen haalbaar zijn, vereist nog nader onderzoek.
13. Meestoken van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib in afvalverbrandings-installaties is eveneens een voor de slibeindverwerking in aanmerking komende goedkope optie. Daarbij moet opgemerkt worden dat de beschikbare verwerkingscapaciteit voor deze methode relatief beperkt is.
14. Uit energetisch oogpunt verdient thermisch drogen met restwarmte duidelijk de voorkeur boven thermische drogen met aardgas als slibeindverwerking. Grote invloed op de overall energiebalans heeft ook de toepassing van het gedroogde slib. Het meest gunstig is daarvoor meeverbranden in cementovens, waarbij wel opgemerkt moet worden, dat het gedroogde slib moet “concurreren” met andere meestook-brandstoffen en dat de cementoven-capaciteit in Nederland beperkt is. Afzet van het gedroogde slib wordt belemmerd door emissievoorschriften, met name ten aanzien van de emissie van kwik.
15. Uit kostenoverwegingen komen biologisch en thermisch drogen in aanmerking voor toepassing bij een kleinere schaalgrootte. Bij een grotere schaal (> 50.000 ton d.s./jaar) is verbranding concurrerend. De kosten voor co-verbranding zijn lager, maar de capaciteit in Nederland is beperkt.

16. De berekende kosten voor natte oxidatie zijn aanzienlijk lager wanneer afvalwaterbehandeling en slibverwerking op één locatie plaatsvinden, zonder mechanische ontwatering en slibtransport, maar daarmee nog steeds een relatief dure verwerkingsmethode.
17. Slibtransport maakt onder Nederlandse omstandigheden minder dan 3% uit op de totale kosten van de slibketen en verbruikt minder dan 5% van de energie nodig voor de water- en sliblijn.

9.2 AANBEVELINGEN VOOR TOEKOMSTIG BELEID

Bij het vergelijken van de slibketenscenario's is uitgegaan van een nieuw te realiseren slib- en waterlijn en een nieuw te realiseren slibeindverwerking. Daarbij is geen rekening gehouden met bestaande situaties, lokale omstandigheden, het marktmechanisme, subsidiemogelijkheden en lokale kansen voor synergie. Toch kunnen er aanbevelingen voor het toekomstig slibbeleid aan deze studie worden ontleend:

- het investeren in proceswijzigingen op de RWZI's met het doel om binnen de grenzen van de RWZI tot een energetisch gunstiger situatie te komen, leidt in veel gevallen niet zonder meer tot een energetisch gunstiger situatie voor de gehele slibketen;
- het investeren in proceswijzigingen op de RWZI's met het doel om binnen de grenzen van de RWZI tot een energetisch gunstiger situatie te komen, leidt in veel gevallen tot hoge kosten per bespaarde MWh (t.o.v. de referentiesituatie waarin geen investeringen worden gedaan) in vergelijking met de kosten voor een primaire brandstof;
- een beter energietoestand van de totale slibketen kan vooral bereikt worden door de keuze van het slibeindverwerkingsscenario;
- samenwerking tussen elektriciteitsproducenten en verwerkers van zuiveringsslib zou bevorderd moeten worden om energie te besparen. Daarbij wordt gedacht aan gebruik van lagedruk stoom voor slibdroging en teruglevering van hoogwaardiger stoom aan de elektriciteitscentrale voor opwekking van elektriciteit. Dit systeem van parallelle verbranding is zowel vanuit milieuhygiënisch als vanuit energetisch opzicht gunstig;
- centraliseren van de verwerking in grootschalige installaties of decentraal drogen van zuiveringsslib en centraliseren van de verwerking van het gedroogde zuiveringsslib in een grootschalige installatie verdient aanbeveling. Effecten van transport wegen momenteel niet op tegen de schaalvoordelen;
- een optimale bezetting van de operationele slibeindverwerkingsinstallaties is van groot belang. Daarvoor is een goede afstemming tussen de diverse slibproducenten en-verwerkers gewenst. De verwerkingskosten zijn zeer gevoelig voor onderbezetting van de installatie, terwijl een overbezetting kan leiden tot ongewenste milieueffecten of gebruikmaking van een onderlinge calamiteitenregeling;
- meer aandacht voor de mechanische ontwatering is gewenst, zowel met het oog op energiebesparing als met het oog op de reductie van de te verwerken hoeveelheid slib;
- het verdient aanbeveling een (MEP-)vergoeding toe te kennen aan de stookwaarde van het slib dat bestemd is voor de slibeindverwerking. Dit ter bevordering van de mechanische ontwatering en ter bevordering van investeringen gericht op de bevordering van het energietoestand van de totale slibketen.

DEFINITIES VAN GEBRUIKTE TERMEN

Gebruikte term	Definitie
Slibketen	Dit is de keten die loopt vanaf het influent van de RWZI via de waterlijn naar de sliblijn van de RWZI, via de slibontwatering naar de slibeindverwerking tot aan de afzet van de reststoffen in gemineraliseerde vorm.
Energie	De extensieve thermodynamische eigenschap van het systeem, die aangeeft in welke mate het systeem in staat is de toestand van zijn omgeving te veranderen door interacties aan de wand.
Exergie	De maximale hoeveelheid mechanische (of elektrische) energie die met behulp van een thermodynamisch proces kan worden opgewekt uit een hoeveelheid thermische energie.
Primaire energie	Energie uit primaire (fossiele) brandstoffen; voor deze rapportage wordt daarbij uitgegaan van aardgas als primaire brandstof.
Energiesaldo	Het overschot of het tekort aan energie voor de verwerking over de gehele slibketen.
Secundaire brandstoffen	Brandstoffen van niet-fossiele oorsprong (zoals biomassa en afval)
Directe thermische droging (drogen met primaire energie)	Drogingsprocessen waarbij het slib in rechtstreeks contact komt met het warmtevoerend medium. De bij droging gevormde droogdampen worden in het medium opgenomen. Bij deze vorm van droging wordt normaliter (maar niet altijd) primaire energie toegepast. Zie ook het kader aan het slot van paragraaf 5.2.2.
Indirecte thermische droging (drogen met restwarmte)	Drogingsprocessen, waarbij het slib niet rechtstreeks in contact komt met het warmtevoerend medium. De bij de droging gevormde droogdampen kunnen apart worden behandeld. Bij indirecte droging bestaan betere mogelijkheden om restwarmte van een laag temperatuurniveau in te zetten. Zie ook het kader aan het slot van paragraaf 5.2.2.
Restwarmte	Warmte die resteert van andere processen.
GJ_{prim}	Hoeveelheid energie die overeenkomt met 31,6 Nm ³ aardgas
1 ton stoom	Komt energetisch overeen met circa 100 m ³ aardgas

REFERENTIES

1. CBS 1997. Milieustatistieken - Waterkwaliteitsbeheer, deel b: zuivering van afvalwater 1995. CBS, Voorburg/Heerlen, 1997.
2. STOWA 1998. Huishoudelijk afvalwater: berekening van de zuurstofvraag. STOWA, Utrecht.
3. Gegevens van Hoogheemraadschap van Rijnland geven een gemiddelde van $0,92 \pm 0,21$ voor 26 RWZI's over 1999-2003. De indruk bestaat dat de verhouding in het oosten van Nederland wat hoger is.
4. Commissie Integraal Waterbeheer 1999. Financiering Zuiveringsbeheer –Voorstel voor een nieuwe heffingsmaatstaf en bouwsteen in de discussie rond de financiering van het waterbeheer. CIW, Den Haag, 1999.
5. Neis U, K Nickel & A Tiehm 2000. Enhancement of anaerobic sludge digestion by ultrasonic disintegration. *Water Science & Technology* 42 (9): 73-80.
6. Tiehm A, K Nickel, M Zellhorn & U Neis 2001. Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization. *Water Research* 35: 2003-2009.
7. Tiehm A, K Nickel & U Neis 1997. The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge. *Water Science & Technology* 36 (11): 121-128.
8. Eder B, F W Günthert, J Müller, A Tiehm, H Hruschka, J Kopp, P Kunz, R Otte-Witte, K-G Schmelz & K Seiler 2001. Verfahrensvergleich und Ergebnisse der mechanischen Klärschlamm-desintegration, 2. Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe AK 1.6 "Klärschlamm-desintegration", *Korrespondenz Abwasser* 48: 393 - 400.

BIJLAGE I

OVERZICHT SLIBONTWATERING EN SLIBEINDVERWERKING IN NEDERLAND

TABEL I.1 OVERZICHT BESTAANDE PRODUCTIE EN VERWERKING VAN ZUIVERINGSSLIB PER WATERSCHAP (2004)

Provincie	Slibproducent	Hoeveelheid in kton d.s./j	d.s. %	Slibeindverwerking	
				variant	plaats
Groningen	Noorderzijvest	12,5	24,0	drogen met aardgas	Garmerwolde
	Hunze en Aa's	--			
Friesland	Wetterskip Fryslân	15,5	24,0	drogen met aardgas	Heerenveen
Drenthe	Velt en Vecht	4,3	24,0	biologisch drogen	Zutphen
	Reest en Wieden	4,1	24,0	biologisch drogen	Zutphen
Overijssel	Groot Salland	11,0	23,0	biologisch drogen	Zutphen
	Regge en Dinkel	9,7	23,0	verbranden	Moerdijk
Flevoland	Zuiderzeeland	7,5	21,0	verbranden	Dordrecht
Gelderland	Rijn & IJssel	14,0	23,0	composteren	Zutphen/Tiel
	Veluwe ¹⁾	14,0	23,0	export	Duitsland
	Rivierenland ⁴⁾	14,0	23,0	biologisch drogen	Tiel
Utrecht	Vallei en Eem	5,4	21,4	verbranden	Moerdijk ⁵⁾
	Stichtse Rijnlanden	8,7	23,2	verbranden	Moerdijk
		3,6	23,0	drogen met aardgas	Amsterdam ²⁾
Noord Holland	Hollands N-kwartier	21,5	23,0	drogen restwarmte	Beverwijk
	Amstel, Gooi en Vecht	21,5	23,0	drogen met aardgas	Amsterdam ²⁾
Zuid Holland	Delfland	22,5	23,0	verbranden	Dordrecht ⁵⁾
	Schieland	6,0	23,0	verbranden	Dordrecht
	Rijnland (ZH-deel)	13,3	21,0	verbranden	Dordrecht
	(NH-deel)	8,2	23,0	verbranden	Dordrecht
Noord Brabant	Hollandsche Delta	24,5	23,0	verbranden	Dordrecht
	Brabantse Delta	11,5	22,3	verbranden	Moerdijk
	Nieuwveer (Zimpro)	4,6	56,0	verbranden	Moerdijk
	De Dommel	20,8	22,5	verbranden	Moerdijk
	Aa en Maas ⁴⁾	20,6	26,0	verbranden	Moerdijk
Zeeland	Alm en Biesbosch	1,0	22,0	verbranden	Moerdijk
	Zeeuwse Eilanden	6,2	26,3	verbranden	Moerdijk
Limburg	Zeeuws Vlaanderen	2,6	25%	verbranden	Moerdijk
		Limburg ³⁾	9,4	22%	drogen met aardgas
		14,5	22%	drogen met aardgas	Susteren
		7,1	22%	drogen met aardgas	Hoenderlo

1) Voor het slib van Veluwe wordt gezocht naar een structurele oplossing nu de VARTECH installatie buiten bedrijf is gesteld;

2) De thermische slibdrooginstallatie van Amsterdam wordt op korte termijn geamoveerd. Het slib van DWR zal worden meegestookt in de AVI Amsterdam tot een hoeveelheid van 100.000 t/j. De resterende hoeveelheid slib van Amstel Gooiland en Stichtse Rijnlanden zal elders worden ondergebracht voor eindverwerking.;

3) Het meeste thermisch gedroogde zuiveringsslib wordt afgevoerd naar de ENCI waar het als een secundaire brandstof wordt ingezet bij de productie van klinker. Er is onlangs aangekondigd dat de klinkerproductie bij ENCI eind 2008 wordt beëindigd. Dit houdt in dat het gedroogde zuiveringsslib nadien zal worden afgevoerd naar andere cementovens van hetzelfde moederbedrijf, vermoedelijk in België.

4) Als gevolg van de reorganisatie heeft een lichte verschuiving plaatsgevonden van de slibproductie en de slibafzet;

5) De verbrandingsinstallatie Dordrecht heeft een tijdelijk exportcontract voor 5.700 ton d.s./jaar naar Duitsland. De verbrandingsinstallatie Moerdijk exporteert eveneens tijdelijk slib naar Duitsland. Deze export kan op termijn worden opgeheven door de realisatie en ingebruikname van een (centrale) vergistingsinstallatie in Mierlo voor een gedeelte van het slib van het Ws. Aa en Maas.

BIJLAGE II

GEDETAILLEERDE UITKOMSTEN RWZI'S

TOTAALOVERZICHT

variant		1	2	3	4	5	6	7	8
influent									
debieten									
DWA	m3/d	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
RWA	m3/h	4.400	4.400	4.400	4.400	4.400	4.400	4.400	4.400
totale aanvoer	m3/d	18.320	18.320	18.320	18.320	18.320	18.320	18.320	18.320
concentraties									
CZV	mg/l	523	523	523	523	523	523	523	523
BZV	mg/l	191	191	191	191	191	191	191	191
Nkj	mg/l	48	48	48	48	48	48	48	48
Nitraat	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0
Pt	mg/l	8	8	8	8	8	8	8	8
OB	mg/l	191	191	191	191	191	191	191	191
effluenteisen									
CZV	mg/l	125	125	125	125	125	125	125	125
BZV	mg/l	20	20	20	20	20	20	20	20
Nkj	mg/l	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Ntotaal	mg/l	10	10	10	10	10	10	10	10
Pt	mg/l	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
OB	mg/l	30	30	30	30	30	30	30	30
beknopte beschrijving installatie									
voorbezinking	0 of 1	0	1	0	1	0	1	0	1
biologische P-verwijdering	0 of P,U	0	0	0	0	P	P	P	P
membraanscheiding		0	0	0	0	0	0	0	0
zandfiltratie		0	0	0	0	0	0	0	0
indikking									
primair	G of M	n v t	G	n v t	G	n v t	G	n v t	G
secundair	G of M	M	M	M	M	M	M	M	M
slibvoorbehandeling	0 of 1	0	0	0	0	0	0	0	0
slibgisting	0 of 1	0	0	1	1	0	0	1	1
slibontwatering	0 of Z, K, C	C	C	C	C	C	C	C	C
retourstroom									
CZV	%	2	2	2	2	2	2	2	2
BZV	%	2	2	2	2	2	2	2	2
Nkj	%	0,9	1,8	9,2	11,2	0,9	1,8	10,6	12,2
P	%	2	2	2	2	2	2	2	2
ZS	%	2	2	2	2	2	2	2	2
installatie									
voorbezinking	-	afwezig	aanwezig	afwezig	aanwezig	afwezig	aanwezig	afwezig	aanwezig
aantal		0	1	0	1	0	1	0	1
diameter	m	0,00	47,30	0,00	47,30	0,00	47,30	0,00	47,30
P-verwijdering	-	chemisch	chemisch	chemisch	chemisch	Phoredox	Phoredox	Phoredox	Phoredox
biologie	-	actief slib	actief slib	actief slib	actief slib	actief slib	actief slib	actief slib	actief slib
aantal straten	-	2	2	2	2	2	2	2	2
slibgehalte	g/l	4	4	4	4	4	4	4	4
SVI	ml/g	120	120	120	120	120	120	120	120
totaalvolume									
voor bio-P	m3	0	0	0	0	1.200	1.200	1.200	1.200
voor nitrificatie	m3	9.200	6.000	9.130	5.910	8.160	4.960	8.060	4.890
voor denitrificatie	m3	4.750	6.380	5.790	8.060	4.220	5.270	5.280	6.840
totaal	m3	13.950	12.380	14.920	13.970	13.580	11.430	14.540	12.930
beluchting		0	0	0	0	0	0	0	0
punt / bellen	1 of 2	2	2	2	2	2	2	2	2
setpoint O2	mg/l	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2
nabezinking		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
aantal		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4
diameter		38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	39
membraanscheiding	-	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig
zandfiltratie	-	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig
totaal oppervlak	m2	0	0	0	0	0	0	0	0
slibindikking									
primair slib									
type	-	gravitair	gravitair	gravitair	gravitair	gravitair	gravitair	gravitair	gravitair
aantal	-	1	1	1	1	1	1	1	1
diameter (G)	m	0,00	7,90	0,00	7,90	0,00	7,90	0,00	7,90
capaciteit (M)	m3/h								
secundair slib									
type	-	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch
type	-	band	band	band	band	band	band	band	band
aantal	-	2	2	2	2	2	2	2	2
diameter (G)	m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
capaciteit (M)	m3/h	50	50	50	50	50	25	50	25
slibvoorbehandeling	-	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig
behandeling van									
voor	%								
slibgisting									
verblijftijd	d	afwezig	afwezig	aanwezig	aanwezig	afwezig	afwezig	aanwezig	aanwezig
temperatuur	°C			20	20			20	20
aantal tanks	-			35	35			35	35
volume tanks	m3	0	0	1	1	0	0	1	1
na-indikking				1.349	1.816	0	0	1.345	1.812
aantal	-	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig
diameter	m								
slibontwatering	plaats	op de locatie	op de locatie	op de locatie	op de locatie	op de locatie	op de locatie	op de locatie	op de locatie
		centrifuge	centrifuge	centrifuge	centrifuge	centrifuge	centrifuge	centrifuge	centrifuge

effluent									
concentraties									
CZV	mg/l	30	30	30	30	30	30	30	30
BZV	mg/l	3	3	3	3	3	3	3	3
totaal N	mg/l	10	10	10	10	10	10	10	10
totaal P	mg/l	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
zwevende stof	mg/l	6	6	6	6	6	6	6	6
vrachten									
CZV	kg/d	550	550	550	550	550	550	550	550
BZV	kg/d	55	55	55	55	55	55	55	55
totaal N	kg/d	183	183	183	183	183	183	183	183
totaal P	kg/d	37	37	37	37	37	37	37	37
zwevende stof	kg/d	110	110	110	110	110	110	110	110
slibproductie									
droge stof excl chemisch	kg/d	4.094	4.107	3.151	2.772	4.089	4.101	3.141	2.762
chemisch slib	kg/d	465	687	471	696	0	220	0	244
droge stof totaal	kg/d	4.559	4.794	3.623	3.468	4.089	4.321	3.141	3.005
organische stof	kg/d	2.866	2.973	1.937	1.656	2.862	2.969	1.931	1.650
asgehalte	%	37	38	47	52	30	31	39	45
volumestroom	m3/d	21,7	20,0	15,1	13,9	19,5	18,0	13,1	12,0
drogestofgehalte	%	21	24	24	25	21	24	24	25
gehalte organisch	%	63	62	53	48	70	69	61	55
verbrandingswaarde O.S. MJ/kg		19,9	22,7	19,9	19,9	19,9	22,8	19,9	19,9
afbraak organische stof		0,0	0,0	31,6	43,5	0,0	0,0	31,6	43,53
verbruik chemicaliën									
FeCl3	kg/d	130	181	126	175	25	75	19	72
methanol	kg/d	0	0	0	0	0	0	0	0
NaOH	kg/d	0	0	0	0	0	0	0	0
PE	kg/d	46	48	36	35	41	43	31	30
citroenzuur	kg/d	0	0	0	0	0	0	0	0
NaOCl	kg/d	0	0	0	0	0	0	0	0
verbruik energie									
voorbezinking	kW	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3
biologie	kW	185	169	199	185	190	171	206	189
nabezinking	kW	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
membraanscheiding	kW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
zandfiltratie	kW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
slibindikking	kW	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
slibgisting	kW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
na-indikking	kW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
slibontwatering	kW	13,6	13,7	10,5	9,2	13,6	13,7	10,5	9,2
overig	kW	36,2	40,2	36,2	40,2	36,2	40,2	36,2	40,2
totaal	kW	236	223	247	236	240	226	253	239
productie energie									
productie biogas	m3/d	0	0	675,5	1.136,1	0	0	673	1.134
gistingsgas	kW	0	0	64,0	107,0	0	0	64	107,0
kosten									
investering									
civiel	Euro	17.615	18.040	18.550	19.235	17.220	17.540	18.155	18.735
WEM & R	Euro	12.820	13.475	13.220	14.035	12.500	12.950	12.855	13.540
totaal	Euro	30.875	32.010	32.225	33.780	30.175	30.995	31.475	32.795
exploitatie									
kapitaalslasten	Euro/j	2.405	2.495	2.505	2.630	2.350	2.415	2.445	2.550
bedrijfsvoering									
onderhoud	Euro/j	473	494	489	517	461	476	476	500
energie	Euro/j	189	174	201	188	192	176	205	191
energie uit gas	Euro/j	0	0	-48	-80	0	0	-48	-80
chemicaliën									
methanol	Euro/j	0	0	0	0	0	0	0	0
FeCl3	Euro/j	46	70	47	70	0	23	0	26
overige	Euro/j	98	103	78	75	88	93	68	65
vervangend membranen	Euro/j	0	0	0	0	0	0	0	0
personeel	Euro/j	151	173	194	216	151	173	194	216
laboratoriumkosten	Euro/j	46	46	46	46	46	46	46	46
eindverwerking slib	Euro/j	0	0	0	0	0	0	0	0
Rijksheffing	Euro/j	0	0	0	0	0	0	0	0
subtotaal	Euro/j	1.003	1.060	1.007	1.032	938	987	941	964
TOTAAL	Euro/j	3.408	3.555	3.512	3.662	3.288	3.402	3.386	3.514
kosten per i.e.									
investering	Euro	309	320	322	338	302	310	315	328
exploitatie	Euro/j	34,10	35,60	35,10	36,60	32,90	34,00	33,90	35,10

GEDETAILLEERD KOSTENOVERZICHT

ZUIVERINGSWERK		1	2	3	4	5	6	7	8
CIVIEL									
inlaatwerk	€	890.000	890.000	890.000	890.000	890.000	890.000	890.000	890.000
zandvang	€	460.000	460.000	460.000	460.000	460.000	460.000	460.000	460.000
verdeelwerken	€	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000
voorbezinking	€	0	185.000	0	185.000	0	185.000	0	185.000
anaerobe ruimte, indien apart	€	0	0	0	0	0	0	0	0
beluchttingsruimte	€	1.660.000	1.530.000	1.740.000	1.655.000	1.555.000	1.375.000	1.640.000	1.505.000
doseringen	€	35.000	45.000	35.000	45.000	0	20.000	0	20.000
nabezinking	€	1.485.000	1.485.000	1.485.000	1.485.000	1.485.000	1.485.000	1.485.000	1.485.000
retourslibkelders	€	780.000	780.000	780.000	780.000	780.000	780.000	780.000	780.000
membraanscheiding	€	0	0	0	0	0	0	0	0
zandfilter	€	0	0	0	0	0	0	0	0
voorindikking	€	0	50.000	0	50.000	0	50.000	0	50.000
mechanische indikking	€	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000
slibgisting	€	0	0	285.000	340.000	0	0	285.000	340.000
naindikking	€	0	0	0	0	0	0	0	0
slibbuffer	€	15.000	15.000	10.000	10.000	15.000	15.000	10.000	10.000
luchtbehandeling	€	15.000	15.000	15.000	15.000	20.000	20.000	20.000	20.000
slibverwerkingsgebouw	€	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000
energiegebouw	€	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
bedrijfsgebouw	€	870.000	870.000	870.000	870.000	870.000	870.000	870.000	870.000
bedrijfswatergebouw	€	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000
schakeelruimtes van E 5%	€	95.000	100.000	100.000	105.000	90.000	95.000	95.000	100.000
fundering	€	220.000	290.000	240.000	315.000	210.000	275.000	225.000	295.000
grondwerk	€	195.000	195.000	205.000	210.000	180.000	175.000	190.000	190.000
grondwateronttrekking	€	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
leidingwerk 15%	€	835.000	850.000	885.000	920.000	810.000	825.000	865.000	895.000
SUBTOTAAL	€	8.465.000	8.670.000	8.910.000	9.245.000	8.275.000	8.430.000	8.725.000	9.005.000
algemene kosten 25%	€	2.115.000	2.170.000	2.230.000	2.310.000	2.070.000	2.110.000	2.180.000	2.250.000
TOTAAL	€	10.580.000	10.840.000	11.140.000	11.555.000	10.345.000	10.540.000	10.905.000	11.255.000
MECHANISCH/ELECTRISCH									
influentgemaal	€	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000
rooster	€	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
zandvang	€	460.000	460.000	460.000	460.000	460.000	460.000	460.000	460.000
voorbezinking	€	5.000	190.000	5.000	190.000	5.000	190.000	5.000	190.000
anaerobe ruimte	€	0	0	0	0	0	0	0	0
beluchttingsruimte	€	465.000	395.000	500.000	450.000	520.000	450.000	540.000	510.000
opvoerpompen	€	0	0	0	0	0	0	0	0
doseringen	€	160.000	180.000	165.000	180.000	0	130.000	0	130.000
nabezinking	€	610.000	610.000	610.000	610.000	610.000	610.000	610.000	610.000
retourslib	€	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
membraanscheiding	€	0	0	0	0	0	0	0	0
zandfilter	€	0	0	0	0	0	0	0	0
effluentgemaal	€	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000
voorindikking	€	0	65.000	0	65.000	0	65.000	0	65.000
mechanische indikking	€	460.000	460.000	460.000	460.000	460.000	275.000	460.000	275.000
ultrasone voorbehandeling	€	0	0	0	0	0	0	0	0
slibgisting	€	0	0	95.000	110.000	0	0	95.000	110.000
gashouder	€	0	0	45.000	75.000	0	0	45.000	75.000
fakkel	€	0	0	35.000	55.000	0	0	35.000	55.000
gasmotoren	€	50.000	50.000	90.000	120.000	50.000	50.000	90.000	120.000
na-indikking	€	0	0	0	0	0	0	0	0
slibontwatering	€	645.000	680.000	515.000	490.000	580.000	610.000	445.000	425.000
luchtbehandeling	€	190.000	190.000	190.000	190.000	255.000	255.000	255.000	255.000
leidingwerk 50%	€	420.000	425.000	445.000	460.000	405.000	415.000	435.000	450.000
terreinsbegrenzing	€	75.000	80.000	75.000	80.000	75.000	80.000	80.000	80.000
SUBTOTAAL	€	4.805.000	5.050.000	4.955.000	5.260.000	4.685.000	4.855.000	4.820.000	5.075.000
ELECTRISCHE WERKEN									
%-age van M/E 40%	€	1.890.000	1.990.000	1.950.000	2.070.000	1.845.000	1.910.000	1.895.000	2.000.000
SUBTOTAAL W, M/E & R	€	6.695.000	7.040.000	6.905.000	7.330.000	6.530.000	6.765.000	6.715.000	7.075.000
algemene kosten 15%	€	1.005.000	1.055.000	1.035.000	1.100.000	980.000	1.015.000	1.005.000	1.060.000
TOTAAL	€	7.700.000	8.095.000	7.940.000	8.430.000	7.510.000	7.780.000	7.720.000	8.135.000
SAMENVATTING BOUWKOSTEN									
civiel	€	10.580.000	10.840.000	11.140.000	11.555.000	10.345.000	10.540.000	10.905.000	11.255.000
W, E/M & R	€	7.700.000	8.095.000	7.940.000	8.430.000	7.510.000	7.780.000	7.720.000	8.135.000
subtotaal	€	18.280.000	18.935.000	19.080.000	19.985.000	17.855.000	18.320.000	18.625.000	19.390.000
onvoorzien 20%	€	3.655.000	3.785.000	3.815.000	3.995.000	3.570.000	3.665.000	3.725.000	3.880.000
TOTALE BOUWKOSTEN	€	21.935.000	22.720.000	22.895.000	23.980.000	21.425.000	21.985.000	22.350.000	23.270.000
SAMENVATTING STICHTINGSKOSTEN									
bouwkosten	€	21.935.000	22.720.000	22.895.000	23.980.000	21.425.000	21.985.000	22.350.000	23.270.000
inrichtingskosten 2%	€	440.000	455.000	460.000	480.000	430.000	440.000	445.000	465.000
advieskosten 10%	€	2.195.000	2.270.000	2.290.000	2.400.000	2.145.000	2.200.000	2.235.000	2.325.000
bijkomende kosten 5%	€	1.095.000	1.135.000	1.145.000	1.200.000	1.070.000	1.100.000	1.120.000	1.165.000
grond	€	220.000	250.000	230.000	260.000	230.000	255.000	235.000	265.000
BTW 19%	€	4.920.000	5.100.000	5.135.000	5.380.000	4.805.000	4.935.000	5.015.000	5.225.000
INVESTERINGEN	€	30.805.000	31.930.000	32.155.000	33.700.000	30.105.000	30.915.000	31.400.000	32.715.000

EXPLOITATIE		30.805.000	31.930.000	32.155.000	33.700.000	30.105.000	30.915.000	31.400.000	32.715.000
kapitaalslasten	€/j	2.405.000	2.495.000	2.505.000	2.630.000	2.350.000	2.415.000	2.445.000	2.550.000
bedrijfsvoering									
onderhoud	€/j	473.000	494.000	489.000	517.000	461.000	476.000	476.000	500.000
energie	€/j	189.000	174.000	201.000	188.000	192.000	176.000	205.000	191.000
energie uit gas	€/j	0	0	-48.000	-80.000	0	0	-48.000	-80.000
chemicalien									
methanol	€/j	0	0	0	0	0	0	0	0
FeCl3	€/j	46.000	70.000	47.000	70.000	0	23.000	0	26.000
overige	€/j	98.000	103.000	78.000	75.000	88.000	93.000	68.000	65.000
vervanging membranen	€/j	0	0	0	0	0	0	0	0
personeel	€/j	151.000	173.000	194.000	216.000	151.000	173.000	194.000	216.000
laboratoriumkosten	€/j	46.000	46.000	46.000	46.000	46.000	46.000	46.000	46.000
eindverwerking slib	€/j	0	0	0	0	0	0	0	0
Rijksheffing	€/j	0	0	0	0	0	0	0	0
subtotaal	€/j	1.003.000	1.060.000	1.007.000	1.032.000	938.000	987.000	941.000	964.000
TOTAAL	€/j	3.408.000	3.555.000	3.512.000	3.662.000	3.288.000	3.402.000	3.386.000	3.514.000
PER IE:									
investering	€/i.e.	308,10	319,30	321,60	337,00	301,10	309,20	314,00	327,20
exploitatie	€/i.e./-1	34,10	35,60	35,10	36,60	32,90	34,00	33,90	35,10

BIJLAGE III

**OVERZICHT NETTO PRIMAIRE
ENERGIEBEHOEFTE OF -OVERSCHOT PER
WATERZUIVERINGSVARIANT**

Type rioolwaterzuivering: 1

Per ton d.s.	Netto primaire energiebehoefte of -overschot (GJ/prim/ton d.s.)										Netto		CO ₂ -emissie [kg/ton d.s.]
	Primair	Elektrisch	Stoom/ condensaat	Zuurstof/hout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort	Saldo (GJ/prim/ton d.s.)	Tekort	
I Stand-alone slibverwerking													
1 Indirecte droging, verbranding in een wervebed	0	2.207	0	0	2	0	0	65	0	-2.144	0	-2.144	120,3
2 Naite oxidatie	760	2.210	0	2.885	14	636	0	0	0	-5.233	0	-5.233	293,6
II Afvalverbrandingsinstallatie													0,0
3 Meervebanden in een AVI	0	1.080	0	0	0	0	0	-56	0	-1.136	0	-1.136	63,7
III Elektriciteitscentrales													
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	1.584	0	1.521	1	0	3.774	0	667	0	0,67	0	-37,4
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	11.394	1.800	0	0	0	0	10.365	0	0	-2,812	0	-2,812	157,7
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	0	2.160	5.733	0	2	0	10.452	763	3.256	0	3,26	0	-182,8
IV Cementoven													
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	1.584	0	1.521	1	4.930	0	1.823	0	1,823	0	1,823	-102,3
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	10.401	1.800	0	0	0	12.410	0	0	206	0	0,21	0	-11,6
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	0	2.160	5.133	0	2	13.085	0	0	5.790	0	5,79	0	-324,8
VI Storten													
10 Biologische droging, storten	0	1.584	0	1.521	1	0	0	0	0	-3,107	0	-3,11	174,3
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	11.394	1.800	0	0	0	0	0	0	0	-13,197	0	-13,20	740,3
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	0	2.160	5.043	0	2	407	0	0	0	-6,799	0	-6,80	381,4
VI Varianten													
13.1 Indirecte droging, verbranding in een wervebed+teggedrukturbine	0	2.207	559	0	2	0	2.998	0	231	0	0,23	0	-13,0
14.2 Indirecte droging, verbranding in een wervebed+condensatieurbine	0	2.562	0	0	0	0	2.756	2	191	0	0,19	0	-10,7
15.3 Indirecte droging, verbranding in een wervebed+dampcompressie	0	2.538	0	0	2	0	3.138	0	501	0	0,50	0	-28,1

Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400
Aantal i.e.'s totaal	5.528.751	1.105.750	1.105.750	1.105.750	1.105.750	1.105.750	1.105.750	1.105.750	1.105.750	1.105.750	1.105.750	1.105.750	1.105.750

Per i.e.

Netto primaire energiebehoefte of -overschot (MJ/prim/i.e.)	Energieverbruiken										Netto		CO ₂ -emissie [kg/i.e.]
	Primair	Elektrisch	Stoom/ condensaat	Zuurstof/hout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort	Saldo (MJ/prim/i.e.)	Tekort	
I Stand-alone slibverwerking													
1 Indirecte droging, verbranding in een wervebed	0	37	0	0	0,0	0	0	1	0	-36	0	-36	2,0
2 Naite oxidatie	13	37	0	48	0,2	11	0	0	0	-87	0	-87,08	4,9
II Afvalverbrandingsinstallatie													
3 Meervebanden in een AVI	0	18	0	0	0,0	0	-1	0	0	-19	0	-19,91	1,1
III Elektriciteitscentrales													
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	26	0	25	0,0	63	0	11	0	11,09	0	11,09	-0,6
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	190	30	0	0	0	173	0	0	-47	-46,79	0	-46,79	2,6
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	0	36	96	0	0,0	174	13	54	0	54,24	0	54,24	-3,0
IV Cementoven													
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	26	0	25	0,0	82	0	30	0	30,34	0	30,34	-1,7
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	173	207	0	0	0,0	207	0	3	0	3,43	0	3,43	-0,2
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	0	36	85	0	0,0	218	0	96	0	96,35	0	96,35	-5,4
VI Storten													
10 Biologische droging, storten	0	26	0	25	0,0	0	0	0	0	-52	0	-51,70	2,9
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	190	30	0	0	0,0	0	0	0	0	-220	0	-219,60	12,3
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	0	36	84	0	0,0	7	0	0	0	-113	0	-113,14	6,3
VI Varianten													
13.1 Indirecte droging, verbranding in een wervebed+teggedrukturbine	0	37	9	0	0,0	0	50	0	4	0	0	3,84	-0,2
14.2 Indirecte droging, verbranding in een wervebed+condensatieurbine	0	43	0	0	0,0	0	46	0	3	0	0	3,18	-0,2
15.3 Indirecte droging, verbranding in een wervebed+dampcompressie	0	44	0	0	0,0	52	0	8	0	8,33	0	8,33	-0,5

Type rioolwaterzuivering: **2**

Per ton d.s.

	Netto primaire energiebehoefte of -overschot [GJ/primition d.s.]										Netto Saldo [GJ/primition d.s.]	CO ₂ -emissie [kg/ton d.s.]	
	Energieverbruiken		Energieopbrengst		Condensaat- behandeling	Energieopbrengst		Netto		Overschot			
	Primair	Elektrisch	Slooiir condensaat	Zuurstof/hout		Elektrisch	Secundair	Elektrisch	Slooiir				Tekort
I	Stand-alone silberverwerking												
1	0	0	2.207	0	0	2	0	0	1.416	0	-793	-0,79	44,5
2	760	0	2.210	0	2.843	14	933	0	0	0	-4.894	-4,89	274,5
II	Afvalverbrandingsinstallatie												
3	0	0	1.080	0	0	0	0	1.754	0	674	0	0,67	-37,8
III	Elektricititscentrales												
4	0	0	1.594	0	1.521	1	0	6.482	0	3.375	0	3,38	-189,4
5	9.575	0	1.800	0	11.717	2	0	0	0	3.39	0	0,34	-19,0
6	0	0	2.160	0	4.884	2	0	11.764	644	5.372	0	5,37	-301,4
IV	Cementoven												
7	0	0	1.594	0	1.521	1	0	8.094	0	4.987	0	4,99	-275,7
8	8.769	0	1.800	0	1.800	2	13.950	0	0	3.418	0	3,42	-191,8
9	0	0	2.160	0	4.333	2	14.560	0	0	8.065	0	8,06	-462,4
VI	Storten												
10	0	0	1.594	0	1.521	1	0	0	0	0	-3.107	-3,11	174,3
11	9.575	0	1.800	0	11.717	2	0	0	0	0	-11.377	-11,38	636,3
12	0	0	2.160	0	4.281	2	343	0	0	0	-6.079	-6,08	341,1
VI	Varianten												
13	0	0	2.207	0	-596	2	0	3.132	0	1.519	0	1,52	-85,2
14	0	0	2.924	0	679	2	0	3.606	0	679	0	0,68	-36,1
15	0	0	2.924	0	0	2	0	3.535	0	609	0	0,61	-34,2

	verbranden	thermisch drogen	biologisch drogen	natte oxidatie
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	18.400	18.400	18.400
Aantal i.e.'s totaal	5.257,705	1.051,541	1.051,541	1.051,541

Per i.e.

	Netto primaire energiebehoefte of -overschot [MJ/prim.i.e.]										Netto Saldo [MJ/prim.i.e.]	CO ₂ -emissie [kg/i.e.]		
	Energieverbruiken		Energieopbrengst		Condensaat- behandeling	Energieopbrengst		Netto		Overschot				
	Primair	Elektrisch	Slooiir condensaat	Zuurstof/hout		Elektrisch	Secundair	Elektrisch	Slooiir				Tekort	Tekort
I	Stand-alone silberverwerking													
1	0	0	39	0	0	0	0	0	25	0	-14	-13,87	0,8	
2	13	0	39	0	50	0,2	16	0	0	0	-86	-85,63	4,8	
II	Afvalverbrandingsinstallatie													
3	0	0	19	0	0	0	0	31	0	12	0	11,80	-0,7	
III	Elektricititscentrales													
4	0	0	28	0	27	0	0	113	0	59	0	59,06	0,0	
5	168	0	31	0	0	0	0	205	0	6	0	5,93	-0,3	
6	0	0	38	86	0	0	0	206	11	94	0	94,00	-5,3	
IV	Cementoven													
7	0	0	28	0	27	0	0	142	0	87	0	87,26	-4,9	
8	153	0	31	0	0	0	0	245	0	60	0	59,82	-3,4	
9	0	0	38	76	0	0	0	255	0	141	0	141,12	-7,9	
VI	Storten													
10	0	0	28	0	27	0	0	0	0	0	0	-54	3,0	
11	168	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	-199	-199,08	
12	0	0	38	75	0	0	0	6	0	0	0	-106	-106,38	
VI	Varianten													
13	0	0	39	-10	0	0	0	0	55	0	27	0	26,59	-1,5
14	0	0	51	0	0	0	0	63	0	12	0	11,88	-0,7	
15	0	0	51	0	0	0	0	62	0	11	0	10,66	-0,6	

Type rioolwaterzuivering: **3**

Per ton d.s.

	Energieverbruiken										Energieopbrengst			Netto		CO ₂ -emissie [kg/ton d.s.]
	Primair	Elektrisch	Stoom/condensaat	Zuurstof/hout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort	Saldo	[GJ/primton d.s.]				
I Stand-alone silbverwerking																
1	Indirecte droging, verbranding in een werveled	0	2.207	0	0	2	0	0	84	0	-2.125	-2.12	119,2			
2	Nette oxidatie	780	2.210	2.423	14	277	0	0	-5.131	-5.13	287,8					
II Afvalverbrandingsinstallatie																
3	Meeverbranden in een AVI	0	1.080	0	0	0	-10	0	0	-1.090	-1.09	61,1				
III Elektriciteitscentrales																
4	Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	1.584	0	1.521	1	0	3.646	0	539	0	0,54	-30,2			
5	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	9.575	1.800	0	0	2	0	8.803	0	-2.570	-2,57	144,2				
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	2.160	4.874	0	2	0	8.875	642	2.480	0	2,48	-138,1				
IV Cementoven																
7	Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	1.594	0	1.521	1	4.795	0	1.688	0	1,69	-94,7				
8	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	8.769	1.800	0	2	10.538	0	0	-33	-0,03	1,9					
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	2.160	4.313	0	2	11.105	0	0	4.630	0	4,63	-259,7				
VI Storten																
10	Biologische droging, storten	0	1.584	0	1.521	1	0	0	0	-5.107	-3,11	174,3				
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	9.575	1.800	0	2	0	0	-11.377	-11,38	638,3						
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	2.160	4.243	0	2	342	0	0	-6.063	-6,06	340,2					
VI Varianten																
13	Indirecte droging, verbranding in een werveled+leganduktuurline	0	2.207	450	2	0	2.548	0	0	-111	-0,11	6,2				
14	Indirecte droging, verbranding in een werveled+condensatieurbine	0	2.627	0	0	2	0	2.366	0	-174	-0,17	9,7				
15	Indirecte droging, verbranding in een werveled+dampcompressie	0	2.583	0	0	2	0	2.686	0	81	0	0,08	-4,6			

	verbranden	thermisch drogen	biologisch drogen	natte oxidatie
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	18.400	18.400	18.400
Aantal i.e.'s totaal	6.957.977	1.391.595	1.391.595	1.391.595

Per i.e.

	Energieverbruiken										Energieopbrengst			Netto		CO ₂ -emissie [kg/i.e.]
	Primair	Elektrisch	Stoom/condensaat	Zuurstof/hout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort	Saldo	[MJ/prim/i.e.]				
I Stand-alone silbverwerking																
1	Indirecte droging, verbranding in een werveled	0	29	0	0	0	0	0	1	0	-28	-28,09	1,6			
2	Nette oxidatie	10	29	32	0,2	4	0	0	-68	-67,84	3,8					
II Afvalverbrandingsinstallatie																
3	Meeverbranden in een AVI	0	14	0	0	0	0	0	0	-14	-14,41	0,8				
III Elektriciteitscentrales																
4	Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	21	0	20	0	0	48	0	7	0	7,12	-0,4			
5	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	127	24	0	0	0	116	0	-34	-33,98	1,9					
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	29	64	0	0	117	8	33	0	32,79	-1,8					
IV Cementoven																
7	Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	21	0	20	0	63	0	22	0	22,32	-1,3				
8	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	116	24	0	0	0	139	0	0	0	-0,44	0,0				
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	29	57	0	0	147	0	61	0	61,22	-3,4					
VI Storten																
10	Biologische droging, storten	0	21	0	20	0	0	0	0	-41	-41,08	2,3				
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	127	24	0	0	0	0	0	0	-150	-150,44	8,4				
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	29	56	0	0	5	0	0	0	-80	-80,17	4,5				
VI Varianten																
13	Indirecte droging, verbranding in een werveled+leganduktuurline	0	29	6	0	0	0	34	0	-1	-1,47	0,1				
14	Indirecte droging, verbranding in een werveled+condensatieurbine	0	33	0	0	0	0	31	0	-2	-2,29	0,1				
15	Indirecte droging, verbranding in een werveled+dampcompressie	0	34	0	0	0	0	35	0	1	1,07	-0,1				

Type rioolwaterzuivering: **4**

Per ton d.s.

Netto primaire energiebehoefte of -overschot [GJ/prim/ton d.s.]	Energieverbruiken			Zuurstofhout	Condensaat-behandeling	Energieopbrengst			Netto		CO ₂ -emissie [kg/ton d.s.]	
	Primair	Elektrisch	Stoom/condensaat			Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort		Saldo [GJ/prim/ton d.s.]
I Stand-alone slijverwerking												
1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	760	0	2.207	0	0	0	0	-142	0	-2.351	-2.35	131.9
2 Naite oxidatie	0	0	2.210	2.144	14	56	0	0	0	-5.071	-5.07	284.5
II Afscheiding van slib												
3 Meesveranden in een AVI	0	0	1.060	0	0	0	0	-288	0	-1.368	-1.37	76.7
III Elektriciteitscentrales												
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	0	1.584	0	1.521	1	0	3.104	0	-3	0.00	0.2
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	9.066	0	1.800	0	7.847	2	0	7.847	0	-3.021	-3.02	189.5
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	0	0	2.160	4.613	0	2	0	7.915	607	1.746	0	-88.0
IV Cementoven												
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	0	1.584	0	1.521	1	4.169	0	0	1.062	0	59.6
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	8.312	0	1.900	0	2	9.398	0	0	0	-716	-0.72	40.2
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	0	0	2.160	4.080	0	2	9.935	0	0	3.693	0	-207.2
V Storten												
10 Biologische droging, storten	0	0	1.584	0	1.521	1	0	0	0	-3.107	-3.11	174.3
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	9.066	0	1.800	0	0	2	0	0	0	-10.868	-10.87	609.7
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	0	0	2.160	4.016	0	2	324	0	0	-5.855	-5.85	328.4
VI Varianten												
13 1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-Hegendukurturbine	0	0	2.207	582	0	2	0	2.283	0	0	-519	-0.52
14 2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-condensatieturbine	2.469	0	2.469	0	0	2	0	2.022	0	0	-469	-0.47
15 3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-dampcompressie	0	0	2.521	0	0	2	0	2.347	0	0	-177	-0.18

verbranden	thermisch drogen	biologisch drogen	naite oxidatie
92.000	18.400	18.400	18.400
7.268.786	1.453.757	1.453.757	1.453.757

Per i.e.

Netto primaire energiebehoefte of -overschot [MJ/prim/i.e.]	Energieverbruiken			Zuurstofhout	Condensaat-behandeling	Energieopbrengst			Netto		CO ₂ -emissie [kg/i.e.]	
	Primair	Elektrisch	Stoom/condensaat			Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort		Saldo [MJ/prim/i.e.]
I Stand-alone slijverwerking												
1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	0	0	28	0	0.0	0	0	-2	0	-30	-29.76	1.7
2 Naite oxidatie	10	0	28	27	0.2	1	0	0	0	-64	-64.19	3.6
II Afscheiding van slib												
3 Meesveranden in een AVI	0	0	14	0	0.0	0	0	-4	0	-17	-17.31	1.0
III Elektriciteitscentrales												
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	0	20	0	0.0	0	39	0	0	0	-0.04	0.0
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	115	0	23	0	0.0	0	99	0	0	-38	-38.23	2.1
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	0	0	27	58	0.0	0	100	8	22	0	22.10	-1.2
IV Cementoven												
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	0	20	0	0.0	0	53	0	13	0	13.45	-0.8
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	105	0	23	0	0.0	0	119	0	0	-9	-9.06	0.5
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	0	0	27	82	0.0	0	126	0	47	0	46.74	-2.6
V Storten												
10 Biologische droging, storten	0	0	20	0	0.0	0	0	0	0	-39	-39.32	2.2
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	115	0	23	0	0.0	0	0	0	0	-138	-137.56	7.7
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	0	0	27	51	0.0	0	4	0	0	-74	-74.10	4.2
VI Varianten												
13 1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-Hegendukurturbine	0	0	28	7	0.0	0	29	0	0	-7	-6.56	0.4
14 2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-condensatieturbine	31	0	31	0	0.0	0	25	0	0	-6	-5.94	0.3
15 3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-dampcompressie	0	0	32	0	0.0	0	30	0	0	-2	-2.24	0.1

Type rioolwaterzuivering: **5**

Per ton d.s.

	Energieverbruiken										Energieopbrengst			Netto		CO ₂ -emissie [kg/ton d.s.]
	Primair	Elektrisch	Stoom/condensaat	Zuurafloot	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort	Saldo [GJ/primton d.s.]	CO ₂ [kg/ton d.s.]				
I Stand-alone siliverwerking																
1	Indirecte droging, verbranding in een wervebed	0	2.207	0	0	2	0	0	594	0	-1.616	0	-1.62	0	90,6	
2	Natte oxidatie	760	2.210	0	3.238	14	907	0	0	0	-5.315	0	-5,32	0	298,2	
II Afvalverbrandingsinstallatie																
3	Meerbranden in een AVI	0	1.080	0	0	0	0	617	0	0	-463	0	-0,46	0	0,0	
III Elektriciteitscentrales																
4	Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	1.584	0	1.521	1	0	4.942	0	1.635	0	1,84	0	-103,0		
5	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	11.394	0	0	0	0	0	11.553	0	0	-1.614	0	-1,61	0	90,5	
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	2.160	0	5.802	0	2	0	11.651	764	4.450	0	4,45	0	-249,7		
IV Cementoven																
7	Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	1.584	0	1.521	1	6.289	0	3.182	0	3,18	0	3,18	0	-178,5	
8	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	10.401	0	0	0	2	13.832	0	1.628	0	1,63	0	1,63	0	-91,3	
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	2.160	0	5.141	0	2	14.508	0	7.205	0	7,20	0	7,20	0	-404,2	
VI Storten																
10	Biologische droging, storten	0	1.584	0	1.521	1	0	0	0	0	-3.107	0	-3,11	0	174,3	
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	11.394	0	0	0	2	0	0	0	0	-13.197	0	-13,20	0	740,3	
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	2.160	0	5.051	0	2	4.07	0	0	0	-6.806	0	-6,81	0	381,8	
VI Varianten																
13	Indirecte droging, verbranding in een wervebed+tegendruktrubine	0	2.207	0	163	2	0	3.313	0	941	0	0,94	0	0,94	0	-52,8
14	Indirecte droging, verbranding in een wervebed+condensatielubine	0	2.672	0	0	2	0	3.313	0	638	0	0,64	0	0,64	0	-35,8
15	Indirecte droging, verbranding in een wervebed+dampprecompressie	0	2.743	0	0	2	0	3.570	0	828	0	0,82	0	0,82	0	-46,3

Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400
Aantal i.e. s totaal	6.164,104	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821	1.232,821

Per i.e.

	Energieverbruiken										Energieopbrengst			Netto		CO ₂ -emissie [kg/i.e.]
	Primair	Elektrisch	Stoom/condensaat	Zuurafloot	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort	Saldo [MJ/primi.e.]	CO ₂ [kg/i.e.]				
I Stand-alone siliverwerking																
1	Indirecte droging, verbranding in een wervebed	0	33	0	0	0	0	0	9	0	-24	0	-24,11	0	1,4	
2	Natte oxidatie	11	33	0	48	0,2	14	0	0	0	-79	0	-79,33	0	4,5	
II Afvalverbrandingsinstallatie																
3	Meerbranden in een AVI	0	16	0	0	0	0	9	0	0	-7	0	-6,92	0	0,4	
III Elektriciteitscentrales																
4	Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	24	0	23	0	0	74	0	27	0	27,39	0	-1,5		
5	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	170	0	0	0	0	0	173	0	0	-24	0	-24,08	0	1,4	
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	27	0	87	0	0	0	174	11	66	0	66,42	0	-3,7		
IV Cementoven																
7	Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	24	0	23	0	0	94	0	47	0	47,49	0	-2,7		
8	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	165	0	0	0	0	0	206	0	24	0	24,30	0	-1,4		
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	32	0	77	0	0	0	217	0	108	0	107,53	0	-6,0		
VI Storten																
10	Biologische droging, storten	0	24	0	23	0	0	0	0	0	-46	0	-46,37	0	2,6	
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	170	0	0	0	0	0	173	0	0	0	-197	0	-196,96	0	11,0
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	32	0	75	0	0	0	6	0	0	-102	0	-101,58	0	5,7	
VI Varianten																
13	Indirecte droging, verbranding in een wervebed+tegendruktrubine	0	33	0	2	0	0	0	48	0	14	0	14,05	0	-0,8	
14	Indirecte droging, verbranding in een wervebed+condensatielubine	0	40	0	0	0	0	0	48	0	10	0	9,53	0	-0,5	
15	Indirecte droging, verbranding in een wervebed+dampprecompressie	0	41	0	0	0	0	53	0	12	0	12,31	0	-0,7		

Type rioolwaterzuivering: **6**

Per ton d.s.

	Energieverbruiken					Energieopbrengst			Netto		CO ₂ -emissie [kg/ton d.s.]	
	Primair	Elektrisch	Stoom/ condensaat	Zuurstof/hout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort		Sarco (Σprimton d.s.)
I Stand-alone silbverwerking												
1	Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	0	2.207	0	0	0	0	1.929	0	-280	-0,28	15,7
2	Natte oxidatie	760	2.210	0	3.174	14	1.224	0	0	-4.933	-4,93	276,8
II Afvalverbrandingsinstallatie												
3	Meeverbranden in een AVI	0	1.080	0	0	0	0	2.480	0	1.410	1,41	-79,1
III Elektriciteitscentrales												
4	Biologische droging, meststoffen in een e-centrale	0	1.584	0	1.521	1	0	7.735	0	4.528	4,53	-259,8
5	Directe thermische droging (aardgas), meststoffen in een e-centrale	9.575	1.800	0	0	2	0	13.001	0	1.624	1,62	-91,1
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), meststoffen in een e-centrale	2.160	2.160	4.903	0	2	0	13.069	645	6.649	6,65	-373,0
IV Cementoven												
7	Biologische droging, meststoffen in een cementoven	0	1.584	0	1.521	1	0	9.550	0	6.444	6,44	-361,5
8	Directe thermische droging (aardgas), meststoffen in een cementoven	8.768	1.800	0	0	2	0	15.514	0	4.943	4,94	-277,3
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), meststoffen in een cementoven	0	2.160	4.342	0	2	0	16.068	0	9.562	9,56	-537,5
VI Storten												
10	Biologische droging, storten	0	1.584	0	1.521	1	0	0	0	-3.107	-3,11	174,3
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	9.575	1.800	0	0	2	0	0	0	-11.377	-11,38	638,3
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	0	2.160	4.268	0	2	0	344	0	0	0	341,4
VI Varianten												
13	1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-Hegendrukturbine	0	2.207	-999	0	2	0	3.404	0	2.194	2,19	-123,1
14	2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-condensatielturbine	0	3.057	0	0	2	0	4.192	0	1.133	1,13	-63,6
15	3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-dampcompressie	0	3.048	0	0	2	0	3.978	0	929	0,93	-52,1

	verbranden	thermisch drogen	biologisch drogen	natte oxidatie
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	18.400	16.400	16.400 [ton d.s./jaar]
Aantal i.e.'s totaal	5.833.729	1.166.748	1.166.748	1.166.748 [i.e.]

Per i.e.

	Energieverbruiken					Energieopbrengst			Netto		CO ₂ -emissie [kg/i.e.]	
	Primair	Elektrisch	Stoom/ condensaat	Zuurstof/hout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort		Sarco [Mj/prim(i.e.)]
I Stand-alone silbverwerking												
1	Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	0	35	0	0	0	0	30	0	-4	-4,42	0,2
2	Natte oxidatie	12	35	0	50	0	2	19	0	0	-7,8	-77,80
3	Meeverbranden in een AVI	0	17	0	0	0	0	39	0	22	2,23	-1,2
III Elektriciteitscentrales												
4	Biologische droging, meststoffen in een e-centrale	0	25	0	24	0	0	122	0	73	7,29	-4,1
5	Directe thermische droging (aardgas), meststoffen in een e-centrale	151	28	0	0	0	0	205	0	28	2,81	-1,4
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), meststoffen in een e-centrale	0	34	77	0	0	0	206	10	105	10,48	-5,9
IV Cementoven												
7	Biologische droging, meststoffen in een cementoven	0	25	0	24	0	0	151	0	102	10,16	-5,7
8	Directe thermische droging (aardgas), meststoffen in een cementoven	138	28	0	0	0	0	245	0	78	7,76	-4,4
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), meststoffen in een cementoven	0	34	68	0	0	0	254	0	151	15,11	-8,5
VI Storten												
10	Biologische droging, storten	0	25	0	24	0	0	0	0	-49	-49,00	2,7
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	151	28	0	0	0	0	0	0	-179	-179,43	10,1
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	0	34	67	0	0	0	5	0	0	-6,8	-5,4
VI Varianten												
13	1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-Hegendrukturbine	0	35	-16	0	0	0	54	0	35	3,5	-1,9
14	2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-condensatielturbine	0	48	0	0	0	0	66	0	18	1,8	-1,0
15	3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-dampcompressie	0	48	0	0	0	0	63	0	15	1,5	-0,8

Type rioolwaterzuivering: **7**

	Per ton d.s.										CO ₂ -emissie [kg/ton d.s.]	
	Netto primaire energiehoeveelheid of -overschot [GJprim/ton d.s.]											
	Energieverbruiken			Energieopbrengst			Netto		Saldooverschot			
	Primaair	Elektrisch	Stoom/ condensaat	Zuurstofhout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort	Saldooverschot	[GJprim/ton d.s.]
I Stand-alone siliverwerking												
1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	0	2.207	0	0	2	0	0	0	673	0	-1.536	86,2
2 Netto oxidatie	760	2.270	0	2.816	14	583	0	0	0	0	-5.217	292,7
II Afvalverbrandingsinstallatie												
3 (Wervel)verbranden in een AVI	0	1.080	0	0	0	0	7,44	0	0	0	-336	18,8
III Elektriciteitscentrales												
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	1.584	0	1.521	1	0	4,956	0	1.849	0	1,85	-103,7
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	9.575	1.800	0	0	2	0	10,151	0	0	-1.227	-1,23	68,8
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	0	2.160	4.883	0	2	0	10,218	643	3.815	0	3,82	-214,0
IV Cementoven												
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	1.584	0	1.521	1	6.318	0	0	3.211	0	3,21	-180,2
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	8.769	1.800	0	0	2	12.332	0	0	1.560	0	1,56	-87,5
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	0	2.160	4.322	0	2	12.701	0	0	6.216	0	6,22	-348,7
VI Storten												
10 Biologische droging, storten	0	1.584	0	1.521	1	0	0	0	0	0	-3,107	174,3
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	9.575	1.800	0	0	2	0	0	0	0	0	-11,377	636,3
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	0	2.160	4.251	0	2	343	0	0	0	0	-5,071	340,6
VI Varianten												
13 1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+legendrukturbine	0	2.207	7	0	2	0	2,897	0	681	0	0,68	-38,2
14 2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensaat-turbine	0	2.260	0	0	2	0	2,960	0	328	0	0,33	-18,4
15 3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+dampcompressie	0	2.703	0	0	2	0	3,150	0	445	0	0,44	-25,0

	verbranden	thermisch drogen	biologisch drogen	natte oxidatie
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	18.400	18.400	18.400 [ton d.s./jaar]
Aantal i.e.s totaal	8.024.760	1.604.952	1.604.952	1.604.952 [i.e.]

	Per i.e.										CO ₂ -emissie [kg/i.e.]	
	Netto primaire energiehoeveelheid of -overschot [MJprim/i.e.]											
	Energieverbruiken			Energieopbrengst			Netto		Saldooverschot			
	Primaair	Elektrisch	Stoom/ condensaat	Zuurstofhout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort	Saldooverschot	[MJprim/i.e.]
I Stand-alone siliverwerking												
1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	0	25	0	0	0,0	0	0	0	8	0	-18	-17,61
2 Netto oxidatie	9	25	0	32	0,2	7	0	0	0	0	-60	-59,82
II Afvalverbrandingsinstallatie												
3 (Wervel)verbranden in een AVI	0	12	0	0	0,0	0	9	0	0	0	-4	-3,85
III Elektriciteitscentrales												
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	0	18	0	17	0,0	0	57	0	21	0	21,19	0,0
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	110	21	0	0	0,0	0	116	0	0	-14	-14,06	0,8
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	0	25	56	0	0,0	0	117	7	44	0	43,74	-2,5
IV Cementoven												
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	0	18	0	17	0,0	72	0	0	37	0	36,82	-2,1
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	101	21	0	0	0,0	139	0	0	18	0	17,89	-1,0
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	0	25	50	0	0,0	146	0	0	71	0	71,26	-4,0
VI Storten												
10 Biologische droging, storten	0	18	0	17	0,0	0	0	0	0	0	-36	-35,62
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	110	21	0	0	0,0	0	0	0	0	0	-130	-130,44
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	0	25	48	0	0,0	4	0	0	0	0	-70	-69,60
VI Varianten												
13 1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+legendrukturbine	0	25	0	0	0,0	0	33	0	8	0	7,81	-0,4
14 2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensaat-turbine	0	30	0	0	0,0	0	34	0	4	0	3,76	-0,2
15 3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+dampcompressie	0	31	0	0	0,0	0	36	0	5	0	5,10	-0,3

Type rioolwaterzuivering: **8**

Per ton d.s.

	Energieverbruiken					Energieopbrengst			Netto		CO ₂ -emissie [kg/ton d.s.]	
	Primair	Elektrisch	Stoom/ condensaat	Zuurstofhout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort		Saldo (GJ/primton d.s.)
I Stand-alone slibverwerking												
1		0	2.207	0	0	0	0	390	0	-1.819	-1,62	102,0
2		760	2.210	0	2.493	14	331	0	0	-5.146	-5,15	288,7
II Afvalverbrandingsinstallatie												
3		0	1.080	0	0	0	0	398	0	-694	-0,69	39,0
III Elektriciteitscentrales												
4		0	1.584	0	1.521	1	0	4.274	0	1.167	1,17	-85,5
5		9.086	1.800	0	0	2	0	9.047	0	-1.822	-1,82	102,2
6		2.160	2.160	4.622	0	2	0	9.114	608	2.938	2,94	-164,8
IV Cementoven												
7		1.884	1.884	0	1.521	1	5.529	0	2.422	0	2,42	-135,9
8		8.312	1.800	0	0	1	10.821	0	590	0	0,71	59,7
9		0	2.160	4.088	0	2	11.359	0	0	5.109	5,11	-286,6
VI Storten												
10		0	1.584	0	1.521	1	0	0	0	-3.107	-3,11	174,3
11		9.066	1.800	0	0	0	0	0	0	-10.868	-10,87	609,7
12		0	2.160	4.023	0	2	324	0	0	-5.861	-5,86	328,8
VI Varianten												
13		0	2.207	194	0	2	0	2.600	0	197	0,20	-11,1
14		0	2.579	0	0	2	0	2.569	0	-22	-0,02	1,2
15		0	2.629	0	0	2	0	2.780	0	148	0,15	-8,3

Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	82.000	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400
Aantal t.e.s totaal	8.386,576	1.677,315	1.677,315	1.677,315	1.677,315	1.677,315	1.677,315	1.677,315	1.677,315	1.677,315	1.677,315	1.677,315

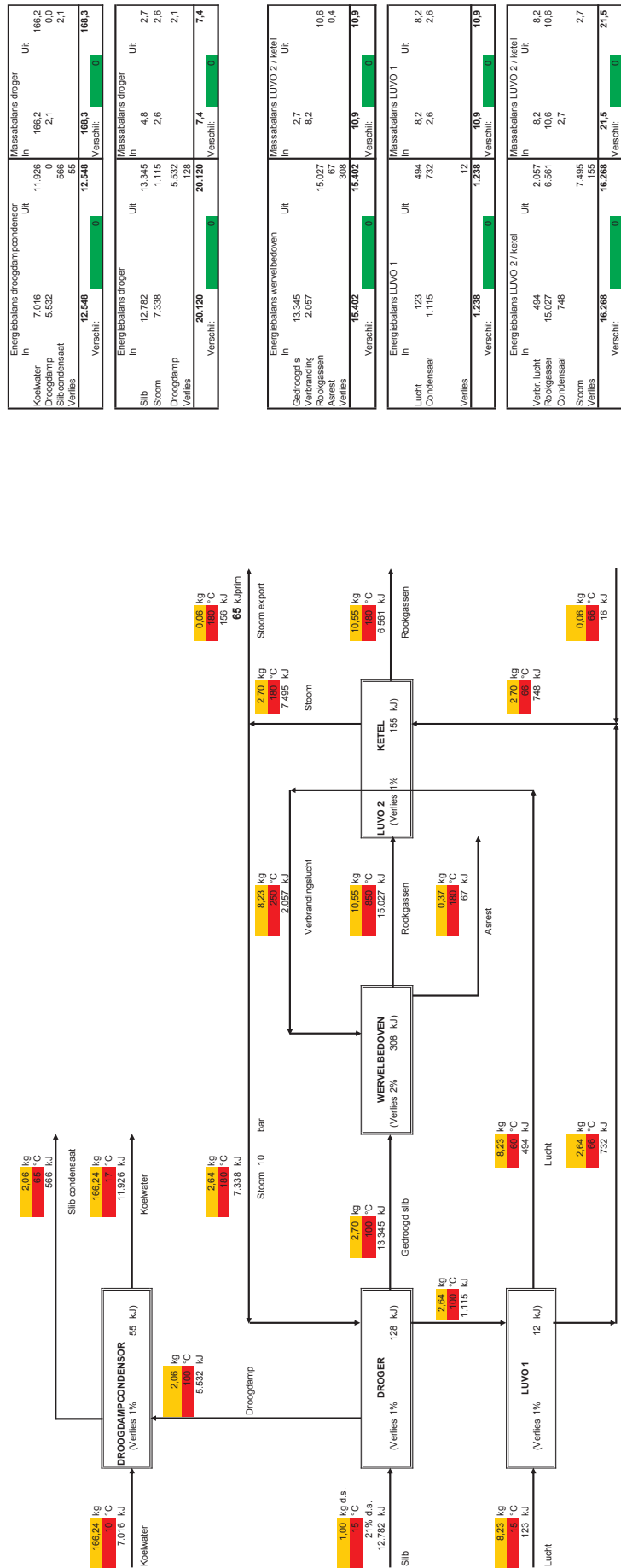
Per t.e.

	Energieverbruiken					Energieopbrengst			Netto		CO ₂ -emissie [kg/t.e.]	
	Primair	Elektrisch	Stoom/ condensaat	Zuurstofhout	Condensaat-behandeling	Secundair	Elektrisch	Stoom	Overschot	Tekort		Saldo [MJ/prim(t.e.)]
I Stand-alone slibverwerking												
1		0	24	0	0	0	0	0	0	-20	-19,95	1,1
2		8	24	0	27	0	4	0	0	-56	-56,45	3,2
II Afvalverbrandingsinstallatie												
3		0	12	0	0	0	0	4	0	-8	-7,62	0,4
III Elektriciteitscentrales												
4		0	17	0	17	0	0	47	0	13	12,80	-0,7
5		99	20	0	0	0	0	99	0	-20	-19,98	1,1
6		0	24	0	51	0	0	100	7	32	32,23	-1,8
IV Cementoven												
7		0	17	0	17	0	61	0	0	27	26,57	-1,5
8		91	20	0	0	0	119	0	0	8	7,76	-0,4
9		0	24	46	0	0	125	0	0	56	56,04	-3,1
VI Storten												
10		0	17	0	17	0	0	0	0	-34	-34,08	1,9
11		99	20	0	0	0	0	0	0	-119	-119,22	6,7
12		0	24	44	0	0	4	0	0	-64	-64,30	3,6
VI Varianten												
13		0	24	2	0	0	0	29	0	2	2,16	-0,1
14		0	28	0	0	0	0	28	0	0	-0,24	0,0
15		0	29	0	0	0	0	30	0	2	1,62	-0,1

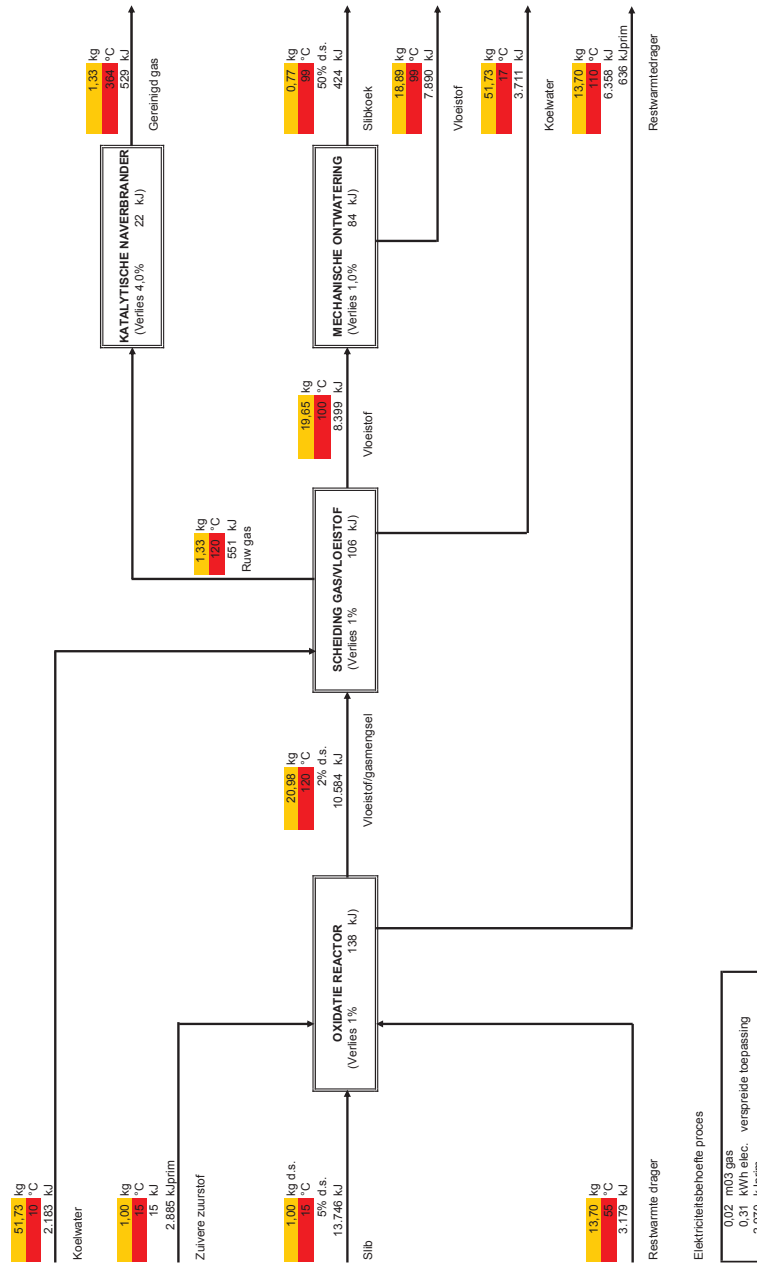
BIJLAGE IV

PROCESBEREKENINGEN EN SCHEMA'S SLIBEINDVERWERKING

Indirecte droging, verbranding in een werveibed



Natte oxidatie



Energiebalans kat. naverbrander		Massabalans kat. naverbrander	
In	551	In	1,33
Uit	529	Uit	1,3
Verschl.	551	Verschl.	1,3
Energiebalans oxidatie reactor		Massabalans oxidatie reactor	
In	13,746	In	20,00
Uit	15	Uit	1,00
Zuivere zuurstof	3,179	Restwarme drager	13,7
Vloeistof/gasmengsel	10,584	Vloeistof	13,70
Verschl.	16,940	Verschl.	20,98
	139		34,7
Energiebalans scheidng gas/vist		Massabalans scheidng gas/vist	
In	10,584	In	20,98
Uit	2,183	Uit	51,73
Vloeistof/gasmengsel	3,711	Koelwater	51,7
Koelwater	551	ruig gas	1,33
ruig gas	8,399	Vloeistof	19,65
Vloeistof	106	Verschl.	72,7
Verschl.	12,767	Verschl.	0,8
Energiebalans mech. ontwatering		Massabalans mech. ontwatering	
In	8,399	In	19,65
Uit	7,890	Uit	18,89
Vloeistof	424	Slibkoek	0,8
Verschl.	8,399	Verschl.	19,7
	8		0,8

Elektriciteitsbehoefte proces

0,02 m03 gas	0,31 kWh/elec.	verspreide toepassing
2,970 kJ/prim		

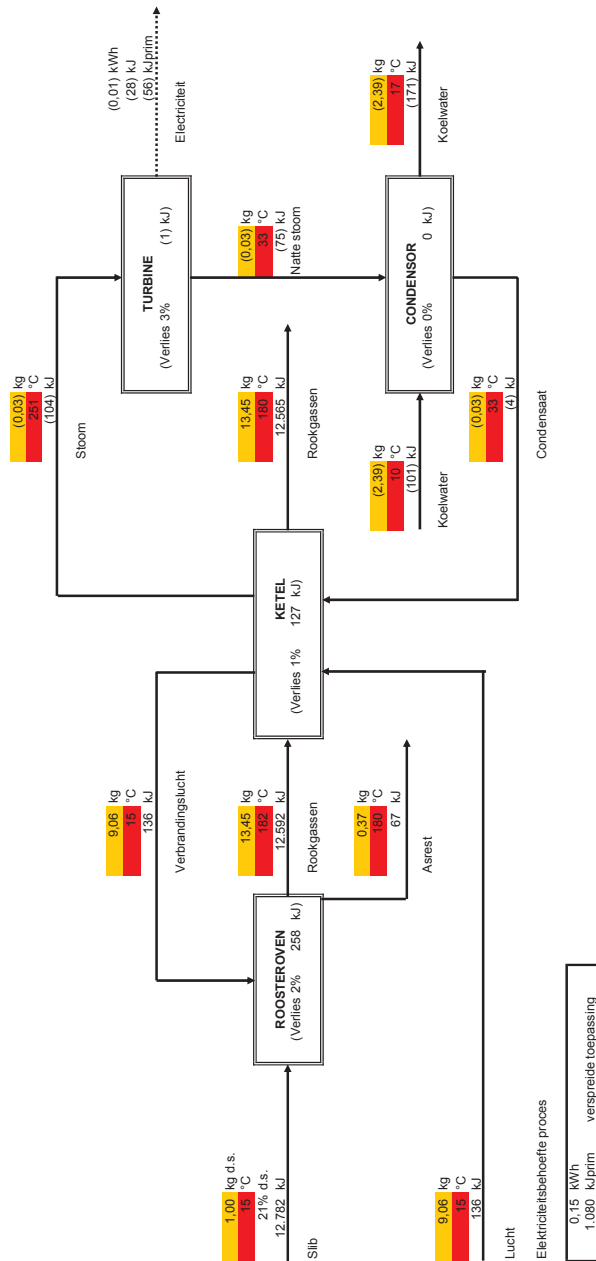
Meeverbranden in een AVI

Energiebalans turbine		Massabalans turbine	
In	Uit	In	Uit
Stoom	(104)	(75)	0,0-
Natte stoom d.s.		(28)	
Electriciteit		(1)	
Verlies			0,0-
Verschil: 0		Verschil: 0	
104		104	

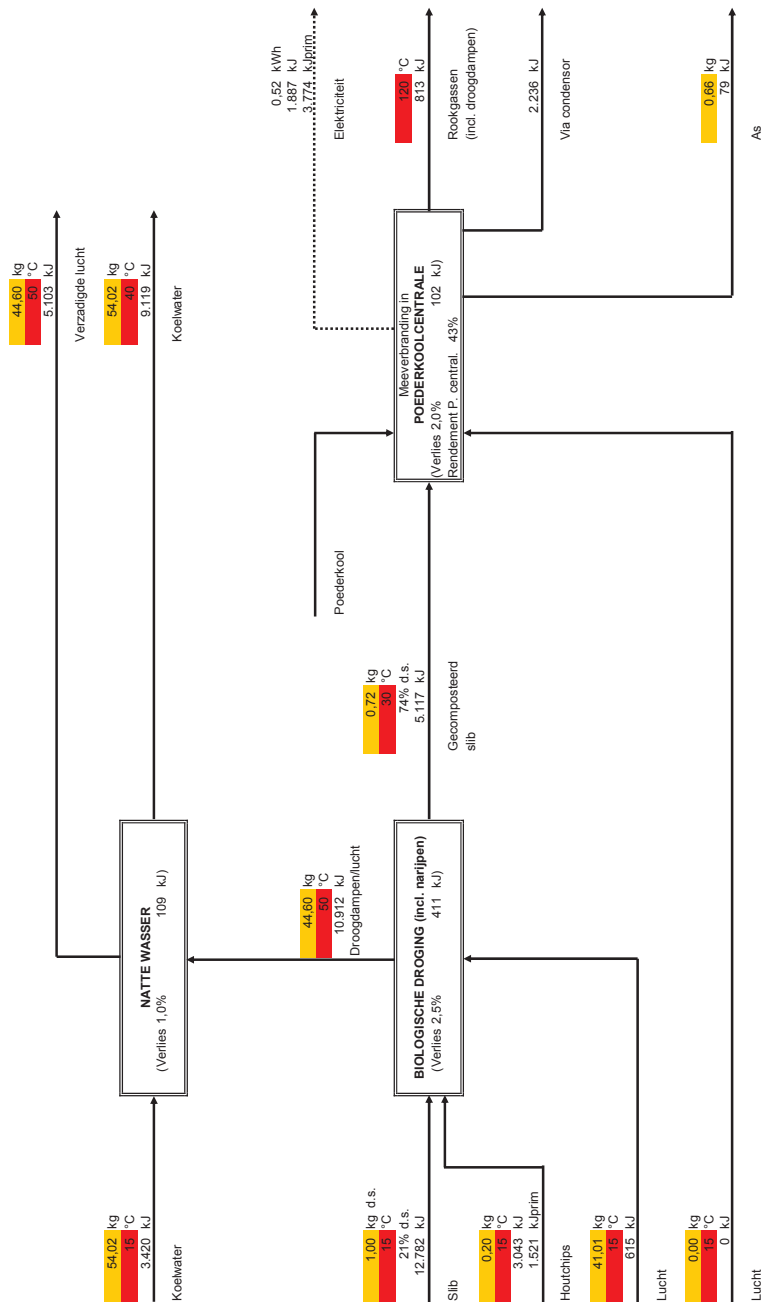
Energiebalans roosteroven		Massabalans roosteroven	
In	Uit	In	Uit
Slib	12.782	4,8	
Verbranding	136	9,06	
Rookgassen	12.592	13,45	
Asrest	67	0,37	
Verlies			13,8
Verschil: 0		Verschil: 0	
12.918		12.918	

Energiebalans LUVO/ Ketel		Massabalans LUVO/ Ketel	
In	Uit	In	Uit
Rookgassen	12.592	13,4	
Lucht	136	9,06	
Condensaat	(4)	0,0-	
Stoom	(104)		0,03-
Rookgassen	12.565	13,45	
Verlies			22,5
Verschil: 0		Verschil: 0	
12.724		12.724	

Energiebalans condensor		Massabalans condensor	
In	Uit	In	Uit
Koelwater	(101)	2,4-	
Natte stoom	(75)	0,0-	
Condensaat	(4)		0,0-
Verlies			2,4-
Verschil: 0		Verschil: 0	
176		176	



Biologische droging, meestoken in een e-centrale



Elektriciteitsbehoefte proces

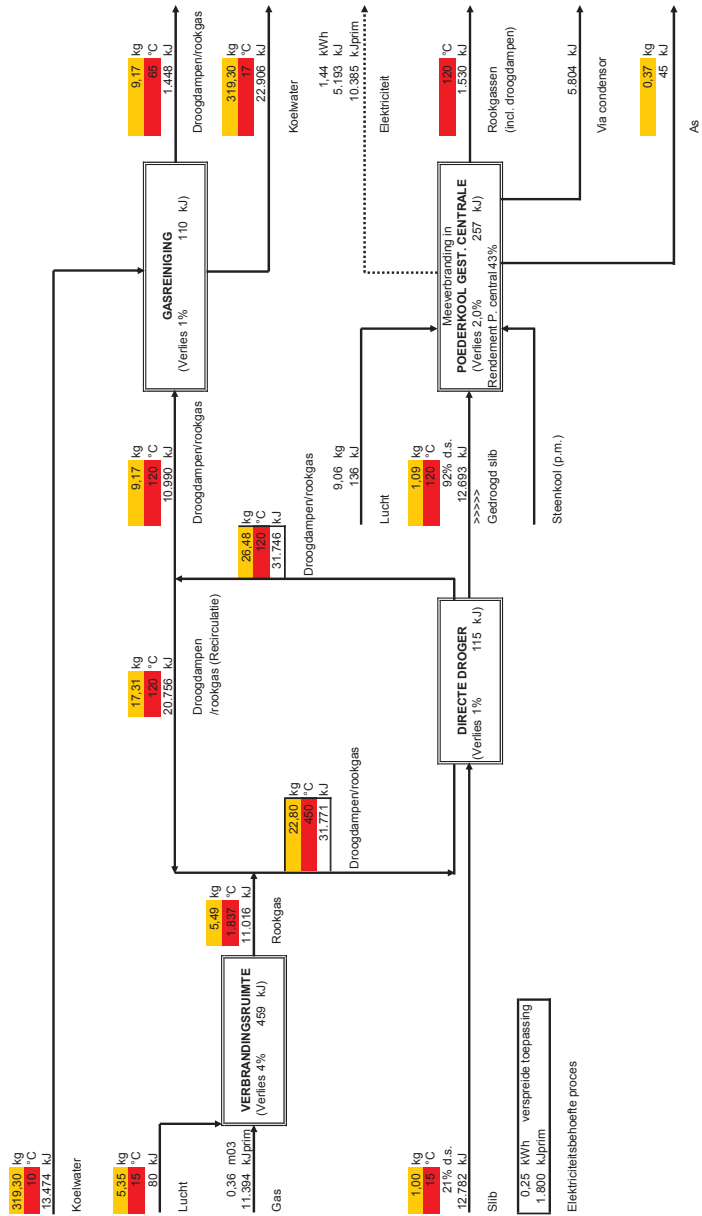
0,22 kWh	verspreide toepassing
1,584 kWh	verspreide toepassing

Energiebalans natte wasser		Massabalans natte wasser	
In	10.912	In	44,60
Uit	3.420	Uit	54,02
Verzadigde lucht	5.103		54,0
			44,00
Verlies	109		
	14.331		98,6
Verschil:	9	Verschil:	0,0

Energiebalans biologische droging		Massabalans biologische droging	
In	12.782	In	4,76
Uit	3.043	Uit	0,20
Lucht	615		41,0
Droogdampvlucht	10.912		44,6
Gecomposeerd slib	5.117		0,72
Verlies	411		
	16.440		46,0
Verschil:	9	Verschil:	0,7

Energiebalans poederkoolcentrale		Massabalans poederkoolcentrale	
In	5.117	In	0,88
Uit	0	Uit	0,00
Gecompost	1.887		
Lucht	813		0,56
Roekgassen	2.236		0,66
Via condensor	79		0,66
Verlies	102		
	5.117		1,0
Verschil:	9	Verschil:	0,2

Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale



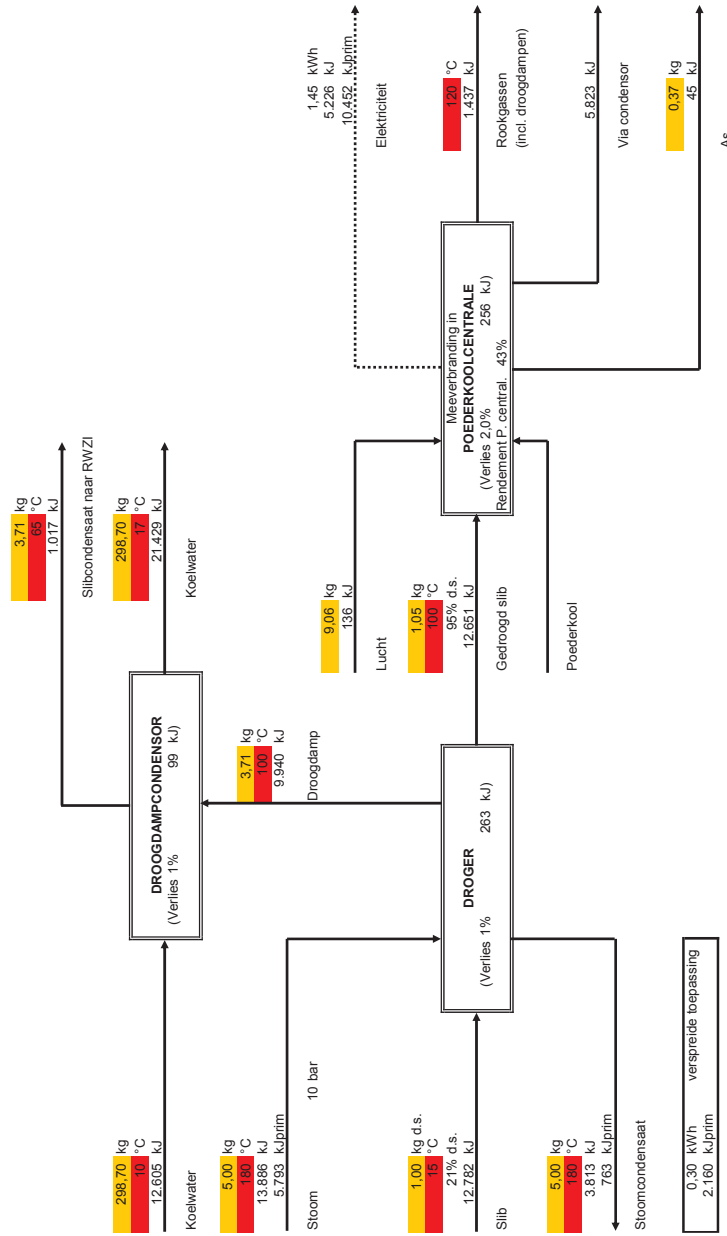
Energiebalans gasreininging		Maasabalans gasreininging	
In	10,990	In	9,17
Uit	13,474	Uit	319,30
Verschi.	24,464	Verschi.	328,5
	9		0,3

Energiebalans verbrandingsruimte		Maasabalans verbrandingsruimte	
In	11,394	In	
Uit	11,016	Uit	
Verschi.	11,475	Verschi.	0,0
	9		0,0

Energiebalans directe droger		Maasabalans directe droger	
In	31,771	In	22,80
Uit	12,782	Uit	4,76
Verschi.	44,553	Verschi.	27,6
	9		0,1

Energiebalans poederkoolcentrale		Maasabalans poederkoolcentrale	
In	12,693	In	1,09
Uit	136	Uit	9,06
Verschi.	12,693	Verschi.	9,77
	9		0,37

Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale

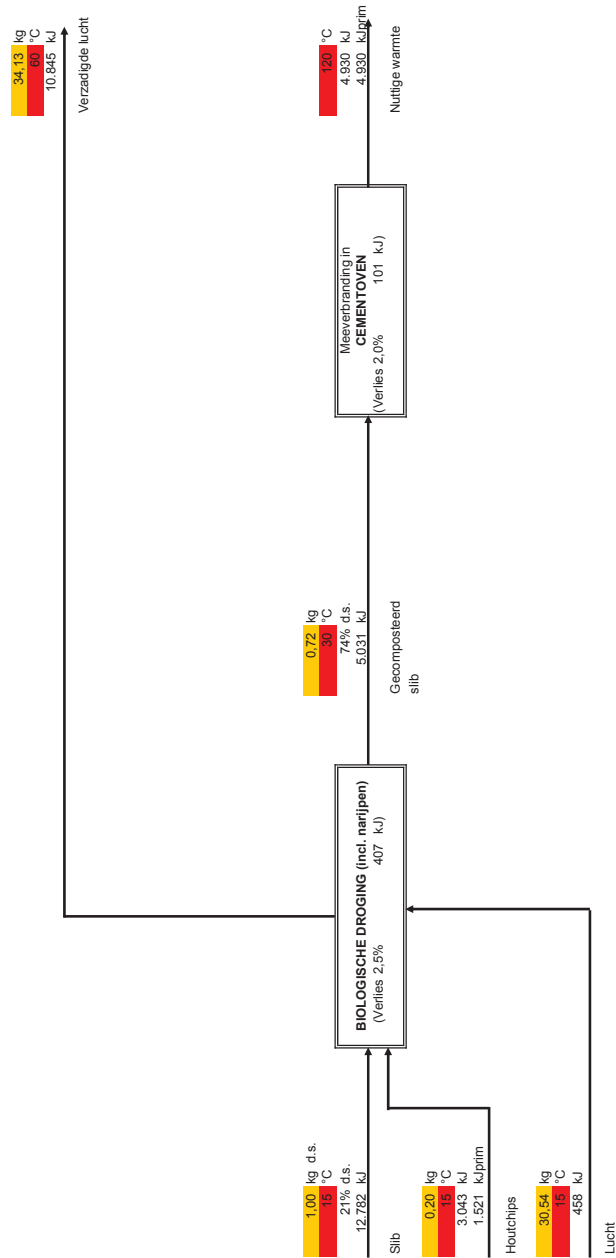


Energiebalans droogdampcondensator		Massabalans droger	
In	12,605	In	298,7
Uit	21,429	Uit	298,7
Koelwater	9,940	Silicocondensaat	3,7
Droogdamp	1,017	Verlies	3,7
Silicocondensaat	99		
Verlies	22,546		
Verschil:	9	Verschil:	302,4

Energiebalans droger		Massabalans droger	
In	12,651	In	4,8
Uit	136	Uit	5,0
Silb	13,886	Droogdamp	3,7
Stoom	9,940	Verlies	263
Droogdamp	263		
Verlies	26,667		
Verschil:	9,8	Verschil:	9,8

Energiebalans poederkoolcentrale		Massabalans poederkoolcentrale	
In	12,651	In	1,05
Uit	136	Uit	9,06
Gedroogd s	5,226	Rookgassen	9,74
Lucht	1,437	Via condensor	0,37
Elektriciteit	5,823	As	0,37
Rookgassen	45		
Via condensor	256		
As	12,787		
Verlies	10,1		
Verschil:	0,3	Verschil:	0,3

Biologische droging, meestoken in een cementoven

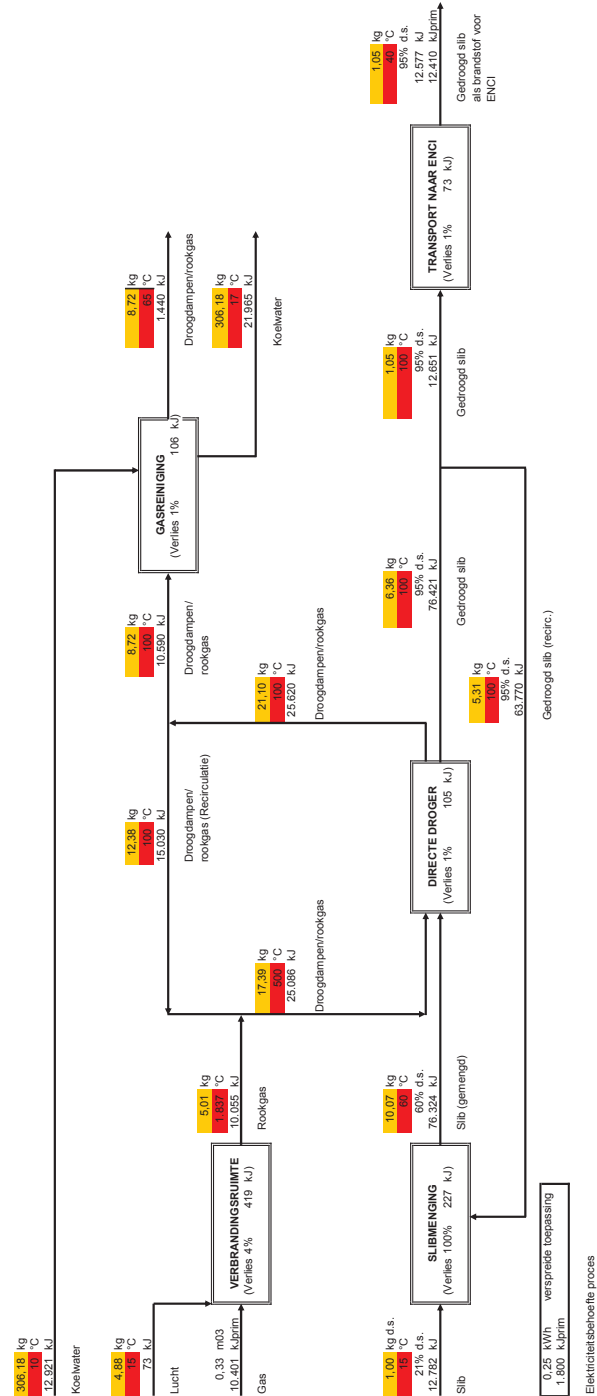


Energiebalans biologische droging		Massabalans biologische droging	
Silb	In 12.782	In	4,76
Houtchips	3.043	Uit	0,20
Lucht	458		30,5
Droogdampen/lucht	10.845		34,1
Geocomposteerd silb	5.031		0,98
Verlies	407		35,1
	Verlies 2,5%		Verschil 0,4
	16.283		35,5
	0		0
Energiebalans Cementoven		N.v.t.	
Geocompost	In 5.031	In	
Nuttige warmte	Uit 4.930	Uit	
Verlies	101		
	5.031		0,0
	0		0,0

Elektriciteitsbehoefte proces

0,22 kWh	verspreide toepassing
1,594 kJ/prim	

Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven



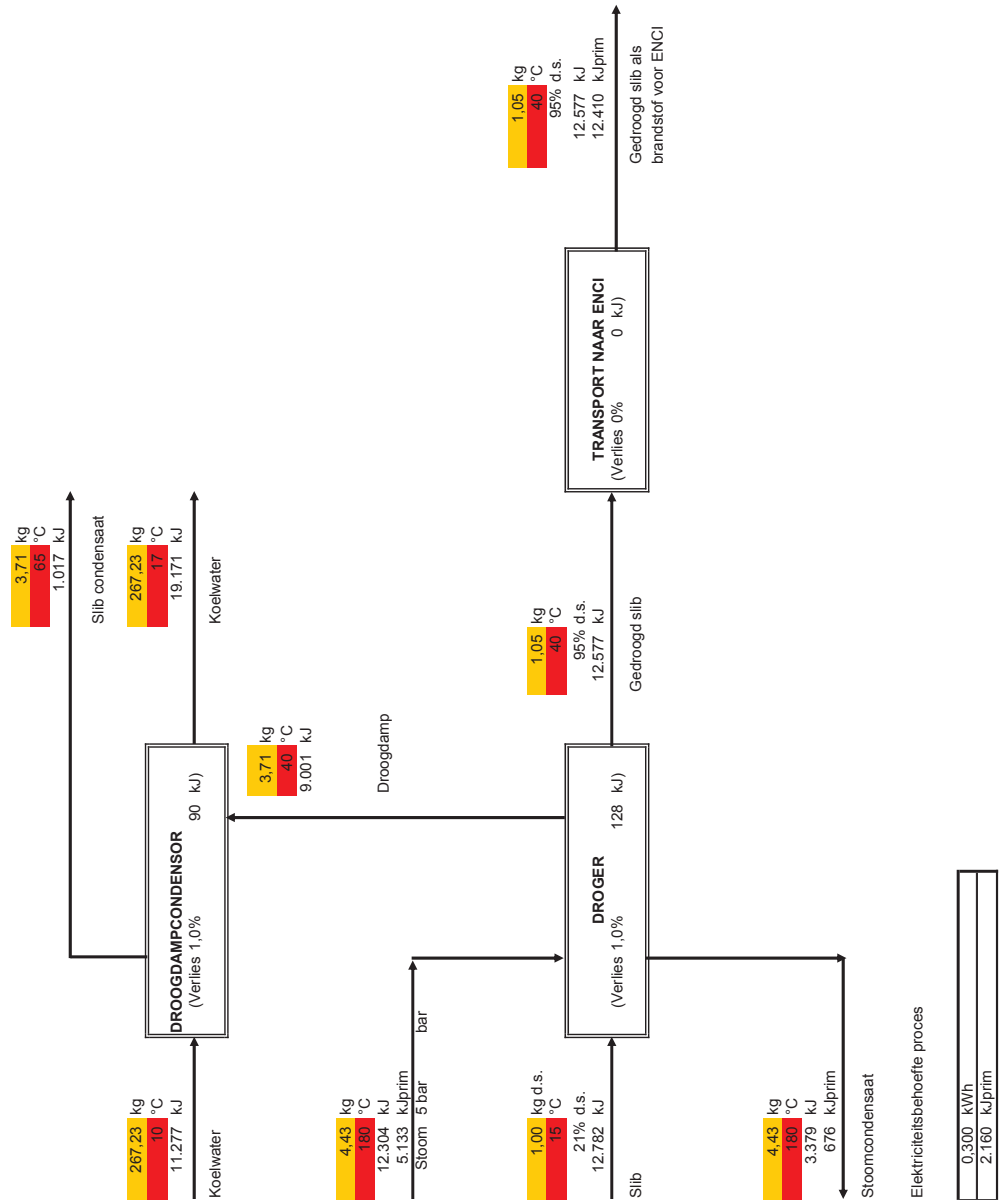
Energiebalans gasreiniging	Massabalans gasreiniging
In: 10,590	In: 1,440
Uit: 12,821	Uit: 306,18
Verlies: 23,511	Verlies: 21,965
Verschil: 0	Verschil: 314,9

Energiebalans sliemenging	Massabalans sliemenging
In: 12,782	In: 4,76
Uit: 63,770	Uit: 5,31
Verlies: 76,552	Verlies: 10,1

Energiebalans droger	Massabalans droger
In: 76,324	In: 10,1
Uit: 25,086	Uit: 17,39
Verlies: 101,410	Verlies: 27,5

Energiebalans transport naar ENCI	Massabalans transport naar ENCI
In: 12,651	In: 1,1
Uit: 12,577	Uit: 0,00
Verlies: 12,651	Verlies: 1,1

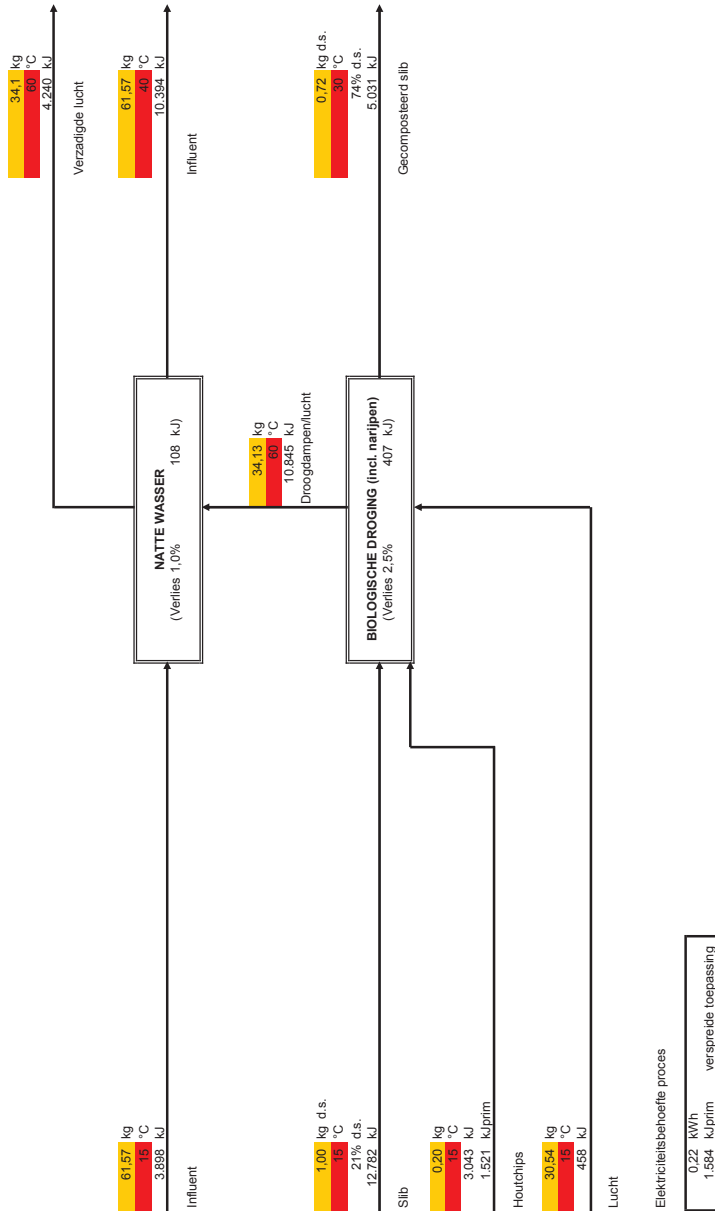
Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven



Energiebalans droogdampcondensator		Massabalans droger	
In	Uit	In	Uit
Koelwater	11.277	267,23	267,23
Droogdamp	9.001		3,71
Slibcondensaat	1.017		3,71
Verlies		90	
Totaal	20.278	270,9	270,9
Verschil:	0	Verschil:	0

Energiebalans droger		Massabalans droger	
In	Uit	In	Uit
Slib	12.782	12,577	1,05
Stoom	12.304		4,43
Condensaat	3.379		4,43
Droogdamp	9.001		3,71
Verlies	128		
Totaal	25.085	25,085	9,2
Verschil:	0	Verschil:	0

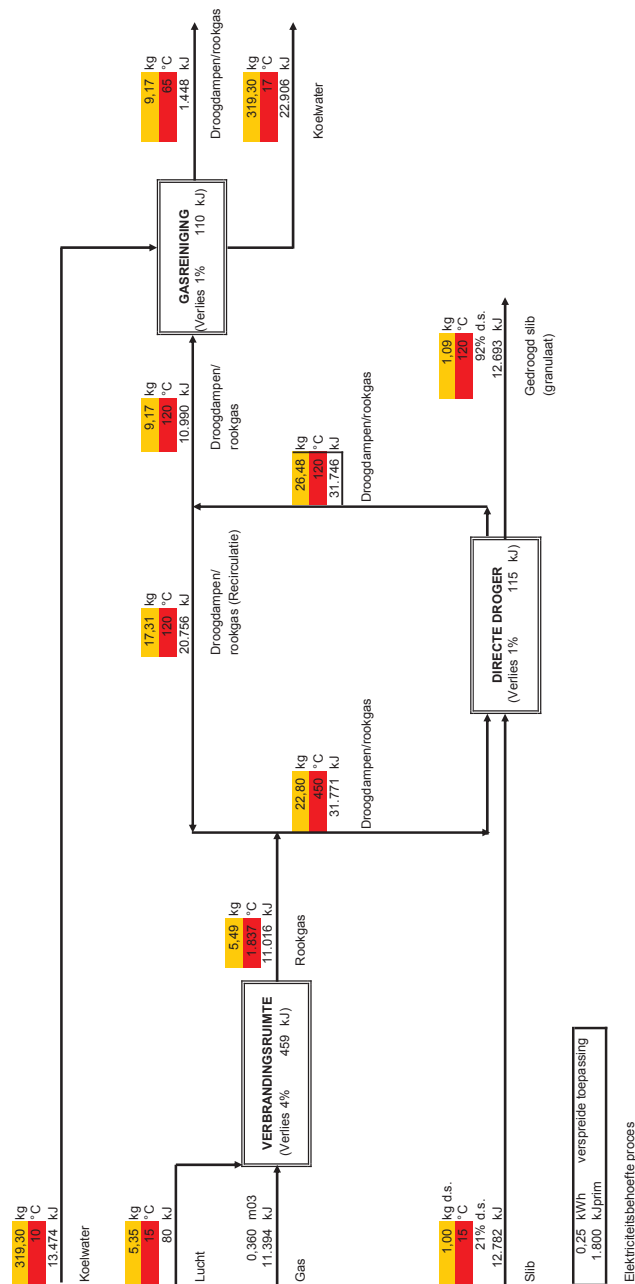
Biologische droging, starten



Energiebalans natte wasser		Massabalans natte wasser	
Droogdampen/luicht	In 10.845	In 34.13	Uit 61.6
Influent	3.898	61.57	34.13
Verzadigde lucht	4.240	10.394	61.57
Verlies	108	108	34.13
	14.743	14.743	95.7
	Verschil: 0	Verschil: 0	Verschil: 0.3

Energiebalans biologische droging		Massabalans biologische droging	
Silb	In 12.782	In 4.76	Uit 0.20
Houtchips	3.043	0.20	30.5
Lucht	458	30.5	34.1
Droogdampen/luicht	10.845	10.845	0.98
Gecomposteerd silb	5.031	5.031	407
Verlies	16.283	16.283	35.5
	Verschil: 0	Verschil: 0.4	Verschil: 35.1

Directe thermische droging (aardgas), storten



Energiebalans gasreïning		Massabalans gasreïning	
In	Ut	In	Ut
Droogdamp	10.990	1.448	9.17
Koelwater	13.474	22.906	319.30
Verlies		110	
	24.464	24.464	328.5
	Verlies: 0		Verlies: 0.9

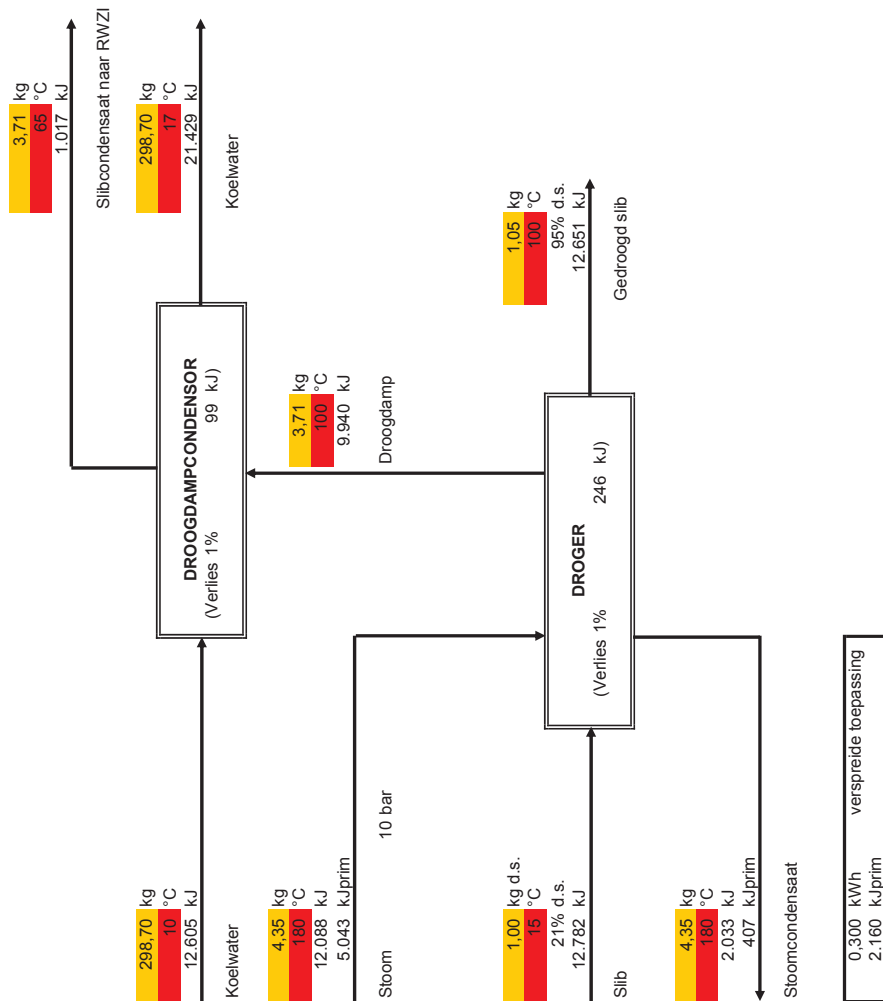
Energiebalans verbrandingsruimte		Massabalans verbrandingsruimte	
In	Ut	In	Ut
Gas	11.394		
Lucht	80		
Rookgas		11.016	
Verlies		459	
	11.475	11.475	0.0
	Verlies: 0		Verlies: 0.9

Energiebalans directe droger		Massabalans directe droger	
In	Ut	In	Ut
Droogdamp	31.771	31.746	26.48
Slib	12.762	12.693	4.76
Gedroogd slib		115	1.18
Verlies		44.553	
	44.553	44.553	27.6
	Verlies: 0		Verlies: 0.9

0.25 kWh verspreide bepassing
1.800 kJ/prim

Elektricitateisbehoefte proces

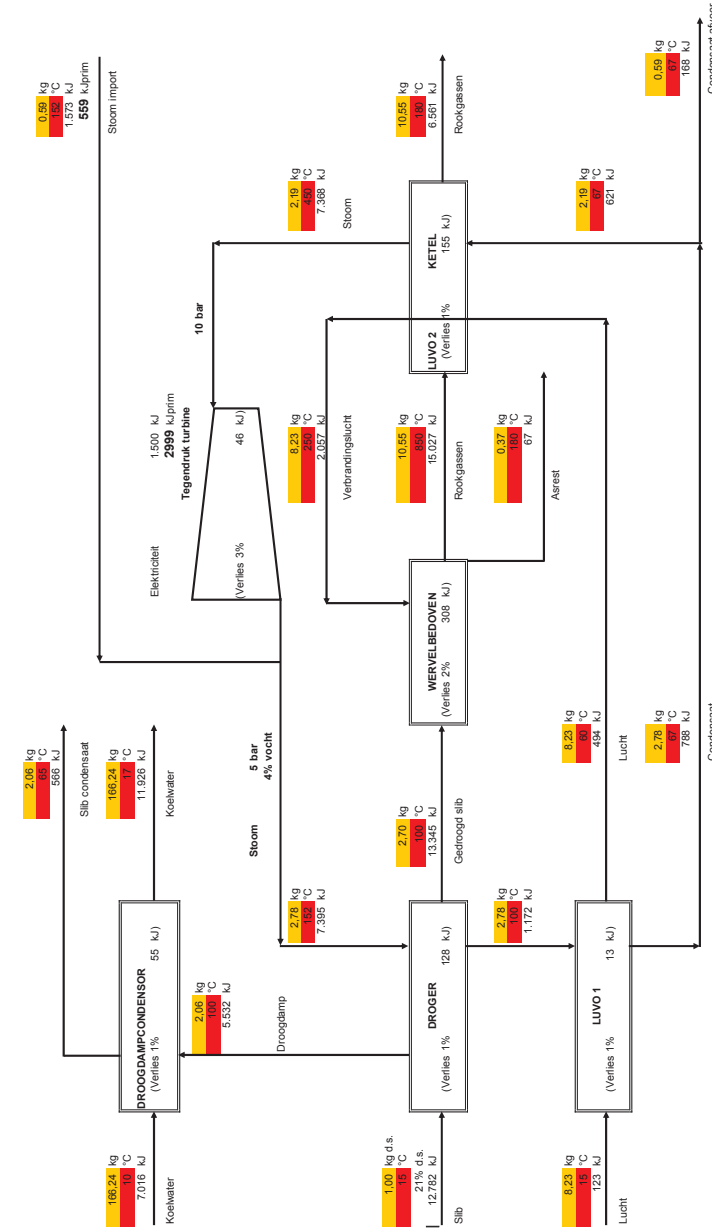
Indirecte thermische droging (restwarmte), storten



Energiebalans droogdampcondensor		Massabalans droger	
In	Uit	In	Uit
Koelwater	12.605		298,7
Droogdamp	9.940		3,7
Slibcondensaat	1.017		3,7
Verlies	99		
Verschil:	22.546	Verschil:	302,4
	0		0

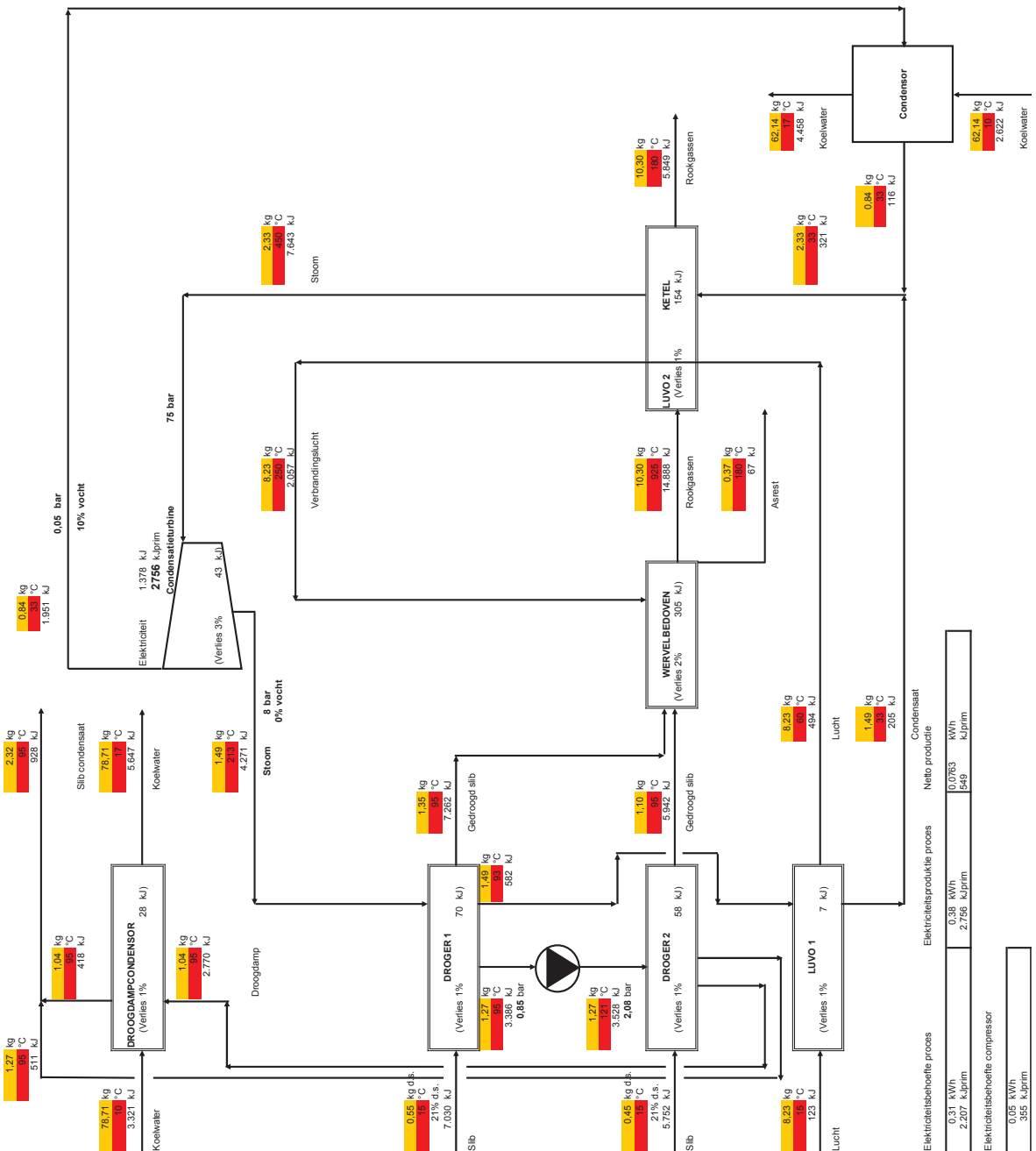
Energiebalans droger		Massabalans droger	
In	Uit	In	Uit
Slib	12.782		1,1
Stoom	12.088		4,8
Droogdamp	9.940		4,4
Verlies	246		3,7
Verschil:	24.870	Verschil:	9,1
	0		0

1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+tegendrukturbine



Energiebalans droogdamppondensator		Energiebalans droogdamper		Energiebalans droogder		Energiebalans LUVO 1		Energiebalans wervelbedoven		Energiebalans LUVO 2 / ketel	
In	Uit	In	Uit	In	Uit	In	Uit	In	Uit	In	Uit
Koelwater	7,016	11,926	11,926	12,782	13,345	123	464	13,345	2,057	464	2,057
Droogdamp	5,532	0	13,345	7,395	1,172	1,172	788	2,057	15,027	15,027	15,027
Silicium condensaat	0	566	5,532	20,177	128	1,239	13	308	18,402	18,402	18,402
Verlies	0	55	0	20,177	7,5	1,239	110	10,9	0	10,9	0
Verschi.	12,548	12,548	12,548	20,177	7,5	1,239	110	10,9	18,402	18,402	18,402
166,2		166,2		4,8		8,2		2,7		8,2	
2,1		2,1		2,8		2,8		8,2		10,6	
2,1		2,1		2,1		2,8		0,4		0,4	
166,3		166,3		7,5		11,0		10,9		21,0	
0		0		0		0		0		0	

2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatieturbine



Energiebalans droogdampcondensator	Massabalans droogdampcondensator
In 3,321	In 79,7
Uit 5,647	Uit 78,7
Droogdamp 2,770	Slibcondensaat 1,0
Slibcondensaat 418	Verlies 1,0
Verlies 6,092	Verlies 79,7
Verschil 0,000	Verschil 0,000

Energiebalans droger 1	Massabalans droger 1
In 7,262	In 2,6
Uit 7,262	Uit 1,3
Slib 7,030	Slib 1,5
Stoom 4,271	Droogdamp 1,3
Verlies 11,301	Verlies 4,1
Verschil 0,000	Verschil 0,000

Energiebalans droger 2	Massabalans droger 2
In 5,942	In 2,1
Uit 5,942	Uit 1,1
Slib 5,752	Slibcondensaat 1,3
Stoom 2,770	Droogdamp 1,0
Verlies 9,280	Verlies 3,4
Verschil 0,000	Verschil 0,000

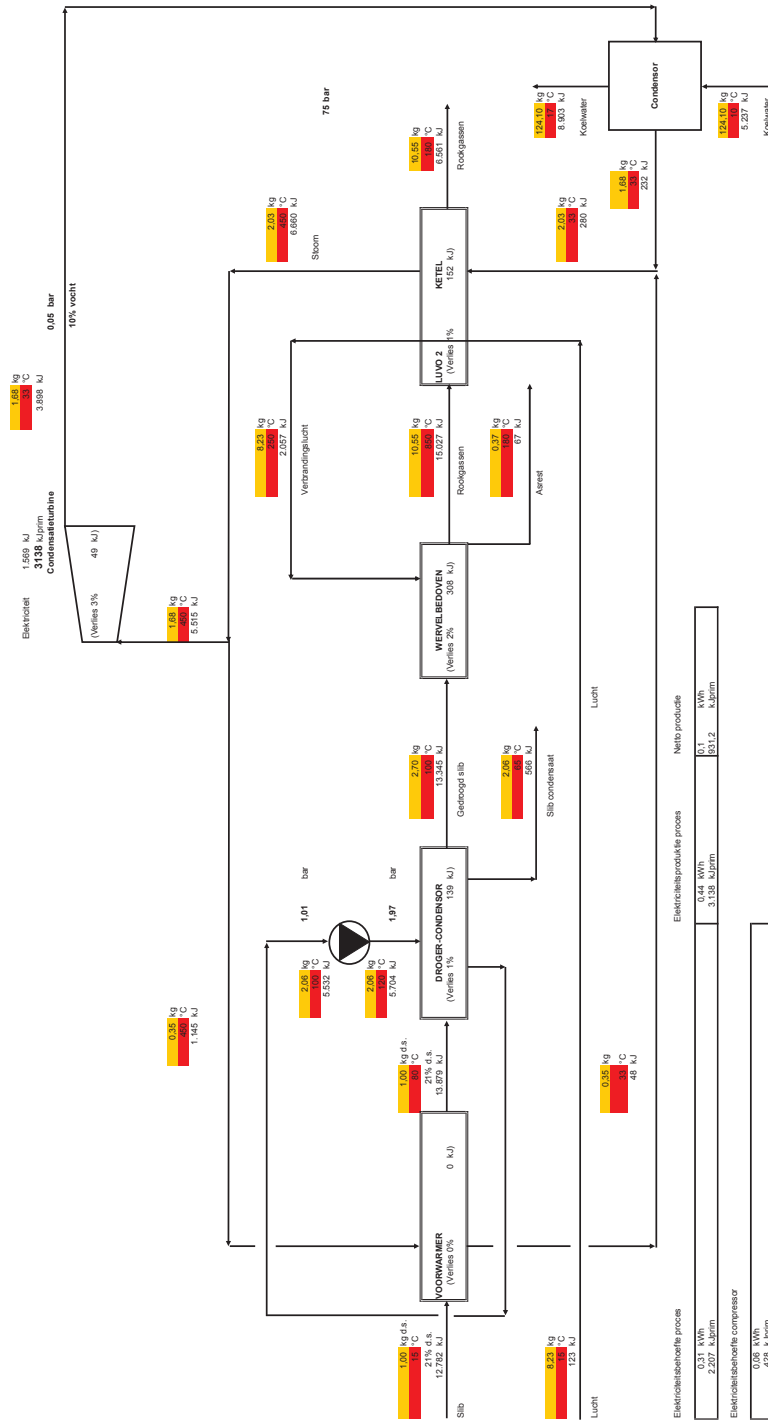
Energiebalans LUVO 1	Massabalans LUVO 1
In 123	In 8,2
Uit 494	Uit 8,2
Condensaat 582	Slib 1,5
Verlies 7	Verlies 9,7
Verschil 0,000	Verschil 0,000

Energiebalans wervelbedden	Massabalans wervelbedden
In 13,203	In 2,4
Uit 2,057	Uit 2,4
Ge droogd 14,888	Verbranding 8,2
Rookgasen 305	Asrest 10,3
Verlies 15,280	Verlies 10,7
Verschil 0,000	Verschil 0,000

Energiebalans LUVO 2 / ketel	Massabalans LUVO 2 / ketel
In 484	In 8,2
Uit 2,057	Uit 8,2
Verbr. licht 14,888	Rookgasen 10,3
Rookgasen 321	Stoom 2,3
Stoom 7,643	Verlies 154
Verlies 15,703	Verlies 20,9
Verschil 0,000	Verschil 0,000

Energiebalans condensator	Massabalans condensator
In 1,951	In 0,8
Uit 116	Uit 0,8
Condensaat 2,822	Koelwater 62,1
Koelwater 4,458	Verlies 63,0
Verlies 4,574	Verschil 0,000
Verschil 0,000	Verschil 0,000

3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+dampcompressie



Energiebalans voorwarming		Massabalans voorwarming	
In	1.145	In	0.3
Conditie	12.762	Conditie	1.0
Versies	13.927	Versies	1.3
Verschil	0	Verschil	0

Energiebalans droogcondensator		Massabalans droogcondensator	
In	13.979	In	4.8
Conditie	5.704	Conditie	2.1
Versies	19.682	Versies	6.9
Verschil	0	Verschil	0

Energiebalans wervelbedoven		Massabalans wervelbedoven	
In	13.345	In	2.7
Conditie	2.057	Conditie	8.2
Versies	15.402	Versies	10.9
Verschil	0	Verschil	0

Energiebalans Lijvo 2 ketel		Massabalans Lijvo 2 ketel	
In	123	In	8.2
Conditie	12.762	Conditie	6.6
Versies	15.430	Versies	14.8
Verschil	0	Verschil	0

Energiebalans condensator		Massabalans condensator	
In	3.898	In	1.7
Conditie	5.237	Conditie	124.1
Versies	9.135	Versies	125.8
Verschil	0	Verschil	0

BIJLAGE V

ECONOMISCHE BEREKENINGEN

SLIBEINDVERWERKING

ALGEMENE ECONOMISCHE UITGANGSPUNTEN		
Grondprijs	€	50,00 per m ²
B.T.W.		19,0%
KAPITAALSLASTEN		
Rente		5,0% per jaar
Afschrijvingsperiode	Grond ¹⁾	- jaar
	Bouwkundig	30 jaar
	Mech./elec.	15 jaar
	Mob. bedrijfsm.	5 jaar
ONDERHOUD		
Onderhoud bouwkundig		1,5% v/d bouwkundige levering
Onderhoud mech./elec.		6,0% v/d mech./elec. levering
Onderhoud mob. bedrijfsm.		7,5% v/d investering
PERSONEELSKOSTEN		
Management/administratie	€	90.000,00 per jaar
Technische dienst	€	70.000,00 per jaar
Personeel dagdienst	€	50.000,00 per jaar
Personeel ploegendienst	€	65.000,00 per jaar
OVERIGE VASTE KOSTEN		
Verzekering		0,35% v/d totale investering
Overheadkosten per ton	€	- per verwerkte ton d.s.
Overheadkosten per jaar	€	- per jaar
ENERGIE (tarieven incl. BTW)		
Electriciteit (inkoop)	€	0,05 per kWh
Aardgas	€	0,17 per Nm ³
Stoom (primair)	€	5,37 per GJ
Dieselolie	€	900,00 per m ³
Houtchips	€	11,50 per m ³
WATER (tarieven incl. BTW)		
Drinkwater	€	1,00 per m ³
Bedrijfswater	€	0,10 per m ³
CHEMICALIEN (tarieven incl. BTW)		
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	€	40,00 per ton
Salpeterzuur	€	200,00 per ton
Natronloog	€	250,00 per ton
Kalk	€	150,00 per ton
Demiwater	€	6,35 per ton
Conditioneringschemicaliën	€	5,00 per kg
Natriumfosfaat	€	70,00 per ton
Ijzerchloride	€	173,00 per ton
AFVALWATER		
Zuiveringsheffing	€	50,00 per i.e.
RESTSTOFFEN		
Stortkosten indirecte droging+wervelbedverbranding	€	50,00 per ton
Stortkosten natte oxidatie	€	50,00 per ton
Stortkosten meeverbranden AVI	€	50,00 per ton
Reststofkosten biologisch drogen meestoken	€	50,00 per ton
Reststofkosten thermisch drogen meestoken	€	50,00 per ton
Reststofkosten biologisch drogen meestoken cementoven	€	50,00 per ton
Reststofkosten thermisch drogen meestoken cementoven	€	50,00 per ton
Stortkosten gedroogd slib	€	50,00 per ton
Stortkosten gevaarlijk afval	€	200,00 per ton
OPBRENGSTEN		
Electriciteit (verkoop)	€	0,03- per kWh
Stoom (primair)	€	5,37- per GJ

1)

Rekenkundig wordt een afschrijvingstermijn van 1000 jaar gehanteerd.

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	28.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000		
OPPERVLAKTEBESLAG		Gebruikte schaalfactoren:	
benodigd oppervlak	12.500 m ²	0,5	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 625		
Engineering	€ 4.000	0,6	
Investering bouwkundig	€ 8.000	0,7	
Investering mech/elec.	€ 28.000	0,6	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 2.500	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 300	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 2.171		
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 6.839		
B.T.W.	€ 9.963		
Totale investering	€ 62.398		
Bouwtijd			
Bouwtijd	24 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	6		
Technische dienst	4		
Personeel dagdienst	6		
Personeel ploegendienst	15		
ENERGIEVERBRUIK			
Elektriciteit (inkoop)	64,37 kWh/ton slib	8582,0 MWh/jaar	
Aardgas	5,00 Nm ³ /ton slib	666666,7 Nm ³ /jaar	
Stoom	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Dieselolie	0,00 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,00 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,00 m ³ /ton slib	0 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	2,50 m ³ /ton slib	333333,333 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,01 ton/ton slib	1333,3 ton/jaar	
Kalk	0,01 ton/ton slib	1333,3 ton/jaar	
Demiwater	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,00 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal		
CZV	2.000,00 mg/l		
N-Kj	750,00 mg/l		
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Stortkosten	0,371 ton/ton d.s.	10397,7 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,010 ton/ton d.s.	280,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Elektriciteit (verkoop)	0,000 kWh/ton slib	0 MWh/jaar	
Stoom	0,012 ton/ton slib	1577,3 ton/jaar	

BEREKENING		Indirecte droging, verbranding in een wervelbed			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	100.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000--)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/Jaar	Kosten/ton
Grond	1.181		1000	€ 59.056,95	€ 0,64
Engineering	8.585		30	€ 558.498,56	€ 6,07
Investering bouwkundig	19.502		30	€ 1.268.633,71	€ 13,79
Investering mech./elec.	60.098		15	€ 5.790.021,37	€ 62,94
Investering mob. Bedrijfsm.	0		5	€ -	€ -
Condensaatbehandeling	1.720		15	€ 165.708,73	€ 1,80
Bouwbegeleiding	5.366		30	€ 349.061,60	€ 3,79
Leges/vergunningkosten	644		30	€ 41.887,39	€ 0,46
Financiering/bouwrente	4.769		30	€ 310.220,30	€ 3,37
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	15.022		30	€ 977.193,93	€ 10,62
B.T.W.	22.209		30	€ 1.444.704,64	€ 15,70
INVESTERING totaal	139.096		KAPITAALLASTEN:	€ 10.964.987,18	€ 119,18
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 292.530,14	€ 3,18
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 3.605.906,51	€ 39,19
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ -	€ -
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 3.898.436,66	€ 42,37
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal		Personeelskosten per man		
Management/staf	6		€ 90.000,00	€ 540.000,00	€ 5,87
Technische dienst	4		€ 70.000,00	€ 280.000,00	€ 3,04
Personeel dagdienst	6		€ 50.000,00	€ 300.000,00	€ 3,26
Personeel ploegendienst	15		€ 65.000,00	€ 975.000,00	€ 10,60
PERSENEELSKOSTEN				€ 2.095.000,00	€ 22,77
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 308.650,80	€ 3,35
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 308.650,80	€ 3,35
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid	Eenheid	Kosten		
E-verbruik [MWh/jr]	28198	per MWh	€ 50,00	€ 1.409.900,00	€ 15,33
Aardgas [Nm ³ /jr]	2190476	per Nm ³	€ 0,17	€ 372.380,95	€ 4,05
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ 2,24	€ -	€ -
Dieselolie [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 900,00	€ -	€ -
Houtsnippen [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 11,50	€ -	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 1.782.280,95	€ 19,37
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 1,00	€ -	€ -
Bedrijfswater [m ³ /jr]	1095238	per m ³	€ 0,10	€ 109.523,81	€ 1,19
WATERKOSTEN				€ 109.523,81	€ 1,19
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	4381	per ton	€ 250,00	€ 1.095.238,10
Kalk	[ton/jr]	4381	per ton	€ 150,00	€ 657.142,86
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ 1.752.380,95	€ 19,05
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Stortkosten	[ton/jr]	34164	per ton	€ 50,00	€ 1.708.199,66
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	920	per ton	€ 200,00	€ 184.000,00
RESTSTOFFEN				€ 1.892.199,66	€ 20,57
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]	0	per MWh	€ 30,00	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]	5183	per ton	€ 2,24	€ 11.614,34	€ 0,13
DIVERSEN				€ 11.614,34	€ 0,13
Condensaatbehandeling				€ 959.200,00	€ 10,43
TOTALE KOSTEN				€ 23.751.045,67	€ 258,16

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Natte oxidatie	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	42.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	11.000 m ²	0,6	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 550		
Engineering	€ 4.085	0,5	
Investering bouwkundig	€ 9.650	0,6	
Investering mech/elec.	€ 31.200	0,5	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 2.450	0,5	
Leges/vergunningkosten	€ 383	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 2.114		
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 7.565		
B.T.W.	€ 11.019		
Totale investering	€ 69.015		
Bouwtijd			
Bouwtijd	21 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	2		
Technische dienst	2		
Personeel dagdienst	5		
Personeel ploegendienst	15		
ENERGIEVERBRUIK			
Elektriciteit (inkoop)	64.470 kWh/ton slib	12894,0 MWh/jaar	
Aardgas	1,000 Nm ³ /ton slib	200000,0 Nm ³ /jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	
Dieselolie	0,002 m ³ /ton slib	400,0 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,200 m ³ /ton slib	40000 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	0,000 m ³ /ton slib	0 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,045 ton/ton slib	9000,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,003 ton/ton slib	530,0 ton/jaar	
Natronloog	0,001 ton/ton slib	200,0 ton/jaar	
Kalk	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Demiwater	0,000 ton/ton slib	0,020 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,000 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal		
CZV	10,00 mg/l		
N-Kj	40,00 mg/l		
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Stortkosten	0,766 ton/ton d.s.	32157,9 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,000 ton/ton d.s.	0,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Elektriciteit (verkoop)	0,000 kWh/ton slib	0 MWh/jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	

BEREKENING		Natte oxidatie				
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]				
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]				
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400	[ton d.s./jaar]				
INVESTERINGEN						
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden	
INVESTERING	(€ 1.000,-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/jaar	Kosten/ton	
Grond	352,4		1000	€ 17.619,81	€ 0,96	
Engineering	2.819		30	€ 183.374,65	€ 9,97	
Investering bouwkundig	6.183		30	€ 402.209,77	€ 21,86	
Investering mech/elec.	21.530		15	€ 2.074.253,83	€ 112,73	
Investering mob. Bedrijfsm.	0		5	€ -	€ -	
Condensaatbehandeling	1.880		15	€ 181.123,50	€ 9,84	
Bouwbegeleiding	1.691		30	€ 109.979,90	€ 5,98	
Leges/vergunningkosten	245		30	€ 15.942,51	€ 0,87	
Financiering/bouwrente	1.641		30	€ 106.749,55	€ 5,80	
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	5.169		30	€ 336.261,09	€ 18,28	
B.T.W.	7.887		30	€ 513.056,70	€ 27,88	
INVESTERING totaal	49.397		KAPITAALLASTEN:	€ 3.940.571,31	€ 214,16	
ONDERHOUD						
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 92.744,25	€ 5,04	
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 1.291.802,73	€ 70,21	
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ -	€ -	
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 1.384.546,98	€ 75,25	
PERSENEELSBEZETTING						
	Aantal		Personeelskosten per man			
Management/staf	2		€ 90.000,00	€ 180.000,00	€ 9,78	
Technische dienst	2		€ 70.000,00	€ 140.000,00	€ 7,61	
Personeel dagdienst	5		€ 50.000,00	€ 250.000,00	€ 13,59	
Personeel ploegendienst	15		€ 65.000,00	€ 975.000,00	€ 52,99	
PERSENEELSKOSTEN				€ 1.545.000,00	€ 83,97	
OVERIGE VASTE KOSTEN						
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 106.861,70	€ 5,81	
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -	
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -	
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 106.861,70	€ 5,81	
ENERGIEVERBRUIK						
	Hoeveelheid	Eenheid	Kosten			
E-verbruik [MWh/jr]	5649	per MWh	€ 50,00	€ 282.440,00	€ 15,35	
Aardgas [Nm ³ /jr]	87619	per Nm ³	€ 0,17	€ 14.895,24	€ 0,81	
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ -	€ -	€ -	
Dieselolie [m ³ /jr]	175	per m ³	€ 900,00	€ 157.714,29	€ 8,57	
Houtsnippen [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 11,50	€ -	€ -	
ENERGIEKOSTEN				€ 455.049,52	€ 24,73	
WATERVERBRUIK						
Drinkwater [m ³ /jr]	17524	per m ³	€ 1,00	€ 17.523,81	€ 0,95	
Bedrijfswater [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 0,10	€ -	€ -	
WATERKOSTEN				€ 17.523,81	€ 0,95	
CHEMICALIEN						
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	3943	per ton	€ 40,00	€ 157.714,29	€ 8,57
Salpeterzuur	[ton/jr]	232	per ton	€ 200,00	€ 46.438,10	€ 2,52
Natronloog	[ton/jr]	88	per ton	€ 250,00	€ 21.904,76	€ 1,19
Kalk	[ton/jr]	0	per ton	€ 150,00	€ -	€ -
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ 0,06	€ 0,00
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ 226.057,20	€ 12,29	
RESTSTOFFEN						
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -	€ -
Stortkosten	[ton/jr]	14088	per ton	€ 50,00	€ 704.412,23	€ 38,28
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -	€ -
RESTSTOFFEN				€ 704.412,23	€ 38,28	
OPBRENGSTEN						
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]		0	per MWh	€ 30,00	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]		0	per ton	€ -	€ -	€ -
DIVERSEN				€ -	€ -	
Condensaatbehandeling				€ 1.788.400,00	€ 97,20	
TOTALE KOSTEN				€ 10.168.422,75	€ 552,63	

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Meeverbranden in een AVI	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	5.000 m ²	0,5	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 250		
Engineering	€ 1.500	0,6	
Investering bouwkundig	€ 4.000	0,7	
Investering mech/elec.	€ 12.000	0,6	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 1.000	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 200	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 829		
Onvoorziën (15% v.d. invest.)	€ 2.967		
B.T.W.	€ 4.322		
Totale investering	€ 27.068		
Bouwtijd			
Bouwtijd	21 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	1		
Technische dienst	0		
Personeel dagdienst	1		
Personeel ploegendienst	2,5		
ENERGIEVERBRUIK			
Elektriciteit (inkoop)	31,500 kWh/ton slib	3000,0 MWh/jaar	
Aardgas	5,000 Nm ³ /ton slib	476190,5 Nm ³ /jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	
Dieselolie	0,002 m ³ /ton slib	190,5 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,000 m ³ /ton slib	0 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	2,500 m ³ /ton slib	238095,238 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,010 ton/ton slib	952,4 ton/jaar	
Kalk	0,010 ton/ton slib	952,4 ton/jaar	
Demiwater	0,000 ton/ton slib	0,000 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,000 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	90,00 m ³ /etmaal		
CZV	2.000,00 mg/l		
N-Kj	750,00 mg/l		
i.e.-waarde	3.591,7		
RESTSTOFFEN			
Stortkosten	0,371 ton/ton d.s.	7427,0 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,010 ton/ton d.s.	200,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Elektriciteit (verkoop)	-1,638 kWh/ton slib	-156,026913 MWh/jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	

BEREKENING		Meeverbranden in een AVI			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000,-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/Jaar	Kosten/ton
Grond	250,0		1000	€ 12.500,00	€ 0,68
Engineering	1.500		30	€ 97.577,15	€ 5,30
Investering bouwkundig	4.000		30	€ 260.205,74	€ 14,14
Investering mech/elec.	12.000		15	€ 1.156.107,45	€ 62,83
Investering mob. Bedrijfsm.	0		5	€ -	€ -
Condensaatbehandeling	0		15	€ -	€ -
Bouwbegeleiding	1.000		30	€ 65.051,44	€ 3,54
Leges/vergunningkosten	200		30	€ 13.010,29	€ 0,71
Financiering/bouwrente	948		30	€ 61.636,23	€ 3,35
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	2.985		30	€ 194.154,14	€ 10,55
B.T.W.	4.348		30	€ 282.817,86	€ 15,37
INVESTERING totaal	27.230		KAPITAALLASTEN:	€ 2.143.060,30	€ 116,47
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 60.000,00	€ 3,28
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 720.000,00	€ 39,13
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ -	€ -
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 780.000,00	€ 42,39
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal		Personeelskosten per man		
Management/staf	1		€ 90.000,00	€ 90.000,00	€ 4,89
Technische dienst	0		€ 70.000,00	€ -	€ -
Personeel dagdienst	1		€ 50.000,00	€ 50.000,00	€ 2,72
Personeel ploegendienst	2,5		€ 65.000,00	€ 162.500,00	€ 8,83
PERSENEELSKOSTEN				€ 302.500,00	€ 16,44
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 61.250,00	€ 3,33
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 61.250,00	€ 3,33
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid	Eenheid	Kosten		
E-verbruik [MWh/jr]	2760	per MWh	€ 50,00	€ 138.000,00	€ 7,50
Aardgas [Nm ³ /jr]	438095	per Nm ³	€ 0,17	€ 74.476,19	€ 4,05
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ -	€ -	€ -
Dieselolie [m ³ /jr]	175	per m ³	€ 900,00	€ 157.714,29	€ 8,57
Houtsnippen [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 11,50	€ -	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 370.190,48	€ 20,12
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 1,00	€ -	€ -
Bedrijfswater [m ³ /jr]	219048	per m ³	€ 0,10	€ 21.904,76	€ 1,19
WATERKOSTEN				€ 21.904,76	€ 1,19
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	876	per ton	€ 250,00	€ 219.047,62
Kalk	[ton/jr]	876	per ton	€ 150,00	€ 131.428,57
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ 350.476,19	€ 19,05
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	3304	per i.e.	€ 50,00	€ 165.219,49
Stortkosten	[ton/jr]	6833	per ton	€ 50,00	€ 341.639,93
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	184	per ton	€ 200,00	€ 36.800,00
RESTSTOFFEN				€ 543.659,42	€ 29,55
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]		-144	per MWh	€ 30,00	€ 4.306,34
Stoom [ton/jr]		0	per ton	€ -	€ -
DIVERSEN				€ 4.306,34	€ 0,23
Condensaatbehandeling				€ -	€ -
TOTALE KOSTEN				€ 4.577.347,49	€ 248,77

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Biologische droging, meestoken in een e-centrale	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	17.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	15.000 m ²	0,9	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 750		
Engineering	€ 54	0,6	
Investering bouwkundig	€ 9.034	0,85	
Investering mech/elec.	€ 4.945	0,75	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ 696	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 54	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 25	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 486		
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 2.407		
B.T.W.	€ 3.506		
Totale investering	€ 21.956		
Bouwtijd			
Bouwtijd	15 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	2		
Technische dienst	2		
Personeel dagdienst	6		
Personeel ploegendienst	0		
ENERGIEVERBRUIK			
Electriciteit (inkoop)	46,200 kWh/ton slib	3740,0 MWh/jaar	
Aardgas	0,000 Nm ³ /ton slib	0,0 Nm ³ /jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	
Dieselolie	0,002 m ³ /ton slib	188,7 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,158 m ³ /ton slib	12750,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,002 m ³ /ton slib	170 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	0,000 m ³ /ton slib	0 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Kalk	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Demiwater	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,000 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal		
CZV	50,00 mg/l		
N-Kj	100,00 mg/l		
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Stortkosten	1,100 ton/ton d.s.	18700,0 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,000 ton/ton d.s.	0,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Electriciteit (verkoop)	0,000 kWh/ton slib	0 MWh/jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	

BEREKENING		Biologische droging, meestoken in een e-centrale			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000,-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/Jaar	Kosten/ton
Grond	868,1		1000	€ 43.406,45	€ 2,36
Engineering	60		30	€ 3.872,57	€ 0,21
Investering bouwkundig	10.372		30	€ 674.701,46	€ 36,67
Investering mech./elec.	5.586		15	€ 538.191,23	€ 29,25
Investering mob. Bedrijfsm.	806		5	€ 186.078,76	€ 10,11
Condensaatbehandeling	225		15	€ 21.677,01	€ 1,18
Bouwbegeleiding	60		30	€ 3.872,57	€ 0,21
Leges/vergunningkosten	28		30	€ 1.792,86	€ 0,10
Financiering/bouwrente	889		30	€ 57.825,62	€ 3,14
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	2.800		30	€ 182.150,71	€ 9,90
B.T.W.	4.122		30	€ 268.113,82	€ 14,57
INVESTERING totaal	25.814		KAPITAALLASTEN:	€ 1.981.683,07	€ 107,70
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 155.577,23	€ 8,46
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 335.174,46	€ 18,22
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ 60.421,77	€ 3,28
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 551.173,46	€ 29,96
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal		Personeelskosten per man		
Management/staf	2		€ 90.000,00	€ 180.000,00	€ 9,78
Technische dienst	2		€ 70.000,00	€ 140.000,00	€ 7,61
Personeel dagdienst	6		€ 50.000,00	€ 300.000,00	€ 16,30
Personeel ploegendienst	0		€ 65.000,00	€ -	€ -
PERSENEELSKOSTEN				€ 620.000,00	€ 33,70
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 58.881,24	€ 3,20
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 58.881,24	€ 3,20
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid		Eenheid	Kosten	
E-verbruik [MWh/jr]	4048		per MWh	€ 50,00	€ 202.400,00
Aardgas [Nm ³ /jr]	0		per Nm ³	€ 0,17	€ -
Stoom [ton/jr]	0		per ton	€ -	€ -
Dieselolie [m ³ /jr]	204		per m ³	€ 900,00	€ 183.816,00
Houtsnippen [m ³ /jr]	13800		per m ³	€ 11,50	€ 158.700,00
ENERGIEKOSTEN				€ 544.916,00	€ 29,62
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	184		per m ³	€ 1,00	€ 184,00
Bedrijfswater [m ³ /jr]	0		per m ³	€ 0,10	€ -
WATERKOSTEN				€ 184,00	€ 0,01
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	0	per ton	€ 250,00	€ -
Kalk	[ton/jr]	0	per ton	€ 150,00	€ -
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ -	€ -
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Kosten reststoffen	[ton/jr]	20240	per ton	€ 50,00	€ 1.012.000,00
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
RESTSTOFFEN				€ 1.012.000,00	€ 55,00
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]		0	per MWh	€ 30,00	€ -
Stoom [ton/jr]		0	per ton	€ -	€ -
DIVERSEN				€ -	€ -
Condensaatbehandeling				€ 230.200,00	€ 12,51
TOTALE KOSTEN				€ 4.999.037,77	€ 271,69

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	28.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	10.000 m ²	0,5	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 500		
Engineering	€ 2.000	0,6	
Investering bouwkundig	€ 7.000	0,7	
Investering mech/elec.	€ 12.250	0,6	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 1.500	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 250	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 881		
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 3.657		
B.T.W.	€ 5.327		
Totale investering	€ 33.366		
Bouwtijd			
Bouwtijd	18 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	2		
Technische dienst	2		
Personeel dagdienst	0		
Personeel ploegendienst	6		
ENERGIEVERBRUIK			
Elektriciteit (inkoop)	52,500 kWh/ton slib	7000,0 MWh/jaar	
Aardgas	77,894 Nm ³ /ton slib	10385869,3 Nm ³ /jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	
Dieselolie	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,280 m ³ /ton slib	37333,3333 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	1,400 m ³ /ton slib	186666,667 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Kalk	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Demiwater	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,000 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal		
CZV	2.000,00 mg/l		
N-Kj	750,00 mg/l		
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Kosten reststoffen	1,000 ton/ton d.s.	28000,0 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,000 ton/ton d.s.	0,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Elektriciteit (verkoop)	0,000 kWh/ton slib	0 MWh/jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	

BEREKENING		Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000--)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/Jaar	Kosten/ton
Grond	422,6		1000	€ 21.128,86	€ 1,15
Engineering	1.634		30	€ 106.318,80	€ 5,78
Investering bouwkundig	5.531		30	€ 359.803,43	€ 19,55
Investering mech/elec.	10.011		15	€ 964.442,24	€ 52,42
Investering mob. Bedrijfsm.	0		5	€ -	€ -
Condensaatbehandeling	385		15	€ 37.091,78	€ 2,02
Bouwbegeleiding	1.226		30	€ 79.739,10	€ 4,33
Leges/vergunningkosten	204		30	€ 13.289,85	€ 0,72
Financiering/bouwrente	951		30	€ 61.892,15	€ 3,36
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	2.997		30	€ 194.960,28	€ 10,60
B.T.W.	4.439		30	€ 288.750,66	€ 15,69
INVESTERING totaal	27.801		KAPITAALLASTEN:	€ 2.127.417,14	€ 115,62
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 82.965,91	€ 4,51
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 600.634,84	€ 32,64
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ -	€ -
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 683.600,75	€ 37,15
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal		Personeelskosten per man		
Management/staf	2		€ 90.000,00	€ 180.000,00	€ 9,78
Technische dienst	2		€ 70.000,00	€ 140.000,00	€ 7,61
Personeel dagdienst	0		€ 50.000,00	€ -	€ -
Personeel ploegendienst	6		€ 65.000,00	€ 390.000,00	€ 21,20
PERSENEELSKOSTEN				€ 710.000,00	€ 38,59
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 60.116,08	€ 3,27
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 60.116,08	€ 3,27
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid	Eenheid	Kosten		
E-verbruik [MWh/jr]	4600	per MWh	€ 50,00	€ 230.000,00	€ 12,50
Aardgas [Nm ³ /jr]	6825000	per Nm ³	€ 0,17	€ 1.160.249,97	€ 63,06
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ -	€ -	€ -
Dieselolie [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 900,00	€ -	€ -
Houtsnippen [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 11,50	€ -	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 1.390.249,97	€ 75,56
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	24533	per m ³	€ 1,00	€ 24.533,33	€ 1,33
Bedrijfswater [m ³ /jr]	122667	per m ³	€ 0,10	€ 12.266,67	€ 0,67
WATERKOSTEN				€ 36.800,00	€ 2,00
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	0	per ton	€ 250,00	€ -
Kalk	[ton/jr]	0	per ton	€ 150,00	€ -
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ -	€ -
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Kosten reststoffen	[ton/jr]	18400	per ton	€ 50,00	€ 920.000,00
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
RESTSTOFFEN				€ 920.000,00	€ 50,00
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]	0	per MWh	€ 30,00	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ -	€ -	€ -
DIVERSEN				€ -	€ -
Condensaatbehandeling				€ 193.400,00	€ 10,51
TOTALE KOSTEN				€ 6.121.583,93	€ 332,69

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	28.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	10.000 m ²	0,5	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 500		
Engineering	€ 2.000	0,6	
Investering bouwkundig	€ 7.000	0,7	
Investering mech./elec.	€ 12.250	0,6	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 1.500	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 250	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 881		
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 3.657		
B.T.W.	€ 5.327		
Totale investering	€ 33.366		
Bouwtijd			
Bouwtijd	18 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	2		
Technische dienst	2		
Personeel dagdienst	0		
Personeel ploegendienst	6		
ENERGIEVERBRUIK			
Electriciteit (inkoop)	63,000	kWh/ton slib	8400,0 MWh/jaar
Aardgas	0,000	Nm ³ /ton slib	0,0 Nm ³ /jaar
Stoom	1,050	ton/ton slib	139987,6 ton/jaar
Dieselolie	0,000	m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar
Houtsnippers	0,000	m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,280	m ³ /ton slib	37333,3333 m ³ /jaar
Bedrijfswater	1,400	m ³ /ton slib	186666,667 m ³ /jaar
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,000	ton/ton slib	0,0 ton/jaar
Salpeterzuur	0,000	ton/ton slib	0,0 ton/jaar
Natronloog	0,000	ton/ton slib	0,0 ton/jaar
Kalk	0,000	ton/ton slib	0,0 ton/jaar
Demiwater	0,000	ton/ton slib	0,0 ton/jaar
Conditioneringschemicaliën	0,000	kg/ton slib	0,0 kg/jaar
Natriumfosfaat	0,000	ton/ton slib	0,0 ton/jaar
Ijzerchloride	0,000	ton/ton slib	0,0 ton/jaar
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00	m ³ /etmaal	
CZV	2.000,00	mg/l	
N-Kj	750,00	mg/l	
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Kosten reststoffen	1,000	ton/ton d.s.	28000,0 ton/jaar
Gevaarlijk afval	0,000	ton/ton d.s.	0,0 ton/jaar
OPBRENGSTEN			
Electriciteit (verkoop)	0,000	kWh/ton slib	0 MWh/jaar
Stoom	0,000	ton/ton slib	0,0 ton/jaar

BEREKENING		Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21.0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000,-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/jaar	Kosten/ton
Grond	422,6		1000	€ 21.128,86	€ 1,15
Engineering	1.634		30	€ 106.318,80	€ 5,78
Investering bouwkundig	5.531		30	€ 359.803,43	€ 19,55
Investering mech./elec.	10.011		15	€ 964.442,24	€ 52,42
Investering mob. Bedrijfsm.	0		5	€ -	€ -
Condensaatbehandeling	385		15	€ 37.091,78	€ 2,02
Bouwbegeleiding	1.226		30	€ 79.739,10	€ 4,33
Leges/vergunningkosten	204		30	€ 13.289,85	€ 0,72
Financiering/bouwrente	951		30	€ 61.892,15	€ 3,36
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	2.997		30	€ 194.960,28	€ 10,60
B.T.W.	4.439		30	€ 288.750,66	€ 15,69
INVESTERING totaal	27.801		KAPITAALLASTEN:	€ 2.127.417,14	€ 115,62
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 82.965,91	€ 4,51
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 600.634,84	€ 32,64
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ -	€ -
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 683.600,75	€ 37,15
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal		Personeelskosten per man		
Management/staf	2		€ 90.000,00	€ 180.000,00	€ 9,78
Technische dienst	2		€ 70.000,00	€ 140.000,00	€ 7,61
Personeel dagdienst	0		€ 50.000,00	€ -	€ -
Personeel ploegendienst	6		€ 65.000,00	€ 390.000,00	€ 21,20
PERSENEELSKOSTEN				€ 710.000,00	€ 38,59
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 60.116,08	€ 3,27
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 60.116,08	€ 3,27
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid	Eenheid	Kosten		
E-verbruik [MWh/jr]	5520	per MWh	€ 50,00	€ 276.000,00	€ 15,00
Aardgas [Nm ³ /jr]	0	per Nm ³	€ 0,17	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]	91992	per ton	€ 2,24	€ 206.152,36	€ 11,20
Dieselolie [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 900,00	€ -	€ -
Houtsnippers [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 11,50	€ -	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 482.152,36	€ 26,20
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	24533	per m ³	€ 1,00	€ 24.533,33	€ 1,33
Bedrijfswater [m ³ /jr]	122667	per m ³	€ 0,10	€ 12.266,67	€ 0,67
WATERKOSTEN				€ 36.800,00	€ 2,00
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	0	per ton	€ 250,00	€ -
Kalk	[ton/jr]	0	per ton	€ 150,00	€ -
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ -	€ -
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Kosten reststoffen	[ton/jr]	18400	per ton	€ 50,00	€ 920.000,00
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
RESTSTOFFEN				€ 920.000,00	€ 50,00
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]	0	per MWh	€ 30,00	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ 2,24	€ -	€ -
DIVERSEN				€ -	€ -
Condensaatbehandeling				€ 193.400,00	€ 10,51
TOTALE KOSTEN				€ 5.213.486,32	€ 283,34

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Biologische droging, meestoken in een cementoven	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	17.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	15.000 m ²	0,9	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 750		
Engineering	€ 54	0,6	
Investering bouwkundig	€ 9.034	0,85	
Investering mech/elec.	€ 4.945	0,75	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ 696	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 54	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 25	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 486		
Onvoorziën (15% v.d. invest.)	€ 2.407		
B.T.W.	€ 3.506		
Totale investering	€ 21.956		
Bouwtijd			
Bouwtijd	15 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	2		
Technische dienst	2		
Personeel dagdienst	6		
Personeel ploegendienst	0		
ENERGIEVERBRUIK			
Electriciteit (inkoop)	46,200 kWh/ton slib	3740,0 MWh/jaar	
Aardgas	0,000 Nm ³ /ton slib	0,0 Nm ³ /jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	
Dieselolie	0,002 m ³ /ton slib	188,7 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,158 m ³ /ton slib	12750,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,002 m ³ /ton slib	170 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	0,000 m ³ /ton slib	0 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Kalk	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Demiwater	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,000 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal		
CZV	50,00 mg/l		
N-Kj	100,00 mg/l		
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Kosten reststoffen	1,100 ton/ton d.s.	18700,0 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,000 ton/ton d.s.	0,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Electriciteit (verkoop)	0,000 kWh/ton slib	0 MWh/jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	

BEREKENING		Biologische droging, meestoken in een cementoven			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000,-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/jaar	Kosten/ton
Grond	868,1		1000	€ 43.406,45	€ 2,36
Engineering	60		30	€ 3.872,57	€ 0,21
Investering bouwkundig	10.372		30	€ 674.701,46	€ 36,67
Investering mech./elec.	5.586		15	€ 538.191,23	€ 29,25
Investering mob. Bedrijfsm.	806		5	€ 186.078,76	€ 10,11
Condensaatbehandeling	225		15	€ 21.677,01	€ 1,18
Bouwbegeleiding	60		30	€ 3.872,57	€ 0,21
Leges/vergunningkosten	28		30	€ 1.792,86	€ 0,10
Financiering/bouwrente	889		30	€ 57.825,62	€ 3,14
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	2.800		30	€ 182.150,71	€ 9,90
B.T.W.	4.122		30	€ 268.113,82	€ 14,57
INVESTERING totaal	25.814		KAPITAALLASTEN:	€ 1.981.683,07	€ 107,70
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 155.577,23	€ 8,48
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 335.174,46	€ 18,22
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ 60.421,77	€ 3,28
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 551.173,46	€ 29,96
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal		Personeelskosten per man		
Management/staf	2		€ 90.000,00	€ 180.000,00	€ 9,78
Technische dienst	2		€ 70.000,00	€ 140.000,00	€ 7,61
Personeel dagdienst	6		€ 50.000,00	€ 300.000,00	€ 16,30
Personeel ploegendienst	0		€ 65.000,00	€ -	€ -
PERSENEELSKOSTEN				€ 620.000,00	€ 33,70
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 58.881,24	€ 3,20
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 58.881,24	€ 3,20
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid	Eenheid	Kosten		
E-verbruik [MWh/jr]	4048	per MWh	€ 50,00	€ 202.400,00	€ 11,00
Aardgas [Nm ³ /jr]	0	per Nm ³	€ 0,17	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ -	€ -	€ -
Dieselolie [m ³ /jr]	204	per m ³	€ 900,00	€ 183.816,00	€ 9,99
Houtsnippen [m ³ /jr]	13800	per m ³	€ 11,50	€ 158.700,00	€ 8,63
ENERGIEKOSTEN				€ 544.916,00	€ 29,62
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	184	per m ³	€ 1,00	€ 184,00	€ 0,01
Bedrijfswater [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 0,10	€ -	€ -
WATERKOSTEN				€ 184,00	€ 0,01
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	0	per ton	€ 250,00	€ -
Kalk	[ton/jr]	0	per ton	€ 150,00	€ -
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ -	€ -
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Kosten reststoffen	[ton/jr]	20240	per ton	€ 50,00	€ 1.012.000,00
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
RESTSTOFFEN				€ 1.012.000,00	€ 55,00
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]	0	per MWh	€ 30,00	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ -	€ -	€ -
DIVERSEN				€ -	€ -
Condensaatbehandeling				€ 230.200,00	€ 12,51
TOTALE KOSTEN				€ 4.999.037,77	€ 271,69

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	28.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	10.000 m ²	0,5	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 500		
Engineering	€ 2.000	0,6	
Investering bouwkundig	€ 7.000	0,7	
Investering mech./elec.	€ 12.250	0,6	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 1.500	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 250	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 881		
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 3.657		
B.T.W.	€ 5.327		
Totale investering	€ 33.366		
Bouwtijd			
Bouwtijd	18 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	2		
Technische dienst	2		
Personeel dagdienst	0		
Personeel ploegendienst	6		
ENERGIEVERBRUIK			
Electriciteit (inkoop)	52,500 kWh/ton slib	7000,0 MWh/jaar	
Aardgas	77,894 Nm ³ /ton slib	10385869,3 Nm ³ /jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	
Dieselolie	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,280 m ³ /ton slib	37333,3333 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	1,400 m ³ /ton slib	186666,667 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Kalk	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Demiwater	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,000 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal		
CZV	2.000,00 mg/l		
N-Kj	750,00 mg/l		
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Kosten reststoffen	1,00 ton/ton d.s.	28000,0 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,00 ton/ton d.s.	0,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Electriciteit (verkoop)	0,000 kWh/ton slib	0 MWh/jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	

BEREKENING		Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21.0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000,-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/Jaar	Kosten/ton
Grond	423		1000	€ 21.128,86	€ 1,15
Engineering	1.634		30	€ 106.318,80	€ 5,78
Investering bouwkundig	5.531		30	€ 359.803,43	€ 19,55
Investering mech./elec.	10.011		15	€ 964.442,24	€ 52,42
Investering mob. Bedrijfsm.	0		5	€ -	€ -
Condensaatbehandeling	385		15	€ 37.091,78	€ 2,02
Bouwbegeleiding	1.226		30	€ 79.739,10	€ 4,33
Leges/vergunningkosten	204		30	€ 13.289,85	€ 0,72
Financiering/bouwrente	951		30	€ 61.892,15	€ 3,36
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	2.997		30	€ 194.960,28	€ 10,60
B.T.W.	4.439		30	€ 288.750,66	€ 15,69
INVESTERING totaal	27.801		KAPITAALLASTEN:	€ 2.127.417,14	€ 115,62
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 82.965,91	€ 4,51
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 600.634,84	€ 32,64
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ -	€ -
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 683.600,75	€ 37,15
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal		Personeelskosten per man		
Management/staf	2		€ 90.000,00	€ 180.000,00	€ 9,78
Technische dienst	2		€ 70.000,00	€ 140.000,00	€ 7,61
Personeel dagdienst	0		€ 50.000,00	€ -	€ -
Personeel ploegendienst	6		€ 65.000,00	€ 390.000,00	€ 21,20
PERSENEELSKOSTEN				€ 710.000,00	€ 38,59
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 60.116,08	€ 3,27
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -
Overheadkosten per jaar	€/jaar	0		€ -	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 60.116,08	€ 3,27
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid		Eenheid	Kosten	
E-verbruik [MWh/jr]	4600		per MWh	€ 50,00	€ 230.000,00
Aardgas [Nm ³ /jr]	6825000		per Nm ³	€ 0,17	€ 1.160.249,97
Stoom [ton/jr]	0		per ton	€ -	€ -
Diesellolie [m ³ /jr]	0		per m ³	€ 900,00	€ -
Houtsnippers [m ³ /jr]	0		per m ³	€ 11,50	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 1.390.249,97	€ 75,56
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	24533		per m ³	€ 1,00	€ 24.533,33
Bedrijfswater [m ³ /jr]	122667		per m ³	€ 0,10	€ 12.266,67
WATERKOSTEN				€ 36.800,00	€ 2,00
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	0	per ton	€ 250,00	€ -
Kalk	[ton/jr]	0	per ton	€ 150,00	€ -
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ -	€ -
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Kosten reststoffen	[ton/jr]	18400	per ton	€ 50,00	€ 920.000,00
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
RESTSTOFFEN				€ 920.000,00	€ 50,00
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]	0		per MWh	€ 30,00	€ -
Stoom [ton/jr]	0		per ton	€ -	€ -
DIVERSEN				€ -	€ -
Condensaatbehandeling				€ 193.400,00	€ 10,51
TOTALE KOSTEN				€ 6.121.583,93	€ 332,69

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	28.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	10.000 m ²	0,5	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 500		
Engineering	€ 2.000	0,6	
Investering bouwkundig	€ 7.000	0,7	
Investering mech/elec.	€ 12.250	0,6	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 1.500	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 250	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 881		
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 3.657		
B.T.W.	€ 5.327		
Totale investering	€ 33.366		
Bouwtijd			
Bouwtijd	18 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	2		
Technische dienst	2		
Personeel dagdienst	0		
Personeel ploegendienst	6		
ENERGIEVERBRUIK			
Elektriciteit (inkoop)	63,000 kWh/ton slib	8400,0 MWh/jaar	
Aardgas	0,000 Nm ³ /ton slib	0,0 Nm ³ /jaar	
Stoom	0,930 ton/ton slib	124036,4 ton/jaar	
Dieselolie	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,280 m ³ /ton slib	37333,3333 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	1,400 m ³ /ton slib	186666,667 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloei-bare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Kalk	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Demiwater	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,000 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,0 m ³ /etmaal		
CZV	2.000,00 mg/l		
N-Kj	750,00 mg/l		
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Kosten reststoffen	1,000 ton/ton d.s.	28000,0 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,000 ton/ton d.s.	0,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Elektriciteit (verkoop)	0,000 kWh/ton slib	0 MWh/jaar	
Stoom	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	

BEREKENING		Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000--)	Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/jaar	Kosten/ton	
Grond	423	1000	€	21.128,86	€ 1,15
Engineering	1.634	30	€	106.318,80	€ 5,78
Investering bouwkundig	5.531	30	€	359.803,43	€ 19,55
Investering mech/elec.	10.011	15	€	964.442,24	€ 52,42
Investering mob. Bedrijfsm.	0	5	€	-	€ -
Condensaatbehandeling	385	15	€	37.091,78	€ 2,02
Bouwbegeleiding	1.226	30	€	79.739,10	€ 4,33
Leges/vergunningkosten	204	30	€	13.289,85	€ 0,72
Financiering/bouwrente	951	30	€	61.892,15	€ 3,36
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	2.997	30	€	194.960,28	€ 10,60
B.T.W.	4.439	30	€	288.750,66	€ 15,69
INVESTERING totaal	27.801		KAPITAALLASTEN:	€ 2.127.417,14	€ 115,62
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. aft. (%):	2%	€	82.965,91	€ 4,51
Mech./electrisch	invest. aft. (%):	6%	€	600.634,84	€ 32,64
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. aft. (%):	8%	€	-	€ -
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 683.600,75	€ 37,15
PERSENEELSBEZETTING		Aantal	Personeelskosten per man		
Management/staf		2	€	90.000,00	€ 180.000,00
Technische dienst		2	€	70.000,00	€ 140.000,00
Personeel dagdienst		0	€	50.000,00	€ -
Personeel ploegendienst		6	€	65.000,00	€ 390.000,00
PERSENEELSKOSTEN				€ 710.000,00	€ 38,59
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. aft. (%):	0,35%	€	60.116,08	€ 3,27
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00	€	-	€ -
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0	€	-	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 60.116,08	€ 3,27
ENERGIEVERBRUIK		Hoeveelheid	Eenheid	Kosten	
E-verbruik [MWh/jr]		5520	per MWh	€ 50,00	€ 276.000,00
Aardgas [Nm ³ /jr]		0	per Nm ³	€ 0,17	€ -
Stoom [ton/jr]		81510	per ton	€ 2,24	€ 182.661,88
Dieselolie [m ³ /jr]		0	per m ³	€ 900,00	€ -
Houtsnippen [m ³ /jr]		0	per m ³	€ 11,50	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 458.661,88	€ 24,93
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]		24533	per m ³	€ 1,00	€ 24.533,33
Bedrijfswater [m ³ /jr]		122667	per m ³	€ 0,10	€ 12.266,67
WATERKOSTEN				€ 36.800,00	€ 2,00
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	0	per ton	€ 250,00	€ -
Kalk	[ton/jr]	0	per ton	€ 150,00	€ -
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ -	€ -
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Kosten reststoffen	[ton/jr]	18400	per ton	€ 50,00	€ 920.000,00
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
RESTSTOFFEN				€ 920.000,00	€ 50,00
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]		0	per MWh	€ 30,00	€ -
Stoom [ton/jr]		0	per ton	€ 2,24	€ -
DIVERSEN				€ -	€ -
Condensaatbehandeling				€ 193.400,00	€ 10,51
TOTALE KOSTEN				€ 5.189.995,84	€ 282,06

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Biologische droging, storten	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	17.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	15.000 m ²	0,9	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 750		
Engineering	€ 54	0,6	
Investering bouwkundig	€ 9.034	0,85	
Investering mech/elec.	€ 4.945	0,75	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ 696	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 54	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 25	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 486		
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 2.407		
B.T.W.	€ 3.506		
Totale investering	€ 21.956		
Bouwtijd			
Bouwtijd	15 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	2		
Technische dienst	2		
Personeel dagdienst	6		
Personeel ploegendienst	0		
ENERGIEVERBRUIK			
Electriciteit (inkoop)	46,200 kWh/ton slib	3740,0 MWh/jaar	
Aardgas	0,000 Nm ³ /ton slib	0,0 Nm ³ /jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	
Dieselolie	0,002 m ³ /ton slib	188,7 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,158 m ³ /ton slib	12750,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,002 m ³ /ton slib	170 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	0,000 m ³ /ton slib	0 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Kalk	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Demiwater	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,000 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal		
CZV	50,00 mg/l		
N-Kj	100,00 mg/l		
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Stortkosten	1,10 ton/ton d.s.	18700,0 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,000 ton/ton d.s.	0,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Electriciteit (verkoop)	0,000 kWh/ton slib	0 MWh/jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	

BEREKENING		Biologische droging, storten				
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]				
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]				
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400	[ton d.s./jaar]				
INVESTERINGEN						
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden	
INVESTERING	(€ 1.000,-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/Jaar	Kosten/ton	
Grond	868,1		1000	€ 43.406,45	€ 2,36	
Engineering	60		30	€ 3.872,57	€ 0,21	
Investering bouwkundig	10.372		30	€ 674.701,46	€ 36,67	
Investering mech./elec.	5.586		15	€ 538.191,23	€ 29,25	
Investering mob. Bedrijfsm.	806		5	€ 186.078,76	€ 10,11	
Condensaatbehandeling	225		15	€ 21.677,01	€ 1,18	
Bouwbegeleiding	60		30	€ 3.872,57	€ 0,21	
Leges/vergunningkosten	28		30	€ 1.792,86	€ 0,10	
Financiering/bouwrente	889		30	€ 57.825,82	€ 3,14	
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	2.800		30	€ 182.150,71	€ 9,90	
B.T.W.	4.122		30	€ 268.113,82	€ 14,57	
INVESTERING totaal	25.814		KAPITAALLASTEN:	€ 1.981.683,07	€ 107,70	
ONDERHOUD						
Bouwkundig	invest. afh. (%):	1,5%		€ 155.577,23	€ 8,48	
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6,0%		€ 335.174,46	€ 18,22	
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	7,5%		€ 60.421,77	€ 3,28	
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 551.173,46	€ 29,96	
PERSENEELSBEZETTING						
	Aantal		Personeelkosten per man			
Management/staf	2		€ 90.000,00	€ 180.000,00	€ 9,78	
Technische dienst	2		€ 70.000,00	€ 140.000,00	€ 7,61	
Personeel dagdienst	6		€ 50.000,00	€ 300.000,00	€ 16,30	
Personeel ploegendienst	0		€ 65.000,00	€ -	€ -	
PERSENEELSKOSTEN				€ 620.000,00	€ 33,70	
OVERIGE VASTE KOSTEN						
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 58.881,24	€ 3,20	
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -	
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -	
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 58.881,24	€ 3,20	
ENERGIEVERBRUIK						
	Hoeveelheid		Eenheid	Kosten		
E-verbruik [MWh/jr]	4048		per MWh	€ 50,00	€ 202.400,00	€ 11,00
Aardgas [Nm ³ /jr]	0		per Nm ³	€ 0,17	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]	0		per ton	€ -	€ -	€ -
Dieselolie [m ³ /jr]	204		per m ³	€ 900,00	€ 183.816,00	€ 9,99
Houtsnippen [m ³ /jr]	13800		per m ³	€ 11,50	€ 158.700,00	€ 8,63
ENERGIEKOSTEN				€ 544.916,00	€ 29,62	
WATERVERBRUIK						
Drinkwater [m ³ /jr]	184		per m ³	€ 1,00	€ 184,00	€ 0,01
Bedrijfswater [m ³ /jr]	0		per m ³	€ 0,10	€ -	€ -
WATERKOSTEN				€ 184,00	€ 0,01	
CHEMICALIEN						
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -	€ -
Natronloog	[ton/jr]	0	per ton	€ 250,00	€ -	€ -
Kalk	[ton/jr]	0	per ton	€ 150,00	€ -	€ -
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ -	€ -	
RESTSTOFFEN						
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -	€ -
Stortkosten	[ton/jr]	20240	per ton	€ 50,00	€ 1.012.000,00	€ 55,00
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -	€ -
RESTSTOFFEN				€ 1.012.000,00	€ 55,00	
OPBRENGSTEN						
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]		0	per MWh	€ 30,00	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]		0	per ton	€ -	€ -	€ -
DIVERSEN				€ -	€ -	
Condensaatbehandeling				€ 230.200,00	€ 12,51	
TOTALE KOSTEN				€ 4.999.037,77	€ 271,69	

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Directe thermische droging (aardgas), storten	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	28.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		Gebruikte schaalfactoren:	
benodigd oppervlak	10.000 m ²	0,5	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 500		
Engineering	€ 2.000	0,6	
Investering bouwkundig	€ 7.000	0,7	
Investering mech./elec.	€ 12.250	0,6	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 1.500	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 250	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 881		
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 3.657		
B.T.W.	€ 5.327		
Totale investering	€ 33.366		
Bouwtijd			
Bouwtijd	18 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	2		
Technische dienst	2		
Personeel dagdienst	0		
Personeel ploegendienst	6		
ENERGIEVERBRUIK			
Electriciteit (inkoop)	52.500 kWh/ton slib	7000,0 MWh/jaar	
Aardgas	77.894 Nm ³ /ton slib	10385869,3 Nm ³ /jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	
Dieselolie	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,280 m ³ /ton slib	37333,3333 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	1,400 m ³ /ton slib	186666,667 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Kalk	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Demiwater	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,000 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal		
CZV	2.000,00 mg/l		
N-Kj	750,00 mg/l		
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Stortkosten	1,000 ton/ton d.s.	28000,0 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,000 ton/ton d.s.	0,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Electriciteit (verkoop)	0,000 kWh/ton slib	0 MWh/jaar	
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar	

BEREKENING		Directe thermische droging (aardgas), storten			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000 [ton d.s./jaar]				
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0% [%]				
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400 [ton d.s./jaar]				
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%	Bouwtijd	24 maanden		
INVESTERING	(€ 1.000,-)	Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/jaar	Kosten/ton	
Grond	422,6	1000	€ 21.128,86	€	1,15
Engineering	1.634	30	€ 106.318,80	€	5,78
Investering bouwkundig	5.531	30	€ 359.803,43	€	19,55
Investering mech./elec.	10.011	15	€ 964.442,24	€	52,42
Investering mob. Bedrijfsm.	0	5	€ -	€	-
Condensaatbehandeling	385	15	€ 37.091,78	€	2,02
Bouwbegeleiding	1.226	30	€ 79.739,10	€	4,33
Leges/vergunningkosten	204	30	€ 13.289,85	€	0,72
Financiering/bouwrente	951	30	€ 61.892,15	€	3,36
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	2.997	30	€ 194.960,28	€	10,60
B.T.W.	4.439	30	€ 288.750,66	€	15,69
INVESTERING totaal	27.801	KAPITAALLASTEN:	€ 2.127.417,14	€	115,62
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%	€ 82.965,91	€	4,51
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%	€ 600.634,84	€	32,64
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%	€ -	€	-
ONDERHOUDSKOSTEN			€ 683.600,75	€	37,15
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal	Personeelskosten per man			
Management/staf	2	€ 90.000,00	€ 180.000,00	€	9,78
Technische dienst	2	€ 70.000,00	€ 140.000,00	€	7,61
Personeel dagdienst	0	€ 50.000,00	€ -	€	-
Personeel ploegendienst	6	€ 65.000,00	€ 390.000,00	€	21,20
PERSENEELSKOSTEN			€ 710.000,00	€	38,59
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%	€ 60.116,08	€	3,27
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00	€ -	€	-
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0	€ -	€	-
OVERIGE VASTE KOSTEN			€ 60.116,08	€	3,27
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid	Eenheid	Kosten		
E-verbruik [MWh/jr]	4600	per MWh	€ 50,00	€ 230.000,00	€ 12,50
Aardgas [Nm ³ /jr]	6825000	per Nm ³	€ 0,17	€ 1.160.249,97	€ 63,06
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ -	€ -	€ -
Dieselolie [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 900,00	€ -	€ -
Houtsnippen [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 11,50	€ -	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 1.390.249,97	€ 75,56
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	24533	per m ³	€ 1,00	€ 24.533,33	€ 1,33
Bedrijfswater [m ³ /jr]	122667	per m ³	€ 0,10	€ 12.266,67	€ 0,67
WATERKOSTEN				€ 36.800,00	€ 2,00
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	0	per ton	€ 250,00	€ -
Kalk	[ton/jr]	0	per ton	€ 150,00	€ -
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ -	€ -
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Stortkosten	[ton/jr]	18400	per ton	€ 50,00	€ 920.000,00
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
RESTSTOFFEN				€ 920.000,00	€ 50,00
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]	0	per MWh	€ 30,00	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ -	€ -	€ -
DIVERSEN				€ -	€ -
Condensaatbehandeling				€ 193.400,00	€ 10,51
TOTALE KOSTEN				€ 6.121.583,93	€ 332,69

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	28.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	10.000 m ²	0,5	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 500		
Engineering	€ 2.000	0,6	
Investering bouwkundig	€ 7.000	0,7	
Investering mech/elec.	€ 12.250	0,6	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 1.500	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 250	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 881		
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 3.657		
B.T.W.	€ 5.327		
Totale investering	€ 33.366		
Bouwtijd			
Bouwtijd	18 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	2		
Technische dienst	2		
Personeel dagdienst	0		
Personeel ploegendienst	6		
ENERGIEVERBRUIK			
Elektriciteit (inkoop)	63.000 kWh/ton slib	8400,0 MWh/jaar	
Aardgas	0,000 Nm ³ /ton slib	0,0 Nm ³ /jaar	
Stoom	0,914 ton/ton slib	121866,7 ton/jaar	
Dieselolie	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,000 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,280 m ³ /ton slib	37333,3333 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	1,400 m ³ /ton slib	186666,667 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Kalk	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Demiwater	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,000 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal		
CZV	2.000,00 mg/l		
N-Kj	750,00 mg/l		
i.e.-waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Stortkosten	1,000 ton/ton d.s.	28000,0 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,000 ton/ton d.s.	0,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Elektriciteit (verkoop)	0,000 kWh/ton slib	0 MWh/jaar	
Stoom	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	

BEREKENING		Indirecte thermische droging (restwarmte), storten			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	20.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	18.400	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000,-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/jaar	Kosten/ton
Grond	422,6		1000	€ 21.128,86	€ 1,15
Engineering	1.634		30	€ 106.318,80	€ 5,78
Investering bouwkundig	5.531		30	€ 359.803,43	€ 19,55
Investering mech./elec.	10.011		15	€ 964.442,24	€ 52,42
Investering mob. Bedrijfsm.	0		5	€ -	€ -
Condensaatbehandeling	385		15	€ 37.091,78	€ 2,02
Bouwbegeleiding	1.226		30	€ 79.739,10	€ 4,33
Leges/vergunningkosten	204		30	€ 13.289,85	€ 0,72
Financiering/bouwrente	951		30	€ 61.892,15	€ 3,36
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	2.997		30	€ 194.960,28	€ 10,60
B.T.W.	4.439		30	€ 288.750,66	€ 15,69
INVESTERING totaal	27.801		KAPITAALLASTEN:	€ 2.127.417,14	€ 115,62
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 82.965,91	€ 4,51
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 600.634,84	€ 32,64
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ -	€ -
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 683.600,75	€ 37,15
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal		Personeelskosten per man		
Management/staf	2		€ 90.000,00	€ 180.000,00	€ 9,78
Technische dienst	2		€ 70.000,00	€ 140.000,00	€ 7,61
Personeel dagdienst	0		€ 50.000,00	€ -	€ -
Personeel ploegendienst	6		€ 65.000,00	€ 390.000,00	€ 21,20
PERSENEELSKOSTEN				€ 710.000,00	€ 38,59
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 60.116,08	€ 3,27
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -
Overheadkosten per jaar	€/jaar	0		€ -	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 60.116,08	€ 3,27
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid	Eenheid	Kosten		
E-verbruik [MWh/jr]	5520	per MWh	€ 50,00	€ 276.000,00	€ 15,00
Aardgas [Nm ³ /jr]	0	per Nm ³	€ 0,17	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]	80084	per ton	€ 2,24	€ 179.466,61	€ 9,75
Dieselolie [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 900,00	€ -	€ -
Houtsnippen [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 11,50	€ -	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 455.466,61	€ 24,75
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	24533	per m ³	€ 1,00	€ 24.533,33	€ 1,33
Bedrijfswater [m ³ /jr]	122667	per m ³	€ 0,10	€ 12.266,67	€ 0,67
WATERKOSTEN				€ 36.800,00	€ 2,00
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	0	per ton	€ 250,00	€ -
Kalk	[ton/jr]	0	per ton	€ 150,00	€ -
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ -	€ -
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Stortkosten	[ton/jr]	18400	per ton	€ 50,00	€ 920.000,00
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
RESTSTOFFEN				€ 920.000,00	€ 50,00
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]	0	per MWh	€ 30,00	€ -	€ -
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ 2,24	€ -	€ -
DIVERSEN				€ -	€ -
Condensaatbehandeling				€ 193.400,00	€ 10,51
TOTALE KOSTEN				€ 5.186.800,56	€ 281,89

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+tegendrukturbine	
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	28.000	[ton d.s./jaar]	
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%		
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000		
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>	
benodigd oppervlak	12.500 m ²	0,5	
INVESTERINGEN (*1.000)			
Grond	€ 625		
Engineering	€ 4.000	0,6	
Investering bouwkundig	€ 8.000	0,7	
Investering mech/elec.+tegendrukturbine	€ 30.000	0,6	
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9	
Bouwbegeleiding	€ 2.500	0,6	
Leges/vergunningkosten	€ 300	0,6	
Financiering/bouwrente	€ 2.271		
Onvoorziën (15% v.d. invest.)	€ 7.154		
B.T.W.	€ 10.422		
Totale investering	€ 65.272		
Bouwtijd			
Bouwtijd	24 maanden		
Personeelsbezetting			
Management/staf	6		
Technische dienst	4		
Personeel dagdienst	6		
Personeel ploegendienst	15		
ENERGIEVERBRUIK			
Electriciteit (inkoop)	64,37 kWh/ton slib	8582,0 MWh/jaar	
Aardgas	5,00 Nm ³ /ton slib	666666,7 Nm ³ /jaar	
Stoom	0,124 ton/ton slib	16539,4 ton/jaar	
Dieselolie	0,00 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,00 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK			
Drinkwater	0,00 m ³ /ton slib	0 m ³ /jaar	
Bedrijfswater	2,50 m ³ /ton slib	333333,333 m ³ /jaar	
CHEMICALIËN			
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Salpeterzuur	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Natronloog	0,01 ton/ton slib	1333,3 ton/jaar	
Kalk	0,01 ton/ton slib	1333,3 ton/jaar	
Demiwater	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,00 kg/ton slib	0,0 kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
Ijzerchloride	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	
AFVALWATER			
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal		
CZV	2.000,00 mg/l		
N-Kj	750,00 mg/l		
i.e. -waarde	0,0		
RESTSTOFFEN			
Stortkosten	0,371 ton/ton d.s.	10397,7 ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,010 ton/ton d.s.	280,0 ton/jaar	
OPBRENGSTEN			
Electriciteit (verkoop)	87,479 kWh/ton slib	11663,8003 MWh/jaar	
Stoom	0,000 ton/ton slib	0,0 ton/jaar	

BEREKENING		1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+tegendrukturbine				
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	100.000	[ton d.s./jaar]				
Drogestofgehalte aanvoer:	21.0%	[%]				
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	[ton d.s./jaar]				
INVESTERINGEN						
Rentepercentage	5.00%		Bouwtijd	24	maanden	
INVESTERING	(€ 1.000.-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/Jaar	Kosten/ton	
Grond	1.181		1000	€ 59.056,95	€ 0,64	
Engineering	8.585		30	€ 558.498,56	€ 6,07	
Investering bouwkundig	19.502		30	€ 1.268.633,71	€ 13,79	
Investering mech./elec.	64.391		15	€ 6.203.594,33	€ 67,43	
Investering mob. Bedrijfsm.	0		5	€ -	€ -	
Condensaatbehandeling	1.720		15	€ 165.708,73	€ 1,80	
Bouwbegeleiding	5.366		30	€ 349.061,60	€ 3,79	
Leges/vergunningkosten	644		30	€ 41.887,39	€ 0,46	
Financiering/bouwrente	4.983		30	€ 324.162,76	€ 3,52	
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	15.698		30	€ 1.021.175,70	€ 11,10	
B.T.W.	23.194		30	€ 1.508.771,40	€ 16,40	
INVESTERING totaal	145.265		KAPITAALLASTEN:	€ 11.500.571,12	€ 125,01	
ONDERHOUD						
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 292.530,14	€ 3,18	
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 3.863.471,26	€ 41,99	
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ -	€ -	
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 4.156.001,41	€ 45,17	
PERSENEELSBEZETTING						
	Aantal			Personeelskosten per man		
Management/staf	6		€ 90.000,00	€ 540.000,00	€ 5,87	
Technische dienst	4		€ 70.000,00	€ 280.000,00	€ 3,04	
Personeel dagdienst	6		€ 50.000,00	€ 300.000,00	€ 3,26	
Personeel ploegendienst	15		€ 65.000,00	€ 975.000,00	€ 10,60	
PERSENEELSKOSTEN				€ 2.095.000,00	€ 22,77	
OVERIGE VASTE KOSTEN						
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 323.675,41	€ 3,52	
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -	
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -	
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 323.675,41	€ 3,52	
ENERGIEVERBRUIK						
	Hoeveelheid		Eenheid		Kosten	
E-verbruik [MWh/jr]	28198		per MWh	€ 50,00	€ 1.409.900,00	€ 15,33
Aardgas [Nm ³ /jr]	2190476		per Nm ³	€ 0,17	€ 372.380,95	€ 4,05
Stoom [ton/jr]	54344		per ton	€ 1,91	€ 103.733,56	€ 1,13
Dieselolie [m ³ /jr]	0		per m ³	€ 900,00	€ -	€ -
Houtsnippers [m ³ /jr]	0		per m ³	€ 11,50	€ -	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 1.886.014,51	€ 20,50	
WATERVERBRUIK						
Drinkwater [m ³ /jr]	0		per m ³	€ 1,00	€ -	€ -
Bedrijfswater [m ³ /jr]	1095238		per m ³	€ 0,10	€ 109.523,81	€ 1,19
WATERKOSTEN				€ 109.523,81	€ 1,19	
CHEMICALIEN						
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -	€ -
Natronloog	[ton/jr]	4381	per ton	€ 250,00	€ 1.095.238,10	€ 11,90
Kalk	[ton/jr]	4381	per ton	€ 150,00	€ 657.142,86	€ 7,14
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ 1.752.380,95	€ 19,05	
RESTSTOFFEN						
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -	€ -
Stortkosten	[ton/jr]	34164	per ton	€ 50,00	€ 1.708.199,66	€ 18,57
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	920	per ton	€ 200,00	€ 184.000,00	€ 2,00
RESTSTOFFEN				€ 1.892.199,66	€ 20,57	
OPBRENGSTEN						
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]	38324		per MWh	€ 30,00	€ 1.149.717,46	€ 12,50
Stoom [ton/jr]	0		per ton	€ 1,91	€ -	€ -
DIVERSEN				€ 1.149.717,46	€ 12,50	
Condensaatbehandeling				€ 959.200,00	€ 10,43	
TOTALE KOSTEN				€ 23.524.849,41	€ 255,70	

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatieturbine			
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	28.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%				
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000				
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>			
benodigd oppervlak	12.500 m ²	0,5			
INVESTERINGEN (*1.000)					
Grond	€ 625				
Engineering	€ 4.000	0,6			
Investering bouwkundig	€ 8.000	0,7			
Investering mech/elec.+condensatieturbine	€ 32.000	0,6			
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9			
Bouwbegeleiding	€ 2.500	0,6			
Leges/vergunningkosten	€ 300	0,6			
Financiering/bouwrente	€ 2.371				
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	€ 7.469				
B.T.W.	€ 10.880				
Totale investering	€ 68.146				
Bouwtijd					
Bouwtijd	24 maanden				
Personeelsbezetting					
Management/staf	6				
Technische dienst	4				
Personeel dagdienst	6				
Personeel ploegendienst	15				
ENERGIEVERBRUIK					
Elektriciteit (inkoop)	74,73 kWh/ton slib	9964,5 MWh/jaar			
Aardgas	5,00 Nm ³ /ton slib	666666,7 Nm ³ /jaar			
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar			
Dieselolie	0,00 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar			
Houtsnippers	0,00 m ³ /ton slib	0,0 m ³ /jaar			
WATERVERBRUIK					
Drinkwater	0,00 m ³ /ton slib	0 m ³ /jaar			
Bedrijfswater	2,50 m ³ /ton slib	333333,333 m ³ /jaar			
CHEMICALIËN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar			
Salpeterzuur	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar			
Natronloog	0,01 ton/ton slib	1333,3 ton/jaar			
Kalk	0,01 ton/ton slib	1333,3 ton/jaar			
Demiwater	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar			
Conditioneringschemicaliën	0,00 kg/ton slib	0,0 kg/jaar			
Natriumfosfaat	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar			
Ijzerchloride	0,00 ton/ton slib	0,0 ton/jaar			
AFVALWATER					
Hoeveelheid water	0,00 m ³ /etmaal				
CZV	2.000,00 mg/l				
N-Kj	750,00 mg/l				
i.e.-waarde	0,0				
RESTSTOFFEN					
Stortkosten	0,371 ton/ton d.s.	10397,7 ton/jaar			
Gevaarlijk afval	0,010 ton/ton d.s.	280,0 ton/jaar			
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop)	80,382 kWh/ton slib	10717,5432 MWh/jaar			
Stoom	- ton/ton slib	- ton/jaar			

BEREKENING		2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatieturbine			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	100.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000,-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/jaar	Kosten/ton
Grond	1.181		1000	€ 59.056,95	€ 0,64
Engineering	8.585		30	€ 558.498,56	€ 6,07
Investering bouwkundig	19.502		30	€ 1.268.633,71	€ 13,79
Investering mech/elec.	68.684		15	€ 6.617.167,28	€ 71,93
Investering mob. Bedrijfsm.	0		5	€ -	€ -
Condensaatbehandeling	1.720		15	€ 165.708,73	€ 1,80
Bouwbegeleiding	5.366		30	€ 349.061,60	€ 3,79
Leges/vergunningkosten	644		30	€ 41.887,39	€ 0,46
Financiering/bouwrente	5.198		30	€ 338.145,22	€ 3,68
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	16.374		30	€ 1.065.157,46	€ 11,58
B.T.W.	24.178		30	€ 1.572.838,17	€ 17,10
INVESTERING totaal	151.433		KAPITAALLASTEN:	€ 12.036.155,07	€ 130,83
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 292.530,14	€ 3,18
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 4.121.036,01	€ 44,79
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ -	€ -
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 4.413.566,16	€ 47,97
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal		Personeelskosten per man		
Management/staf	6		€ 90.000,00	€ 540.000,00	€ 5,87
Technische dienst	4		€ 70.000,00	€ 280.000,00	€ 3,04
Personeel dagdienst	6		€ 50.000,00	€ 300.000,00	€ 3,28
Personeel ploegendienst	15		€ 65.000,00	€ 975.000,00	€ 10,60
PERSENEELSKOSTEN				€ 2.095.000,00	€ 22,77
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 338.700,02	€ 3,68
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 338.700,02	€ 3,68
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid	Eenheid	Kosten		
E-verbruik [MWh/jr]	32740	per MWh	€ 50,00	€ 1.637.017,19	€ 17,79
Aardgas [Nm ³ /jr]	2190476	per Nm ³	€ 0,17	€ 372.380,95	€ 4,05
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ -	€ -	€ -
Dieselolie [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 900,00	€ -	€ -
Houtsnippen [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 11,50	€ -	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 2.009.398,15	€ 21,84
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	0	per m ³	€ 1,00	€ -	€ -
Bedrijfswater [m ³ /jr]	1095238	per m ³	€ 0,10	€ 109.523,81	€ 1,19
WATERKOSTEN				€ 109.523,81	€ 1,19
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	4381	per ton	€ 250,00	€ 1.095.238,10
Kalk	[ton/jr]	4381	per ton	€ 150,00	€ 657.142,86
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ 1.752.380,95	€ 19,05
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Stortkosten	[ton/jr]	34164	per ton	€ 50,00	€ 1.708.199,66
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	920	per ton	€ 200,00	€ 184.000,00
RESTSTOFFEN				€ 1.892.199,66	€ 20,57
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]	35215	per MWh	€ 30,00	€ 1.056.443,54	€ 11,48
Stoom [ton/jr]	0	per ton	€ -	€ -	€ -
DIVERSEN				€ 1.056.443,54	€ 11,48
Condensaatbehandeling				€ 959.200,00	€ 10,43
TOTALE KOSTEN				€ 24.549.680,27	€ 266,84

SPECIFIEKE UITGANGSPUNTEN		3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+dampcompressie			
Berekeningsbasis investering in ton d.s./jaar	28.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%				
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000				
OPPERVLAKTEBESLAG		<i>Gebruikte schaalfactoren:</i>			
benodigd oppervlak	12.500 m ²	0,5			
INVESTERINGEN (*1.000)					
Grond	€ 625				
Engineering	€ 4.000	0,6			
Investering bouwkundig	€ 8.000	0,7			
Investering mech/elec.+dampcompressie	€ 30.000	0,6			
Investering mob. Bedrijfsm.	€ -	0,9			
Bouwbegeleiding	€ 2.500	0,6			
Leges/vergunningkosten	€ 300	0,6			
Financiering/bouwrente	€ 2.271				
Onvoorziene (15% v.d. invest.)	€ 7.154				
B.T.W.	€ 10.422				
Totale investering	€ 65.272				
Bouwtijd					
Bouwtijd	24 maanden				
Personeelsbezetting					
Management/staf	6				
Technische dienst	4				
Personeel dagdienst	6				
Personeel ploegendienst	15				
ENERGIEVERBRUIK					
Elektriciteit (inkoop)	76,86	kWh/ton slib	10248,1	MWh/jaar	
Aardgas	5,00	Nm ³ /ton slib	666666,7	Nm ³ /jaar	
Stoom	-	ton/ton slib	-	ton/jaar	
Dieselolie	0,00	m ³ /ton slib	0,0	m ³ /jaar	
Houtsnippers	0,00	m ³ /ton slib	0,0	m ³ /jaar	
WATERVERBRUIK					
Drinkwater	0,00	m ³ /ton slib	0	m ³ /jaar	
Bedrijfswater	2,50	m ³ /ton slib	333333,333	m ³ /jaar	
CHEMICALIËN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	0,00	ton/ton slib	0,0	ton/jaar	
Salpeterzuur	0,00	ton/ton slib	0,0	ton/jaar	
Natronloog	0,01	ton/ton slib	1333,3	ton/jaar	
Kalk	0,01	ton/ton slib	1333,3	ton/jaar	
Demiwater	0,00	ton/ton slib	0,0	ton/jaar	
Conditioneringschemicaliën	0,00	kg/ton slib	0,0	kg/jaar	
Natriumfosfaat	0,00	ton/ton slib	0,0	ton/jaar	
Ijzerchloride	0,00	ton/ton slib	0,0	ton/jaar	
AFVALWATER					
Hoeveelheid water	0,00	m ³ /etmaal			
CZV	2.000,00	mg/l			
N-Kj	750,00	mg/l			
i.e.-waarde	0,0				
RESTSTOFFEN					
Stortkosten	0,371	ton/ton d.s.	10397,7	ton/jaar	
Gevaarlijk afval	0,010	ton/ton d.s.	280,0	ton/jaar	
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop)	91,526	kWh/ton slib	12203,4009	MWh/jaar	
Stoom	-	ton/ton slib	-	ton/jaar	

BEREKENING		3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+damprecompressie			
Verwerkingscapaciteit in ton d.s./jaar	100.000	[ton d.s./jaar]			
Drogestofgehalte aanvoer:	21,0%	[%]			
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	[ton d.s./jaar]			
INVESTERINGEN					
Rentepercentage	5,00%		Bouwtijd	24	maanden
INVESTERING	(€ 1.000,-)		Afschrijvingsduur in jaren	Kosten/jaar	Kosten/ton
Grond	1.181		1000	€ 59.056,95	€ 0,64
Engineering	8.585		30	€ 558.498,56	€ 6,07
Investering bouwkundig	19.502		30	€ 1.268.633,71	€ 13,79
Investering mech./elec.	64.391		15	€ 6.203.594,33	€ 67,43
Investering mob. Bedrijfsm.	0		5	€ -	€ -
Condensaatbehandeling	1.720		15	€ 165.708,73	€ 1,80
Bouwbegeleiding	5.366		30	€ 349.061,60	€ 3,79
Leges/vergunningkosten	644		30	€ 41.887,39	€ 0,46
Financiering/bouwrente	4.983		30	€ 324.182,76	€ 3,52
Onvoorzien (15% v.d. invest.)	15.698		30	€ 1.021.175,70	€ 11,10
B.T.W.	23.194		30	€ 1.508.771,40	€ 16,40
INVESTERING totaal	145.265		KAPITAALLASTEN:	€ 11.500.571,12	€ 125,01
ONDERHOUD					
Bouwkundig	invest. afh. (%):	2%		€ 292.530,14	€ 3,18
Mech./electrisch	invest. afh. (%):	6%		€ 3.863.471,26	€ 41,99
Mobiele bedrijfsmiddelen	invest. afh. (%):	8%		€ -	€ -
ONDERHOUDSKOSTEN				€ 4.156.001,41	€ 45,17
PERSENEELSBEZETTING					
	Aantal		Personeelskosten per man		
Management/staf	6		€ 90.000,00	€ 540.000,00	€ 5,87
Technische dienst	4		€ 70.000,00	€ 280.000,00	€ 3,04
Personeel dagdienst	6		€ 50.000,00	€ 300.000,00	€ 3,26
Personeel ploegendienst	15		€ 65.000,00	€ 975.000,00	€ 10,60
PERSENEELSKOSTEN				€ 2.095.000,00	€ 22,77
OVERIGE VASTE KOSTEN					
Verzekering	invest. afh. (%):	0,35%		€ 323.675,41	€ 3,52
Overheadkosten per ton	€ per ton d.s./jaar	0,00		€ -	€ -
Overheadkosten per jaar	€ /jaar	0		€ -	€ -
OVERIGE VASTE KOSTEN				€ 323.675,41	€ 3,52
ENERGIEVERBRUIK					
	Hoeveelheid		Eenheid	Kosten	
E-verbruik [MWh/jr]	33672		per MWh	€ 50,00	€ 1.683.622,96
Aardgas [Nm ³ /jr]	2190476		per Nm ³	€ 0,17	€ 372.380,95
Stoom [ton/jr]	0		per ton	€ -	€ -
Dieselolie [m ³ /jr]	0		per m ³	€ 900,00	€ -
Houtsnippen [m ³ /jr]	0		per m ³	€ 11,50	€ -
ENERGIEKOSTEN				€ 2.056.003,91	€ 22,35
WATERVERBRUIK					
Drinkwater [m ³ /jr]	0		per m ³	€ 1,00	€ -
Bedrijfswater [m ³ /jr]	1095238		per m ³	€ 0,10	€ 109.523,81
WATERKOSTEN				€ 109.523,81	€ 1,19
CHEMICALIEN					
Vloeibare zuurstof (incl. huur opslagtank)	[ton/jr]	0	per ton	€ 40,00	€ -
Salpeterzuur	[ton/jr]	0	per ton	€ 200,00	€ -
Natronloog	[ton/jr]	4381	per ton	€ 250,00	€ 1.095.238,10
Kalk	[ton/jr]	4381	per ton	€ 150,00	€ 657.142,86
Demiwater	[ton/jr]	0	per ton	€ 6,35	€ -
Conditioneringschemicaliën	[kg/jr]	0	per kg	€ 5,00	€ -
Natriumfosfaat	[ton/jr]	0	per ton	€ 70,00	€ -
Ijzerchloride	[ton/jr]	0	per ton	€ 173,00	€ -
CHEMICALIENKOSTEN				€ 1.752.380,95	€ 19,05
RESTSTOFFEN					
Zuiveringsheffing	[i.e./jr]	0	per i.e.	€ 50,00	€ -
Stortkosten	[ton/jr]	34164	per ton	€ 50,00	€ 1.708.199,66
Gevaarlijk afval	[ton/jr]	920	per ton	€ 200,00	€ 184.000,00
RESTSTOFFEN				€ 1.892.199,66	€ 20,57
OPBRENGSTEN					
Elektriciteit (verkoop) [MWh/jr]	40097		per MWh	€ 30,00	€ 1.202.906,66
Stoom [ton/jr]	0		per ton	€ -	€ -
DIVERSEN				€ 1.202.906,66	€ 13,08
Condensaatbehandeling				€ 959.200,00	€ 10,43
TOTALE KOSTEN				€ 23.641.649,62	€ 256,97

BIJLAGE VI

OVERZICHT SLIBVERWERKINGSKETENS PER WATERZUIVERINGSVARIANT

TOELICHTING OP DE TABEL

Per kolom wordt de volgende toelichting gegeven:

- 1e kolom: nummer van de slibeindverwerkingsvariant;
- 2e kolom: omschrijving van de eindverwerkingsvariant;
- 3e kolom: schaalgrootte;
- 4e kolom: het energieverbruik van de RWZI (100.000 i.e.) per kg droge stof aan geproduceerd zuiveringsslib, omgerekend naar primaire energie;
- 5e kolom: het energieverbruik of de energieproductie van de eindverwerkingsvariant bij de bijbehorende ontwerpcapaciteit en een corresponderende te verwerken hoeveelheid, omgerekend naar primaire energie;
- 6e kolom: sommatie van de 4e en 5e kolom;
- 7e kolom: investering voor de RWZI met een ontwerpcapaciteit van 100.000 i.e.;
- 8e kolom: investering voor de eindverwerkingsvariant bij de bijbehorende ontwerpcapaciteit en een corresponderende te verwerken hoeveelheid, omgerekend naar primaire energie;
- 9e kolom: verwerkingskosten van de RWZI in € per ton slibdrogestof. De jaarlijkse slibproductie van RWZI variant 1 is 1.664 ton d.s./jaar;
- 10e kolom: verwerkingskosten voor de slibeindverwerking uitgedrukt in euro per ton d.s., bij een bijbehorende capaciteit. Detaillering is opgenomen in bijlage V;
- 11e kolom: sommatie van de 8e en 9e kolom;
- 12e kolom: CO₂-emissie uitgedrukt in kg/ton d.s.

Type rioolwaterzuivering: 1

Per ton d.s.

Processen	Installatiegrootte eindoverwerking [ton d.s.]	Energie		Investerings RWZI's *) [x1.000 Euro]	Verwerkingskosten silbeindverwerking [Euro/ton d.s.]	CO ₂ emissie [kg/ton d.s.]
		RWZI Saldo (G,jprimton d.s.)	silbeverwerking Saldo (G,jprimton d.s.)			
I Standalone silbeverwerking						
1	Indirecte droging, verbranding in een verwelbed	100.000	-2.14	1.707.002	2.048	621,5
2	Natte oxidatie	20.000	-8,93	341.400	2,048	794,8
II Afvalverbrandingsinstallatie						
3	Meeverbranden in een AVI	20.000	-8,93	341.400	2,048	665,0
III Elektriciteitscontracten						
4	Biologische droging, meestoken in een e-centrale	20.000	-8,93	341.400	2,048	483,8
5	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	20.000	-8,93	341.400	2,048	659,0
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	20.000	-8,93	341.400	2,048	316,4
IV Cementoven						
7	Biologische droging, meestoken in een cementoven	20.000	-8,93	341.400	2,048	399,0
8	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	20.000	-8,93	341.400	2,048	489,7
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	20.000	-8,93	341.400	2,048	176,4
V Storten						
10	Biologische droging, storten	20.000	-3,11	341.400	2,048	675,5
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	20.000	-13,20	341.400	2,048	1.241,6
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	20.000	-8,93	341.400	2,048	882,7
VI Varianten						
13	1. Indirecte droging, verbranding in een verwelbed-legendokurbine	100.000	-8,70	1.707.002	2,048	488,3
14	2. Indirecte droging, verbranding in een verwelbed-condensatorturbine	100.000	-8,74	1.707.002	2,048	490,5
15	3. Indirecte droging, verbranding in een verwelbed-dampcompressie	100.000	-8,83	1.707.002	2,048	473,2
<p>Verbranding installatiegrootte: 100.000 20.000 20.000 18.400 92.000 1.664 1.664 18.400 20.000 100.000 0 55,3 21% 63% 100.000 1.105.750</p> <p>thermisch drogen natte oxidatie 20.000 20.000 18.400 1.664 1.664 18.400 20.000 20.000 0 11,1 21% 63% 100.000 1.105.750</p> <p>biologisch drogen 20.000 20.000 18.400 1.664 1.664 18.400 20.000 20.000 0 11,1 21% 63% 100.000 1.105.750</p>						

*) Aantal RWZI's benodigd voor bovenstaande verwerkingscapaciteit:
 Organische fractie in d.s.
 Aantal i.e.s per RWZI
 Aantal i.e.s totaal

Per i.e.

Processen	Installatiegrootte eindoverwerking [per i.e.]	Energie		Investerings RWZI's *) [Euro/ie]	Verwerkingskosten silbeindverwerking [Euro/ie]	CO ₂ emissie [kg/ie]
		RWZI Saldo (G,jprimie)	silbeverwerking Saldo (G,jprimie)			
I Standalone silbeverwerking						
1	Indirecte droging, verbranding in een verwelbed	1.058.751	-0,149	388,75	34,08	10,3
2	Natte oxidatie	1.058.751	-0,149	388,75	34,08	13,2
II Afvalverbrandingsinstallatie						
3	Meeverbranden in een AVI	1.058.751	-0,149	388,75	34,08	9,4
III Elektriciteitscontracten						
4	Biologische droging, meestoken in een e-centrale	1.058.751	-0,149	388,75	34,08	7,7
5	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	1.058.751	-0,149	388,75	34,08	11,0
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	1.058.751	-0,149	388,75	34,08	5,3
IV Cementoven						
7	Biologische droging, meestoken in een cementoven	1.058.751	-0,149	388,75	34,08	6,6
8	Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	1.058.751	-0,149	388,75	34,08	8,1
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	1.058.751	-0,149	388,75	34,08	2,9
V Storten						
10	Biologische droging, storten	1.058.751	-0,149	388,75	34,08	11,2
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	1.058.751	-0,220	388,75	34,08	20,7
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	1.058.751	-0,113	388,75	34,08	14,7
VI Varianten						
13	1. Indirecte droging, verbranding in een verwelbed-legendokurbine	5.528.751	-0,149	388,75	34,08	8,1
14	2. Indirecte droging, verbranding in een verwelbed-condensatorturbine	5.528.751	-0,149	388,75	34,08	8,2
15	3. Indirecte droging, verbranding in een verwelbed-dampcompressie	5.528.751	-0,149	388,75	34,08	7,9

Type rioolwaterzuivering: 1

Per ton d.s.

Processen	Installatiegrootte enverwerking [ton d.s.]	Emissies													
		Fosfor			Cd			Al			S			Zware metalen	
		As/resproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgasen [mg/kg d.s. input]	As/resproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgasen [mg/kg d.s. input]	As/resproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgasen [mg/kg d.s. input]	As/resproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgasen [mg/kg d.s. input]	As/resproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgasen [mg/kg d.s. input]	As/resproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgasen [mg/kg d.s. input]	As/resproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgasen [mg/kg d.s. input]
I Start-sludge afwerking															
1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	100.000	25000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150
2 Hete oxidatie	20.000	7500.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	450.000	0.000
II Afvalverbrandingsinstallatie															
3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	20.000	25000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1498.625	0.150
III Biologische sludge															
4 Biologische droging, mestbakken in een e-centrale	20.000	25000.000	0.000	0.000	0.000	0.186	1.388	0.112	0.279	0.000	0.000	0.000	0.000	148.814	0.375
5 Directe thermische droging (aardgas), mestbakken in een e-centrale	20.000	25000.000	0.000	0.000	0.000	0.465	1.221	0.279	0.279	0.000	0.000	0.000	0.000	372.092	0.375
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), mestbakken in een e-centrale	20.000	25000.000	0.000	0.000	0.000	0.465	1.221	0.279	0.279	0.000	0.000	0.000	0.000	1498.625	0.375
IV Cementoven															
7 Biologische droging, mestbakken in een cementoven	20.000	25000.000	0.000	0.814	0.000	0.186	1.388	0.112	0.279	0.000	0.000	0.000	0.000	148.814	0.375
8 Directe thermische droging (aardgas), mestbakken in een cementoven	20.000	25000.000	0.000	0.535	0.000	0.465	1.221	0.279	0.279	0.000	0.000	0.000	0.000	372.092	0.375
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), mestbakken in een cementoven	20.000	25000.000	0.000	0.535	0.000	0.465	1.221	0.279	0.279	0.000	0.000	0.000	0.000	1498.625	0.375
V Storten															
10 Biologische droging, storten	20.000	25000.000	0.000	1.000	0.000	0.200	1.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1500.000	0.000
11 Indirecte thermische droging (aardgas), storten	20.000	25000.000	0.000	1.000	0.000	0.200	1.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1500.000	0.000
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	20.000	25000.000	0.000	1.000	0.000	0.200	1.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1500.000	0.000
VI Varianten															
13.1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-Hogedrukruilpomp	100.000	25000.000	0.000	0.000	0.000	0.085	0.750	0.042	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	1498.625	0.150
14.2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-condensaat-elektrode	100.000	25000.000	0.000	0.000	0.000	0.085	0.750	0.042	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	1498.625	0.150
15.3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-stampcomprestatie	100.000	25000.000	0.000	0.000	0.000	0.085	0.750	0.042	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	1498.625	0.150

Type rioolwaterzuivering: **2**

Per ton d.s.

Processen	Installatiecapaciteit elkroverwerking [ton d.s.]	Energie		RWZI	Investeringen		Verwerkingskosten		CO ₂ emissie [kg/ton d.s.]		
		Saldo (G/jrmin/ton d.s.)	slibverwerking Saldo (G/jrmin/ton d.s.)		Totaal Saldo (G/jrmin/ton d.s.)	RWZI's (*) [x1.000 Euro]	slibbeinvverwerking [x1.000 Euro]	Total [Euro/ton d.s.]		Total [Euro/ton d.s.]	
I Standaard siliverwerking											
1	Indirecte droging, verandering in een verwelvd	100.000	-8,05	-0,79	-8,84	1.682.981	139.096	2.032	253	2.285	496,1
2	Naite oxiatie	20.000	-8,05	-4,89	-12,94	336.598	49.397	2.032	551	2.582	726,1
II AVALverbrandingsinstallatie											
3	Meeverbranden in een AVI	20.000	-8,05	0,67	-7,38	336.598	27.230	2.032	238	2.269	415,8
III Electriciteitscentrales											
4	Biologische droging, mestokken in een e-centrale	20.000	-8,05	3,38	-4,67	336.598	25.814	2.032	272	2.303	262,2
5	Directe thermische droging (aardgas), mestokken in een e-centrale	20.000	-8,05	0,34	-7,71	336.598	27.801	2.032	325	2.556	432,6
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), mestokken in een e-centrale	20.000	-8,05	5,37	-2,68	336.598	27.801	2.032	281	2.113	150,2
IV Cementoven											
7	Biologische droging, mestokken in een cementoven	20.000	-8,05	4,99	-3,05	336.598	25.814	2.032	272	2.303	171,8
8	Directe thermische droging (aardgas), mestokken in een cementoven	20.000	-8,05	3,42	-4,63	336.598	27.801	2.032	325	2.556	299,8
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), mestokken in een cementoven	20.000	-8,05	8,06	0,01	336.598	27.801	2.032	280	2.312	-0,8
V Storten											
10	Biologische droging, storten	20.000	-8,05	-3,11	-11,16	336.598	25.814	2.032	272	2.303	626,9
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	20.000	-8,05	-11,38	-19,43	336.598	27.801	2.032	325	2.556	1.089,8
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	20.000	-8,05	-6,08	-14,13	336.598	27.801	2.032	280	2.312	726,6
VI Varianten											
13	1 Indirecte droging, verandering in een verwelvd+legendrukturbine	100.000	-8,05	1,59	-6,45	1.682.981	145.265	2.032	253	2.285	368,4
14	2 Indirecte droging, verandering in een verwelvd+condensatielturbine	100.000	-8,05	0,69	-7,37	1.682.981	151.432	2.032	263	2.295	413,9
15	3 Indirecte droging, verandering in een verwelvd+clampscompressie	100.000	-8,05	0,61	-7,44	1.682.981	145.265	2.032	253	2.285	417,4

	Verbranden	thermisch drogen	biologisch drogen	natte oxidatie
Verbranding installatiegrootte:	100.000	20.000	20.000	20.000
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	18.400	18.400	18.400
Verwerkingscapaciteit per RWZI in ton d.s./jaar uit	1.750	1.750	1.750	1.750 [ton d.s./jaar]
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	18.400	18.400	18.400 [ton d.s./jaar]
Verwerkingscapaciteit installaties in ton d.s./jaar	100.000	20.000	20.000	20.000 [ton d.s./jaar]
toegevoerde hoeveelheid extern slib in ton d.s./jaar	0	0	0	0 [ton d.s./jaar]
*) Aantal RWZI's benodigd voor bovenstaande verwerkingscapaciteit:	52,6	10,5	10,5	10,5 [-]
Drogestofgehalte aanvoer:	24%	24%	24%	24%
Organische fractie in d.s.	62%	62%	62%	62%
Aantal i.e.'s per RWZI	100.000	100.000	100.000	100.000 [i.e.]
Aantal i.e.'s totaal	5.257.705	1.051.541	1.051.541	1.051.541 [i.e.]

Per i.e.

Processen	Installatiecapaciteit elkroverwerking [per i.e.]	Energie		RWZI	Investeringen per i.e.		Verwerkingskosten		CO ₂ emissie [kg/i.e.]		
		Saldo (G/jrmin/i.e.)	slibverwerking Saldo (G/jrmin/i.e.)		Totaal Saldo (G/jrmin/i.e.)	RWZI's (*) [Euro/i.e.]	slibbeinvverwerking [Euro/i.e.]	Total [Euro/i.e.]		Total [Euro/i.e.]	
I Standaard siliverwerking											
1	Indirecte droging, verandering in een verwelvd	5.257.705	-0,141	-0,014	-0,155	320,10	28,48	35,55	4,43	39,98	6,7
2	Naite oxiatie	1.051.541	-0,141	-0,089	-0,228	320,10	40,86	35,55	9,04	49,90	12,7
II AVALverbrandingsinstallatie											
3	Meeverbranden in een AVI	1.051.541	-0,141	0,012	-0,129	320,10	25,90	35,55	4,16	39,71	7,2
III Electriciteitscentrales											
4	Biologische droging, mestokken in een e-centrale	1.051.541	-0,141	0,059	-0,082	320,10	24,55	35,55	4,76	40,31	4,6
5	Directe thermische droging (aardgas), mestokken in een e-centrale	1.051.541	-0,141	0,068	-0,136	320,10	26,44	35,55	5,69	41,23	7,6
6	Indirecte thermische droging (restwarmte), mestokken in een e-centrale	1.051.541	-0,141	0,094	-0,047	320,10	26,44	35,55	4,92	40,47	2,6
IV Cementoven											
7	Biologische droging, mestokken in een cementoven	1.051.541	-0,141	0,087	-0,054	320,10	24,55	35,55	4,76	40,31	3,0
8	Directe thermische droging (aardgas), mestokken in een cementoven	1.051.541	-0,141	0,080	-0,081	320,10	26,44	35,55	5,69	41,23	4,5
9	Indirecte thermische droging (restwarmte), mestokken in een cementoven	1.051.541	-0,141	0,141	0,000	320,10	26,44	35,55	4,90	40,45	0,0
V Storten											
10	Biologische droging, storten	1.051.541	-0,141	-0,054	-0,195	320,10	24,55	35,55	4,76	40,31	11,0
11	Directe thermische droging (aardgas), storten	1.051.541	-0,141	-0,099	-0,240	320,10	26,44	35,55	5,69	41,23	19,1
12	Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	1.051.541	-0,141	-0,106	-0,247	320,10	26,44	35,55	4,90	40,45	13,9
VI Varianten											
13	1 Indirecte droging, verandering in een verwelvd+legendrukturbine	5.257.705	-0,141	0,027	-0,114	320,10	27,63	35,55	4,42	39,97	6,4
14	2 Indirecte droging, verandering in een verwelvd+condensatielturbine	5.257.705	-0,141	0,012	-0,129	320,10	29,80	35,55	4,61	40,16	7,2
15	3 Indirecte droging, verandering in een verwelvd+clampscompressie	5.257.705	-0,141	0,011	-0,130	320,10	27,63	35,55	4,46	40,01	7,3

Type roolwaterzuivering: 2

Per ton d.s.

Processen	Installatieproode einde werking [ton d.s.]	Emissies																
		Fosfor			Cd			Al			S			Zware metalen				
		Rookgasen [mg/kg d.s. inroel]	As/res [mg/kg d.s. inroel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inroel]	As/res [mg/kg d.s. inroel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inroel]	As/res [mg/kg d.s. inroel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inroel]	As/res [mg/kg d.s. inroel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inroel]	As/res [mg/kg d.s. inroel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inroel]	As/res [mg/kg d.s. inroel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inroel]	As/res [mg/kg d.s. inroel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inroel]	As/res [mg/kg d.s. inroel]	
I Standalone siliverwerking																		
1) Industriële droging, verbranding in een verweldd	100,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2) Hete oxidatie	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
II Aluvalverminderingstaalste																		
3) Herverbranden in een AVI	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
III Elektrische centrales																		
4) Biologische droging, meestoken in een e-centrale	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5) Directe thermische droging (laaragas), meestoken in een e-centrale	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6) Indirecte thermische droging (reswarme), meestoken in een e-centrale	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
IV Cementovens																		
7) Biologische droging, meestoken in een cementoven	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8) Directe thermische droging (laaragas), meestoken in een cementoven	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9) Indirecte thermische droging (reswarme), meestoken in een cementoven	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V Storten																		
10) Biologische droging, storten	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11) Directe thermische droging (laaragas), storten	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12) Indirecte thermische droging (reswarme), storten	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
VI Paramen																		
13) Biologische droging, verbranding in een rookgasafzuigingsapparaat	100,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14) Directe droging, verbranding in een verbrandingsmotor	100,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15) Indirecte droging, verbranding in een verbrandingsmotor	100,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16) Directe droging, verbranding in een verweldd-temperatuurpers	100,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Type rioolwaterzuivering: **3**

Per ton d.s.

Processen	Installatiegrootte in/verwerking [ton d.s.]	Energie		Total Saldo (G.jup/mtn d.s.)	Investeringen RWZI's (*) [x1.000 Euro]	Verwerkingskosten slibendverwerking [Euro/ton d.s.]	CO ₂ emissie [kg/ton d.s.]
		RWZI Saldo (G.jup/mtn d.s.)	slibverwerking Saldo (G.jup/mtn d.s.)				
I Stand-alone slibverwerking							
1	100.000	-8,71	-2,12	-10,84	139.096	2,656	607,9
2	20.000	-8,71	-5,13	-13,84	48.442	2,656	776,6
II Afvalverbrandingsinstallatie							
3	20.000	-8,71	-1,08	-9,80	27.230	2,656	549,9
III Elektriciteitscentrales							
4	20.000	-8,71	0,54	-8,17	25.814	2,656	2.928
5	20.000	-8,71	-2,87	-11,58	27.801	2,656	632,9
6	20.000	-8,71	2,48	-6,23	27.801	2,656	2.837
IV Cementoven							
7	20.000	-8,71	1,68	-7,02	25.814	2,656	394,0
8	20.000	-8,71	-0,03	-8,75	27.801	2,656	490,6
9	20.000	-8,71	4,83	-4,08	27.801	2,656	2.938
V Storten							
10	20.000	-8,71	-3,11	-11,82	25.814	2,656	663,0
11	20.000	-8,71	-11,38	-20,09	27.801	2,656	1.127,0
12	20.000	-8,71	-6,06	-14,78	27.801	2,656	823,9
VI Varianten							
13	100.000	-8,71	-0,11	-8,82	2.282.208	2,656	2.958
14	100.000	-8,71	-0,17	-8,89	2.282.208	2,656	2.700
15	100.000	-8,71	0,08	-8,63	2.282.208	2,656	2.600

Verbranden		thermisch drogen		biologisch drogen		natte oxidatie	
100.000	100.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
92.000	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400
1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322
18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400	18.400
20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
0	0	0	0	0	0	0	0
69,6	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9
24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%
53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%
100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
6.957.977	1.391.595	1.391.595	1.391.595	1.391.595	1.391.595	1.391.595	1.391.595

Per i.e.

Processen	Installatiegrootte in/verwerking [per i.e.]	Energie		Total Saldo (G.jup/mi.e.)	Investeringen per i.e. RWZI's (*) [Euro/ie]	Verwerkingskosten slibendverwerking [Euro/ie]	CO ₂ emissie [kg/ie]
		RWZI Saldo (G.jup/mi.e.)	slibverwerking Saldo (G.jup/mi.e.)				
I Stand-alone slibverwerking							
1	6.957.977	-0,115	-0,028	-0,143	19,99	3,43	8,0
2	1.391.595	-0,115	-0,068	-0,183	35,50	7,40	10,3
II Afvalverbrandingsinstallatie							
3	1.391.595	-0,115	-0,014	-0,130	19,57	3,29	7,3
III Elektriciteitscentrales							
4	1.391.595	-0,115	0,007	-0,108	18,55	3,59	6,1
5	1.391.595	-0,115	-0,034	-0,149	19,98	4,29	8,4
6	1.391.595	-0,115	0,033	-0,082	19,98	3,72	4,6
IV Cementoven							
7	1.391.595	-0,115	0,022	-0,093	18,55	3,59	5,2
8	1.391.595	-0,115	0,000	-0,115	19,98	4,29	8,4
9	1.391.595	-0,115	0,081	-0,034	19,98	3,71	3,9
V Storten							
10	1.391.595	-0,115	-0,041	-0,156	18,55	3,59	6,9
11	1.391.595	-0,115	-0,130	-0,286	19,98	4,29	14,9
12	1.391.595	-0,115	-0,080	-0,195	19,98	3,70	11,0
VI Varianten							
13	6.957.977	-0,115	-0,001	-0,117	20,88	3,52	6,5
14	6.957.977	-0,115	-0,002	-0,117	21,76	3,57	6,6
15	6.957.977	-0,115	0,001	-0,114	20,88	3,52	6,4

4

Type rioolwaterzuivering:

Per ton d.s.

Processen	Installatiegrootte eindverwerking [ton d.s.]	Energie		RWZI Saldo (G/jr/min ton d.s.)	Investeringen		Verwerkingskosten		CO ₂ emissie [kg/ton d.s.]
		RWZI Saldo (G/jr/min ton d.s.)	silbverwerking Saldo (G/jr/min ton d.s.)		RWZI's *) [x1.000 Euro]	silbendverwerking [x1.000 euro]	RWZI [Euro/ton d.s.]	silbendverwerking [Euro/ton d.s.]	
I Standalone silbverwerking	100.000	-6,41	-2,35	-8,76	2.455,366	139,056	2,893	262	481,6
1) Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	20.000	-6,41	-5,07	-11,48	461,079	49,397	2,893	565	644,1
2) Naite oxidatie	20.000	-6,41	-5,07	-11,48	461,079	49,397	2,893	565	644,1
II Afvalverbrandingsinstallatie	20.000	-6,41	-1,37	-7,78	491,079	27,230	2,893	252	436,4
3) Meesvaccen in een AVI	20.000	-6,41	-1,37	-7,78	491,079	27,230	2,893	252	436,4
III Elektriciteitscentrales	20.000	-6,41	0,00	-6,41	491,079	25,814	2,893	272	358,8
4) Biologische droging, meestoken in een e-centrale	20.000	-6,41	-3,02	-9,43	491,079	27,801	2,893	322	321,6
5) Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	20.000	-6,41	1,75	-4,66	491,079	27,801	2,893	281	247,7
6) Indirecte thermische droging (reswarmte), meestoken in een e-centrale	20.000	-6,41	1,75	-4,66	491,079	27,801	2,893	281	247,7
IV Cementoven	20.000	-6,41	1,06	-5,35	491,079	25,814	2,893	272	316,5
7) Biologische droging, meestoken in een cementoven	20.000	-6,41	-0,72	-7,13	491,079	27,801	2,893	322	321,6
8) Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	20.000	-6,41	3,89	-2,52	491,079	27,801	2,893	260	379,3
9) Indirecte thermische droging (reswarmte), meestoken in een cementoven	20.000	-6,41	3,89	-2,52	491,079	27,801	2,893	260	379,3
V Storten	20.000	-6,41	-3,11	-9,52	491,079	25,814	2,893	272	316,5
10) Biologische droging, storten	20.000	-6,41	-10,67	-17,08	491,079	27,801	2,893	322	321,6
11) Directe thermische droging (aardgas), storten	20.000	-6,41	-5,85	-12,27	491,079	27,801	2,893	280	317,3
12) Indirecte thermische droging (reswarmte), storten	20.000	-6,41	-5,85	-12,27	491,079	27,801	2,893	280	317,3
VI Varianten	100.000	-6,41	-0,52	-6,93	2.455,366	145,265	2,893	262	368,7
13.1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+tegendrukkuifline	100.000	-6,41	-0,47	-6,88	2.455,366	151,433	2,893	273	365,9
14.2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatiekuifline	100.000	-6,41	-0,47	-6,88	2.455,366	145,265	2,893	263	368,5
15.3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+dammprecompressie	100.000	-6,41	-0,18	-6,59	2.455,366	145,265	2,893	263	368,5

Processen	Installatiegrootte eindverwerking [per l.e.]	RWZI Saldo (G/jr/min ton d.s.)	Energie silbverwerking Saldo (G/jr/min ton d.s.)	Totaal Saldo (G/jr/min ton d.s.)	Investeringen per l.e. RWZI *) [Euro/ton d.s.]	Verwerkingskosten silbendverwerking [Euro/ton d.s.]	Totaal [Euro/ton d.s.]	CO ₂ emissie [kg/l.e.]
I Standalone silbverwerking	7.268.786	-0,081	-0,030	-0,111	337,80	19,14	38,62	3,31
1) Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	1.453.757	-0,081	-0,024	-0,105	337,80	33,968	36,62	7,15
2) Naite oxidatie	1.453.757	-0,081	-0,024	-0,105	337,80	33,968	36,62	7,15
II Afvalverbrandingsinstallatie	1.453.757	-0,081	-0,017	-0,098	337,80	16,73	36,62	3,19
3) Meesvaccen in een AVI	1.453.757	-0,081	-0,017	-0,098	337,80	16,73	36,62	3,19
III Elektriciteitscentrales	1.453.757	-0,081	0,000	-0,081	337,80	17,76	36,62	3,44
4) Biologische droging, meestoken in een e-centrale	1.453.757	-0,081	-0,058	-0,139	337,80	36,62	36,62	4,08
5) Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	1.453.757	-0,081	0,022	-0,059	337,80	19,12	36,62	3,55
6) Indirecte thermische droging (reswarmte), meestoken in een e-centrale	1.453.757	-0,081	0,022	-0,059	337,80	19,12	36,62	3,55
IV Cementoven	1.453.757	-0,081	0,013	-0,068	337,80	17,76	36,62	3,44
7) Biologische droging, meestoken in een cementoven	1.453.757	-0,081	-0,050	-0,130	337,80	19,12	36,62	4,08
8) Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	1.453.757	-0,081	0,047	-0,034	337,80	19,12	36,62	3,54
9) Indirecte thermische droging (reswarmte), meestoken in een cementoven	1.453.757	-0,081	0,047	-0,034	337,80	19,12	36,62	3,54
V Storten	1.453.757	-0,081	-0,039	-0,120	337,80	17,76	36,62	3,44
10) Biologische droging, storten	1.453.757	-0,081	-0,138	-0,219	337,80	36,62	36,62	4,09
11) Directe thermische droging (aardgas), storten	1.453.757	-0,081	-0,074	-0,155	337,80	19,12	36,62	3,54
12) Indirecte thermische droging (reswarmte), storten	1.453.757	-0,081	-0,074	-0,155	337,80	19,12	36,62	3,54
VI Varianten	7.268.786	-0,081	-0,007	-0,088	337,80	19,98	36,62	3,32
13.1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+tegendrukkuifline	7.268.786	-0,081	-0,006	-0,087	337,80	20,83	36,62	3,46
14.2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatiekuifline	7.268.786	-0,081	-0,007	-0,088	337,80	19,98	36,62	3,33
15.3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+dammprecompressie	7.268.786	-0,081	-0,002	-0,083	337,80	19,98	36,62	3,33

Per l.e.

Processen	Installatiegrootte eindverwerking [per l.e.]	RWZI Saldo (G/jr/min ton d.s.)	Energie silbverwerking Saldo (G/jr/min ton d.s.)	Totaal Saldo (G/jr/min ton d.s.)	Investeringen per l.e. RWZI *) [Euro/ton d.s.]	Verwerkingskosten silbendverwerking [Euro/ton d.s.]	Totaal [Euro/ton d.s.]	CO ₂ emissie [kg/l.e.]
I Standalone silbverwerking	7.268.786	-0,081	-0,030	-0,111	337,80	19,14	38,62	3,31
1) Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	1.453.757	-0,081	-0,024	-0,105	337,80	33,968	36,62	7,15
2) Naite oxidatie	1.453.757	-0,081	-0,024	-0,105	337,80	33,968	36,62	7,15
II Afvalverbrandingsinstallatie	1.453.757	-0,081	-0,017	-0,098	337,80	16,73	36,62	3,19
3) Meesvaccen in een AVI	1.453.757	-0,081	-0,017	-0,098	337,80	16,73	36,62	3,19
III Elektriciteitscentrales	1.453.757	-0,081	0,000	-0,081	337,80	17,76	36,62	3,44
4) Biologische droging, meestoken in een e-centrale	1.453.757	-0,081	-0,058	-0,139	337,80	36,62	36,62	4,08
5) Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	1.453.757	-0,081	0,022	-0,059	337,80	19,12	36,62	3,55
6) Indirecte thermische droging (reswarmte), meestoken in een e-centrale	1.453.757	-0,081	0,022	-0,059	337,80	19,12	36,62	3,55
IV Cementoven	1.453.757	-0,081	0,013	-0,068	337,80	17,76	36,62	3,44
7) Biologische droging, meestoken in een cementoven	1.453.757	-0,081	-0,050	-0,130	337,80	19,12	36,62	4,08
8) Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	1.453.757	-0,081	0,047	-0,034	337,80	19,12	36,62	3,54
9) Indirecte thermische droging (reswarmte), meestoken in een cementoven	1.453.757	-0,081	0,047	-0,034	337,80	19,12	36,62	3,54
V Storten	1.453.757	-0,081	-0,039	-0,120	337,80	17,76	36,62	3,44
10) Biologische droging, storten	1.453.757	-0,081	-0,138	-0,219	337,80	36,62	36,62	4,09
11) Directe thermische droging (aardgas), storten	1.453.757	-0,081	-0,074	-0,155	337,80	19,12	36,62	3,54
12) Indirecte thermische droging (reswarmte), storten	1.453.757	-0,081	-0,074	-0,155	337,80	19,12	36,62	3,54
VI Varianten	7.268.786	-0,081	-0,007	-0,088	337,80	19,98	36,62	3,32
13.1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+tegendrukkuifline	7.268.786	-0,081	-0,006	-0,087	337,80	20,83	36,62	3,46
14.2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatiekuifline	7.268.786	-0,081	-0,007	-0,088	337,80	19,98	36,62	3,33
15.3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+dammprecompressie	7.268.786	-0,081	-0,002	-0,083	337,80	19,98	36,62	3,33

Type rioolwaterzuivering: 4

Per ton d.s.

Processen	Installatiepropte endovereening (ton d.s.)	Fosfor						Emissies											
		As/restproduct (mg/kg d.s. rest)	Rookgasen (mg/kg d.s. rest)	Hg (mg/kg d.s. rest)	As/restproduct (mg/kg d.s. rest)	Rookgasen (mg/kg d.s. rest)	Cd (mg/kg d.s. rest)	As/restproduct (mg/kg d.s. rest)	Rookgasen (mg/kg d.s. rest)	Al (mg/kg d.s. rest)	Rookgasen (mg/kg d.s. rest)	Fe (mg/kg d.s. rest)	As/restproduct (mg/kg d.s. rest)	Rookgasen (mg/kg d.s. rest)	S (mg/kg d.s. rest)	As/restproduct (mg/kg d.s. rest)	Rookgasen (mg/kg d.s. rest)	Zware metalen (mg/kg d.s. rest)	
I Stads-rioolwaterzuivering																			
1) Indirecte droging, verbranding in een verwarmbed	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2) Niete oxidatie	20,000	7500,000	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
II Afvalverbrandingsinstallatie																			
3) Meervrantsloten in een AVI	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,071	0,750	0,035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150
III Elektriciteitscentrale																			
4) Biologische droging, mestloken in een e-centrale	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,166	1,388	0,172	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,375
5) Directe thermische droging (aardgas), mestloken in een e-centrale	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,353	1,288	0,212	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,375
6) Gewas thermische droging (restwarmte), mestloken in een e-centrale	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,353	1,288	0,212	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,375
IV Sluizen																			
7) Indirecte droging, mestloken in een cementoven	20,000	25000,000	0,000	0,814	0,000	0,186	1,388	0,112	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,375
8) Directe thermische droging (aardgas), mestloken in een cementoven	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,353	1,288	0,212	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,375
9) Indirecte thermische droging (restwarmte), mestloken in een cementoven	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,353	1,288	0,212	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,375
V Storten																			
10) Biologische droging, slakken	20,000	25000,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11) Directe thermische droging (aardgas) slakken	20,000	25000,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12) Indirecte thermische droging (restwarmte), slakken	20,000	25000,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
VI Varianten																			
13) Indirecte droging, verbranding in een verwarmbed (aardgas) in 1 fase	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,750	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150
14) 2 fasen thermische droging (aardgas) in 1 fase	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,750	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150
15) 3 fasen thermische droging, verbranding in een verwarmbed (aardgas) in 3 fasen	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,750	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150

Type rioolwaterzuivering: **5**

Per ton d.s.

Processen	Installatiegrootte eindverwerking [ton d.s.]	Energie		Totaal Saldo (G.J.primton d.s.)	Investerings RWZI ('s *) [x1.000 Euro]	RWZI silbeindverwerking [Euro/ton d.s.]	Verwerkingskosten silbeindverwerking [Euro/ton d.s.]	Totaal [Euro/ton d.s.]	CO ₂ emissie [kg/ton d.s.]
		RWZI Saldo (G.J.primton d.s.)	silbeindverwerking Saldo (G.J.primton d.s.)						
I Standalone silbeindverwerking									
1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	100,000	-10,15	-1,82	-11,76	139,066	2,203	254	2,457	689,8
2 Naïve oxidatie	20,000	-10,15	-5,32	-15,46	372,004	2,203	545	2,748	867,4
II Aanverbrandingsinstallatie									
3 Meeschranden in een AVI	20,000	-10,15	-0,46	-10,61	27,230	2,203	242	2,445	595,2
III Elektriciteitscentrales									
4 Biologische droging, meesbken in een e-centrale	20,000	-10,15	1,84	-8,31	372,004	2,203	272	2,475	466,3
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	20,000	-10,15	-1,81	-11,78	27,801	2,203	333	2,536	689,7
6 Indirecte thermische droging (reswarme), meestoken in een e-centrale	20,000	-10,15	-4,45	-5,70	27,801	2,203	283	2,486	379,5
IV Cementoven									
7 Biologische droging, meesbken in een cementoven	20,000	-10,15	3,18	-6,96	372,004	2,203	272	2,475	390,7
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	20,000	-10,15	1,63	-8,52	27,801	2,203	333	2,536	477,9
9 Indirecte thermische droging (reswarme), meestoken in een cementoven	20,000	-10,15	7,20	-2,94	27,801	2,203	282	2,485	165,0
V Storten									
10 Biologische droging, storten	20,000	-10,15	-3,11	-13,26	372,004	2,203	272	2,475	743,5
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	20,000	-10,15	-13,20	-23,34	27,801	2,203	333	2,536	1.309,5
12 Indirecte thermische droging (reswarme), storten	20,000	-10,15	-6,81	-16,95	27,801	2,203	282	2,485	951,0
VI Varianten									
13 1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+legendukurbine	100,000	-10,15	0,94	-9,21	1.860,018	2,203	250	2,453	516,4
14 2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatiekurbine	100,000	-10,15	0,64	-9,51	1.860,018	2,203	262	2,465	533,4
15 3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+damprecompressie	100,000	-10,15	0,82	-9,32	1.860,018	2,203	252	2,455	522,9

	verbranden	thermisch drogen	biologisch drogen	natte oxidatie
Verbranding installatiegrootte:	100,000	20,000	20,000	20,000
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92,000	18,400	18,400	18,400
Verwerkingscapaciteit per RWZI in ton d.s./jaar uit	1,493	1,493	1,493	1,493
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92,000	18,400	18,400	18,400
Verwerkingscapaciteit installaties in ton d.s./jaar	100,000	20,000	20,000	20,000
Tegengevoelende hoeveelheid extern slib in ton d.s./jaar	0	0	0	0
*) Aantal RWZI's benodigd voor bovenstaande verwerkingscapaciteit:	61,6	12,3	12,3	12,3
Drogingsgehalten aanvoer:	21%	21%	21%	21%
Organische fractie in d.s.	70%	70%	70%	70%
Aantal i.e.'s per RWZI	100,000	100,000	100,000	100,000
Aantal i.e.'s totaal	6.164,104	1.232,821	1.232,821	1.232,821

Per i.e.

Processen	Installatiegrootte eindverwerking [per i.e.]	Energie		Totaal Saldo (G.J.primton d.s.)	Investerings RWZI ('s *) [Euro]	RWZI silbeindverwerking [Euro/ton d.s.]	Verwerkingskosten silbeindverwerking [Euro/ton d.s.]	Totaal [Euro/ton d.s.]	CO ₂ emissie [kg/i.e.]
		RWZI Saldo (G.J.primton d.s.)	silbeindverwerking Saldo (G.J.primton d.s.)						
I Standalone silbeindverwerking									
1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	6.164,104	-0,151	-0,024	-0,176	301,75	32,88	3,73	36,66	9,8
2 Naïve oxidatie	1.232,821	-0,151	-0,079	-0,231	301,75	32,88	6,14	41,02	12,9
II Aanverbrandingsinstallatie									
3 Meeschranden in een AVI	1.232,821	-0,151	-0,007	-0,158	301,75	32,88	3,62	36,50	8,9
III Elektriciteitscentrales									
4 Biologische droging, meesbken in een e-centrale	1.232,821	-0,151	0,027	-0,124	301,75	32,88	4,05	36,93	7,0
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	1.232,821	-0,151	-0,024	-0,176	301,75	32,88	4,97	37,85	9,8
6 Indirecte thermische droging (reswarme), meestoken in een e-centrale	1.232,821	-0,151	0,068	-0,083	301,75	32,88	4,23	37,11	4,8
IV Cementoven									
7 Biologische droging, meesbken in een cementoven	1.232,821	-0,151	0,047	-0,104	301,75	32,88	4,05	36,93	5,8
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	1.232,821	-0,151	-0,127	-0,277	301,75	32,88	4,97	37,85	7,1
9 Indirecte thermische droging (reswarme), meestoken in een cementoven	1.232,821	-0,151	0,108	-0,044	301,75	32,88	4,21	37,09	2,5
V Storten									
10 Biologische droging, storten	1.232,821	-0,151	-0,046	-0,198	301,75	32,88	4,05	36,93	11,1
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	1.232,821	-0,151	-0,348	-0,497	301,75	32,88	4,97	37,85	19,5
12 Indirecte thermische droging (reswarme), storten	1.232,821	-0,151	-0,102	-0,253	301,75	32,88	4,21	37,09	14,2
VI Varianten									
13 1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+legendukurbine	6.164,104	-0,151	0,014	-0,137	301,75	32,88	3,73	36,61	7,7
14 2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatiekurbine	6.164,104	-0,151	0,010	-0,142	301,75	32,88	3,91	36,78	8,0
15 3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+damprecompressie	6.164,104	-0,151	0,012	-0,139	301,75	32,88	3,77	36,65	7,8

Type roolwaterzuivering: 5

Per ton d.s.

Processen	Installatieproode eindeverking [ton d.s.]	Emissies													
		Fosfor		Hg		Cd		Al		Fe		S		Zware metalen	
		As/restproduct [mg/kg d.s. in soil]	Rookgasen [mg/kg d.s. in soil]	As/restproduct [mg/kg d.s. in soil]	Rookgasen [mg/kg d.s. in soil]	As/restproduct [mg/kg d.s. in soil]	Rookgasen [mg/kg d.s. in soil]	As/restproduct [mg/kg d.s. in soil]	Rookgasen [mg/kg d.s. in soil]	As/restproduct [mg/kg d.s. in soil]	Rookgasen [mg/kg d.s. in soil]	As/restproduct [mg/kg d.s. in soil]	Rookgasen [mg/kg d.s. in soil]	As/restproduct [mg/kg d.s. in soil]	Rookgasen [mg/kg d.s. in soil]
I Standalone siliverwing															
1) Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150
2) Hete oxidatie	20,000	7500,000	0,000	0,000	0,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	450,000	0,000
II Aluwateronthaltingstadi															
3) Herwervanden in een AVI	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,104	0,052	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	100,580	0,150
III Elektrischecentrales															
4) Biologische droging, meestoken in een e-centrale	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,186	0,112	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	148,814	0,375
5) Directe thermische droging (laaragas), meestoken in een e-centrale	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,518	0,311	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	414,321	0,375
6) Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,518	0,311	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	414,321	0,375
IV Composteer															
7) Biologische droging, meestoken in een cementoven	20,000	25000,000	0,000	0,814	1,388	0,112	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	148,814	0,375
8) Directe thermische droging (laaragas), meestoken in een cementoven	20,000	25000,000	0,000	0,482	1,189	0,311	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	414,321	0,375
9) Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	20,000	25000,000	0,000	0,482	1,189	0,311	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	414,321	0,375
V Storten															
10) Biologische droging, storten	20,000	25000,000	0,000	1,000	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1500,000	0,000
11) Directe thermische droging (laaragas), storten	20,000	25000,000	0,000	1,000	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1500,000	0,000
12) Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	20,000	25000,000	0,000	1,000	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1500,000	0,000
VI Paramen															
13) Biologische droging, verbranding in een rookwaterzuiveringsfabriek	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,924	0,427	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	84,327	0,150
14) Directe droging, verbranding in een wervelbed-compressie-eenheid	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,254	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	84,327	0,150
15) Indirecte droging, verbranding in een wervelbed-compressie-eenheid	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,254	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	84,327	0,150

Type rioolwaterzuivering: **6**

Per ton d.s.

Processen	Installatiegrootte einderwerking	Energie		Investeringen	Verwerkingskosten		CO ₂ emissie
		RWZI	silbverwerking		RWZI	silbverwerking	
	[ton d.s.]	Saldo (G,primm d.s.)	Saldo (G,primm d.s.)	[x1.000 Euro]	[Euro/ton d.s.]	[Euro/ton d.s.]	[kg/ton d.s.]
I Stand-alone silbverwerking	100,000	-9,04	-0,28	1.809,164	2.157	2.406	622,9
1 Indirecte droging, verbranding in een verwelbed	20,000	-9,04	-0,28	180,916	215,7	240,6	62,29
2 Natte oxidatie	20,000	-9,04	-0,28	180,916	215,7	240,6	62,29
II Afvalverbrandingsinstallatie	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
3 Meeverbranden in een AVI	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
III Elektriciteitscentrales	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
IV Cementoven	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
V Storten	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
10 Biologische droging, storten	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	20,000	-9,04	-0,28	361,633	2.157	2.406	783,9
VI Varianten	100,000	-9,04	-0,28	1.809,164	2.157	2.406	622,9
13 1 Indirecte droging, verbranding in een verwelbed+leginducturbine	100,000	-9,04	-0,28	1.809,164	2.157	2.406	622,9
14 2 Indirecte droging, verbranding in een verwelbed+condensatielubine	100,000	-9,04	-0,28	1.809,164	2.157	2.406	622,9
15 3 Indirecte droging, verbranding in een verwelbed+dampcompressie	100,000	-9,04	-0,28	1.809,164	2.157	2.406	622,9

	verbranden	thermisch drogen	biologisch drogen	natte oxidatie
Verbranding installatiegrootte:	100,000	20,000	20,000	20,000
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92,000	18,400	18,400	18,400
Verwerkingscapaciteit per RWZI in ton d.s./jaar uit	1,577	1,577	1,577	1,577
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92,000	18,400	18,400	18,400
Verwerkingscapaciteit installaties in ton d.s./jaar	100,000	20,000	20,000	20,000
Toegevoerde hoeveelheid extern slib in ton d.s./jaar	0	0	0	0
Aantal RWZI's benodigd voor bovenstaande verwerkingscapaciteit:	58,3	11,7	11,7	11,7
Drogestofgehalte aanvoer:	24%	24%	24%	24%
Organische fractie in d.s.	69%	69%	69%	69%
Aantal i.e.'s per RWZI	100,000	100,000	100,000	100,000
Aantal i.e.'s totaal	5.833,729	1.166,746	1.166,746	1.166,746

Per i.e.

Processen	Installatiegrootte einderwerking	Energie		Investeringen per i.e.	Verwerkingskosten		CO ₂ emissie
		RWZI	silbverwerking		RWZI	silbverwerking	
	[par i.e.]	Saldo (G,primm i.e.)	Saldo (G,primm i.e.)	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]	[Euro/i.e.]	[kg/i.e.]
I Stand-alone silbverwerking	5.833,729	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
1 Indirecte droging, verbranding in een verwelbed	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
2 Natte oxidatie	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
II Afvalverbrandingsinstallatie	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
3 Meeverbranden in een AVI	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
III Elektriciteitscentrales	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
IV Cementoven	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
V Storten	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
10 Biologische droging, storten	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	1.166,746	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
VI Varianten	5.833,729	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
13 1 Indirecte droging, verbranding in een verwelbed+leginducturbine	5.833,729	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
14 2 Indirecte droging, verbranding in een verwelbed+condensatielubine	5.833,729	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2
15 3 Indirecte droging, verbranding in een verwelbed+dampcompressie	5.833,729	-0,143	-0,004	309,95	34,02	37,94	8,2

Type roolwaterzuivering: 6

Per ton d.s.

Processen	Installatieprooie eindeverking [ton d.s.]	Fosfor						Emissies							
		As/resproduct [mg/kg d.s. inoel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inoel]	Hg [mg/kg d.s. inoel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inoel]	Cd [mg/kg d.s. inoel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inoel]	As/resproduct [mg/kg d.s. inoel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inoel]	As/resproduct [mg/kg d.s. inoel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inoel]	S [mg/kg d.s. inoel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inoel]	As/resproduct [mg/kg d.s. inoel]	Rookgasen [mg/kg d.s. inoel]
I Stand-alone s liwverking	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,000	0,000	300,000	0,000	0,000	0,000	0,000	25000,000	0,000	450,000	0,000
1) Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	20,000	7500,000	0,000	0,300	0,750	0,450	90,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2500,000	0,000	45,000	0,000
2) Hulle oxidatie	20,000	7500,000	0,000	0,300	0,750	0,450	90,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2500,000	0,000	45,000	0,000
3) Hlveverbranden in een AVI	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,102	0,102	300,000	0,000	0,051	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,150
II Elektricitiecentrales	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,186	0,186	300,000	0,000	1,388	0,000	0,000	25000,000	0,000	148,814	0,375
1) Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,508	0,508	300,000	0,000	1,156	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,375
2) Indirecte thermische droging (reswarmtd), meestoken in een e-centrale	20,000	25000,000	0,000	0,000	0,508	0,508	300,000	0,000	1,156	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,375
III Cementoven	20,000	25000,000	0,000	0,814	1,388	0,186	300,000	0,000	0,112	0,000	0,000	25000,000	0,000	148,814	0,375
1) Biologische droging, meestoken in een cementoven	20,000	25000,000	0,000	0,402	1,156	0,305	300,000	0,000	0,305	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,375
2) Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	20,000	25000,000	0,000	0,402	1,156	0,305	300,000	0,000	0,305	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,375
3) Indirecte thermische droging (reswarmtd), meestoken in een cementoven	20,000	25000,000	0,000	0,402	1,156	0,305	300,000	0,000	0,305	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,375
IV Storten	20,000	25000,000	0,000	1,000	1,500	0,000	300,000	0,000	0,000	0,000	0,000	25000,000	0,000	1500,000	0,000
1) Directe thermische droging (aardgas), storten	20,000	25000,000	0,000	1,000	1,500	0,000	300,000	0,000	0,000	0,000	0,000	25000,000	0,000	1500,000	0,000
2) Indirecte thermische droging (reswarmtd), storten	20,000	25000,000	0,000	1,000	1,500	0,000	300,000	0,000	0,000	0,000	0,000	25000,000	0,000	1500,000	0,000
V Vanilinen	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,750	0,953	300,000	0,000	0,446	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,150
1) Directe droging, verbranding in een veeveelbed	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,750	0,953	300,000	0,000	0,446	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,150
2) Indirecte droging, verbranding in een veeveelbed	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,750	0,953	300,000	0,000	0,446	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,150
3) Indirecte droging, verbranding in een veeveelbed	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,750	0,953	300,000	0,000	0,446	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,150
4) Indirecte droging, verbranding in een veeveelbed	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,750	0,953	300,000	0,000	0,446	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,150
5) Indirecte droging, verbranding in een veeveelbed	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,750	0,953	300,000	0,000	0,446	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,150
6) Indirecte droging, verbranding in een veeveelbed	100,000	25000,000	0,000	0,000	0,750	0,953	300,000	0,000	0,446	0,000	0,000	25000,000	0,000	149,825	0,150

Type rioolwaterzuivering: 7

Processen	Installatiegrootte eindverwerking [ton d.s.]	Energie		RWZI	Investeringen		Verwerkingskosten		CO ₂ emissie [kg/ton d.s.]
		RWZI	Totaal		RWZI's (*)	Totaal	RWZI	Totaal	
		Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)
I Stand-alone siliverwerking	100.000	-10,38	-1,54	-11,92	139.096	2.953	255	3.208	686,0
1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	20.000	-10,38	-5,22	-15,61	505.159	2.953	551	3.505	875,5
2 Natte oxidatie	20.000	-10,38	-10,38	-20,76	505.159	2.953	551	3.505	875,5
II Afvalverbrandingsinstallatie	20.000	-10,38	-0,34	-10,72	505.159	2.953	242	3.195	601,6
3 Meewerzenden in een AVI	20.000	-10,38	-0,34	-10,72	505.159	2.953	242	3.195	601,6
III Elektriciteitscontracten	20.000	-10,38	1,85	-8,54	505.159	2.953	272	3.225	475,1
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	20.000	-10,38	-1,23	-11,62	505.159	2.953	325	3.278	651,9
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	20.000	-10,38	3,82	-6,57	505.159	2.953	281	3.233	386,8
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	20.000	-10,38	3,82	-6,57	505.159	2.953	281	3.233	386,8
IV Cementoven	20.000	-10,38	3,21	-7,18	505.159	2.953	272	3.225	402,7
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	20.000	-10,38	1,56	-8,83	505.159	2.953	325	3.278	495,3
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	20.000	-10,38	6,22	-4,17	505.159	2.953	280	3.234	234,1
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	20.000	-10,38	6,22	-4,17	505.159	2.953	280	3.234	234,1
V Storten	20.000	-10,38	-3,11	-13,50	505.159	2.953	272	3.225	757,1
10 Biologische droging, storten	20.000	-10,38	-11,38	-21,77	505.159	2.953	325	3.278	1.221,1
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	20.000	-10,38	-6,07	-16,46	505.159	2.953	280	3.234	924,4
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	20.000	-10,38	-6,07	-16,46	505.159	2.953	280	3.234	924,4
VI Varianten	100.000	-10,38	0,68	-9,71	2.525.793	145.265	253	3.206	544,6
13 1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+legandrukturbine	100.000	-10,38	0,33	-10,06	2.525.793	151.433	264	3.218	564,4
14 2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatieurbine	100.000	-10,38	0,44	-9,94	2.525.793	145.265	253	3.206	544,6
15 3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+damprecompressie	100.000	-10,38	0,44	-9,94	2.525.793	145.265	253	3.206	544,6

Verbranding installatiegrootte:	Verbranding thermisch drogen	Verbranding natte oxidatie
100.000	100.000	20.000
92.000	18.400	18.400
1.146	1.146	1.146
92.000	18.400	18.400
100.000	20.000	20.000
0	0	0
80,2	16,0	16,0
24%	24%	24%
61%	61%	61%
100.000	100.000	100.000
8.024.760	1.604.952	1.604.952

Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar
 Werkelijk verwerkte hoeveelheid per RWZI in ton d.s./jaar uit
 Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar uit
 Verwerkingscapaciteit installaties in ton d.s./jaar
 1) Gegevoerde hoeveelheid extern slib in ton d.s./jaar
 2) Aantal RWZI's benodigd voor bovenstaande verwerkingscapaciteit:
 Organische fractie in d.s.
 Aantal i.e.'s per RWZI
 Aantal i.e.'s totaal

Processen	Installatiegrootte eindverwerking [per i.e.]	Energie		RWZI	Investeringen per i.e.		Verwerkingskosten		CO ₂ emissie [kg/i.e.]
		RWZI	Totaal		RWZI (*)	Totaal	RWZI	Totaal	
		Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)	Saldo (G, Jpr/mton d.s.)
I Stand-alone siliverwerking	8.024.760	-0,119	-0,018	-0,137	314,75	17,33	33,86	36,76	7,1
1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	1.604.952	-0,119	-0,080	-0,179	314,75	30,76	6,32	40,18	10,0
2 Natte oxidatie	1.604.952	-0,119	-0,080	-0,179	314,75	30,76	6,32	40,18	10,0
II Afvalverbrandingsinstallatie	1.604.952	-0,119	-0,004	-0,123	314,75	16,97	33,86	2,77	6,9
3 Meewerzenden in een AVI	1.604.952	-0,119	-0,004	-0,123	314,75	16,97	33,86	2,77	6,9
III Elektriciteitscontracten	1.604.952	-0,119	0,021	-0,098	314,75	16,08	33,86	3,12	6,5
4 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	1.604.952	-0,119	-0,014	-0,133	314,75	17,32	33,86	3,72	7,5
5 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een e-centrale	1.604.952	-0,119	0,044	-0,075	314,75	17,32	33,86	3,23	4,2
6 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	1.604.952	-0,119	0,044	-0,075	314,75	17,32	33,86	3,23	4,2
IV Cementoven	1.604.952	-0,119	0,037	-0,082	314,75	16,08	33,86	3,12	4,6
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	1.604.952	-0,119	0,018	-0,101	314,75	17,32	33,86	3,72	6,7
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	1.604.952	-0,119	0,071	-0,048	314,75	17,32	33,86	3,21	2,7
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	1.604.952	-0,119	0,071	-0,048	314,75	17,32	33,86	3,21	2,7
V Storten	1.604.952	-0,119	-0,036	-0,155	314,75	16,08	33,86	3,12	36,86
10 Biologische droging, storten	1.604.952	-0,119	-0,130	-0,250	314,75	17,32	33,86	3,72	14,0
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	1.604.952	-0,119	-0,070	-0,189	314,75	17,32	33,86	3,21	37,07
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	1.604.952	-0,119	-0,070	-0,189	314,75	17,32	33,86	3,21	37,07
VI Varianten	8.024.760	-0,119	0,008	-0,111	314,75	18,10	33,86	2,90	36,76
13 1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+legandrukturbine	8.024.760	-0,119	0,004	-0,115	314,75	18,87	33,86	3,03	36,89
14 2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+condensatieurbine	8.024.760	-0,119	0,005	-0,114	314,75	18,10	33,86	2,92	36,76
15 3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed+damprecompressie	8.024.760	-0,119	0,005	-0,114	314,75	18,10	33,86	2,92	36,76

Type rioolwaterzuivering: 7

Per ton d.s.

Processen	Instalatiegrootte indienverwijzing	Emissies													
		Fosfor		Cd		Hg		Al		Fe		S		Zware metalen	
		As/resubstraat [mg/kg d.s. reest]	Rookgasen [mg/kg d.s. reest]	As/resubstraat [mg/kg d.s. reest]	Rookgasen [mg/kg d.s. reest]	As/resubstraat [mg/kg d.s. reest]	Rookgasen [mg/kg d.s. reest]	As/resubstraat [mg/kg d.s. reest]	Rookgasen [mg/kg d.s. reest]	As/resubstraat [mg/kg d.s. reest]	Rookgasen [mg/kg d.s. reest]	As/resubstraat [mg/kg d.s. reest]	Rookgasen [mg/kg d.s. reest]	As/resubstraat [mg/kg d.s. reest]	Rookgasen [mg/kg d.s. reest]
I	Stadsluon afbreuwing	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1) Indirecte droging, verbranding in een wervelbed	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
II	Afvalverbranding plantafval	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1) Meervranden in een AVI	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
III	Elektriciteitsnet	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1) Biologische droging, meststoffen in een e-centrale	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2) Directe thermische droging (laaragali), meststoffen in een e-centrale	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3) Indirecte thermische droging (reiwarmte), meststoffen in een e-centrale	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
IV	Compost	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1) Biologische droging, meststoffen in een compostoven	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2) Directe thermische droging (laaragali), meststoffen in een compostoven	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3) Indirecte thermische droging (reiwarmte), meststoffen in een compostoven	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V	Storten	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1) Biologische droging, storten	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	11) Directe thermische droging (laaragali), storten	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	12) Indirecte thermische droging (reiwarmte), storten	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
VI	Vervuilen	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1) Indirecte droging, verbranding in een wervelbed (biologische droging)	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2) Directe thermische droging (laaragali), verbranding in een wervelbed (biologische droging)	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3) Indirecte droging, verbranding in een wervelbed (dampcompressie)	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Type rioolwaterzuivering: 8

Processen	Installatiegrootte eindverwerking [ton d.s.]	Energie		Investeringen RWZ's (*) [x1.000 Euro]	RWZI silbeindverwerking [Euro/ton d.s.]	Verwerkingskosten silbeindverwerking [Euro/ton d.s.]	CO ₂ emissie [kg/ton d.s.]
		RWZI Saldio [GJ/primm d.s.]	silbeverwerking Saldio [GJ/primm d.s.]				
I Stand-alone silbeverwerking							
1	100.000	-7,60	-1,82	2.750,377	139,096	258	628,3
2	20.000	-7,60	-5,15	550,075	49,397	57	714,9
II Afvalverbrandingsinstallatie							
3	20.000	-7,60	-0,69	550,075	27,230	246	465,2
III Elektriciteitscentrales							
4	20.000	-7,60	1,17	550,075	25,914	272	360,8
5	20.000	-7,60	-1,82	550,075	27,801	322	526,4
6	20.000	-7,60	2,94	550,075	27,801	281	346,4
IV Cementoven							
7	20.000	-7,60	2,42	550,075	25,914	272	290,4
8	20.000	-7,60	0,71	550,075	27,801	322	386,9
9	20.000	-7,60	5,11	550,075	27,801	280	197,7
V Storten							
10	20.000	-7,60	-3,11	550,075	25,914	272	600,6
11	20.000	-7,60	-10,87	550,075	27,801	322	1.056,0
12	20.000	-7,60	-5,88	550,075	27,801	280	348,3
VI Varianten							
13	100.000	-7,60	0,20	2.750,377	145,265	257	415,2
14	100.000	-7,60	-0,02	2.750,377	151,433	268	427,5
15	100.000	-7,60	0,15	2.750,377	145,265	259	416,0

Processen	Verbranden	thermisch drogen	biologisch drogen	natte oxidatie
Verbranding installatiegrootte:	100.000	20.000	20.000	20.000
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	18.400	18.400	18.400
Verwerkingscapaciteit per RWZI in ton d.s./jaar uit	1.097	1.097	1.097	1.097
Werkelijk verwerkte hoeveelheid in ton d.s./jaar	92.000	18.400	18.400	18.400
Verwerkingscapaciteit installaties in ton d.s./jaar	100.000	20.000	20.000	20.000
Toegevoerde hoeveelheid extern slib in ton d.s./jaar	0	0	0	0
Aantal RWZ's benodigd voor bovenstaande verwerkingscapaciteit:	83,9	16,8	16,8	16,8
Drogstofgehalte aanvoer:	25%	25%	25%	25%
Organische fractie in d.s.	55%	55%	55%	55%
Aantal i.e.'s per RWZI	100.000	100.000	100.000	100.000
Aantal i.e.'s totaal	8.386.576	1.677.315	1.677.315	1.677.315

Processen	Installatiegrootte eindverwerking [per i.e.]	Energie		Investeringen per i.e. RWZI (*) [Euro/i.e.]	RWZI silbeindverwerking [Euro/i.e.]	Verwerkingskosten silbeindverwerking [Euro/i.e.]	CO ₂ emissie [kg/i.e.]
		RWZI Saldio [GJ/primm i.e.]	silbeverwerking Saldio [GJ/primm i.e.]				
I Stand-alone silbeverwerking							
1	8.386.576	-0,020	-0,103	327,95	16,59	2,83	6,8
2	1.677.315	-0,033	-0,056	327,95	29,45	6,11	7,8
II Afvalverbrandingsinstallatie							
3	1.677.315	-0,033	-0,008	327,95	16,23	2,69	5,1
III Elektriciteitscentrales							
4	1.677.315	-0,033	0,013	327,95	15,39	2,98	4,0
5	1.677.315	-0,033	-0,020	327,95	16,57	3,54	5,8
6	1.677.315	-0,033	0,032	327,95	16,57	3,08	2,9
IV Cementoven							
7	1.677.315	-0,033	0,027	327,95	15,39	2,98	3,2
8	1.677.315	-0,033	0,008	327,95	16,57	3,54	4,2
9	1.677.315	-0,033	0,036	327,95	16,57	3,07	1,5
V Storten							
10	1.677.315	-0,033	-0,034	327,95	15,39	2,98	6,6
11	1.677.315	-0,033	-1,119	327,95	16,57	3,54	11,4
12	1.677.315	-0,033	-0,064	327,95	16,57	3,07	8,3
VI Varianten							
13	8.386.576	-0,033	0,002	327,95	17,32	2,82	4,6
14	8.386.576	-0,033	-0,084	327,95	18,06	2,94	4,7
15	8.386.576	-0,033	0,002	327,95	17,32	2,84	4,6

Type rioolwaterzuivering: 8

Per ton d.s.

Processen	Installatiegrootte in de verwerking (ton d.s.)	Emissies																				
		Fosfor			Hg			Cd			Al			Fe			S			Zware metalen		
		As/restproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgas [mg/kg d.s. input]	As/restproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgas [mg/kg d.s. input]	As/restproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgas [mg/kg d.s. input]	As/restproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgas [mg/kg d.s. input]	As/restproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgas [mg/kg d.s. input]	As/restproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgas [mg/kg d.s. input]	As/restproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgas [mg/kg d.s. input]	As/restproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgas [mg/kg d.s. input]	As/restproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgas [mg/kg d.s. input]	As/restproduct [mg/kg d.s. input]	Rookgas [mg/kg d.s. input]	
I Stansalane aluiverwerking	100,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150
1 Indirecte droging, verandering in een vervoerbed	20,000	7500,000	0,000	0,300	0,000	0,074	0,000	0,450	0,000	0,037	0,000	90,000	0,000	2500,000	0,000	73,972	0,000	450,000	0,000	0,000	0,000	0,150
2 Niete oxidatie	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
II Aalverbranding in een AVI	20,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	0,081	0,000	0,750	0,000	0,041	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	81,229	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,150
III Electriciteitscentrales	20,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7 Biologische droging, meestoken in een e-centrale	20,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	0,189	0,000	1,395	0,000	0,112	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	148,814	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,375
8 Indirecte droging, verandering in een e-centrale	20,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,450	0,000	1,256	0,000	0,244	0,000	300,000	0,000	0,000	0,000	324,914	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,375
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een e-centrale	20,000	230,000,000	0,000	0,000	0,000	0,446	0,000	1,256	0,000	0,244	0,000	300,000	0,000	0,000	0,000	324,914	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,375
IV Cementoven	20,000	2500,000	0,000	0,814	0,186	0,388	0,000	1,388	0,000	0,112	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	148,814	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,375
7 Biologische droging, meestoken in een cementoven	20,000	2500,000	0,000	0,814	0,186	0,388	0,000	1,388	0,000	0,112	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	148,814	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,375
8 Directe thermische droging (aardgas), meestoken in een cementoven	20,000	2500,000	0,000	0,894	0,406	1,256	0,000	1,256	0,000	0,244	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	324,914	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,375
9 Indirecte thermische droging (restwarmte), meestoken in een cementoven	20,000	2500,000	0,000	0,894	0,406	1,256	0,000	1,256	0,000	0,244	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	324,914	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,375
V Storten	20,000	2500,000	0,000	1,000	0,000	1,500	0,000	1,500	0,000	0,000	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	1500,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10 Biologische droging, storten	20,000	2500,000	0,000	1,000	0,000	1,500	0,000	1,500	0,000	0,000	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	1500,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11 Directe thermische droging (aardgas), storten	20,000	2500,000	0,000	1,000	0,000	1,500	0,000	1,500	0,000	0,000	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	1500,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12 Indirecte thermische droging (restwarmte), storten	20,000	2500,000	0,000	1,000	0,000	1,500	0,000	1,500	0,000	0,000	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	1500,000	0,000	0,000	0,000	0,000
VI Verbranding	100,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	0,037	0,000	0,750	0,000	0,037	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	73,972	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,150
13.1 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed/rookgasafzuiger	100,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	0,074	0,000	0,750	0,000	0,037	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	73,972	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,150
14.2 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed/compressie	100,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	0,074	0,000	0,750	0,000	0,037	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	73,972	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,150
15.3 Indirecte droging, verbranding in een wervelbed/dampcompressie	100,000	2500,000	0,000	0,000	0,000	0,074	0,000	0,750	0,000	0,037	0,000	300,000	0,000	2500,000	0,000	73,972	0,000	1489,625	0,000	0,000	0,000	0,150

BIJLAGE VII

RAPPORT EXERGIE ANALYSE

SLIBEINDVERWERKINGSVARIANTEN

INHOUD

1	INLEIDING	183
2	BESTUDEERDE ALTERNATIEVEN	184
2.1	INLEIDING	184
2.2	STAND-ALONE VERBRANDING	184
2.3	PARALLELE VERBRANDING	185
2.4	MEESTOOK KOLEN/GAS CENTRALE	186
3	UITGANGSPUNTEN	188
3.1	INSTALLATIEONTWERP	188
3.2	EXERGIE-ANALYSE	189
3.3	SIMULATIESOFTWARE	190
4	RESULTATEN	191
4.1	INLEIDING	191
4.2	STAND-ALONE VERBRANDING	192
4.3	PARALLELE VERBRANDING	195
4.4	MEESTOOK	197
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	201
	BIJLAGEN	
	1. Overzicht exergie analyse slibverwerkingsalternatieven	202

1

INLEIDING

In het kader van de integrale slibketenstudie die door Royal Haskoning wordt uitgevoerd in opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) is Jacobs Consultancy gevraagd een nadere analyse uit te voeren van een aantal energie conversie alternatieven voor slibverbranding.

In dit rapport worden middels een vereenvoudigde exergie-analyse een aantal alternatieven voor de verbranding van slib vergeleken. In de exergie-analyse wordt met name de 'waarde' van de energiestromen brandstof, stoom en elektriciteit meegenomen. Met name de waarde van energie van stoom is sterk afhankelijk van de stoomcondities, in eerste benadering kan die worden gezien als het potentieel aan elektriciteit die uit de stoom kan worden opgewekt. De hoofdstappen in dit proces zijn: drogen, verbranden en stoom/elektriciteitsopwekking. De hoofdvarianten zijn:

- Stand-alone verbranding
Hierbij wordt binnen het proces het slib gedroogd en verbrand waarna stoom en/of elektriciteit wordt gegenereerd. Binnen deze variant worden een aantal alternatieven met verschillende stoomcondities en droogtechnieken uitgewerkt.
- Parallele verbranding
Hierbij wordt het slib gedroogd en verbrand. De opgewekte stoom wordt vervolgens aan een elektriciteitscentrale geleverd voor de opwekking van elektriciteit. Binnen deze variant worden parallelle verbranding in een kolen- en gascentrale uitgewerkt.
- Meestook
Hierbij wordt het slib gedroogd en vervolgens direct in een kolencentrale verbrand voor de opwekking van elektriciteit. Binnen deze variant worden alternatieven met een verschillende mate van slibdroging uitgewerkt.

In de vereenvoudigde exergie-analyse wordt met name de kwaliteit van de geproduceerde stoom in de beschouwing meegenomen. Door het proces van slibverbranding in stukken op te splitsen kan inzichtelijk worden gemaakt waar exergieverliezen optreden en wat het potentieel is van verbeteringsalternatieven.

2

BESTUDEERDE ALTERNATIEVEN

2.1 INLEIDING

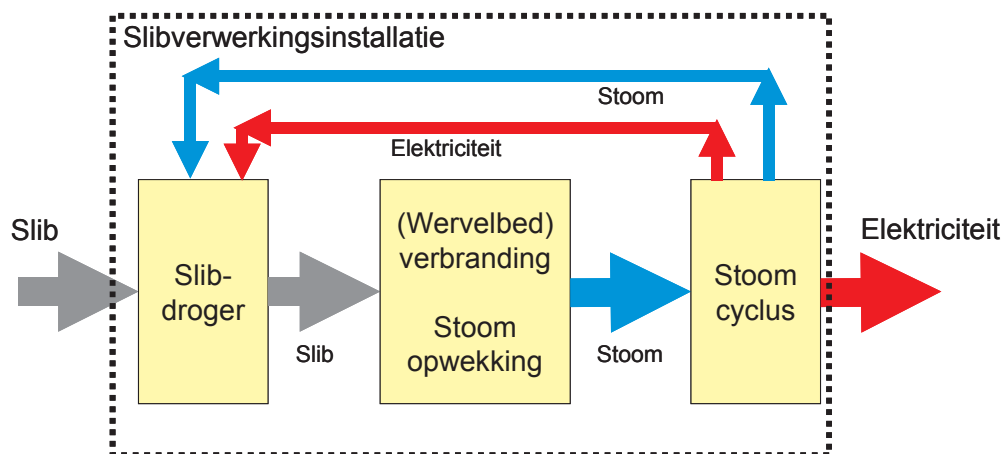
In overleg met Royal Haskoning is als basis alternatief gekozen voor de stand-alone verbranding van slib met de productie van stoom van 10 bar en 180 °C. De stoomproductie is daarbij voldoende om aan de stoomvraag van de slibdroging te voldoen. Dit is vergelijkbaar met de huidige installatie bij SNC in Moerdijk.

De alternatieven bestaan in eerste instantie uit verbeteringen binnen de stand-alone installatie door aanpassingen in het droogproces en/of verbetering van de stoomcondities waardoor elektriciteitsopwekking mogelijk wordt. In tweede instantie kunnen verdere verbeteringen bereikt worden door zogenaamde parallelle verbranding waarbij een koppeling wordt gemaakt met een kolen- of gasgestookte elektriciteitscentrale. Ten slotte kan het slib direct worden meegestookt in een kolencentrale. Deze drie hoofdroutes worden hieronder verder uitgewerkt.

2.2 STAND-ALONE VERBRANDING

Figuur 2.1 geeft een schematisch overzicht van de processtappen bij de stand-alone verbranding van slib

FIGUUR 2.1 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE STAND-ALONE SLIBVERBRANDING



Het slib met een droge stof gehalte van 23% wordt gedroogd tot een droge stof gehalte dat geschikt is voor verbranding in een wervelbed oven. Na verbranding wordt uit de rookgassen stoomopgeweekt hiermee wordt stoom en/of elektriciteit geleverd voor het droogproces. Een eventueel overschot wordt geëxporteerd.

Vooruitlopend op de resultaten van de exergie-analyse kan worden gemeld dat de grootste exergieverliezen in het proces optreden in de verbranding/stoomopwekking stap gevolgd door de droogstap. Verbetering van verbranding/stoomopwekking kan worden gerealiseerd door het produceren van hoogwaardiger stoom in combinatie met toepassing van een stoomturbine en gebruik van laagwaardige stoom voor het droogproces. Een verbetering in de slibdroging kan worden bereikt door middel van mechanische dampcompressie. Bij dampcompressie worden de damp die vrijkomt bij de slibdroging gecompriemd (recompressie). De gecompriemde damp wordt vervolgens gecondenseerd waarbij de vrijgekomen warmte wordt gebruikt bij de droging van het slib. Feitelijk wordt alleen de energie voor het opwarmen van het slib toegevoerd.

De verdampingswarmte wordt teruggewonnen door de damp weer te condenseren. De dampcompressie gaat echter wel gepaard met elektriciteitsverbruik van de compressor.

De volgende varianten zijn bestudeerd:

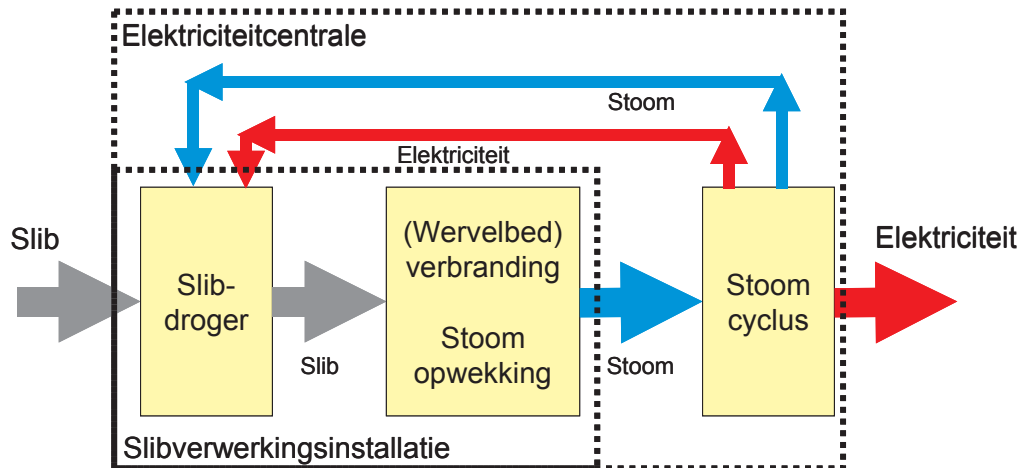
1. Indirecte droging (basis variant)
Hierbij wordt relatief laagwaardige stoom geproduceerd. De stoomproductie is voldoende om aan de stoomvraag van de droger te voldoen.
2. Indirecte droging met tegendruk stoomturbine
Hierbij wordt hoogwaardigere stoom geproduceerd. In een tegendruk stoomturbine wordt elektriciteit geproduceerd. De resterende laagwaardige stoom wordt gebruikt voor het droogproces.
3. Indirecte droging met condenserende stoomturbine
Hierbij wordt hoogwaardigere stoom geproduceerd. In een condenserende stoomturbine wordt elektriciteit geproduceerd. Een gedeelte van de stoom wordt afgetapt voor het droogproces van een deel van het slib. De droogdamp van het slib die hierbij vrij komt wordt gebruikt voor droging van de rest van het slib.
4. Indirecte droging met dampcompressie
Hierbij wordt hoogwaardigere stoom geproduceerd. In een condenserende stoomturbine wordt elektriciteit geproduceerd. Een zeer beperkt deel van de stoom wordt afgetapt voor het droogproces van het slib. De droogdamp van het slib wordt na compressie gebruikt voor droging van het slib.
5. Directe droging met aardgas
Hierbij wordt het slib niet eerst gedroogd maar direct aan de wervelbedverbrander toegevoerd. In dat geval is het voor het verbrandingsproces noodzakelijk om ook aardgas toe te voeren. In deze variant komt de droogstap geheel te vervallen en wordt het slib in feite in de verbrander met aardgas gedroogd. Bij indirecte droging wordt een tussenmedium toegepast, over het algemeen is dat stoom. Bij directe droging wordt het slib gedroogd middels direct contact met de verbrandingsgassen van aardgas (in de wervelbedverbrander).

2.3 PARALLELE VERBRANDING

Een verdere verbetering van de stoomcondities t.o.v. stand-alone verbranding is in principe mogelijk. Vanwege de kosten van de stoomcyclus worden deze stoomcondities echter alleen toegepast in grootschalige elektriciteitsopwekking. Door de geproduceerde hoogwaardige stoom te leveren aan een naast gelegen kolen- of gascentrale kan van de daar aanwezige stoomcyclus gebruikt gemaakt worden voor de elektriciteitsopwekking.

Figuur 2.2 geeft een schematisch overzicht van de processtappen van parallelle verbranding van slib.

FIGUUR 2.2 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE PARALLELE VERBRANDING VAN SLIB



De volgende alternatieven zijn bestudeerd:

6. Parallele verbranding kolen/gas centrale

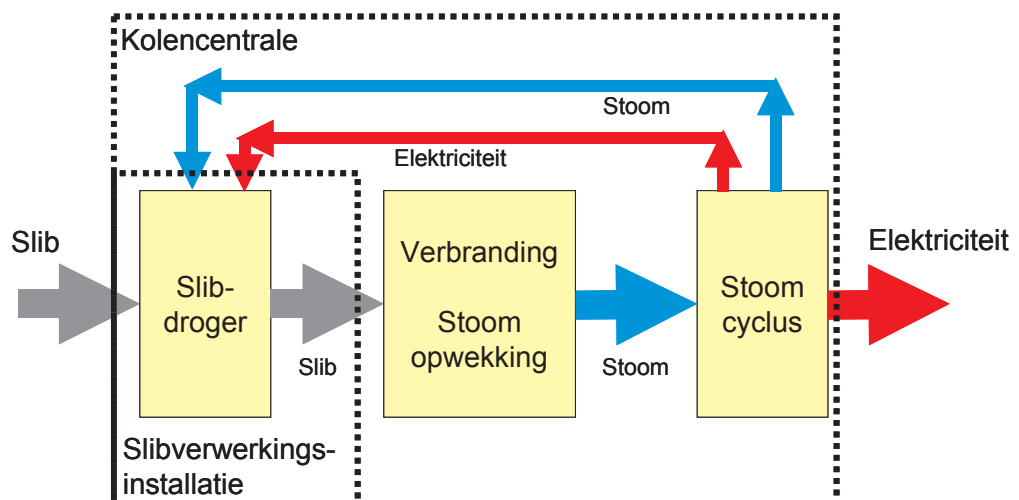
Hierbij wordt hoogwaardige stoom geproduceerd. De stoom wordt geleverd aan een kolen- of gascentrale. Laagwaardige stoom voor het droogproces wordt betrokken bij de kolen- of gascentrale.

2.4 MEESTOOK KOLEN/GAS CENTRALE

Na verbetering van de slibdroging en opgewekte stoomcondities kan een verdere optimalisatie worden bereikt in het verbrandingsproces door het gedroogde slib mee te stoken in kolencentrale. Hierbij wordt het hogere rendement van de kolenketel t.o.v. de wervelbedverbrander benut.

Figuur 2.3 geeft een schematisch overzicht van de processtappen van de meestook van slib op een kolencentrale.

FIGUUR 2.3 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN MEESTOOK VAN SLIB OP EEN KOLENCENTRALE



De volgende alternatieven zijn bestudeerd:

7. Meestook kolencentrale

Er is gekeken naar meestook van nat slib (23% d.s.), half droog slib (38% d.s.) en droog slib (90% d.s.). In de laatste variant is ook gekeken naar droging met aardgas in plaats van stoom. Hierdoor is een fysieke scheiding tussen droging en meestook mogelijk.

3

UITGANGSPUNTEN

Dit hoofdstuk geeft de uitgangspunten voor de evaluatie van de slib verbrandingsalternatieven.

3.1 INSTALLATIEONTWERP

Voor elke van de drie verbrandingsmethoden worden verschillende componenten en ontwerp condities vereist. Een overzicht van de meeste relevante ontwerpparameters en die randvoorwaarden zijn hieronder weergegeven:

OMGEVINGSCONDITIES

De volgende omgevingscondities zijn van toepassing voor het installatieontwerp en het evalueren van de diverse slibverbrandingsmethoden:

Omgevingstemperatuur	15°C
Omgevingsdruk	1,013 bar
Relatieve vochtigheid	60%

BRANDSTOF

Slib

De installatie wordt gestookt met “nat” slib met de volgende kenmerken:

Brandstoftemperatuur	15°C
Slib LHV waarde:	12,4 MJ/kg
Slib hoeveelheid:	1kg/s d.s. (23% d.s.)

Om het slib in het wervelbed efficiënt te verbranden wordt droging toegepast tot 38% d.s..

AARDGAS

In een aantal modellen wordt aardgas gebruikt om de slib te drogen. Voor die opties wordt Groningse aardgas gebruikt met de volgende condities:

Brandstofdruk	7 bar
Brandstoftemperatuur	15 °C
Aardgas LHV waarde:	37,9 MJ/kg (= 31.65 MJ/m ³)

WERVELBED

Voor de stand-alone en parallelle verbranding wordt een wervelbed installatie gebruikt.

Het wervelbed heeft de volgende ontwerpparameters:

Inlaat lucht temperatuur:	250°C
Brandstof inlaat temperatuur:	100°C
Wervelbed rookgas temperatuur:	850°C
Ketel rookgas temperatuur:	180°C

STOOMCONDITIES

Bij de verschillende alternatieven van slibverbranding wordt stoom op verschillende condities geproduceerd. Bij de stand-alone alternatieven wordt stoom vanuit de eigen stoomcyclus gebruikt bij de slibdroging. Bij parallelle verbranding en meestook wordt stoom geïmporteerd voor de slibdroging.

Tabel 1 geeft de stoomcondities van de geproduceerde stoom en de stoom voor de slibdroging.

TABEL 1 STOOMCONDITIES BIJ DE VERSCHILLENDE ALTERNATIEVEN

Stoom- condities	Stand-alone-basis alternatief		Stand-alone-verbeterde stoomcondities		Parallele verbranding kolencentrale		Parallele verbranding gascentrale		Meestoken-Kolen	
	druk (bar)	Temp. (°C)	druk (bar)	Temp. (°C)	druk (bar)	Temp. (°C)	druk (bar)	Temp. (°C)	druk (bar)	Temp. (°C)
Productie	10	180	75	450	180	540	95	510	180	540
Droging	10	180	5	155/220*	3	230	3	201	3	230

*temperaturen respectievelijk bij gebruik van tegendrukturbine en condenserende turbine

3.2 EXERGIE-ANALYSE

Exergie is gedefinieerd als de maximale hoeveelheid arbeid die geleverd kan worden wanneer een stroom in evenwicht met omgevingscondities en compositie worden gebracht. Voor de exergie van stoom kan dit potentieel aan arbeid grofweg worden gezien als de hoeveelheid elektriciteit die uit de stoom kan worden opgewekt. Eén kg/s aan hoogwaardige stoom zoals wordt toegepast in grootschalige elektriciteitsopwekking heeft een hogere exergie-inhoud dan 1 kg/s aan relatief laagwaardige stoom terwijl de exergie-inhoud van 1 kg/s warm water nihil is, zie onderstaande tabel.

TABEL 2 ENERGIE EN EXERGIE-INHOUD VAN 1 KG/S STOOM VAN VERSCHILLENDE CONDITIES

	Stroomcondities		Hoeveelheid kg/s	Warmte MWth	Exergie MWth
	druk (bar)	Temp. (°C)			
Hoogwaardige stoom	180	540	1,0	3,3	1,5
Laagwaardige stoom	10	180	1,0	2,7	0,8
Warm water	1	90	1,0	0,3	0,0

In de literatuur zijn er verschillende vormen van exergie gedefinieerd. Voor een stroom zoals in en proces/energie installatie zijn er drie van belang, dit zijn:

- Fysische exergie
- Chemische exergie
- Mengingsexergie

Voor de exergie-analyse van de slibalternatieven is een vereenvoudigde methodiek toegepast. Dat wil zeggen chemische exergie alleen wordt toegepast in de vorm van de verbrandingswaarde van het slib. Warmtestromen (met name stoom) worden geanalyseerd door middel van de fysische exergie. De fysische exergie is gedefinieerd als de maximaal bereikbaar arbeid (of elektrische energie) als een stroom van de condities (T_1, P_1) naar thermomechanische evenwicht op omgevingscondities (T_0, P_0) door omkeerbare processen en warmtewisseling met de

omgeving (op T_0) wordt gebracht. Om de fysische exergie te berekenen wordt de volgende formule toegepast:

$$Ex_{fysische} = (H_1 - H_0) - T_0 \cdot (S_1 - S_0)$$

Met H_0 , T_0 en S_0 op omgevingscondities van 1,0132bar en 298,15K

In de vereenvoudigde exergie-analyse is uitsluitend gekeken naar de exergie van de nuttige “doel” stromen (d.w.z. geproduceerde elektriciteit en/of stoom). De exergie van de rookgasstroom en van koelwaterstromen worden als verlies beschouwd. Het functionele exergetische rendement kan dan worden gedefinieerd als:

$$\eta_{Ex,f} = \frac{\sum Ex_{doel}}{\sum Ex_{bron}}$$

waar : Ex_{doel} de exergie van de bereikte doelen (namelijk elektriciteit en/of stoom)

Ex_{bron} de exergie van de gebruikte brandstof (namelijk het slib)

3.3 SIMULATIESOFTWARE

De installaties zijn doorgerekend met behulp van het thermodynamisch simulatieprogramma GateCycle (versie 5.51) en het spreadsheet programma Microsoft Excel voor de exergie berekeningen.

4

RESULTATEN

4.1 INLEIDING

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 kunnen verbeteringen in het slibverbrandingsproces worden bereikt door optimalisatie van stoomcondities, optimalisatie van slibdroging en integratie met installaties voor grootschalige elektriciteitsopwekking. Teneinde het potentieel van de verbeteringen zichtbaar te maken zijn de volgende alternatieven verder uitgewerkt:

STAND-ALONE VERBRANDING

- Alternatief 1: Wervelbed verbranding met indirecte droging
- Alternatief 2: Wervelbed verbranding, indirecte droging met tegendrukturbine
- Alternatief 3: Wervelbed verbranding, indirecte droging met condensatieturbine
- Alternatief 4: Wervelbed verbranding met damprecompressie
- Alternatief 5: Wervelbed verbranding, directe droging met aardgas

PARALLELE VERBRANDING

- Alternatief 6a: Parallele verbranding in een kolen centrale
- Alternatief 6b: Parallele verbranding in een STEG centrale

MEESTOOK KOLENCENTRALE

- Alternatief 7a: Nat slib meestoken in kolencentrale (directe droging met kolen)
- Alternatief 7b: Gedeeltelijk gedroogd slib meestoken in kolencentrale
- Alternatief 7c: Maximaal gedroogd slib meestoken in kolencentrale
- Alternatief 7d: Maximaal gedroogd slib d.m.v. aardgas, meestoken in kolencentrale
- Alternatief 7e: Maximaal gedroogd slib d.m.v. een combinatie van aardgas en damprecompressie, meestoken in kolencentrale

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de berekeningen in GateCycle en Excel gepresenteerd. De resultaten worden weergegeven in een stroomdiagram. De ingaande exergiestroom vertegenwoordigt de verbrandingswaarde van het slib. In de droogstap is vervolgens exergie in de vorm van stoom en/of elektriciteit nodig, deze wordt over het algemeen betrokken uit de stoomcyclus. Het gedroogde (en warme) slib gaat vervolgens de verbranding/stoomopwekking in. De uitgaande exergie van deze processtap is de exergie van de geproduceerde stoom. In de stoomcyclus wordt deze vervolgens omgezet in elektriciteit en/of stoom.

Bij vrijwel alle alternatieven bestaat de ingaande exergiestroom uit de verbrandingswaarde van het slib. De stoom en/of elektriciteit die nodig is bij het drogen van slib wordt later in het proces van slibverwerking opgewekt en teruggevoerd naar de droging. Een uitzondering wordt echter gevormd door de alternatieven met slibdroging met aardgas. Bij die varianten bestaat de ingaande exergiestroom behalve uit de verbrandingswaarde van het slib ook uit de verbrandingswaarde van het aardgas. Om de verschillende varianten toch onderling te kunnen vergelijken is er voor gekozen om het effect van aardgasverbruik in mindering te

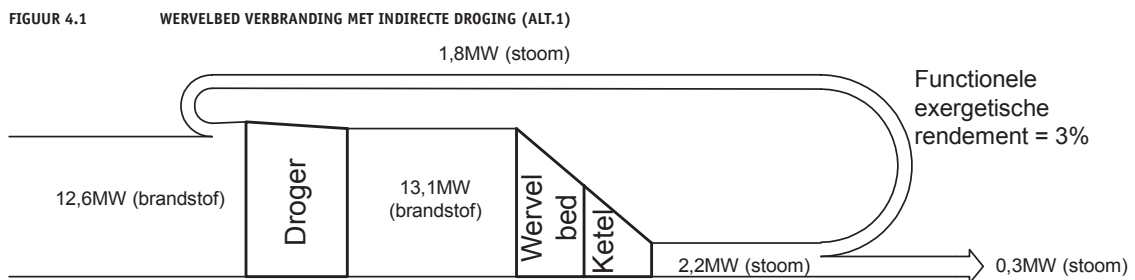
brengen op de elektriciteitsproductie. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het ingaande gas ook in een STEG installatie in elektriciteit omgezet had kunnen worden. Omdat in deze studie al de STEG Moerdijk wordt gebruikt wordt voor het rendement van elektriciteitsopwekking met het rendement van STEG Moerdijk gekozen, dit bedraagt circa 52%.

4.2 STAND-ALONE VERBRANDING

Voor de stand-alone verbrandingsalternatieven zijn er vier varianten onderzocht. De resultaten worden hieronder beschreven:

ALTERNATIEF 1

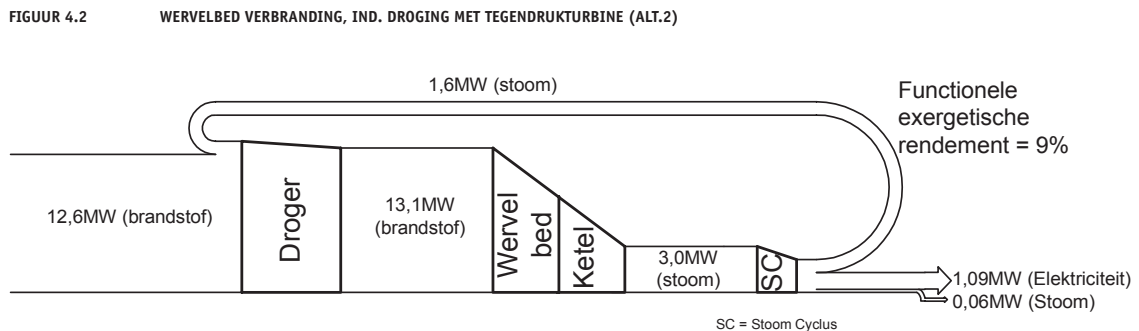
Dit is de basisvariant, waar de geproduceerde stoom (10bar 180°C) wordt gebruikt om de brandstof te drogen. De exergie van de overtollige stoom, die niet in de droger wordt gebruikt, wordt vervolgens als export beschouwd. Zie onderstaand stroomdiagram.



Uit bovenstaande figuur is duidelijk dat het grootste exergieverlies in het wervelbed/ketel optreedt. Het functioneel exergetisch rendement bedraagt slechts 3%. Indien de export stoom niet nuttig wordt gebruikt is het exergetisch rendement eigenlijk 0%.

ALTERNATIEF 2

In dit alternatief wordt vrijwel dezelfde configuratie toegepast. Er wordt echter hoogwaardiger stoom geproduceerd (75bar 450°C). Vervolgens wordt een tegendrukturbine gebruikt voor elektriciteitsproductie. Ten slotte wordt laagwaardiger stoom gebruikt in het droogproces. Zie onderstaand stroomdiagram.

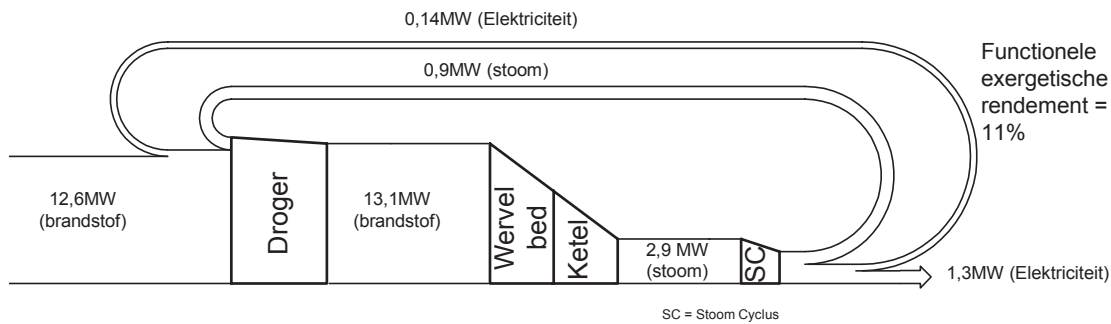


Bij de hogere stoomcondities is er een aanmerkelijk daling in het exergieverlies over de ketel. Tevens is de exergie-input voor het drogen afgenomen. Anderzijds wordt een exergieverlies geïntroduceerd door toepassen van de stoomcyclus. Door de productie van elektriciteit ontstaat een functioneel exergetisch rendement van 9%.

ALTERNATIEF 3

In dit alternatief wordt een condenserende stoomturbine gebruikt om elektriciteit op te wekken. De brandstof droging in deze optie wordt in twee parallele stappen uitgevoerd. Stoom wordt uit de turbine afgetapt om één brandstof droger te voeden. De tweede droger (die 45% van de brandstofhoeveelheid droogt) wordt gevoed door gecomprimeerd waterdamp uit het slib van de eerste droger. Het resulterende effect op exergie wordt in onderstaand stroomdiagram weergegeven:

FIGUUR 4.3 WERVELBED VERBRANDING, IND. DROGING MET CONDENSATIETURBINE (ALT.3)

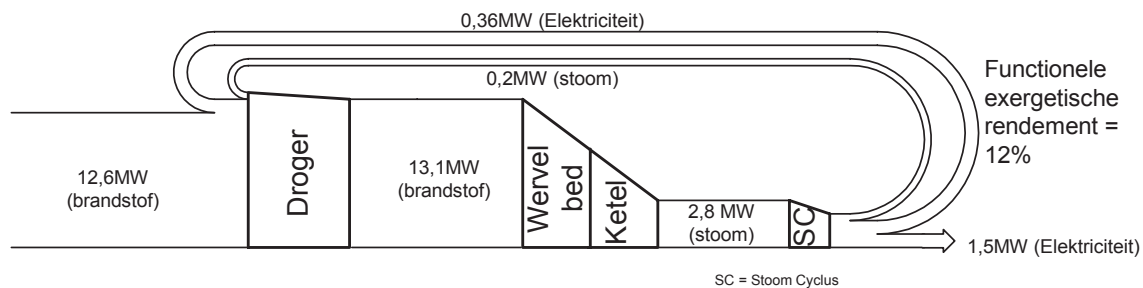


Door in twee trappen te drogen wordt de condensatiewarmte van de waterdamp in een deel van het slib nuttig gebruikt in de verdamping van een ander deel van het slib. Dit veroorzaakt een vermindering in de stoomvraag voor de brandstof droging. Het gevolg hiervan is een kleiner exergieverlies in de droger. Het kleinere exergieverlies in de droger wordt gedeeltelijk teniet gedaan door het grotere exergieverlies in de stoomcyclus. Dit hangt samen met het lagere rendement van de condenserende stoomturbine t.o.v. een tegendruk stoomturbine.

ALTERNATIEF 4

In dit alternatief wordt volledige damprecompressie toegepast. Er wordt een geringe hoeveelheid stoom gebruikt om het slib voor te warmen voordat het de droger in gaat. Voor het droogdamp proces zelf is geen stoom nodig. De warmte wordt geleverd door recirculeren en comprimeren van de slibdamp. Ondanks het gebruik van elektriciteit voor de compressor wordt hiermee het exergieverlies in de droger verder verminderd. Zie onderstaand stroomdiagram.

FIGUUR 4.4 WERVELBED VERBRANDING MET DAMPRECOMPRESSIE (ALT.4)



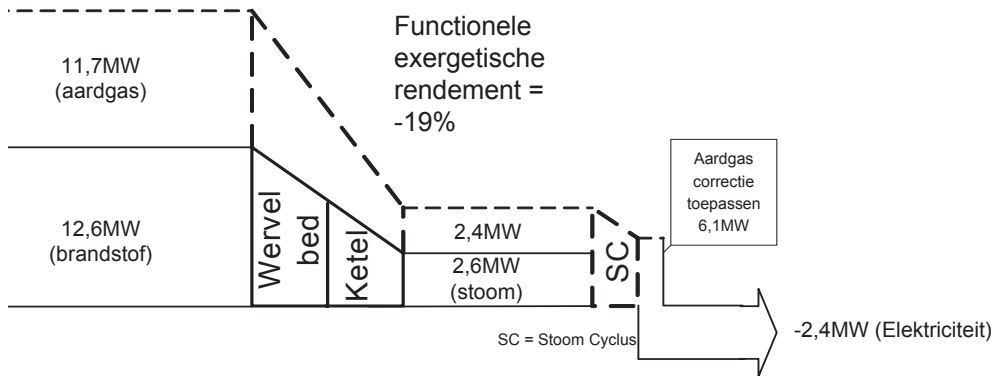
Het kleinere exergieverlies in de droger wordt gedeeltelijk teniet gedaan door een toename van het exergieverlies in de ketel doordat minder warmte teruggewonnen kan worden door middel van luchtvoorverwarming. Tevens neemt het exergieverlies in de stoomcyclus licht toe door een toename van de stoomhoeveelheid naar de condensor.

ALTERNATIEF 5

In dit alternatief wordt het slib niet met laagwaardige warmte maar met aardgas gedroogd dit gebeurt door de slib ongedroogd aan de werfbed verbrander toe te voeren. Om het slib te kunnen verbranden is dan echter wel een forse inzet van aardgas noodzakelijk.

FIGUUR 4.5

WERVELBED VERBRANDING MET DIRECTE AARDGAS DROGING (ALT.5)



Uitgangspunt bij de inzet van aardgas is geweest dat de rookgastemperatuur onveranderd blijft. Vervolgens wordt stoom opgewekt van (75bar 450°C). In bovenstaande figuur is de exergie van de stoom in gelijke verhouding aan het slib en aan het aardgas toegekend. Dit is een fictieve toekenning in werkelijkheid is het slibdeel negatief en wordt dat gecompenseerd met een groter positief aardgasdeel. De uiteindelijk elektriciteitsproductie van 3,7 MW wordt met 6,1 MWe gecorrigeerd. Dit is de fictieve elektriciteitsproductie indien het aardgas op de Moerdijk STEG zou zijn ingezet. Middels deze correctie kan de slibtoevoer van 12,6 MW en elektriciteitsproductie van -2,4 MW vergeleken worden met de resultaten van de andere alternatieven.

Indien het exergetisch rendement berekend zou worden uit de totale input van slib en aardgas (24,3 MW) en de elektriciteitsproductie (3,7 MW) volgt een rendement van 15%. Dit geeft een sterk vertekend beeld omdat in dit geval het slechte rendement op aardgas (15% i.p.v. 52%) niet aan het slib wordt toegerekend.

CONCLUSIES STAND-ALONE VERBRANDING

Op basis van bovenstaand exergie-analyse kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Toepassen van hogere stoomcondities leidt tot een daling van de exergieverliezen in de ketel.
- Toepassen van lagere stoomcondities in de droger leidt tot een daling van de exergieverliezen in de droger.
- Gebruik van slibdamp bij de droging van het slib leidt tot een daling van de exergieverliezen in de droger. Dit effect wordt gedeeltelijk teniet gedaan door een toename van de exergieverliezen in de ketel en stoomcyclus.
- Gebruik van aardgas voor de droging van slib is exergetisch zeer ongunstig.

TABEL 3 OVERZICHT VAN EXERGIEVERLIEZEN EN FUNCTIONELE RENDEMENTEN VAN STAND-ALONE SLIBEINDVERWERKINGSVARIANTEN

Alt.	Exergie inlaat	Verlies droger	Verlies ketel	Verlies Stoom-cyclus	Aardgas correctie	Exergie uit (stoom+E)	Functioneel rendement
	MW	MW	MW	MW	MW	MW	%
1	12,6	1,3	10,9	0,1	N/A	0,3	3%
2	12,6	1,1	10,1	0,3	N/A	1,1	9%
3	12,6	0,5	10,1	0,6	N/A	1,3	11%
4	12,6	0,1	10,3	0,7	N/A	1,5	12%
5	12,6	0,0			6,1	-2,4	-19%

4.3 PARALLELE VERBRANDING

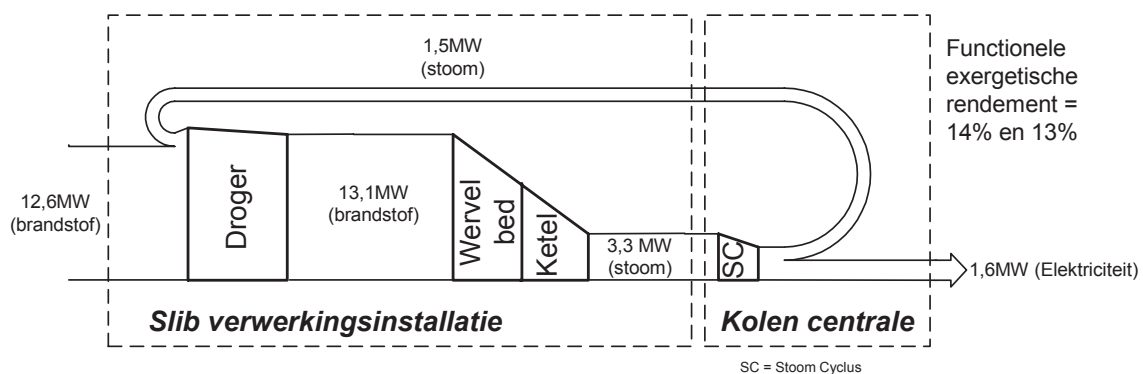
Bij parallelle verbranding wordt in de wervelbedketel dermate hoge druk stoom geproduceerd dat deze direct ingekoppeld kan worden bij een elektriciteitscentrale. Uit die centrale wordt laagwaardige stoom betrokken voor de droging van het slib. Er zijn twee varianten onderzocht.

- Alternatief 6a en 6b; Parallelle verbranding met respectievelijk een kolen- en gascentrale. De systeemgrens is uitsluitend om de slibverwerkingsinstallatie gelegd waardoor uitgaande en binnenkomende stroomstromen in de exergie-analyse moeten worden meegenomen.
- Alternatief 6c en 6d; Parallelle verbranding met respectievelijk een kolen- en gascentrale. De systeemgrens is in dit geval om een fictief deel van de elektriciteitscentrale gelegd. Hierdoor zijn de in en uitgaande stroomstromen niet meer van belang maar kan direct worden gekeken naar de extra elektriciteitsproductie als gevolg van de koppeling met de slibverwerkingsinstallatie.

ALTERNATIEF 6 A&C

De hoogwaardige stoom (180bar 540°C) uit de slibverwerkingsinstallatie wordt aan het stoomsysteem van een kolencentrale (bijv. Amer) toegevoerd. Zie onderstaand stroomdiagram.

FIGUUR 4.6 PARALLELE VERBRANDING IN EEN KOLEN CENTRALE (ALT.6A&C)

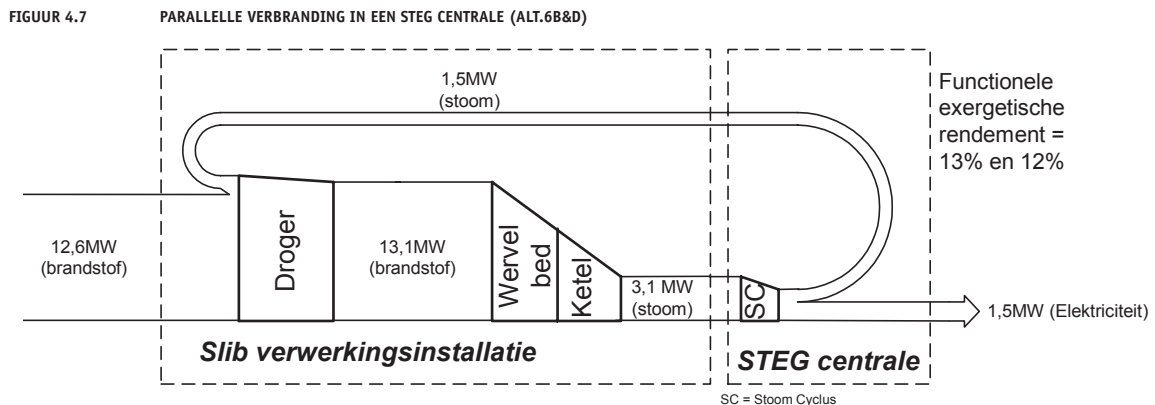


Het hogere functioneel exergetisch rendement t.o.v. de stand-alone alternatieven wordt bereikt door:

- Hoogwaardige stoom te produceren, wordt de exergieverlies in het wervelbed/ketel wordt verlaagd.
- Het gebruik van laagwaardige stoom (3bar 230°C) uit de kolencentrale om brandstof te drogen veroorzaakt een verlaging van de droger exergieverlies.
- De geproduceerde stoom in de stoomcyclus van de kolencentrale toe te passen wordt gebruik gemaakt van het hoge rendement van die stoomcyclus.

ALTERNATIEF 6 B&D

De hoogwaardige stoom (95bar 510°C) uit het slib verwerkingsinstallatie wordt aan het stoomsysteem van een STEG centrale (bijv. Moerdijk) toegevoerd. Zie onderstaand stroomdiagram.



Ten opzichte van parallelle verbranding met een kolen centrale is het functioneel exergetisch rendement iets lager vanwege de lagere stoomcondities van de STEG centrale.

CONCLUSIES PARALLELE VERBRANDING

Op basis van bovenstaand exergie-analyse kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Toepassen van hogere stoomcondities tot het niveau van grootschalige elektriciteitsproductie eenheden leidt tot een verdere daling van de exergieverliezen in de ketel.
- Gebruik van stoomcyclus van de elektriciteitscentrale leidt tot een afname van de exergieverliezen in de stoomcyclus t.o.v. de stoomcyclus van de stand-alone slibverbranding.

TABEL 4 OVERZICHT VAN EXERGIEVERLIEZEN EN FUNCTIONELE RENDEMENTEN VAN PARALLELE VERBRANDING ALTERNATIEVEN

Alt.	Exergie inlaat	Verlies droger	Verlies ketel	Verlies Stoomcyclus	Exergie uit (stoom+E)	Functionele rendement
	MW	MW	MW	MW	MW	%
6a	12,6	1,0	9,7	0,0	1,8	14%
6b	12,6	1,0	9,9	0,0	1,7	12%
6c	12,6	1,0	9,7	0,2	1,6	13%
6d	12,6	1,0	9,9	0,2	1,5	12%

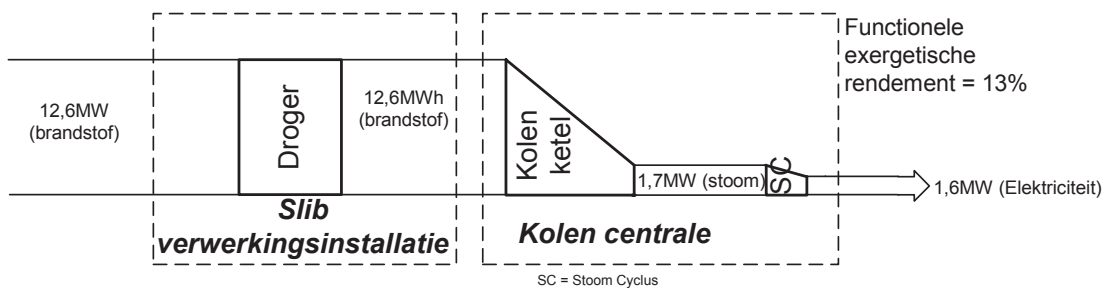
4.4 MEESTOOK

Voor dit alternatief wordt het slib in een kolenketel meegestookt. Dit wordt gerealiseerd door het slib naar de kolencentrale (bijv. Amer) te transporteren en daar met laagwaardige stoom te drogen.

ALTERNATIEF 7A

In deze optie wordt het slib ongedroogd in kolencentrale meegestookt. In feite wordt het slib in de ketel, door middel van directe droging, met kolen gedroogd. Een voordeel van de meestook optie is dat het slib in een hoger rendementsketel gestookt wordt. Door efficiënter te verbranden wordt het exergieverlies in de ketel kleiner dan in de stand-alone optie en wordt meer stoom geproduceerd. De verhoogde stoomproductie resulteert in een hogere elektriciteitsproductie.

FIGUUR 4.8 NAT SLIB MEESTOKEN IN KOLEN CENTRALE (ALT.7A)

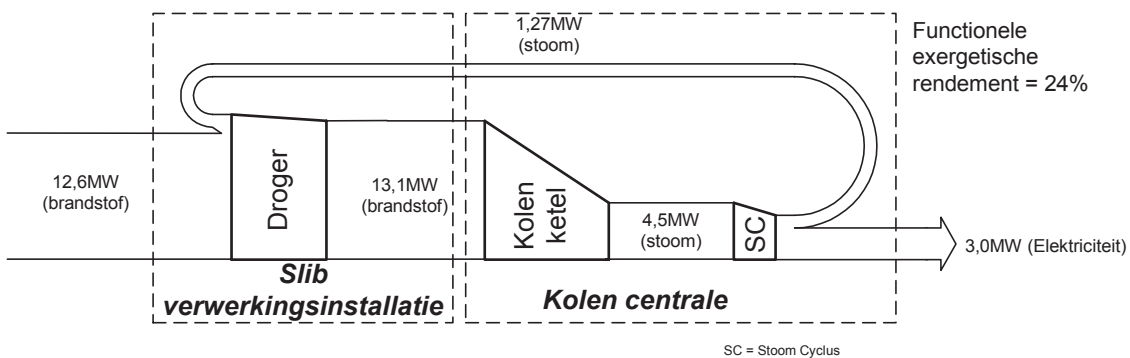


Een andere aandachtspunt is dat de hogere E-opbrengst niet alleen door een verhoogde stoomproductie is veroorzaakt, maar ook voor een deel door de lagere rookgastemperatuur van de kolen centrale (ca. 100 °C) in vergelijking met de stand-alone variant (180 °C).

ALTERNATIEF 7B

In dit geval is het slib gedeeltelijk gedroogd hierbij gelden dezelfde condities als bij het basis alternatief (38% d.s.). Tevens wordt gebruik gemaakt van laagwaardige stoom om het slib te drogen.

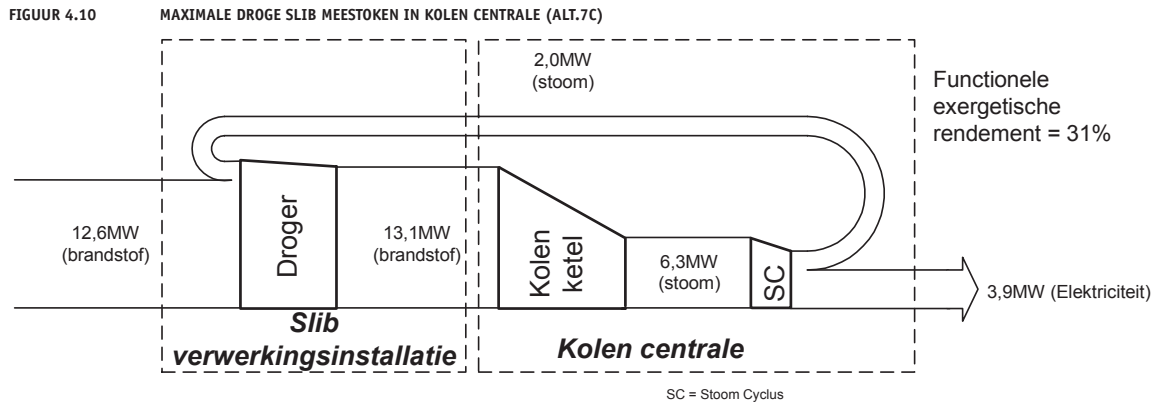
FIGUUR 4.9 PARTIELE DROGE SLIB MEESTOKEN IN KOLEN CENTRALE (ALT.7B)



Evenals in het voorgaande alternatief wordt een deel van de hogere elektriciteitsproductie veroorzaakt door de lagere rookgastemperatuur.

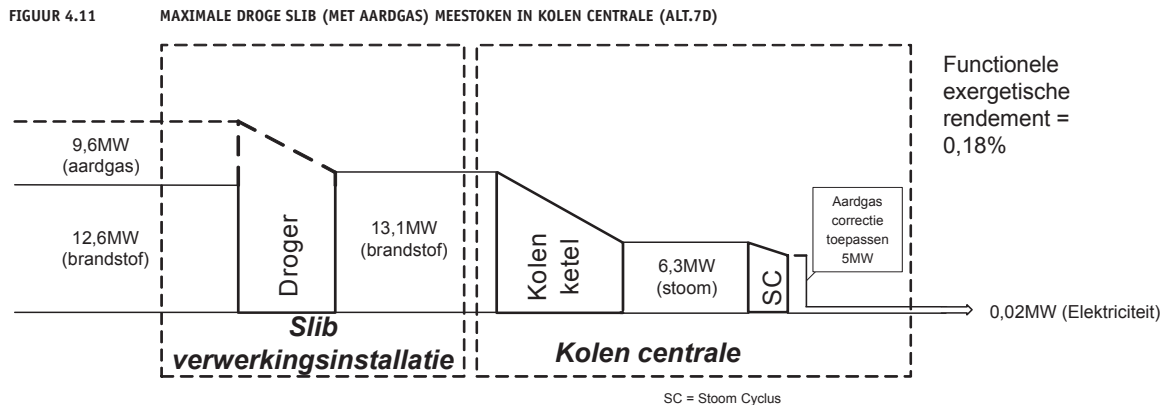
ALTERNATIEF 7C

In dit geval is het slib tot 90 % d.s. gedroogd met behulp van laagwaardige warmte. Ten opzichte van de voorgaande meestookvarianten heeft dit tot gevolg dat in de ketel minder hoogwaardige warmte nodig is om het water in slib te verdampen. Het gevolg is dat de exergieverliezen in de droger verder toenemen. Deze worden echter ruimschoots overtroffen door een afname van exergieverliezen in de ketel. Zien onderstaand stroomdiagram.



ALTERNATIEF 7D

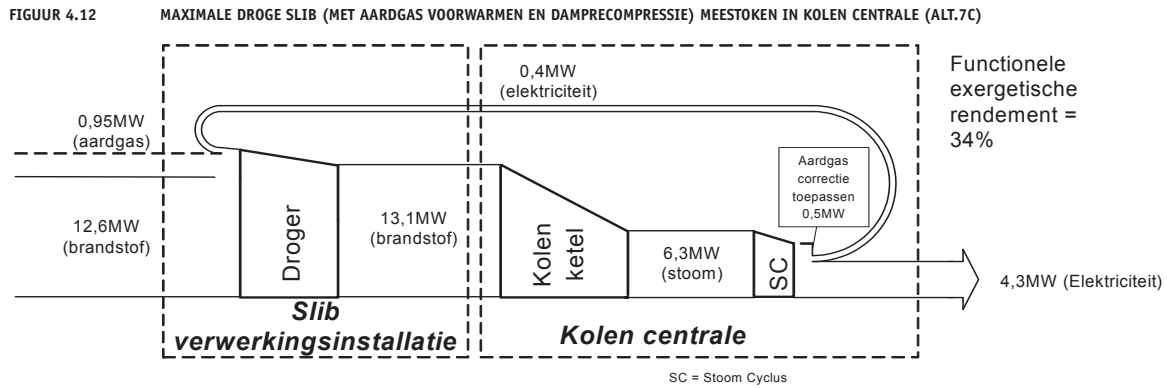
In dit alternatief wordt het slib met aardgas gedroogd tot 90% d.s. Voordeel van drogen met aardgas is dat dit fysiek op een andere locatie kan plaatsvinden.



In eerste instantie zal de elektriciteitsproductie toenemen doordat geen stoom meer aan de slibdroging geleverd hoeft te worden. Door op dezelfde wijze als in alternatief 5 de inzet van aardgas in mindering te brengen op de elektriciteitsproductie wordt echter het totaal exergetisch rendement vrijwel 0.

ALTERNATIEF 7E

Om toch droging en verbranding fysiek te kunnen scheiden kan de inzet van aardgas geminimaliseerd worden door toepassing van damprecompressie. In deze variant wordt aardgas ingezet om het slib voor te verwarmen. Het eigenlijke drogen wordt gerealiseerd met damprecompressie.



Ook in dit alternatief zal de elektriciteitsproductie toenemen doordat geen stoom meer aan de slibdroging geleverd hoeft te worden. Voor de damprecompressie is echter wel elektriciteit nodig. Bovendien is dient de beperkte inzet van aardgas nog in mindering gebracht te worden op de elektriciteitsproductie.

CONCLUSIES MEESTOOK

Op basis van resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

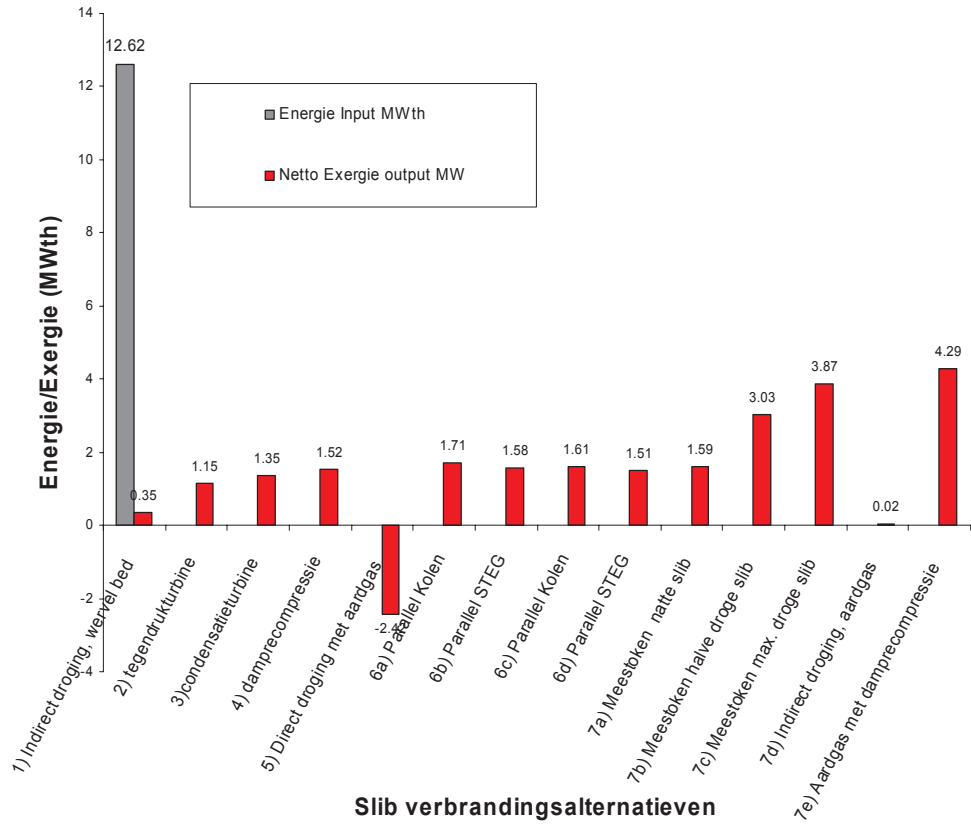
- Meestoken van slib in een kolencentrale leidt tot een verdere daling van de exergie verliezen in de ketel.
- Extern drogen van het slib met laagwaardige warmte leidt tot een aanzienlijke afname van de exergie verliezen in de ketel.
- Drogen van het slib met aardgas is exergetisch ongunstig. Het nadelige effect van drogen met aardgas kan grotendeels worden ondervangen door toepassing van damprecompressie.

TABEL 5 OVERZICHT VAN EXERGIEVERLIEZEN EN FUNCTIONELE RENDEMENTEN VAN DE MEESTOOK ALTERNATIEVEN

Alt.	Exergie inlaat	Verlies droger	Verlies ketel	Verlies Stoomcyclus	Aardgas correctie	Exergie uit (stoom+E)	Functionele rendement
	MW	MW	MW	MW	MW	MW	%
7a	12,6	0,0	11,0	0,0	N/A	1,6	13%
7b	12,6	1,0	8,5	0,0	N/A	3,0	24%
7c	12,6	2,0	6,7	0,0	N/A	3,9	31%
7d	12,6			0,0	5,0	0,02	0,2%
7e	12,6			0,0	0,5	4,3	34%

Onderstaand figuur geeft een overzicht van de exergie output van de bestudeerde alternatieven bij een gelijke exergie input.

FIGUUR 4.13 NETTO EXERGIE PRODUCTIE VAN DE BESTUDEERDE ALTERNATIEVEN



5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit de exergie-analyse kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De grootste exergieverliezen treden op in de ketel. Deze kunnen worden beperkt door hoogwaardiger stoom te produceren en middels een stoomturbine elektriciteit op te wekken (alternatieven 2, 3 en 4). Ook een verdere droging van het slib met laagwaardige stoom heeft een afname van de exergieverliezen in de ketel tot gevolg. In de alternatieven 7a, 7b en 7c is dat zichtbaar gemaakt voor een kolenketel, voor de wervelbedverbrander geldt hetzelfde. Hoewel de exergieverliezen in de droging toenemen worden deze meer dan gecompenseerd door de afname van verliezen in de ketel. De alternatieven 1 t/m 6 kunnen door verdere droging van het slib worden geoptimaliseerd.
2. De tweede oorzaak van exergieverliezen is de slibdroging. De meest ongunstige wijze van drogen is met behulp van aardgas. De droging kan worden verbeterd door toepassing van laagwaardige stoom voor drogen (alternatief 2 t.o.v. 1) en damprecompressie (alternatieven 3 en 4). Met gebruik van damprecompressie kunnen met name de alternatieven 7b en 7c nog verder geoptimaliseerd worden. Dit heeft tot gevolg dat met alternatief 7c in potentie het hoogste exergetisch rendement kan worden bereikt. Damprecompressie leidt echter wel tot een geringe toename van exergieverliezen in de ketel en stoomcyclus.
3. De derde oorzaak van exergieverliezen is de stoomcyclus. De exergieverliezen kunnen worden verminderd door, middels parallelle verbranding, gebruik te maken van de efficiëntere stoomcyclus van grootschalige elektriciteitscentrales (alternatief 6).
4. Ten slotte kunnen de exergieverliezen in de ketel verder worden verminderd door het slib direct in de ketel van een kolencentrale te verbranden (alternatief 7). Hierbij worden de exergieverliezen maximaal beperkt als het slib allereerst met laagwaardige warmte maximaal wordt gedroogd.

Ten aanzien van de conclusies kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

1. De beperking van exergieverliezen in de droging kunnen worden gecombineerd met parallelle verbranding en meestook waardoor het exergetisch rendement van deze alternatieven verder toeneemt.
2. Het alternatief van parallelle verbranding (6) is berekend met stoomcondities van respectievelijk 180bar/540°C en 95bar/510°C. Vanwege corrosie kan er voor worden gekozen om de temperatuur te verlagen en de stoom vóór de superheaters van de kolen- of gascentrale in te koppelen. Dit leidt tot een geringe verlaging van het exergetisch rendement.
3. Een deel van de hogere elektriciteitsproductie bij het alternatief van meestook (7) wordt veroorzaakt door de lagere rookgastemperatuur bij de kolencentrale (circa 100 °C) in vergelijking tot de stand-alone en parallelle verbranding alternatieven (180 °C).
4. Een voordeel van meestoken zou kunnen zijn dat de slibdroging en kolencentrale niet fysiek naast elkaar hoeven te liggen. Dit in tegenstelling tot parallelle verbranding.
5. Een nadeel van meestoken is dat door vervuiling als gevolg van slibverbranding het as van de kolencentrale minder geschikt kan worden voor hergebruik. Tevens is een nadeel dat bij de kolencentrale minder rookgasreiniging plaats vindt dan bij stand alone slib verbranding.

BIJLAGE 1

OVERZICHT EXERGIE ANALYSE

SLIBVERWERKINGSALTERNATIEVEN

TOTALE SYSTEEM EXERGIE BALANS

Type model	Energie Input	Elektriciteit Productie	Exergie Export Stoom	Exergie Import Stoom	Functionele Exergetische rendement	Exergie- verlies	Netto Exergie output
	MW _{th}	MW _e	MW _{th}		%		MW
1) Indirect droging, wervel bed	12,62	-0,07	0,42	0,00	3,3%	12,27	0,35
2) Indirect droging, wervel bed + tegendrukturbine	12,62	1,09	0,06	0,00	9,1%	11,47	1,15
3) Indirect droging, wervelbed + condensatieturbine	12,62	1,35	0,00	0,00	10,7%	11,27	1,35
4) Indirect droging, wervelbed + dampcompressie	12,62	1,52	0,00	0,00	12,0%	11,10	1,52
5) Direct drogen met aardgas	12,62	-2,42	0,00	0,00	-19,2%	15,04	-2,42
6a) Parallel verbranding Kolen (180bar 540C)	12,62	-0,11	3,31	1,48	14,3%	10,91	1,71
6b) Parallel verbranding Steg (95bar 510C)	12,62	-0,09	3,13	1,47	13,1%	11,05	1,58
6c) Parallel verbranding Kolen (180bar 540C)	12,62	1,61	0,00	0,00	12,7%	11,02	1,61
6d) Parallel verbranding Steg (95bar 510C)	12,62	1,51	0,00	0,00	12,0%	11,11	1,51
7a) Meestoken natte slib	12,62	1,59	0,00	0,00	12,6%	11,03	1,59
7b) Meestoken half droge slib	12,62	3,03	0,00	0,00	24,0%	9,59	3,03
7c) Meestoken max. droge slib	12,62	3,87	0,00	0,00	30,7%	8,75	3,87
7d) Meestoken met aardgas drogen	12,62	0,02	0,00	0,00	0,2%	12,60	0,02
7e) Meestoken met aardgas drogen en dampcompressie	12,62	4,29	0,00	0,00	34,0%	8,33	4,29

BIJLAGE VIII

VALIDATIE VAN HET REKENMODEL

VALIDATIE VAN HET REKENMODEL

ALGEMEEN

Bij de ontwikkeling en toepassing van het rekenmodel werd als belangrijkste probleem voorzien dat het aantal door te rekenen varianten kon escaleren. Om hier sturing aan te kunnen geven is eerst één slibketenscenario geheel uitgewerkt, alvorens is overgegaan tot de uitwerking van de overige scenario's.

Voor dit scenario is uitgegaan van de waterzuiverings- en slibverwerkingsroute waarlangs de meeste slibdrogestof in Nederland wordt verwerkt. Daarbij is niet alleen een systeem, maar ook een schaalgrootte gekozen.

Nadat het rekenmodel voor dit scenario gereed was heeft validatie van het model plaatsgevonden.

WATER- EN SLIBLIJN

Voor de waterlijn is uitgegaan van een systeem bestaande uit:

- een voorbezinking;
- biologische fosfaatverwijdering (met aanvullende dosering);
- stikstofverwijdering in een voordennitrificatieruimte;
- een gecombineerde nitrificatie / denitrificatieruimte.

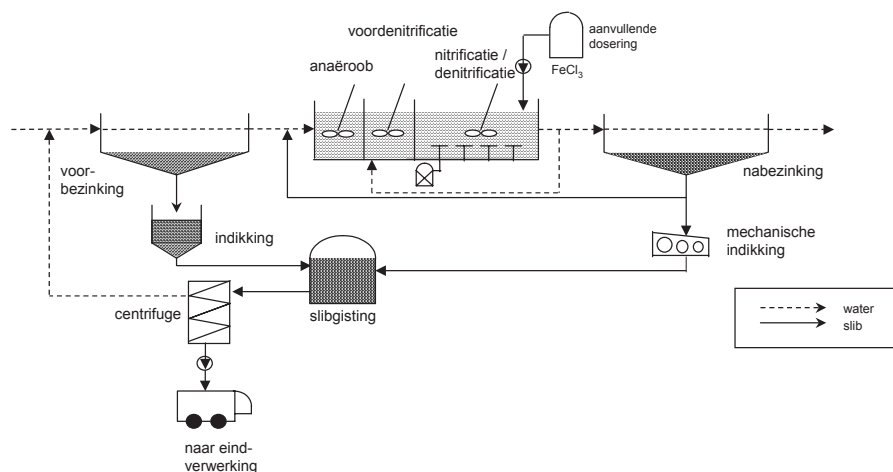
De configuratie van de RWZI is schematisch weergegeven in figuur VIII.1.

Het geproduceerde slib wordt afgescheiden in een nabezinking en het effluent wordt geloosd op oppervlaktewater. De sliblijn bestaat uit:

- een gravitaire indikking voor het primaire slib;
- een mechanische indikking voor het secundaire slib;
- vergisting van beide soorten slib;
- ontwatering in een centrifuge;
- afvoer van het slib per as.

Voor de schaalgrootte wordt uitgegaan van een ontwerpcapaciteit van 100.000 i.e. à 136 g TZV. Deze schaalgrootte wordt op basis van de milieustatistieken van het CBS beschouwd als een redelijk gemiddelde voor de Nederlandse situatie.

FIGUUR VIII.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN RWZI OP BASIS VAN HET VALIDATIESCENARIO VOOR 100.000 I.E.



SLIBVERWERKINGSLIJN

Voor de slibeindverwerking is uitgegaan van een zelfstandige slibverbrandingsinstallatie waarin mechanisch ontwaterd slib wordt vóórgedroogd tot een drogestofgehalte van 35-40% en vervolgens verbrand in een wervelbedoven.

De daarbij vrijkomende warmte wordt teruggewonnen door voorverwarming van de verbrandingslucht en door stroomproductie in een ketelinstallatie. Deze opzet wordt als validatiescenario gekozen op grond van de volgende overwegingen:

- op deze wijze wordt momenteel circa de helft van het Nederlandse zuiveringsslib verwerkt (de installaties te Dordrecht en Moerdijk);
- het betreft een verwerkingsketen die als “zelfstandig” kan worden gekenmerkt. Alle voor de energetische beoordeling relevante processtappen vinden aaneengesloten, binnen de eigen installatie plaats.

Voor de schaalgrootte wordt uitgegaan van een in de praktijk bewezen economische schaalgrootte van 100.000 ton slibdrogestof per jaar met een beschikbaarheid van 85% of 7.500 uur per jaar.

UITWERKING VOORBEELD TER VALIDATIE VAN HET MODEL VOOR DE WATER EN SLIBLIJN

De resultaten van het model zijn vergeleken met de resultaten van een ‘echte’ RWZI. Hiertoe zijn praktijkgegevens en -resultaten van de RWZI Nieuwgraaf vergeleken met de invoergegevens en berekeningsresultaten zoals ze door het model worden gegenereerd.

Een belangrijk verschil tussen de modeluitkomsten en de ‘werkelijkheid’ is de slibproductie, en wel vooral de productie van secundair slib.

De verschillen tussen berekende en gemeten getallen zijn dermate groot, dat deze alleen door het toepassen van correctiefactoren met elkaar in overeenstemming gebracht kunnen worden. De bij RWZI Nieuwgraaf gebruikte correctiefactor bedraagt 1,1 voor de productie van primair slib en 1,3 voor secundair slib.

De correctiefactor voor primair slib is nog wel te begrijpen uit het feit dat bij regenwateraanvoer de vrachten aanzienlijk toe kunnen nemen. De correctie voor de productie van secundair slib is moeilijker aan te duiden.

Een samenvatting is gegeven in tabel VIII.2.

TABEL VIII.2 VERGELIJKING TUSSEN MODEL- EN PRAKTIJKGEGEVENS

parameter			feitelijk	Δ %	commentaar
influent					
debieten					
DWA	m ³ /d	3.508			
RWA	m ³ /h	15.500			
totale aanvoer	m ³ /d	66.626			
concentraties					
CZV	mg/l	403			
BZV	mg/l	148			
Nkj	mg/l	37			
Nitraat	mg/l	0			
Pt	mg/l	6			
OB	mg/l	181			
installatie					
voorbezinking	-	aanwezig			
aantal	-	5	3		
diameter	m	39.70	45		
P-verwijdering	-	Phoredox			
biologie	conventioneel				
aantal straten	-	1	2		
slibgehalte	g/l	3.60	3,6		
SVI	ml/g	120	120		
totaalvolume					
voor bio-P	m ³	7.086	6.750	5	
voornitrificatie	m ³	15.650			
voor denitrificatie	m ³	15.310			
totaal	m ³	38.046	51.060	-25	De RWZI is gebouwd voor een andere ontwerpbelasting
slibgisting		aanwezig			
verblijftijd	d	25			
temperatuur	°C	35			
aantal tanks	-	2	2		
volume tanks	m ³	3.700	3.260	14	

TABEL VIII.2 (VERVOLG)

parameter			feitelijk	Δ %	commentaar
effluent					
concentraties					
CZV	mg/l	30	25	20	Verschillen zijn niet zo heel groot . Effluentgehalten worden meer gesteld dan berekend.
BZV	mg/l	3	2	50	
totaal N	mg/l	10	11	-9	
totaal P	mg/l	1.0	1.4	-29	
zwevende stof	mg/l	6	3	100	
vrachten					
CZV	kg/d	1.999	1.662	20	
BZV	kg/d	200	139	44	
totaal N	kg/d	666	719	-7	
totaal P	kg/d	67	97	-31	
zwevende stof	kg/d	400	215	86	
slibproductie					
droge stof totaal	kg/d	9.683	10.862	-11	Verschil kan alleen met correctiefactoren in overeenstemming worden gebracht
organische stof	kg/d	5.309	6.626	-20	
chemisch slib	kg/d	615			
asgehalte	%	45	39	16	
verbruik chemicaliën					
FeCl ₃	kg/d	154	150	3	
PE	kg/d	109	175	-38	
verbruik energie					
biologie	kW	408.9	213	92	Oorzaak van verschil is onduidelijk. In model is energie voor menging en voorstuwing opgenomen
totaal	kW	546.5	758	-28	
productie energie					
productie biogas	m ³ /d	4.360	5.078	-14	Gevolg van verschil in slibproductie
gistingsgas	kW	367			
kosten					
bedrijfsvoering					
onderhoud	€/j	1.163.000			
energie	€/j	370.000			
energie uit gas	€/j	-273.000			
chemicaliën					
methanol	€/j	0			
FeCl ₃	€/j	43.000			
overige	€/j	234.000			
Rijksheffing	€/j	800.000	346.450	131	Dit verschil is het gevolg van de schatting van het effluent
subtotaal	€/j	4.693.000			
TOTAAL	€/j	11.568.000			

Aan de hand van de gegevens van de RWZI Nieuwgraaf kan slechts worden opgemerkt dat de gegevens voor zover bekend de uitkomsten van het model niet weerspreken. Vanzelfsprekend is er op sommige plaatsen enige afwijking, maar deze is niet verontrustend, zodat de uitkomsten voor verdere studie bruikbaar zijn.

VALIDATIE VAN HET SLIBEINDVERWERKINGSMODEL

De verschillende technieken van de slibeindverwerking zijn eveneens vergeleken met praktijkgegevens van de volgende installaties:

- biologisch drogen met gegevens van de installaties in Tiel en Zutphen;
- thermisch drogen met de gegevens van de installaties in Limburg;
- verbranding met de installatie van SNB;
- natte oxidatie met de inmiddels buiten bedrijf gestelde installatie van Vartech.

Dit heeft geleid tot enige bijstelling van het rekenmodel, met name ten aanzien van de geraamde investerings- en exploitatiekosten.

BIJLAGE IX

INVENTARISATIE OVERIGE MILIEUASPECTEN

INVENTARISATIE OVERIGE MILIEUASPECTEN

INLEIDING

In deze bijlage is per slibeindverwerking zoveel mogelijk een kwantitatieve indicatie gegeven van de overige milieuaspecten aan de hand van meetresultaten afkomstig van bestaande installaties in Nederland.

De volgende milieuaspecten zijn in beschouwing genomen:

- lucht;
- geur;
- geluid;
- water;
- bodem en grondwater;
- reststoffen;
- hulpstoffen;
- ruimtegebruik.

VERBRANDING

Inleiding

De in dit hoofdstuk vermelde gegevens zijn grotendeels ontleend aan het milieujaarverslag 2003 van de N.V. Slibverwerking Noord-Brabant (SNB).

De installatie van SNB beschikt over vier verbrandingslijnen. In het jaar 2003 is een hoeveelheid van 384.200 ton slibkoek verwerkt met een gemiddeld drogestofgehalte van 22,9%, overeenkomend met 87.910 ton d.s.

Lucht

De rookgasemissies bij de verbranding van zuiveringsslib zijn weergegeven in tabel IX.1.

TABEL IX.1 ROOKGASEMISSIES VAN SNB

Component in rookgasemissie	Eenheid	Gemiddeld in 2003 ¹⁾	Eenheid	Vracht in 2003
Totaal stof	mg/Nm ³	1,2	kg	792
Gasvormige anorganische chloriden (als HCl)	mg/Nm ³	0,9	kg	613
Gasvormige anorganische fluoriden (als HF)	mg/Nm ³	<0,1	kg	68
CO	mg/Nm ³	6,8	kg	4.617
Gasvormige organische verbindingen (als C)	mg/Nm ³	1,1	kg	778
SO _x (als SO ₂)	mg/Nm ³	3,5	kg	-
NO _x (als NO ₂)	mg/Nm ³	51	kg	-
Zware metalen (som Sb, Pb, Cr, Cu, Mn, V, Sn, As, Co, Ni, Se, Te)	mg/Nm ³	<0,3	kg	0
Cd	ug/Nm ³	< 5	kg	0
Hg	ug/Nm ³	< 5	kg	3,4
PCDD's en PCDF's (nanogram TEQ/Nm ³)	mg/Nm ³	<0,017	kg	0

1) bij 0°C, 1013 mbar, 11% O₂.

Het droge rookgasdebiet bedroeg 680.500.000 Nm³ in 2003.

Geur

In onderstaande tabel IX.2 zijn de specifieke geurbronnen opgenomen met de gemeten waarden ten tijde van de garantiemeting met drie lijnen in bedrijf.

TABEL IX.2

GEMETEN GEUREMISSIES

Bron	Gemeten geuremissie
Biofilter	361.10 ⁶ g.e./h
Dakventilatie	164.10 ⁶ g.e./h
Schoorsteen	216.10 ⁶ g.e./h
Waterbehandelingsgebouw	6,5.10 ⁶ g.e./h

De 95-percentiel 1 ge/m³ geurimmissiecontour, die met het LFTD-verspreidingsmodel is berekend, ligt op 750 tot 1.000 m van het centrum van de inrichting.

Geluid

De 50 dB(A)-etmaalwaarde-geluidcontour ten gevolge van de SVI met drie lijnen in bedrijf ligt op 250 tot 400 m afstand van het centrum van de inrichting. Het nagalmniveau in het slibgebouw bedraagt maximaal 86 dB(A).

Water

In tabel IX.3 is de gemeten samenstelling opgenomen van het op riolering geloosde afvalwater afkomstig van het proces.

TABEL IX.3

EMISSIEWAARDEN AFVALWATERLOZING

Component	Eenheid	Gemiddeld in 2003
Debiet	m ³ /dag	559
CZV	mg/l	1.716
NH ₄ ⁺ -N	mg/l	137
as/stof	mg/l	35,5
Hg	ug/l	1,4
Cu	ug/l	3
Cd	ug/l	0
Pb	ug/l	0
Ni	ug/l	10
As	ug/l	1,4
Zn	ug/l	41
Cr	ug/l	9
SO ₄ ²⁻	mg/l	63
Cl ⁻	mg/l	1.351
F ⁻	mg/l	<0,16
Ca	mg/l	15
Temperatuur	°C	
pH		8,6

Bodem en grondwater

Behalve de aanvoer van slib en hulpstoffen en de afvoer van asrest, vinden vrijwel alle bedrijfsactiviteiten inpandig plaats. De vloer van de bedrijfshal is vloeistofkerend en voorzien van een deugdelijk afwateringssysteem voor schrob- en spoelwater. Het buitenterrein is voorzien van een vloeistofkerende asfaltverharding, inclusief een deugdelijk terreinafwateringssysteem.

Reststoffen

In tabel IX.4 is een overzicht gegeven van de geproduceerde reststoffen bij SNB in 2003. Er is in totaal 37.020 ton aan niet gevaarlijk afval geproduceerd en 2.895 ton aan gevaarlijk afval. Daarvan is circa 96% nuttig toegepast als vulstof in asfalt, als “versatzbau” in de Duitse mijnen en als grondstof voor het product “hydrostab”.

TABEL IX.4 OVERZICHT GEPRODUCEERDE RESTSTOFFEN IN 2003

Rest-/afvalstof	Gewicht in ton
Verbrandingsas	35.651
Bedzand	1.321
Overig	48
Subtotaal	37.020
Beladen adsorbens (kalkhydraat/actief kool)	1.051
Indampresidu (zout)	1.451
Ammoniakwater	294
Overig GA	99
Subtotaal	2.895

De gemiddelde samenstelling van de verbrandingsas is weergegeven in onderstaande tabel IX.5.

TABEL IX.5 KWALITEIT ASREST

Component	Eenheid	Gemiddelde waarde
Droge stof	%	99,5
Gloeirest	%	0,1
As	mg/kg d.s.	<18
Cd	mg/kg d.s.	3,2
Cr	mg/kg d.s.	106
Cu	mg/kg d.s.	984
Hg	mg/kg d.s.	0,09
Pb	mg/kg d.s.	205
Ni	mg/kg d.s.	57
Zn	mg/kg d.s.	2.439
Sb	mg/kg d.s.	7,9
Be	mg/kg d.s.	<6
Co	mg/kg d.s.	<18
Te	mg/kg d.s.	<14
Tl	mg/kg d.s.	<7
Sn	mg/kg d.s.	<19
Mn	mg/kg d.s.	2.933
Se	mg/kg d.s.	<9
V	mg/kg d.s.	42
Mo	mg/kg d.s.	21
W	mg/kg d.s.	<33

Hulpstoffen

Naast een elektriciteitsverbruik van 29.340.813 kWh en een aardgasverbruik van 1.030.820 m³ bij een doorzet van 87.910 ton d.s., zijn de volgende hulpstoffen gebruikt:

- Kalksteen: 7.349 ton;
- Natronloog (50%): 2.829 ton;
- Zoutzuur (30%): 893 ton;
- Adsorbens: 1.000 ton;
- Drinkwater: 1.987 m³;
- Industriewater: 94.276 m³;
- Koelwater: 337.000 m³.

Het verbruik aan adsorbens en TMT-15 is nagenoeg verwaarloosbaar.

Ruimtegebruik

Het ruimtegebruik is geraamd op 0,45 m²/ton d.s.

THERMISCHE DROGING*Inleiding*

De in dit hoofdstuk vermelde gegevens zijn grotendeels ontleend aan de gecombineerde aanvraag voor een Wm- en Wvo-vergunning voor een thermische slibdrooginstallatie te Garmerwolde, opgesteld door Swiss Combi Technology.

De installatie van Swiss Combi Technology in Garmerwolde beschikt over twee thermische drooglijnen, met een gemiddelde verdampingscapaciteit van 8 ton water per uur, overeenkomend met een doorzet van 2,9 ton d.s./uur.

Lucht

De thermische slibdrooginstallatie van Swiss Combi voldoet niet aan de eisen voor een stookinstallatie op grond van het BEES. Het zuurstofgehalte in de rookgassen is eveneens aanmerkelijk hoger dan normaal bij verbranding van aardgas in een stookinstallatie. Dit wordt veroorzaakt doordat de aardgasbranders verbrandingslucht krijgen aangeboden bestaande uit de niet gecondenseerde droogdampen afkomstig uit de condensor en de gefiltreerde lucht afkomstig van het aspiratiefilter. Het meeverbranden van de droogdampen zorgt er voor dat het grootste deel van de geurcomponenten wordt vernietigd, maar veroorzaakt ook hogere concentraties NO_x en SO₂ in de rookgassen in vergelijking met normale stookinstallaties. Het aspiratiefilter filtreert de lucht die aan diverse onderdelen van de installatie wordt onttrokken om een onderdruk te garanderen. Hele fijne stofdeeltjes die niet door de doeken worden afgevangen kunnen langs deze weg in de verbrandingskamer terecht komen.

Gemiddelde waarden voor de emissies via de rookgassen zijn opgenomen in onderstaande tabel IX.6.

TABEL IX.6

EMISSIES VIA DE ROOKGASSEN

Component	Gemiddelde emissie in mg/Nm ³ bij 14% O ₂
CO	100
VOS	20
Stof	10
Hg	0,1
Cd	0,1
HCl	20
HF	5
SO ₂	50
NO _x	150
NH ₃	10

Het rookgasdebiet bedraagt circa 8.400 m³/ton d.s., afhankelijk van het vochtgehalte van het aangeboden slib.

Geur

De volgende specifieke geurbronnen kunnen worden onderscheiden:

- de emissie tijdens het lossen van het slib in de ontvangtbunker;
- de emissie van de verdringingslucht uit de slibsilos;
- de emissie vanuit de schoorsteen met een hoogte van ruim 20 m.

De totale geuremissie is naar schatting circa 60*10⁶ ge/h per drooglijn.

Ervaring heeft uitgewezen dat het vernietigen van de geurcomponenten, afkomstig uit de condensor en het aspiratiefilter, in de verbrandingskamer van de aardgasbranders zeer effectief is. De emissie via de verdringingslucht uit de slibsilos is gering, daar de hoeveelheid geëmitteerde lucht eveneens gering is (circa 5 m³/jaar/ton d.s.). De emissie vanuit de ontvangtbunker wordt tegen gegaan door afsluiting van de bunker met een klep.

Geluid

Geluidsmetingen tijdens vol bedrijf hebben uitgewezen dat het geluidsniveau in de bedrijfshal van de installatie lager is dan 80 dB(A). Behalve de aanvoer van slib en de afvoer van gedroogd slibgranulaat, vinden vrijwel alle bedrijfsactiviteiten in pandig plaats (met gesloten deuren). Hiermee kan de installatie over het algemeen op een (gezoneerd) industrieterrein worden geplaatst en speelt het milieuaspect geluid een ondergeschikte rol.

Water

De droogdampen afkomstig uit de drogingskringloop worden met behulp van water (dit kan effluent zijn van een naastgelegen RWZI) gecondenseerd in de condensor. De hoeveelheid water bedraagt circa 25 m³/ton d.s. De samenstelling van het condenswater is weergegeven in tabel IX.7.

TABEL IX.7

SAMENSTELLING CONDENZAAT AFKOMSTIG VAN DE CONDENSER

Parameter	Waarde	Eenheid
Debiet per ton d.s.	25	m ³ /ton d.s.
CZV-gehalte	572	mg/l
BZV-gehalte	399	mg/l
Kj-N gehalte	100	mg/l
Totaal P gehalte	0,3	mg/l

Het afvalwater leent zich voor een eventuele vóórbehandeling in een MBR, waarna het effluent wordt gekoeld en weer wordt hergebruikt. Slechts een geringe hoeveelheid afvalwater wordt dan nog geloosd op de riolering.

Bodem en grondwater

Behalve de aanvoer van slib en de afvoer van gedroogd slibgranulaat, vinden vrijwel alle bedrijfsactiviteiten in pandig plaats (met gesloten deuren). De vloer van de bedrijfshal is vloeistofkerend en voorzien van een deugdelijk afwateringssysteem voor schrob- en spoelwater. Het buitenterrein wordt voorzien van een vloeistofkerende asfaltverharding, inclusief een deugdelijk terreinafwateringssysteem.

Reststoffen

De reststoffen van de verwerkingsmethode bestaan uit gedroogd slibgranulaat dat als secundaire brandstof kan worden afgezet in de cementindustrie of de kolengestookte elektriciteitscentrale. De samenstelling komt overeen met de samenstelling van het natte zuiveringsslib, maar met een droge stofgehalte van circa 92%.

Indien het gedroogde zuiveringsslib als secundaire brandstof wordt afgezet in de cementindustrie, dan zal de cementoven een deel van de verontreiniging in het zuiveringsslib naar de lucht emitteren. Tegelijkertijd worden emissies vermeden als gevolg van de vermeden inzet van kolen. In tabel IX.8 is een overzicht van de emissies gegeven.

TABEL IX.8 EMISSIES NAAR DE LUCHT VOOR HET MEESTOKEN VAN GEDROOGD ZUIVERINGSSLIB IN EEN CEMENTOVEN

Component	Eenheid	Emissies naar lucht	
		per ton gedroogd zuiveringsslib	Vermeden emissies per ton gedroogd zuiveringsslib
Stof	g/ton	29,54	29,73
CO	g/ton	491,40	491,40
NO _x	g/ton	1.572,48	1.572,48
C _x H _y	g/ton	131,04	131,04
SO ₂	g/ton	180,00	237,62
HCL	g/ton	2,62	2,20
HF	g/ton	0,26	0,18
As	mg/ton	1,50	0,39
Cd	mg/ton	2,50	1,13
Cr	mg/ton	4,37	5,79
Cu	mg/ton	49,90	5,11
Hg	mg/ton	20,96	9,61
Ni	mg/ton	3,74	8,52
Pb	mg/ton	21,83	6,47
Zn	mg/ton	112,28	25,48
PCDD/F	ug/ton	0,098	0,098

1) gegevens afkomstig uit het MER-LAP, achtergronddocument A27.

Hulpstoffen

Buiten aardgas en elektriciteit worden geen bijzondere hulpstoffen gebruikt buiten de normale hulpstoffen die voor het onderhoud van de installatie nodig zijn.

Ruimtegebruik

Het ruimtegebruik is geraamd op 0,3 m²/ton d.s.

COMPOSTERING

Inleiding

De in dit hoofdstuk vermelde gegevens zijn grotendeels ontleend aan het milieueffect-rapport voor de slibverwerkingsinstallatie te Zutphen, opgesteld door Midden Betuwe Slibverwerking.

De installatie van Midden Betuwe Slibverwerking te Zutphen heeft een slibverwerkingscapaciteit van circa 100.000 ton mechanisch ontwaterd zuiveringsslib per jaar, overeenkomend met een doorzet van circa 10 ton d.s./uur.

Lucht

De relevante emissies naar lucht beperken zich in het algemeen tot ammoniak en stof. De ammoniakconcentratie in de proceslucht heeft een concentratie van maximaal 500 ppm NH₃. De concentratie wordt teruggebracht tot maximaal 50 ppm in de gaswasser voorafgaand aan het biofilter. De ammoniak wordt als opgeloste ammoniumstikstof vrijwel volledig afgevoerd met het waswater. Het resterende deel van de ammoniak wordt in het biofilter en het lavafilter afgevangen en via het perkolaat afgevoerd.

Stof komt vrij bij de material handling na afloop van het composteerproces, zoals bij het zeefproces. Het machinepark wordt zoveel mogelijk in een apart compartiment opgesteld.

Geur

De proceslucht welke vrijkomt bij de tunnelcompostering, alsmede de afzuiging van de bedrijfshal, wordt met behulp van ventilatoren naar een gaswasser geleid. Hier wordt de proceslucht gekoeld en wordt de ammoniak uitgewassen met behulp van effluent afkomstig van de naastgelegen RWZI. Het waswater wordt teruggeleid naar de RWZI. De proceslucht wordt nabehandeld in een biofilter, een lavafilter en vervolgens via een schoorsteen op circa 80 m boven maaiveld geëmitteerd.

De resultaten van diverse geurmetingen lopen sterk uiteen, maar gemiddeld genomen ligt de orde grootte van de geuremissie op 250×10^6 ge/h (30.000 m³/h, 8.500 g.e./m³).

Geluid

Het merendeel van de geluidsbronnen bevindt zich in de composteringshal. Ook het merendeel van de interne transportbewegingen speelt zich hier af. Uit akoestische modelberekeningen blijkt dan ook dat de grootste bijdrage aan de geluidemissie wordt geleverd via het dak van de hallen als gevolg van de in pandige bronnen. Het bestemmingsverkeer levert slechts een beperkte bijdrage aan de emissie. De 50 dB(A) contour ligt op 100 tot 200 m afstand van de bedrijfshal.

Water

Bij het composteerproces komt proceswater vrij in de gaswasser waar de afgezogen lucht wordt gekoeld en het vocht condenseert. Voor de koeling van het waswater kan gebruik worden gemaakt van een koeltoren, maar bij de composteerinrichtingen in Nederland wordt gebruik gemaakt van effluent van de naastgelegen RWZI. Hiermee neemt de hoeveelheid afvalwater toe, maar blijft de vracht aan CZV en Kj-N gelijk.

TABEL IX.8

ANALYSERESULTATEN RELEVANTE PARAMETERS PROCESAFVALWATER COMPOSTERINGSINSTALLATIE

Parameters	Eenheid	Proceswater/condensaat gaswasser
Debiet	m ³ /dag	5.000
BZV	mg/l	7
CZV	mg/l	64
Kj-N	mg N/l	140
Tot-P	mg P/l	1,4
Chloride	mg/l	175
Zuurgraad		9,4
Bezinsel	ml/l	0,2
Onopgelost	g/l	0,02

Bodem en grondwater

Het terrein is voorzien van een bodemafdichting onder de composteringshal en de opslagruimten. De bodemafdichting bestaat uit een folie met daarop een zandpakket voorzien van drainage. Onder de folie zijn detectiedrains aangebracht. De verharding is vloeistofkerend en voorzien van een deugdelijk afwateringssysteem.

Reststoffen

De reststof van de verwerkingsmethode is 1,1 ton compost per ton verwerkte ton slib drogestof. De samenstelling is weergegeven in tabel IX.9.

TABEL IX.9

GEMIDDELDE SAMENSTELLING BIOLOGISCH GEDROOGD ZUIVERINGSSLIB

Component	Eenheid	Gemiddelde samenstelling
Droge stof %	%	58,8
Gloeirest %	%	48,0
Cd	mg/kg d.s.	2,4
Cr	mg/kg d.s.	52
Cu	mg/kg d.s.	625
Hg	mg/kg d.s.	1,8
Ni	mg/kg d.s.	30
Pb	mg/kg d.s.	193
Zn	mg/kg d.s.	1.075
As	mg/kg d.s.	6,7
Cr+Cu+Ni+Zn	mg/kg d.s.	1.782

Hulpstoffen

Buiten elektriciteit en dieselolie (voor intern transport) worden houtchips gebruikt. Deze houtchips hebben de functie om het vochtgehalte te reguleren tijdens het composteerproces, de porositeit van het te composteren slib te garanderen en een bijdrage te leveren aan de energiebalans van het biologische verdampingsproces. Verder zijn geen bijzondere hulpstoffen gebruikt buiten de normale hulpstoffen die voor het onderhoud van de installatie nodig zijn.

Ruimtegebruik

Bij het ruimte gebruik kan algemeen worden gesteld dat composteren relatief veel ruimte vergt en de benodigde ruimte vrijwel evenredig is met de verwerkingscapaciteit. Het ruimtegebruik is geraamd op 1,0 m²/ton d.s.

NATTE OXIDATIE

Inleiding

De hier vermelde gegevens zijn ontleend aan diverse publicaties over de VARTECH in Apeldoorn. Deze installatie heeft een ontwerpcapaciteit van 30.000 ton d.s./jaar. De milieueffecten van de verwerkingsmethode hebben vooral betrekking op water, geur en geluid. Daarnaast is er sprake van emissies naar de lucht en de productie van een asrest. Tenslotte worden diverse hulpstoffen gebruikt, waarbij met name wordt bedoeld op het zuurstofverbruik en het zuurverbruik bij periodiek spoelen van de reactor.

Lucht

De hoeveelheid afgas die uit de reactor vrijkomt bedraagt circa $450 \text{ Nm}^3/\text{ton}$ d.s. met een zuurstofgehalte van circa 4,3%. Vanwege de aanwezigheid van koolmonoxide wordt het afgas naverbrand, waarbij het zuurstofgehalte wordt verhoogd door bijmenging van lucht.

Het conversierendement van de naverbrander bedraagt voor CO = 98,5% en voor C_xH_y = 98,3%. In de afgassen van de naverbrander is de hoeveelheid NO_x circa 20 ppm en de hoeveelheid SO_2 circa 66 ppm.

Geur

De voornaamste geuremissies van de natte oxidatie installatie betreffen:

- het biofilter (circa 23×10^6 g.e./uur);
- de nabezinktank (circa 35×10^6 g.e./uur);
- filterpersruimte (circa 230×10^6 g.e./uur);
- naverbrander (circa 8×10^6 g.e./uur).

Door de lucht uit de filterpersruimte af te zuigen en op een hoogte van 15 m te emitteren, ligt de 1 geureenheidcontour voor het 98-percentiel op circa 600 m afstand van het centrum van de inrichting.

Geluid

De voornaamste geluidbronnen van de installatie zijn:

- de installatieonderdelen die zorgen voor de scheiding van gas en vloeistof na de reactor;
- de zuurstofinstallatie;
- de koelwaterpompen naast het reactorgebouw;
- de leidingen van het blowergebouw naar de rand van het beluchtingsbassin en naar de ringleidingen van de waterzuivering;
- de sproeimonden van de nabezinktank;
- de container handling door vrachtwagens voor het bedrijfsgebouw;
- de koeltorens, via de opening aan de bovenzijde.

Volgens metingen die tijdens bedrijf zijn uitgevoerd, ligt de 50 dB contour op 200 tot 500 m afstand buiten de terreingrens.

Water

De inrichting is voorzien van een afvalwaterzuiveringsinstallatie. Het effluent van deze voorzuivering voldoet aan de in tabel IX.10 genoemde lozingseisen.

TABEL IX.10 LOZINGEISEN UIT DE WVO-VERGUNNING

Parameter	Eenheid		Voortschrijdend gemiddelde over 6 maanden	Maximum in enig etmaal monster
CZV	mg/l	441	1.000	1.200
BZV	mg/l	3,9	20	50
Kjeldahl stikstof	mg/l	39	180	250
Organisch gebonden N	mg/l		100	130
NO ₃	mg/l	8,7	80	150
NO ₂	mg/l		2	10
Geh. onopgeloste bestanddelen	mg/l		15	40
Totaal fosfaat	mg/l		8	10

Het debiet is circa 20 m³/ton d.s.

Bodem en grondwater

In principe vindt er geen emissie van verontreinigingen naar de bodem en het grondwater plaats. Alleen in geval van calamiteiten, waarbij er lekkage zou optreden van de reactor, is dit het geval.

Er is wel een thermische emissie naar de diepe ondergrond. Dit betreft een hoeveelheid van circa 0,11 MWh/ton d.s.

Reststoffen

Bij het natte oxidatieproces komt een hoeveelheid filterkoek vrij in een hoeveelheid van 0,81 ton askoek/ton slib d.s. Er zijn geen vlokmiddelen of toeslagmaterialen nodig voor de ontwatering. De reststof wordt momenteel gestort. Analyse van de as is weergegeven in tabel IX.11.

TABEL IX.11 ANALYSERESULTATEN FILTERKOEK BIJ VERWERKING VAN ZUIVERINGSSLIB AFKOMSTIG VAN HET ZUIVERINGSSCHAP VELUWE

Parameter	Eenheid	Gemiddelde analyseresultaten van 3 monsters genomen over een periode van 3 maanden
Droge stof	%	46,7
Ruwe as	g/kg d.s.	872
CZV	g/kg d.s.	48,6
Kj-N	g/kg d.s.	10,8
Totaal-P	g/kg d.s.	64,9
As	mg/kg d.s.	11,0
Cd	mg/kg d.s.	3,9
Cr	mg/kg d.s.	133
Cu	mg/kg d.s.	706
Hg	mg/kg d.s.	2,2
Ni	mg/kg d.s.	53
Pb	mg/kg d.s.	272
Zn	mg/kg d.s.	1.980
Organische stof	g/kg d.s.	128

Hulpstoffen

Het natte oxidatieproces verbruikt zuivere zuurstof voor het verbrandingsproces in de reactor. De hoeveelheid bedraagt 600 tot 900 kg O₂/ton d.s. Dit komt overeen met 1,0 tot 1,5 kg O₂/kg CZV.

Om de gevormde scale te verwijderen wordt de reactor periodiek gewassen met een 15% salpeterzuuroplossing, aangemaakt in twee batches met een volume van ieder 100 m³. Het verbruik aan salpeterzuur (53%) bedraagt circa 100 kg/ton d.s.

Daarnaast worden nog de volgende hulpstoffen gebruikt:

- natronloog (33%) in een hoeveelheid van circa 60 kg/ton d.s.;
- gedemineraliseerd water in een hoeveelheid van 2 liter/ton d.s.;
- water in een hoeveelheid van 4 m³/ton d.s.;
- een geringe hoeveelheid natriumfosfaat (TSP);
- een geringe hoeveelheid conditioneringchemicaliën voor water.

Alle andere hulpstoffen zoals salpeterzuur en natronloog worden in het eigen proces verwerkt.

Behalve het bovengenoemde zuurstofverbruik bedraagt het energieverbruik:

- aardgas in een hoeveelheid van circa 20 Nm³/ton d.s.;
- elektriciteit in een hoeveelheid van 300 kWh/ton d.s.

Ruimtegebruik

Het ruimte verbruik voor natte oxidatie wordt voornamelijk bepaald door het oppervlak van de randvoorzieningen zoals de buffers voor nat slib, de afvalwaterzuivering en de slibontwatering. De kern van het proces neemt extreem weinig oppervlak in beslag. Het ruimtegebruik is geraamd op 0,3 m²/ton d.s.

MEEVERBRANDING IN EEN AVI

Inleiding

De gegevens zijn grotendeels ontleend aan de milieueffectrapportage voor het meestoken van zuiveringsslib in de AVI Amsterdam. De AVI Amsterdam heeft proeven op praktijkschaal uitgevoerd om mechanisch ontwaterd zuiveringsslib mee te verbranden met het huishoudelijk- en bedrijfsafval in één van de vier bestaande verbrandingslijnen. Op grond van de ervaringen en resultaten is vergunning aangevraagd om maximaal 20% aan mechanisch ontwaterd zuiveringsslib mee te verbranden, overeenkomend met 160.000 ton/jaar. Daartoe worden alle verbrandingslijnen uitgerust met een slibinjectiesysteem.

Bij het meeverbranden van zuiveringsslib in een AVI vindt vermenging plaats van milieueffecten ten gevolge van het reguliere afval en het zuiveringsslib. Tijdens het uitvoeren van de proeven op praktijkschaal is het meeverbranden van zuiveringsslib in één lijn voortdurend vergeleken met de overige drie, identieke verbrandingslijnen. Dit heeft met betrekking tot de belangrijkste milieueffecten toch een goed inzicht opgeleverd welk effect specifiek is toe te schrijven aan het zuiveringsslib.

Lucht

In tabel IX.12 zijn de emissiemetresultaten gegeven van metingen uitgevoerd in de weken 20 en 39 van 2001. Op grond van de analyseresultaten kan worden geconcludeerd dat het meestoken van zuiveringsslib weinig invloed heeft op de rookgaszijdige emissies. De emissies kunnen worden gekarakteriseerd als laag en komen overeen met het normale emissiepatroon van de AVI Amsterdam. Voor zover er wel afwijkingen zijn, zoals bij stof, vallen de waarden nog ruim binnen de vergunningeisen die gebaseerd zijn op het BLA.

In tabel IX.12 is aangegeven dat wanneer er gemiddeld 5 ton zuiveringsslib (25% d.s.) per uur wordt meegestookt, het te verwachten afgasdebiet met circa 10% toeneemt ten opzichte van het huidige afgasdebiet, maar ruim onder het ontwerpdebiet blijft. Deze theoretische inschatting wordt niet bevestigd door de meetresultaten van de emissiemeting van 17 mei 2001. Hoewel het vochtgehalte van de ruwe rookgassen zal toenemen, is de toename van de droge rookgassen in de praktijk niet gemeten. Dit betekent dat de toename van de belasting van de rookgasreiniging in de praktijk beperkt blijft.

In het algemeen zijn de gemeten emissiewaarden van verbrandingslijn 23 van een vergelijkbaar niveau ten opzichte van de overige drie verbrandingslijnen. De verwerking van zuiveringsslib leidt in de praktijk niet tot een meetbare invloed op de rookgaszijdige emissies. De dimensionering van de rookgasreiniging is voldoende om deze toename van de belasting op te vangen, niet alleen mechanisch (ventilatorcapaciteit etc.) maar ook qua reinigingseffect.

TABEL IX.12 RESULTATEN EMISSIEMETINGEN BIJ EEN DOORZET VAN CIRCA 25 TON/UUR AAN REGULIER AFVAL EN 6,5 TON/UUR ZUIVERINGSSLIB

Component	Eenheid	Gemiddelde zonder meestook slib	Gemiddelde met meestook slib
O ₂	vol. %	9,6	8,9
T	°C	63,4	65,3
Debiet	kNm ³ /uur	130,8	123,2
HF	mg/Nm ³	<0,03	0,03
HCl	mg/Nm ³	0,18	0,49
SO ₂	mg/Nm ³	7,5	4,5
NO _x	mg/Nm ³	67	65
NH ₃	mg/Nm ³	0,20	0,17
CO	mg/Nm ³	6,8	8,5
C _x H _y	mg/Nm ³	0,3	0,5
PCDD/F	ng TEQ/Nm ³	0,078	0,050
CO ₂	vol. %	10,0	10,6
Stof	mg/Nm ³	0,65	1,63
Cd	ug/Nm ³	0,42	1,52
Hg	ug/Nm ³	18,88	21,07
Zw. metalen	ug/Nm ³	20,96	61,55

Geur

Het meestoken van zuiveringsslib veroorzaakt geen relevante geuremissies. De aanvoer van het slib vindt per vrachtwagen plaats. Het slib wordt gelost in de ontvangsthal. De ontvangsthal en de ruimte waar de ontvangstbunkers en slibpompen zich bevinden wordt afgezogen ten behoeve van de primaire luchttoevoer van de verbrandingsinstallatie. In de ovens worden de geurcomponenten vernietigd. Tenslotte worden de afgassen via een schoorsteen geëmitteerd, zodat er bovendien nog een verdunning plaatsvindt.

De opslagbunkers voor het zuiveringsslib kunnen weliswaar buiten de bedrijfshal zijn opgesteld, maar worden gesloten uitgevoerd zodat er geen geur vrijkomt.

Geluid

Het transport van zuiveringsslib naar de AVI gaat gepaard met geluidemissies als gevolg van transportbewegingen. Verder zal er geluid worden geproduceerd bij het lossen van de vrachtwagens. In het gebouw zijn geluidbronnen aanwezig zoals slibpompen en bijbehorende hydrauliekunits, die nodig zijn voor het interne slibtransport van de ontvangstbunker naar de oven. Daar het aantal vrachten met zuiveringsslib slechts een beperkt aandeel uitmaakt van het totale aantal vrachten met afval dat bij de AVI ter verwerking wordt aangeboden, laten modelberekeningen zien dat het meestoken van zuiveringsslib geen aantoonbaar effect heeft op de geluiduitstraling van de totale inrichting.

Water

Lozen van afvalwater vindt uitsluitend plaats bij oudere AVI's zoals AVIRA, Roteb en Gevudo en bij de AVI's die relatief dicht bij zee zijn gesitueerd (AVR en AZN). De overige AVI's zijn genoodzaakt in te dampen, omdat lozing van procesafvalwater niet wordt toegestaan. Deze AVI's zijn allemaal voorzien van sproeidrogers. De hoeveelheden spuiwater uit de wassers, de rookgasonderkoeling etc. zijn zodanig op elkaar afgestemd dat de totale rookgasreiniging zonder het lozen van afvalwater kan plaatsvinden en ook geen suppletiewater nodig is.

Hoewel het vochtgehalte van de afvalmix door bijmenging van zuiveringsslib toeneemt, zal ook deze vochttoename uiteindelijk via de schoorsteen verdampen. Dit betekent dat de afgas-temperatuur mogelijk enkele graden stijgt.

Bodem en grondwater

Het meestoken van zuiveringsslib heeft geen emissie naar bodem en grondwater tot gevolg. Alle los-, opslag-, doseer- en verbrandingsactiviteiten vinden plaats in bedrijfsgebouwen met een vloeistofdichte vloer.

Reststoffen

Het meestoken van zuiveringsslib heeft een toename van de vlieggasproductie. Geschat wordt dat 20% van de inerte residuen uit het RWZI slib terecht komt in de vliegas. De overige 80% wordt AVI-bodemas. Voor regulier afval is deze verhouding 6% vliegas en 94% bodemas.

Door het meestoken van zuiveringsslib verandert de kwaliteit van de ketelas, vliegas en bodemas nauwelijks. Wel is geconstateerd dat de bodemassen tijdens het meestoken van zuiveringsslib vochtiger zijn en er meer ammoniak vrijkomt in de slakkenbunker en de slakopwerkinstallatie.

Het bodemas van de AVI Amsterdam voldoet op dit moment aan de uitloogcriteria voor de bijzondere categorie van het Bouwstoffenbesluit, maar nog niet aan de uitloogcriteria voor de categorie II. AVI Amsterdam voert intensief onderzoek uit naar de mogelijkheden om wel te kunnen voldoen aan de categorie II van het Bouwstoffenbesluit. Het meestoken van zuiveringsslib heeft een geringe verhoging tot gevolg van bepaalde zware metaalgehalten in de asresten, en ook een geringe verhoging van het uitlooggedrag van de bodemas. Deze verhoging is echter verwaarloosbaar ten opzichte van de noodzakelijke afname van het uitlooggedrag van de bodemas om te kunnen voldoen aan de uitloogcriteria voor de categorie II van het Bouwstoffenbesluit.

Hulpstoffen

Als gevolg van de temperatuurstijging van de rookgassen na de ketel is het verbruik aan ammoniak voor de DeNO_x gestegen met 33%. Het verbruik aan natronloog zal tijdens vol bedrijf stijgen met circa 20%. Het verbruik aan andere chemicaliën zoals calciumoxide, zoutzuur, natriumsulfide, chloorbleekloog, ijzerchloride, actief kool, zeep en schuimremmer is niet gewijzigd.

Ruimtegebruik

De installatie verbruikt vrijwel geen extra ruimte behalve voor een ontvangtbunker en enkele opslagsilo's. De benodigde ruimte heeft vrijwel geen relatie met de verwerkingscapaciteit. De capaciteit van de slibverwerking wordt echter beperkt door de bestaande verbrandingscapaciteit voor huishoudelijk afval en bedrijfsafval. Het ruimtegebruik is geraamd op 0,1 $\text{m}^2/\text{ton d.s.}$

BIJLAGE X

VOORBEELD BEREKENING TRANSPORT

TRANSPORTBEREKENING**Uitgangspunten**

Hoef. droge stof	1 ton
------------------	-------

brandstof verbr.	0,3333	l/km
primaire energie	33,6	MJ/liter
prim. energie	11,2	MJ/km
prim. energie	0,3733	MJ/(t.km)

Energieverbruik slibtransport

product	retourafstand	bestemming	% d.s.	hoeveelheid /t.d.s.	hoeveelheid/transporteenheid
nat slib	20 km	mech. ontwatering	3,5%	28,6 t/t.d.s.	30 ton tankwagen
mech. ontw. slib	90 km	verwerking	23,0%	4,3 t/t.d.s.	30 ton containerwagen
gedroogd slib	200 km	eindverwerking	92,0%	1,1 t/t.d.s.	30 ton trekker oplegger

transporteenheid	aantal t.km	energieverbr./(t.km)	transportenergie
tankwagen	571,4 t.km	0,37 MJ/(t.km)	213 MJ/t.d.s.
containerwagen	391,3 t.km	0,37 MJ/(t.km)	146 MJ/t.d.s.
trekker oplegger	217,4 t.km	0,37 MJ/(t.km)	81 MJ/t.d.s.
	1180,1 t.km		441 MJ/t.d.s.

Energieverbruik referentie rwzi

Energieverbruik referentie rwzi	8940 MJprim/ton d.s.
---------------------------------	----------------------

Slibtransport/energieverbruik rwzi

percentage	4,9%
------------	------

Energie-inhoud slib

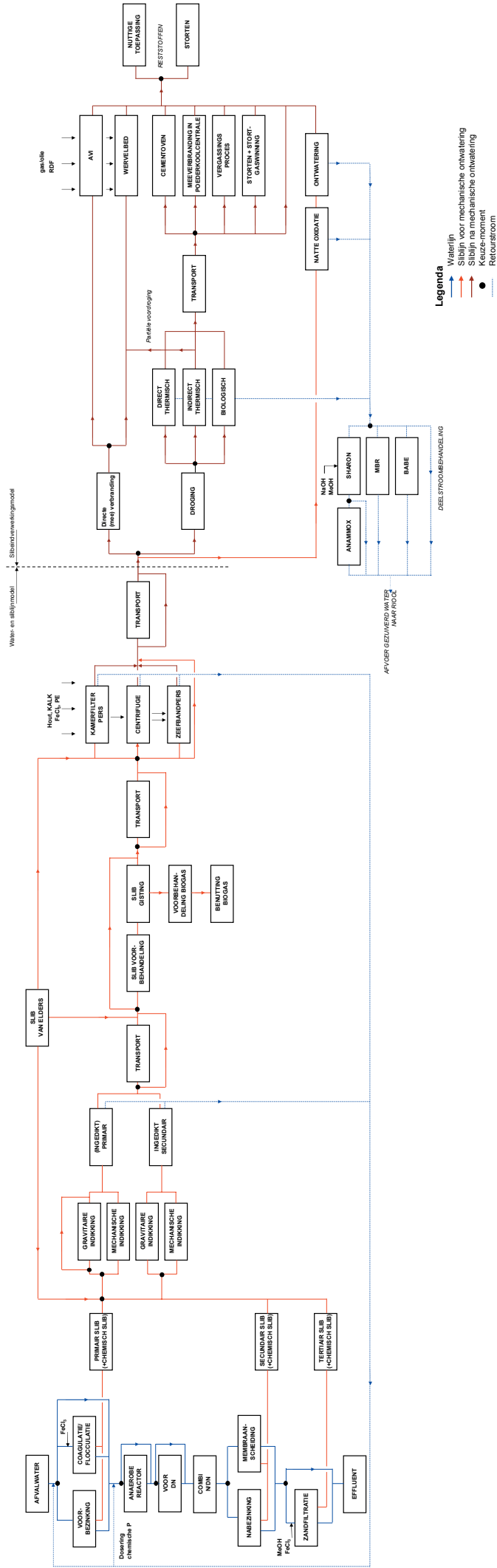
o.s.	60,0%	van de droge stof
o.s.	600,0	kg/ton d.s.
verbr. waarde	22	MJ/kg o.s.
energie	13200	MJ/ton d.s.

Slibtransport/energie-inhoud

percentage	3,3%
------------	------

BIJLAGE XI

SCHEMA VAN HET REKENMODEL



BIJLAGE XII

TOELICHTING REKENMODEL EN CD-ROM

INHOUD

1	INLEIDING	233
1.1	Aanleiding	233
1.2	Samenhang rekenmodel	233
1.3	Leeswijzer	233
2	TOELICHTING OP HET GEBRUIK VAN HET REKENMODEL VOOR DE WATER- EN SLIBLIJN	234
2.1	Algemene opzet van het rekenmodel voor de water- en sliblijn	234
2.2	Invoergegevens	235
2.2.1	Afvalwater, effluenteisen, temperatuur, retour	236
2.2.2	Onderdelen van de waterlijn	237
2.2.3	Onderdelen van de sliblijn	239
2.2.4	Overige onderdelen van de rwzi	240
2.2.5	Samenstelling van het slib	240
2.2.6	Verdere parameters	240
2.3	Uitvoer	242
2.3.1	Herhaling invoer	242
2.3.2	Emissies, slibproductie, verbruiken	243
2.3.3	Kosten	244
2.3.4	Gedetailleerde kosten	245
3	TOELICHTING OP DE MODELLERING VAN DE ELEMENTEN VAN DE WATER- EN SLIBLIJN	247
3.1	Algemeen	247
3.1.1	Afvalwatergegevens	247
3.1.2	Effluenteisen	248
3.1.3	Ontwerptemperatuur	248
3.1.4	Interne stromen	248
3.2	Voorbezinking	249
3.2.1	In te stellen parameters:	249
3.2.2	Dimensionering	249
3.2.3	Resultaat	250
3.3	Anaërobe ruimte	251
3.3.1	In te stellen parameters	251
3.3.2	Dimensionering	251
3.3.3	Resultaat	252
3.4	Gecombineerde nitrificatie- en denitrificatieruimte	252
3.4.1	In te stellen parameters	252
3.4.2	Dimensionering	253
3.4.3	Resultaat	255
3.5	Nabezinking	256
3.5.1	In te stellen parameters	256
3.5.2	Dimensionering	256
3.5.3	Resultaat	256
3.6	Membraanbioreactor	257
3.6.1	In te stellen parameters	257
3.6.2	Dimensionering	257
3.6.3	Resultaat	258

3.7	Zandfiltratie	258
3.7.1	In te stellen parameters	258
3.7.2	Dimensionering	259
3.7.3	Resultaat	259
3.8	Indikking	260
3.8.1	In te stellen parameters	260
3.8.2	Dimensionering	261
3.8.3	Resultaat	261
3.9	Ultrasone voorbehandeling	261
3.10	Slibgisting	263
3.10.1	In te stellen parameters	263
3.10.2	Dimensionering	264
3.10.3	Resultaat	264
3.11	Na-indikking	265
3.12	Slibontwatering	264
3.12.1	In te stellen parameters	265
3.12.2	Dimensionering	265
3.12.3	Resultaat	266
3.13	Slibopslag	266
3.13.1	In te stellen parameters	266
3.13.2	Dimensionering	266
3.13.3	Resultaat	266
3.14	Slibtransport	266
3.14.1	In te stellen parameters	266
3.14.2	Resultaat	267
3.15	Luchtbehandeling	267
3.15.1	Dimensionering	268
3.15.2	Resultaat	268
3.16	Retourstromen	268
3.16.1	In te stellen parameters	268
3.16.2	Berekening	269
3.16.3	Resultaat	269
3.17	'Eindafrekening'	270
4	TOELICHTING OP HET GEBRUIK VAN HET REKENMODEL VOOR DE SLIBEINDVERWERKING	271
4.1	Inleiding	271
4.2	Tabblad "Legenda"	272
4.3	Tabblad "UGP"	272
4.4	Tabblad "Totaal overzicht"	275
4.5	Tabblad "Tabel energie"	276
4.6	Tabblad "Overzicht"	276
4.7	Tabblad "Resultaten RWZI model"	276
4.8	Tabblad "Stoomcondities"	277
4.9	Tabblad "Vaste constanten"	277
4.10	Tabblad "Ind. dr. + wervelbed ber."	277
4.11	Tabblad "Ind. dr. + wervelbed sch."	277
4.12	Tabblad "Grafiek"	278
4.13	Tabblad "Alg. ec. uitgangspunten"	279
4.14	Tabblad "Spec. ec. uitgp. wervelbedoven"	279

4.15	Tabblad "Ec. berekening wervelbedoven"	279
4.16	Tabblad "Spec. ec. uitgp. wervelbedoven"	279
4.17	Tabblad "Ec. berekening wervelbedoven"	280
5	TOELICHTING OP DE MODELLERING VAN HET SLIBEINDVERWERKINGSMODEL	281
5.1	Procesbeschrijving indirecte droging en slibverbranding in een wervelbedoven	281
5.1.1	Slibvóódroging	281
5.1.2	Slibverbranding	282
5.1.3	Energijeterugwinning	282
5.1.4	Rookgasreiniging	282
5.2	Berekeningen	283
5.2.1	Invoer en berekeningen	283
5.3	Schema	286

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Voor de STOWA is een numeriek model ontwikkeld waarmee de gehele waterzuiverings- en slibverwerkingsketen aan een nadere analyse kan worden onderworpen. De voornaamste aspecten die door het model nader in kaart worden gebracht, zijn: het energieverbruik, de (fossiele) CO₂-emissie en de massareductie. Het rekenmodel dient als ondersteuning bij het analyseren van de slib beleidsscenario's als oplossingsrichting voor de centrale probleemstelling van de slibketenstudie, die als volgt luidt:

Hoe zet je met een minimale hoeveelheid fossiele energie-inbreng het CZV in het afvalwater om in CO₂ en wordt de inzet van fossiele energie zoveel mogelijk vermeden door terugwinning van energie uit het CZV aanwezig in het zuiveringsslib?

Daarbij dient primair te worden voldaan aan de eisen die gesteld zijn aan het effluent van de afvalwaterzuiveringsinstallatie.

1.2 SAMENHANG REKENMODEL

Het numerieke model bestaat in feite uit twee samengevoegde delen:

1. rekenmodel voor de water- en sliblijn;
2. rekenmodel voor de slibeindverwerking.

Ad. 1

Dit model berekent voor diverse uitvoeringsvormen van RWZI's de verschillende samenstellingen van het slib na de RWZI. Uitvoerresultaten zoals drogestofgehalte, organisch stofgehalte etc. vormen de ingangsparementers voor de slibeindverwerking.

Ad. 2

Dit model heeft als ingangsparementers de uitgangsparementers van het rekenmodel voor de water- en sliblijn. In dit model worden de verschillende processen om (mechanisch) ontwaterd slib te verwerken energetisch en kostentechnisch doorgerekend.

1.3 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt een toelichting gegeven op het gebruik van het rekenmodel voor de water- en sliblijn. In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de wijze waarop de elementen van het rekenmodel voor de water- en sliblijn zijn gemodelleerd, inclusief de uitgangspunten die aan het model ten grondslag liggen.

In hoofdstuk 4 wordt een toelichting gegeven op het gebruik van het rekenmodel voor de slibeindverwerking. In hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op de wijze waarop het slibeindverwerkingsmodel is opgezet, aan de hand van één van de slibketens, zijnde het referentiaalternatief indirecte droging en verbranding in een wervelbedoven.

2

TOELICHTING OP HET GEBRUIK VAN HET REKENMODEL VOOR DE WATER- EN SLIBLIJN

2.1 ALGEMENE OPZET VAN HET REKENMODEL VOOR DE WATER- EN SLIBLIJN

Dit hoofdstuk beschrijft het model voor de water- en sliblijn van een rwzi. Het model kan worden toegepast om vanuit een bekende afvalwatersamenstelling en -hoeveelheid een rwzi te dimensioneren. De uitvoer van het model bestaat uit een overzicht met de verwachte effluentsamenstelling, slibproducties, energieverbruiken en exploitatiekosten.

Voor het uitvoeren van de berekeningen is een groot aantal parameters nodig. Voor veel van deze waarden is een default waarde ingevoerd, waarvan indien gewenst kan worden afgeweken.

Het model dient te worden gebruikt vanuit Excel. De Excel-worksheet bevat verschillende tabbladen die vernoemd zijn naar het betreffende procesonderdeel van de zuivering. De elementen die opgenomen zijn in het model zijn:

- | | |
|--|--------------|
| • Waterlijn | naam tabblad |
| • Voorbezinking | VB |
| • Anaërobe ruimte | ANAE |
| • Gecombineerde nitrificatie en denitrificatieruimte | NDN |
| • Nabezinking | NBT |
| • Membraanbioreactor | MEM |
| • Zandfiltratie | ZAND |
| • Sliblijn | |
| • Indikking | INDIK |
| • Slibgisting | GIST |
| • Na-indikking | NADIK |
| • Slibontwatering | ONTWATER |
| • Slibopslag | OPSLAG |
| • Slibtransport | TRANS |
| • Overig | |
| • Retourstromen | RETOUR |
| • Luchtbehandeling | LUCHT |
| • Ondersteunend | |
| • Invoerblad | IN |
| • Eindoverzicht | EIND |
| • Kostenoverzicht | KOST |
| • Herhaling invoergegevens | A |
| • Eenheidsprijzen | EEN |
| • Additionele berekeningen | OVERIG |
| • Data over pompen, blowers en centrifuges | M |

Per tabblad wordt het betreffende onderdeel gedimensioneerd. Berekeningen omvatten dimensies van het betreffende onderdeel, verbruiken van energie en chemicaliën, slibproductie en de samenstelling van de water of slibstroom zoals deze het onderdeel verlaat. De kosten worden per onderdeel aan de hand van eenheidsprijzen berekend en zijn uitgesplitst in civiele kosten en werktuigbouwkundige kosten.

De versiedatum van het model is te vinden op tabblad "IN" in cel B4.

Het uiteindelijke resultaat is een gezuiverd afvalwater met een bepaalde –vooraf opgegeven– effluentkwaliteit en een slibproductie die hoort bij het gekozen systeem. De slibproductie kan afzonderlijk worden voorzien van eigenschappen die niet of nauwelijks uit de waterlijn zijn te berekenen, zoals het gehalte aan zware metalen en dergelijke. De investeringskosten in de water- en sliblijn worden berekend en aan de hand van de uitgevoerde berekeningen wordt een schatting gemaakt van de verbruikte chemicaliën, de verbruikte en/of geproduceerde energie, en de daarbij behorende kosten.

Voor het uitvoeren van de berekeningen is een groot aantal parameters nodig. Een betrekkelijk klein aantal echter hoeft slechts per berekening te worden ingevoerd. Voor een groot aantal waarden in een defaultwaarde ingevoerd, waarvan indien gewenst kan worden afgevoerd.

In de paragrafen 3.2 t/m 3.16 worden de verschillende elementen van de RWZI afzonderlijk beschreven. In paragraaf 3.17 wordt een overzicht gegeven van de financiële uitwerking.

2.2 INVOERGEGEVENS

De invoergegevens dienen te worden ingevuld op het tabblad "IN" in kolom D. De gegevens zijn gerangschikt en omkaderd per thema of behandelingsstap. De voornaamste invoergegevens betreffen:

- afvalwaterkarakteristieken;
- interne stromen;
- temperatuur;
- effluenteisen.

Aan de rechterzijde van de kolom staat achtergrondinformatie, invulsuggesties en andere nuttige tips. Indien een ingevulde waarde rood kleurt na bevestiging, is een waarde opgegeven die buiten de 'normale' range valt voor huishoudelijk afvalwater. De waarde wordt echter wel geaccepteerd en gebruikt voor alle berekeningen. Bij gegevens die buiten de range vallen is het mogelijk dat de uitkomst van het model niet betrouwbaar is.

Na het invullen van de voornaamste parameters kan aangegeven worden uit welke elementen de installatie bestaat. Dit wordt per omkaderde box aangegeven met een "0" voor afwezig en een "1" voor aanwezig. Als voor een element "0" wordt ingevuld, vervallen de verder in te vullen gegevens. Deze hoeven dan niet meer te worden ingevuld. Vervolgens dienen de instellingen / parameters die van belang zijn voor de dimensionering, gecontroleerd en indien gewenst, gewijzigd te worden. Dit betreft de volgende elementen:

- voorbezinking;
- anaërobe ruimte;
- beluchte ruimte;
- nabezinking;

- membraanscheiding;
- zandfiltratie;
- effluentgemaal;
- indikking;
- slibgisting;
- na-indikking;
- slibverwerking;
- slibbuffer;
- slibtransport;
- deelstroombehandeling;
- luchtbehandeling;
- bedrijfsgebouw;
- effluentlozing.

De laatste box, genaamd “verdere parameters” geeft een lijst van bijna alle instelbare parameters. Deze parameters hoeven bijna nooit veranderd te worden en zijn daarom apart gezet. Het invullen van deze parameters vereist een zekere expertise!

Met het invullen van de gegevens op het tabblad “IN” kunnen in principe alle gegevens die nodig zijn voor het berekenen van het ontwerp en de kosten van de installatie worden ingevuld. Dit geldt niet voor afschrijvingstermijnen en eenheidsprijzen. Deze kunnen worden gewijzigd op het tabblad “EEN”.

In het vervolg wordt een overzicht gegeven van de invoerparameters, zoals ze in het model moeten worden ingevoerd.

2.2.1 AFVALWATER, EFFLUENTEISEN, TEMPERATUUR, RETOUR

De afvalwatergegevens bestaan uit DWA, RWA, daggemiddelde debiet, en de concentraties of vrachten (al naar gelang wat wordt gekozen) van de vervuilende componenten. Er wordt een suggestie gedaan voor het gemiddelde dagdebiet.

AFVALWATERGEGEVENS	factor	1
debieten		
DWA	m3/h	1 200
RWA	m3/h	4 400
totale aanvoer	m3/d	18 900
geef nu vrachten (1) of concentraties (2) op:		
	1 of 2	2
CZV	mg/l	523
BZV	mg/l	191
Nkj	mg/l	48
Nitraat	mg/l	0
Pt	mg/l	8
OB	mg/l	191

indien onbekend, suggestie: 21800 m3/d

vul 1 in als de vrachten bekend zijn;
vul 2 in als de concentraties bekend zijn;
op blz A staan de overige gegevens

De belasting (in i.e.) wordt berekend. Er kan worden aangegeven van welke vracht per i.e. wordt uitgegaan.

belasting		
afronden op	i.e.	100
aantal i.e.	TZV 136	103 200
aantal i.e.	BZV 54	66 900

vul voor andere i.e.-waarden in:
TZV 180, of BZV 60, of iets dergelijks

De effluenteisen zijn van belang voor de dimensionering van de installatie. De eisen van de AMvB zijn weergegeven bij wijze van hulp.

EFFLUENTEISEN		
CZV	mg/l	125
BZV	mg/l	20
Nkj	mg/l	3.5
Ntotaal	mg/l	10
Pt	mg/l	2.0
OB	mg/l	30

invullen van getallen hier heeft consequenties voor de dimensies ! zie rechts voor eisen AmvB

De ontwerptemperatuur is een belangrijke parameter. Tegenwoordig is een ontwerptemperatuur van 10-12 °C gebruikelijk. Temperaturen lager dan 10°C leiden tot zeer grote volumina, die vrijwel nooit meer worden toegepast.

TEMPERATUREN		
minimum	°C	8
ontwerp	°C	11.0
gemiddeld	°C	14
maximum	°C	20

denk goed na over deze temperaturen....!
 minimum voor nitrificatie
 ontwerp slijbleeftijd
 berekening slijbproductie
 ontwerp beluchting

De retourstroom bestaat uit de overloop van indikkers en ontwatering. Hiermee komen vrachten vervuilende componenten terug naar het influent, die in het ontwerp moeten worden verdisconteerd. De voornaamste hiervan is stikstof. Deze wordt in het model gedetailleerd berekend, en de berekende suggestie wordt gegeven. Houdt er rekening mee dat dit getal wijzigt als bepaalde elementen worden in- of uitgeschakeld. Dit geldt met name voor de slijbgisting en de slijbontwatering.

RETOURSTROOM		
meenemen	0 of 1	1
percentages van vrachten		
CZV	%	2
BZV	%	2
Nkj	%	14.7
P	%	2
ZS	%	2

niet meenemen als rendement VBT al inclusief de retourstroom is...!
 maak de waarden voor CZV en BZV niet te hoog; dat geeft onjuiste uitkomsten ...
 berekende suggestie: 13.5 %
 waarde tussen 1 en 5 %
 waarde tussen 2 en 10 %

2.2.2 ONDERDELEN VAN DE WATERLIJN

Als er voorbezinking is en het rendement van de voorbezinking is bekend, dan heeft dit rendement doorgaans betrekking op de vrachten inclusief retourstromen. Deze hoeven dan niet meer te worden ingevuld.

Het rendement van de voorbezinking kan worden berekend, of zelf worden ingesteld. Als er pre-precipitatie wordt toegepast, dan moeten de rendementen zelf worden ingesteld.

INSTALLATIE		
voorbezinking		
aanwezig	0 of 1	1
oppervlaktebelasting	m/h	2.5
pre-precipitatie	0 of 1	0
rendement: berekenen(1) of instellen (2)	1 of 2	2
ingesteld rendement:		
CZV		30.0
BZV		30.0
Nkj		8.0
PO4		5.0
OB		50.0

geef de aanwezigheid aan met 0 of 1; verdere dimensioneringsgrondslagen kunnen beneden worden aangegeven
 als pre-P aan, stel dan rendement zelf in !

kies voor instellen of berekenen

als voor "instellen" gekozen is, kunnen hier de gewenste rendementen worden ingevuld; de berekende rendementen zijn te vinden op bladzijde VBT bij 50% TS hoort ± 25% CZV, zie blad VBT

Bij de toepassing van biologische P-verwijdering kan worden aangegeven of het een Phoredox- of een UCT configuratie betreft. Het 'contactgehalte' is een aanpassing van de gebruikelijke parameter 'contacttijd'. Hier wordt het product van contacttijd en slijbgehalte gebruikt, zodat in een membraanbioreactor de anaërobe ruimte niet onevenredig groot wordt.

anaërobe ruimte			
aanwezig	0 of 1	1	geef de aanwezigheid aan met 0 of 1;
UCT of Phoredox	1 of 2	2	
afdekking	0 of 1	1	vul hier contacttijd x slibgehalte in controleer na invullen van de hele lijst of de ingevulde getallen nog overeenkomen met de in rood aangegeven getallen ...!
contactgehalte	h x g/l	4.0	
vul gehalte in rood hier in	in te vullen _____?	4.48	
		4.55	

Voor de beluchtingsruimte dient een aantal parameters te worden ingevuld. Deze staan hieronder weergegeven.

beluchte ruimte			
aantal straten	-	2	aantal straten heeft invloed op aantal NBT's
membraanbioreactor ?	0 of 1	0	
- SLIB EN SLIBLEEF TIJD			
slibgehalte			
bij membraanreactor	g/l	12.0	gehalte ongeveer tussen 8 en 12 g/l
bij conventioneel	g/l	4.0	
slibgehalte	g/l	4.0	stel zelf slibgehalte en SVI in; kijk voor hulp bij invullen rechts
SVI	ml/g	120	
nitrificatie	0 of 1	1	als er geen eis is aan NH ₄ , vul 0 in
denitrificatie	0 of 1	1	als er geen eis is aan totaal-N, vul 0 in
voor / simul	1 of 2	2	vul alleen 1 in als volledige voorDN
chemische P	0 of 1	1	als bio-P ook aan staat wordt aangevuld
zo ja, Me/P (netto!)	-	2.1	kijk voor hulp bij invullen rechts
Fe of Al	0, 1, 2	1	
- BELUCHTING			
setpoint O ₂	mg/l	2.0	kijk voor hulp bij invullen rechts
bellenbeluchting ?	0 of 1	1	vul in of er bellenbeluchting is
diepte	m	5.0	

Het betreft het aantal straten, de vraag of het een membraanreactor betreft, het slibgehalte, de SVI en of nitrificatie en denitrificatie wordt toegepast (hetgeen vrijwel altijd zo zal zijn). De toepassing van voordennitrificatie moet alleen worden ingevuld als er sprake is van volledige voordennitrificatie (dus: een reactor voor denitrificatie, gevolgd door een reactor voor nitrificatie, en geen gecombineerde ruimten). Dit zal meestal niet zo zijn.

De netto Me/P verhouding dient te worden ingevuld. Dit is de verhouding die betrekking heeft op P die nog verwijderd moet worden. Voor de beluchting kan het zuurstofsetpoint worden aangegeven en of het bellen- of puntbeluchting betreft.

Voor de nabezinking dient een aantal voor de hand liggende parameters te worden ingevuld. Als er sprake is van een membraanbioreactor, dan is er natuurlijk geen nabezinking.

nabezinking			
aanwezig	0 of 1	1	
kandiepte	m	2.5	
oppervlaktebelasting			
berekenen (1) of instellen (2)	1 of 2	1	bij berekenen wordt de STOWA-richtlijn toegepast; zie hiervoor blad NBT
bij berekenen:			
vul oppervlaktebelasting	_____?	0.93	alleen nodig voor berekening aantal tanks
hier in		0.93	

Als een membraanbioreactor wordt voorzien, dienen de volgende parameters te worden ingevuld.

membraanscheiding			
aanwezig, zie boven	0 of 1	1	als 1, dan nabezinking = 0!
slibgehalte zie boven	g/l	12.00	
membraanflux			
nominaal	l.m-2.h-1	25	
maximaal	l.m-2.h-1	35	

Bij effluentnabehandeling door middel van zandfiltratie kunnen de volgende parameters worden aangegeven. Deze hebben effect op het ontwerp, en dus op de kosten van het filter.

zandfiltratie		
aanwezig	0 of 1	1
maximale capaciteit	x dwa	1.5
ook voor N-verwijdering	0 of 1	1
ook voor P-verwijdering	0 of 1	1

Van het effluentgemaal kan de eventuele aanwezigheid en de afstand tot het lozingspunt worden aangegeven.

effluentgemaal		
aanwezig	0 of 1	1
lengte tot lozingspunt	m	200

2.2.3 ONDERDELEN VAN DE SLIBLIJN

Er kan worden aangegeven hoe het slib wordt ingedikt, gravitair of mechanisch. Bij keuze tussen gravitaire of mechanische indikking, met name van secundair slib, dient het drogestofgehalte te worden aangepast!

indikking		
aanwezig	0 of 1	1
primaair slib		
apart / gezamenlijk	A of G	A
gravitair / mechanisch	G of M	G
band / centrifuge	B of C	
indikking tot	%	3.00
secundair slib / alle slib		
gravitair / mechanisch	G of M	M
band / centrifuge	B of C	B
direct onttrekking ?	0 of 1	0
indikking tot	%	3.00

← bij 'niet gezamenlijk' hoort aparte indikking

← bij mechanische indikking, vul dan in ...!

De ultrasone voorbehandeling van slib dat wordt vergist kan worden opgenomen. Er kan worden aangegeven hoeveel percent van het slib wordt behandeld en of het alleen secundair slib of alle slib betreft. De verbetering van de ontwateringsgraad en de verlaging van de PE-dosering kunnen worden ingesteld.

ultrasone voorbehandeling van het slib		
aanwezig	0 of 1	1
behandeling van		
alleen secundair slib ?	0 of 1	1
percentage van het slib	%	30
PE dosering wordt verlaagd met	g /kg ds	2
ontwateringsgraad verbetert met	%	3

Voor de slibgisting zijn alleen de toepassing, de temperatuur en de verblijftijd van belang voor het ontwerp.

slibgisting		
aanwezig	0 of 1	1
temperatuur	°C	35
verblijftijd	d	25

← bij voorbezinking hoort slibgisting ...!

Na-indikking wordt tegenwoordig meestal niet meer toegepast, maar het is toch opgenomen.

na-indikking		
aanwezig	0 of 1	0

← na-indikking is tegenwoordig niet gebruikelijk

De slibontwatering kan worden uitgevoerd met zeefbandpers, centrifuge of kamerfilterpers.

slibontwatering		
ontwatering op de locatie ?	0 of 1	1
kamerfilter, centrifuge of zeefband	K, C of Z	C
drogestofgehalte	%	25

← Zie suggestie rechts
De verbetering van de ontwateringsgraad door voorbewerking niet hier invullen ...!

Een eventuele slibbuffer kan worden opgenomen.

slibbuffer		
aanwezig	0 of 1	1
opslagtijd	dagen	3

Slibtransport kan worden aangegeven

slibtransport		
van bezinking naar indikking	km	0
van indikking naar slibgisting	km	0
van gisting / na-indik naar ontwateri	km	0
van ontwatering naar verwerking	km	50
van verwerking naar stort	km	150

2.2.4 OVERIGE ONDERDELEN VAN DE RWZI

Een aantal overige parameters heeft weinig betrekking op de slibproductie en de slibketen, maar wel op de kosten van de rwzi.

luchtbehandeling			
aanwezig	0 of 1	1	bij 'aanwezig' wordt in ieder geval uitgegaan van behandeling van inlaatwerk en slibverwerking plus de aangegeven onderdelen van de hiernaast staande lijst
welke elementen			
voorbezinking	0 of 1	1	
anaerobe tank	0 of 1	1	
anoxische ruimten	0 of 1	1	
beluchting	0 of 1	0	

bedrijfsgebouw			
gebouw opnemen	0 of 1	1	invullen als nodig; tussen 0 en 1 mag ook
berekenen (1) of opgeven (2)	1 of 2	1	

effluentlozing			
lozing op Rijkswater	0 of 1	1	deze waarden zijn nodig als een Rijksheffing dient te worden berekend
BZV	mg/l	5	
Nkj	mg N/l	4	
Rijksheffing	€/i.e.	50.00	
korting	%	50	deze waarden zijn nodig als een heffing voor lozing op riool dient te worden berekend
lozing op riool	0 of 1	0	

2.2.5 SAMENSTELLING VAN HET SLIB

De samenstelling van het slib is van belang. Deze kan hier worden ingevuld.

samenstelling van het slib			
getallen gebaseerd op droge stof zonder toevoeging van chemicaliën			
invoer gezamenlijk of apart ?	G of A	A	
concentraties		primair	secundair
Fe	g/kg	5	5
Al	g/kg	5	5
S	g/kg	5	5
Hg	mg/kg	50	50
Cd	mg/kg	500	500
overige zware metalen	mg/kg	500	500

2.2.6 VERDERE PARAMETERS

Een aantal parameters kan verder nog worden ingesteld. Hoewel sommige hiervan grote invloed hebben op de uitkomsten van de berekeningen, wordt geadviseerd deze parameters alleen te wijzigen na consultatie van een expert.

parameter	eenheid	waarde
voorbezinking		
percentage bypass	%	0
maximum diameter	m	50
asgehalte primair slib	%	25
COD van organisch stof	kg/kg ds	1.8
slibgehalte afvoer	%	1.0
anaërobe ruimte		
Sa (na eventuele VBT)	% van CZV	20
Ss (na eventuele VBT)	% van CZV	30
N & DN - ruimte		
maximaal anoxisch deel	%	75
volumes afronden op	m ³	10
piekfactor beluchting	-	1.2
zuurstofoverdracht	% per m	6.0
retourberekening		
N-verwijdering in N/DN	0 of 1	1
anoxische selector?	0 of 1	1
BCFS proces?	0 of 1	1
minimum NO ₃ -N	mg/l	3.0
nabezinking		
maximum diameter	m	50
maximum retourslibgehalte	g/l	8.0
membraanfiltratie		
geen parameters		
zandfiltratie		
hydraulische belasting	m ³ .m ⁻² .h ⁻¹	8
zwevendestofbelasting	kg.m ⁻² .d ⁻¹	3
N-belasting	kg N.m ⁻³ .d ⁻¹	0.5
dosering		
FeCl ₃	mg/l	2
Me/P	Mol/Mol	2
MeOH/N	kg /kg N	4
indikking		
drogestofbelasting primair	kg.m ⁻² .d ⁻¹	40
drogestofbelasting secundair	kg.m ⁻² .d ⁻¹	20
maximum diameter	m	20
PE-dosering bandindikker	g/kg ds	2.5
ultrasone voorbehandeling		
parameters na voorbehandeling		
primair slib		
afbraakconstante	-	1.00
maximale afbraak	%	65
secundair slib		
afbraakconstante	-	0.50
maximale afbraak	%	40
gisting		
asgehalte secundair slib ex	%	30
parameters slibgisting		
primair slib		
afbraakconstante	-	1.00
maximale afbraak	%	65
secundair slib		
afbraakconstante	-	1.50
maximale afbraak	%	40
na-indikking		
drogestofbelasting	kg.m ⁻² .d ⁻¹	20

2.3 UITVOER

De uitvoer bestaat uit een overzicht van de gehele rwzi, en een gedetailleerd overzicht van de kosten.

2.3.1 HERHALING INVOER

Allereerst wordt een deel van de invoergegevens herhaald.

TOTAALOVERZICHT		
influent		
debieten		
DWA	m3/d	1 200
RWA	m3/h	4 400
totale aanvoer	m3/d	18 900
concentraties		
CZV	mg/l	523
BZV	mg/l	191
Nkj	mg/l	48
Nitraat	mg/l	0
Pt	mg/l	8
OB	mg/l	191
effluenteisen		
CZV	mg/l	125
BZV	mg/l	20
Nkj	mg/l	4
Ntotaal	mg/l	10
Pt	mg/l	2
OB	mg/l	30
installatie		
voorbezinking	-	aanwezig
aantal	-	1
diameter	m	47.30
P-verwijdering	-	Phoredox
biologie	conventioneel	
aantal straten	-	2
slibgehalte	g/l	4.00
SVI	ml/g	120
totaalvolume		
voor bio-P	m3	1 200
voor nitrificatie	m3	4 990
voor denitrificatie	m3	7 440
totaal	m3	13 630
zandfiltratie	-	aanwezig
totaal oppervlak	m2	225
slibindikking		
primair slib		
type	-	
aantal	-	1
diameter	m2	8
secundair slib		
type	-	mechanisch
aantal	-	2
diameter	m2	
capaciteit		25
slibvoorbehandeling	-	aanwezig

behandeling van		secundair slib
voor	%	30
slibgisting		aanwezig
verblijftijd	d	25
temperatuur	°C	35
aantal tanks	-	1
volume tanks	m3	2 330
na-indikking		afwezig
aantal	-	
diameter	m	
slibontwatering	plaats	op de locatie met centrifuge

2.3.2 EMISSIES, SLIBPRODUCTIE, VERBRUIKEN

De berekende effluentconcentraties zijn voornamelijk gebaseerd op ervaringscijfers, en op de effluenteisen voor N en P.

effluent		
concentraties		
CZV	mg/l	20
BZV	mg/l	3
totaal N	mg/l	6
totaal P	mg/l	0.3
zwevende stof	mg/l	2
vrachten		
CZV	kg/d	378
BZV	kg/d	57
totaal N	kg/d	106
totaal P	kg/d	5
zwevende stof	kg/d	42

De slibproductie is een gevolg van de verwijderde zwevende stof en de groei van actief slib.

slibproductie		
droge stof excl	kg/d	2 721
chemisch slib	kg/d	258
droge stof totaal	kg/d	2 978
organische stof	kg/d	1 578
chemisch slib	kg/d	258
asgehalte	%	47
volumestroom	m3/d	10.6
drogestofgehalte	%	28
gehalte organisch	%	53

Het verbruik van chemicaliën en energie wordt eveneens gegeven.

verbruik chemicaliën		
FeCl3	kg/d	143
methanol	kg/d	945
NaOH	kg/d	0
PE	kg/d	36
citroenzuur	kg/d	0
NaOCl	kg/d	0
verbruik energie		
voorbezinking	kW	0.3
biologie	kW	162.9
nabezinking	kW	0.3
membraanscheiding	kW	0.0
zandfiltratie	kW	36.0
slibindikking	kW	5.3
slibgisting	kW	0.0
na-indikking	kW	0.0
slibontwatering	kW	9.1
overig	kW	40.8
totaal	kW	254.5
productie energie		
productie biogas	m3/d	1 261
gistingsgas	kW	106

2.3.3 KOSTEN

De kosten worden samengevat.

kosten			
investering			
civiel	Euro		21 585 000
WEM & R	Euro		22 810 000
totaal	Euro		44 395 000
exploitatie			
kapitaalslasten	Euro/j		3 950 000
bedrijfsvoering			
onderhoud	Euro/j		792 000
energie	Euro/j		151 000
energie uit gas	Euro/j		-79 000
chemicaliën			
methanol	Euro/j		63 000
FeCl3	Euro/j		24 000
overige	Euro/j		55 000
vervanging membranen	Euro/j		0
personeel	Euro/j		216 000
laboratoriumkosten	Euro/j		46 000
eindverwerking slib	Euro/j		0
Rijksheffing	Euro/j		0
subtotaal	Euro/j		1 268 000
TOTAAL	Euro/j		5 218 000
kosten per i.e.			
investering	Euro		435.00
exploitatie	Euro/j		50.60

2.3.4 GEDETAILLEERDE KOSTEN

De kosten worden meer gedetailleerd weergegeven in het tabblad “Kost”. Een voorbeeld is hieronder gegeven. De met ‘1’ of ‘0’ aangegeven elementen kunnen naar believen worden aan- of uitgeschakeld, zodat ze respectievelijk wel of niet in de kosten worden meegenomen.

ONDERDEEL	aan /uit? eenheid		kosten
CIVIEL			
inlaatwerk	1	€	890 000
zandvang	1	€	460 000
verdeelwerken	1	€	90 000
voorbezinking	1	€	185 000
anaërobe ruimte, indien apart	1	€	0
beluchtingsruimte	1	€	1 540 000
doserings	1	€	25 000
nabezinking	1	€	1 570 000
retourslibkelders	1	€	780 000
membraanscheiding	1	€	0
zandfilter	1	€	810 000
voorindikking	1	€	50 000
mechanische indikking	1	€	140 000
slibgisting	1	€	395 000
naindikking	1	€	0
slibbuffer	1	€	10 000
slibverwerkingsgebouw	1	€	180 000
energiegebouw	1	€	270 000
bedrijfsgebouw	1	€	880 000
bedrijfswatergebouw	1	€	180 000
schakelruimtes van E 5%	1	€	170 000
fundering	1	€	305 000
grondwerk	1	€	195 000
grondwateronttrekking	1	€	200 000
leidingwerk 15%	1	€	1 040 000
SUBTOTAAL		€	10 365 000
algemene kosten 25%		€	2 590 000
TOTAAL		€	12 955 000
MECHANISCH/ELECTRISCH			
influentemaal	1	€	560 000
rooster	1	€	120 000
zandvang	1	€	460 000
voorbezinking	1	€	190 000
anaërobe ruimte	1	€	0
beluchtingsruimte	1	€	430 000
opvoerpompen	1	€	0
doserings	1	€	135 000
nabezinking	1	€	610 000
retourslib	1	€	25 000
membraanscheiding	1	€	0
zandfilter	1	€	3 465 000
effluentemaal	1	€	560 000
voorindikking	1	€	65 000
mechanische indikking	1	€	275 000
ultrasone voorbehandeling	1	€	150 000
slibgisting	1	€	395 000

gashouder	1	€	85 000
fakkel	1	€	65 000
gasmotoren	1	€	130 000
na-indikking	1	€	0
slibontwatering	1	€	
luchtbehandeling	1	€	205 000
leidingwerk 50%	1	€	520 000
terreinbegrenzing	1	€	80 000
SUBTOTAAL		€	8 525 000
ELECTRISCHE WERKEN			
%-age van M/E 40%		€	3 380 000
SUBTOTAAL W, M/E & R		€	11 905 000
algemene kosten 15%		€	1 785 000
TOTAAL		€	13 690 000
SAMENVATTING BOUWKOSTEN			
civiel		€	12 955 000
W, E/M & R		€	13 690 000
subtotaal		€	26 645 000
onvoorzien 20%		€	5 330 000
TOTALE BOUWKOSTEN		€	31 975 000
ONDERDEEL			
	aan /uit?	eenheid	kosten
SAMENVATTING STICHTINGSKOSTEN			
bouwkosten		€	31 975 000
inrichtingskosten 2%		€	640 000
advieskosten 10%		€	3 200 000
bijkomende kosten 5%		€	1 600 000
grond	1	€	265 000
BTW 19%	1	€	7 160 000
INVESTERINGEN		€	44 840 000
EXPLOITATIE			44 840 000
kapitaalslasten	1	€/j	3 950 000
bedrijfsvoering			
onderhoud	1	€/j	792 000
energie	1	€/j	151 000
energie uit gas	1	€/j	-79 000
chemicaliën			
methanol	1	€/j	63 000
FeCl3	1	€/j	24 000
overige	1	€/j	55 000
vervanging membranen	1	€/j	0
personeel	1	€/j	216 000
laboratoriumkosten	1	€/j	46 000
eindverwerking slib	0	€/j	0
Rijkshheffing	0	€/j	0
subtotaal		€/j	1 268 000
TOTAAL		€/j	5 218 000
PER IE:			
investering		€/i.e.	434.50
exploitatie		€/i.e.j-1	50.60

3

TOELICHTING OP DE MODELLERING VAN DE ELEMENTEN VAN DE WATER- EN SLIBLIJN

3.1 ALGEMEEN

3.1.1 AFVALWATERGEGEVENS

De in te stellen parameters met betrekking tot de afvalwatergegevens zijn vermeld in tabel 3.1.1.

TABEL 3.1.1 AFVALWATERGEGEVENS

parameter	eenheid	bereik	suggestie
DWA	m ³ /h	v	850
RWA	m ³ /h	v	3.150
totale aanvoer	m ³ /d	v	14.926
geef nu vrachten (1)			
of concentraties (2) op:	1 of 2	v	1
CZV	kg/d	v	11.508
BZV	kg/d	v	3.736
Nkj	kg/d	v	1.053
Nitraat	kg/d	v	0
Pt	kg/d	v	120
OB	kg/d	v	3.358
belasting			
afronden op	i.e.	max 5000; 0	100
aantal I.e.	TZV “#”	v	136
aantal I.e.	BZV “#”	v	54

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

Het model is bedoeld voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater. Afvalwater dat hier te zeer van afwijkt, kan tot onredelijke uitkomsten leiden. Vergelijking van de ingevoerde waarden met een ‘normale’ samenstelling van huishoudelijk afvalwater vindt plaats in cellen “INJ17;J20”.

3.1.2 EFFLUENTEISEN

De eisen waaraan het effluent dient te voldoen zijn weergegeven in tabel 2.

TABEL 3.1.2 EFFLUENTEISEN

parameter	eenheid	bereik	suggestie
CZV	mg/l	40 – 125	125
BZV	mg/l	2 – 20	20
Nkj	mg/l	v	v
Ntotaal	mg/l	2 – 15	10 – 15
Pt	mg/l	0,1 – 2	1 – 2
OB	mg/l	5 – 30	30

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

De eisen voor N, P en zwevende stof hebben invloed op het ontwerp van de installatie. Dat geldt niet voor CZV en BZV. Bij lagere eisen dan in de tabel staat aangegeven voor het gesuggereerde bereik dient te worden omgezien naar alternatieven voor conventionele zuivering, zoals membraanscheiding en nabehandeling van het effluent.

3.1.3 ONTWERPTEMPERATUUR

De ontwerptemperaturen zijn samengevat in tabel 3.1.3.

TABEL 1.1.3 ONTWERPTEMPERATUREN

Temperaturen	eenheid	bereik	suggestie
minimum	°C	v	8
ontwerp	°C	8 – 13	11
gemiddeld	°C	13 – 16	15
maximum	°C	20 – 25	20

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

Voor watertemperaturen lager dan circa 6 °C is de voor de stikstofverwijdering gebruikte HSA-berekening niet meer geldig. Voor dergelijke temperaturen mag het model onbruikbaar worden geacht. De in de tabel weergegeven waarden zijn de waarden die tegenwoordig het meest worden toegepast. Vooral de ontwerptemperatuur kan variëren van circa 9 tot 12 °C.

3.1.4 INTERNE STROMEN

De samenstelling van de interne stromen kan worden opgegeven als aandeel van de totale influentvrucht. Niet altijd hoeft deze stroom in de berekening te worden meegenomen. Indien het rendement van de voorbezinking betrokken is op het influent inclusief interne stromen, dan blijven de interne stromen buiten beschouwing. Voor alle componenten behalve stikstof wordt geadviseerd de defaultwaarden aan te houden. De interne stroom van stikstof kan aanzienlijk zijn en heeft grote invloed op het verloop van diverse berekeningen. In het model wordt een waarde gesuggereerd die kan worden ingevuld. Deze gesuggereerde waarde is het gevolg van allerlei berekeningen en dient daarom, als alle parameters zijn ingevuld en macro berekeningen uitgevoerd zijn, nog eens te worden gecontroleerd.

TABEL 3.1.2 INTERNE STROMEN ALS PERCENTAGE VAN DE INFLUENTVRACHTEN

Parameter	eenheid	bereik	suggestie
retourstroom meenemen	0 of 1	0 of 1	v, zie tekst
percentages van vrachten			
CZV	%	2 – 5	2
BZV	%	2 – 5	2
Nkj	%	v	zie sheet
P	%	2 – 5	2
ZS	%	2 – 5	2

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

3.2 VOORBEZINKING

3.2.1 IN TE STELLEN PARAMETERS:

De in te stellen parameters zijn weergegeven in tabel 3.2.1. Ingestelde rendementen betreffen het rendement exclusief interne stromen.

TABEL 3.2.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR VOORBEZINKTANKS

Parameter	eenheid	bereik	suggestie
aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
oppervlaktebelasting	m/h	2 – 4	2,5
preprecipitatie	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	0
Me/P-(bruto!)	–	0,5 – 2	1
rendement: berekenen (1) of vaststellen (2)	1 of 2	1 of 2	
ingesteld rendement			v
CZV	%	v	v
BZV	%	v	v
Nkj	%	v	v
P04	%	v	v
OB	%	v	v
Verdere parameters			
percentage bypass	%	0 – 100	v
maximum diameter	m	25 – 50	40
asgehalte primair slib	%	15 – 50	25
CZV van organische stof	kg/kg ds	1,4 – 2,8	1,8
slibgehalte afvoer	%	0,5 – 2	v
Blad VBT			
oppervlaktebelasting	m/h	v	2,5
kantdiepte	m	v	2,0
primair slib kelders		v	1
energieverbruik	kW	v	0,25

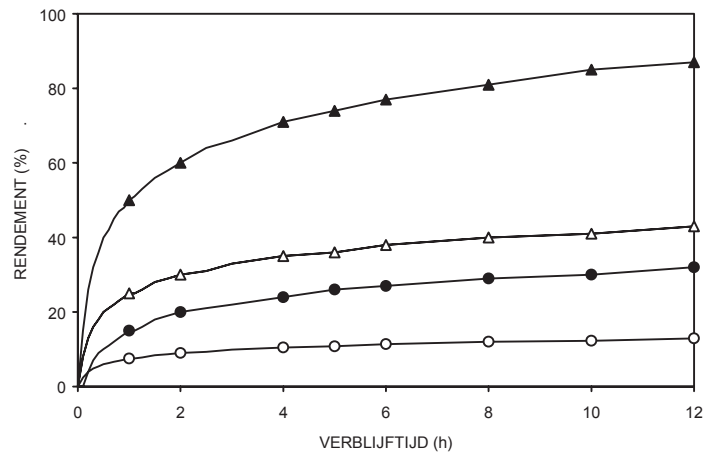
v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

3.2.2 DIMENSIONERING

De efficiëntie van de voorbezinking wordt geacht afhankelijk te zijn van de verblijftijd onder DWA-condities, zoals ook wordt toegepast in het ARABER-model¹. Dit model wordt door de Duitse overheid voorgeschreven voor de technologische berekening van waterzuiveringsinstallaties. Deze afhankelijkheid is geïllustreerd in figuur 3.2.1.

¹ ARABER, AbwasserReinigungsAnlagen-Berechnung. Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Hochschule, Aachen, 1993.

FIGUUR 3.2.1 RENDEMENT VAN DE VOORBEZINKING VOOR VERSCHILLENDE COMPONENTEN. (Δ): CZV EN BZV; (\bullet): NKJ; (\circ): PTOT; (\blacktriangle): ZS. GEGEVENS ONTLEEND AAN HET ARABER-MODEL



3.2.3 RESULTAAT

EFFLUENT

Het effluent wordt eenvoudig berekend door het rendement van de voorbezinking te betrekken op het influent plus de interne stroom.

$$V_i = V_{i\text{in}} * (1 + F_{i\text{intern}}) * (1 - F_{i\text{vbt}}) \quad \{1\}$$

met V_i = de vracht van component i , $F_{i\text{intern}}$ is de fractie die wordt teruggevoerd van component i en $F_{i\text{vbt}}$ is de fractie die wordt verwijderd tijdens de voorbezinking.

SLIBPRODUCTIE

De productie van primair slib wordt gelijk geacht aan de hoeveelheid verwijderde onopgeloste bestanddelen.

KOSTEN

Voor de investeringskosten wordt uitgegaan van standaarddimensies voor waking en betondikte van bodem en wanden. Voor bodem- en wandbeton geldt een eenheidsprijs per m^3 beton en voor de ruimerbrug een eenheidsprijs per meter brug.

ENERGIE

Het energieverbruik van een ruimerbrug wordt geschat op 0,25 kW (in te stellen op tabblad "NBT").

CHEMICALIËN

Het chemicaliënverbruik wordt berekend aan de hand van het dagdebiet en de ingestelde doseringen van Fe.

3.3 ANAËROBE RUIMTE

3.3.1 IN TE STELLEN PARAMETERS

De in te stellen parameters zijn weergegeven in tabel 3.3.1.

TABEL 3.3.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR DE ANAËROBE RUIMTE

Parameter	eenheid	bereik	suggestie
aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
UCT of Phoredox	1 (UCT) of 2 (Pho.)	1 of 2	1
afdekking	1 (ja) of 2 (nee)	0 of 1	1
contactgehalte	uur x g/l	4 – 8	4
overname parameter (P-gehalte)			overnemen
Verdere parameters			
Sa	%	10 – 20	15
Ss	%	15 – 40	25
Blad ANAE			
contactgehalte	gh/l	v	v
menging	W/m ³	v	v
aparte tank	0 (nee) of 1 (ja)	v	v
L/B verhouding		v	v

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

De overnameparameter in cel D73 veranderd naar aanleiding van overige input. Deze invoer dient nadat de overige parameters ingevoerd zijn, nogmaals gecontroleerd te worden.

Op het tabblad “ANAE” wordt voor de evenwichtsberekening van Scheer² een aantal parameters ingesteld (NO₃-eff, verwijdering in NBT, spec. Ss-vraag, P-gehalte PAO's / non PAO's, acetaat per P, Me/P, opp. bel strippertank en max. diameter strippertank). Het wijzigen van deze parameters vereist expertise, zowel voor de waarde van de parameter als in de daaruit volgende berekeningen.

3.3.2 DIMENSIONERING

Een anaërobe ruimte wordt toegepast voor biologische verwijdering van fosfaat. Dimensionering vindt plaats op basis van contacttijd. Omdat gekozen kan worden voor een membraanreactor is hier uitgegaan van het product van de contacttijd en het slibgehalte, zodat bij een membraanreactor wordt uitgegaan van een veel kortere contacttijd.

De anaërobe contacttijd is afhankelijk van de hoeveelheid snel afbreekbare CZV (SS, inclusief VFA) in het influent van de anaërobe ruimte en varieert van 1 h (SS > 50 mg CZV/l) tot 2 h (SS < 50 mg CZV/l). Normaal gesproken is voor een slibgehalte van 4 g/l een contacttijd van 1 uur voldoende. Het volume van de anaërobe ruimte kan berekend worden als de contacttijd is bepaald. De anaërobe ruimte resulteert in een verhoging van het P-gehalte van het slib. Het P-gehalte wordt hier berekend volgens de methode van Scheer³.

² Scheer H 1994. belevungsverfahren mit biologischer Phosphatelimination: Bemessungsansätze und Kostenabschätzung. Korrespondenz Abwasser 41: 426-441.

³ Scheer H 1994. belevungsverfahren mit biologischer Phosphatelimination: Bemessungsansätze und Kostenabschätzung. Korrespondenz Abwasser 41: 426-441.

3.3.3 RESULTAAT

EFFLUENTKWALITEIT EN SLIBPRODUCTIE

Effluentkwaliteit en slibproductie worden hier niet berekend, maar komen pas in de N/DN-ruimte aan de orde.

KOSTEN

De kosten worden alleen berekend als sprake is van een aparte anaërobe ruimte. In de meeste gevallen is hier geen sprake van, maar wordt de anaërobe ruimte als een deel van de totale biologische ruimte gebouwd.

3.4 GECOMBINEERDE NITRIFICATIE- EN DENITRIFICATIERUIMTE

3.4.1 IN TE STELLEN PARAMETERS

De in te stellen parameters zijn weergegeven in tabel 3.4.1.

TABEL 3.4.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR N/DN RUIMTE

Parameter	eenheid	bereik	suggestie
aantal straten		1 – 6	v
membraanbioreactor	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
slibgehalte			
bij MBR	g/l	8 – 20	12
bij conventioneel	g/l	3,5 – 6	zie sheet
SVI	ml/g	100 – 180	zie sheet
berekenen (1) of instellen (2) SLT		1 of 2	v
SLT (bij instellen)	d	2 – 35	zie sheet
nitrificatie	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
denitrificatie	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
voor / simultaan / gemengde denitrificatie	1 (voor), 2 (simultaan), 3 (gemengd)	1 – 3	2
chemische P-verwijdering	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
Me/P-verhouding (netto!)	–	1 – 3	zie tekst
Fe of Al	0 (geen), 1 (Fe) of 2 (Al)	0 – 2	v
setpoint O ₂	mg/l	0,5 – 2	zie sheet
bellenbeluchting	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
diepte	m	2 – 7	6
Verdere parameters			
maximaal anoxisch deel	%	65 – 90	75
volumes afronden op	m ³	1 – 100	10
piekfactor beluchting		1 – 2	1,2
zuurstofoverdracht	% per meter	4 – 7	6
N verwijdering in N/DN	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	
anoxische selector	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	
BCFS proces	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	
minimum NO ₃ -N	mg/l	2 – 6,5	3
gedetailleerde berekening chemisch slib	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	
Blad NDN			
menging	W/m ³	v	3
gedetailleerde berekening chemisch slib	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	
volumes afronden op	m ³	v	
combi / wisselreactor	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	
IJzerdosering aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	
voorraad voor ijzerdosering	d	v	30
diverse kostenafhankelijke parameters	zie tekst	v	

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

Parameters die de kosten van de N-DN ruimte bepalen en ingesteld kunnen worden zijn: propstroom, circuit of ring, aantal benen (circuit), waterdiepte, L/B verhouding propstroom, platformdikte, maximum diameter ring, aantal reactoren per straat, gecombineerde anaëroob met anoxische selector, afdekking en kosten mixers.

De te hanteren Me/P verhouding is een netto verhouding (nadat P al biologisch of met het spuislib is verwijderd). Afhankelijk van de effluenteis voor P dient hier een Me/P verhouding van circa 1 tot 2 te worden gehanteerd.

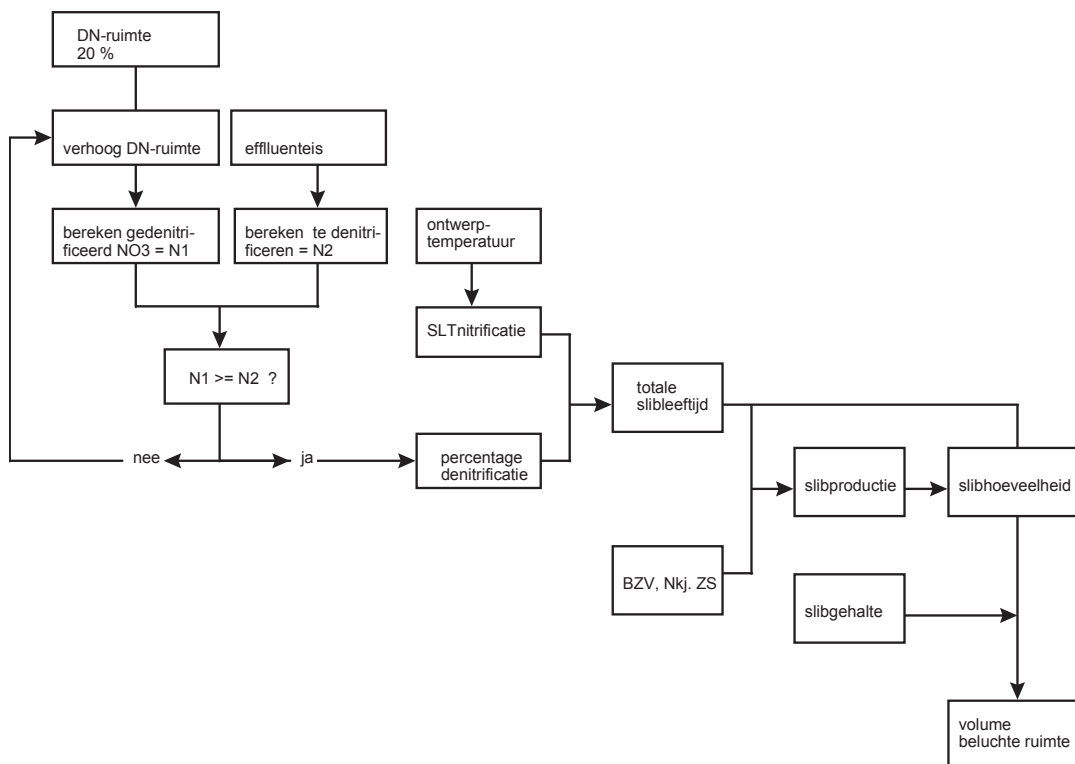
3.4.2 DIMENSIONERING

De dimensionering van de gecombineerde ruimte voor nitrificatie en denitrificatie vindt plaats volgens de in Nederland gangbare HSA-methode⁴. Deze berekening is betrekkelijk complex. Er wordt uitgegaan van de verwachte slibproductie, de slibleeftijd voor nitrificatie en het deel van de slibleeftijd dat ingeruimd dient te worden voor denitrificatie.

De berekening levert een slibleeftijd op die bij de ingestelde ontwerptemperatuur nodig is voor het behalen van de ingestelde effluenteis voor totaalstikstof. Uit de slibleeftijd en de slibproductie volgt de totale hoeveelheid slib die dient te worden aangehouden. Uit deze slibhoeveelheid en het gestelde slibgehalte wordt vervolgens het volume van de ruimte berekend.

De exacte indeling van de ruimten is niet belangrijk voor het berekenen van de slibproductie en de hoeveelheid verbruikte energie. Er wordt hier dan ook geen verdere aandacht aan geschonken.

FIGUUR 3.4.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE BEREKENING VAN HET VOLUME VAN ANOXISCHE EN AÉROBE RUIMTE



⁴ STOWA 1995. Evaluatie van het HSA-model voor toepassing in Nederland. STOWA, Utrecht, 1995, rapport 95-19.

BELUCHTINGSCAPACITEIT

De beluchtingscapaciteit wordt berekend op basis van de slibhoeveelheid, de slibleeftijd, de temperatuur en de hoeveelheden aangevoerde verontreiniging. De berekening is samengevat in tabel 3.4.1.

TABEL 3.4.1

BEREKENING VAN DE BENODIGDE BELUCHTINGSCAPACITEIT

Parameter	waarde / berekening	eenheid
temperatuur	20 (=maximum ontwerpwaarde)	°C
volume	V	m ³
slibgehalte	G	g/l
slibhoeveelheid	$V \times G = GV$	kg
BZV-vracht	BZV	kg/d
Nkj-vracht	Nkj	kg/d
ZS-vracht	ZS	kg/d
P-vracht	P	kg/d
chemisch slib	CS	kg/d
slibleeftijd	resultaat iteratieve berekening: SLT	d
slibproductie		
heterotroof	$BZV \times 0,60^a / (1 + SLT^b \times 0,08^c \times 1,072^{d \times (20^e - 15)}) = A$	kg/d
nitrificeerders	$Nkj \times 0,15^a / (1 + SLT^b \times 0,05^c \times 1,090^{d \times (20^e - 15)}) = B$	kg/d
inert	$ZS \times 0,60^f = C$	kg/d
chemisch slib	CS	kg/d
totaal	$A + B + C + CS = SP$	kg/d
stikstof		
Nkj in eff	3,0	mg/l
NO ₃ -eff	Neis - 3,5	mg/l
N in slib	$(A + B) \times 0,12^g + C \times 0,01^h = NS$	kg/d
Nkj-eff-vracht	$TWA^i \times 3,0 / 1000 = NF$	kg/d
te nitrificeren	$Nkj - NS - NF = TN$	kg/d
NO ₃ -eff-vracht	$TWA^i \times (Neis - 3,5) / 1000 = Neff$	kg/d
te denitrificeren	$TN - Neff = TD$	kg/d
zuurstof		
endogeen	$GV \times 0,08 \times 1,072^{(20-20)} / 24 = P$	kg/h
BZV	$BZV \times 0,50 / 24 = Q$	kg/h
nitrificatie	$TN \times 4,57 / 24 = R$	kg/h
denitrificatie	$TD \times -2,86 / 24 = -S$	kg/h
totaal	$P + Q + R - S = T$	kg/h
O ₂ -inbrengvermogen		
piekfactor	1,1	-
zuurstofsetpoint	2,0	mg/l
deficitfactor	1,12	-
á -factor	0,7 of 0,9 ^j	-
zuurstofinbreng	$T \times 1,1 \times 1,12 / (0,7 \text{ of } 0,9) = ZI$	kg O ₂ /h

a: vracht; b: slibleeftijd; c: coëfficiënt voor afsterving en onderhoud; d: temperatuurcoëfficiënt; e: temperatuur; f: factor voor opname zwevende stof in slib; g: factor voor hoeveelheid N in biologische deel van het slib; h: factor voor opname N in inerte deel van het slib; i: dagdebiet; j: 0,7 voor belenbeluchting of 0,9 voor puntbeluchting.

De hoeveelheid chemicaliën die worden verbruikt voor de (aanvullende) verwijdering van totaalfosfor en de hoeveelheid chemisch slib die daarbij ontstaat, worden bepaald aan de hand van het P-gehalte van het slib. Dit gehalte is bepaald op tabblad "ANAE". Aan de hand hiervan, samen met de slibproductie en de toelaatbare hoeveelheid P in het effluent kan worden bepaald hoeveel chemicaliën moeten worden gedoseerd.

3.4.3 RESULTAAT

EFFLUENTKWALITEIT

Er wordt uitgegaan van een effluentkwaliteit voor N en P zoals die van tevoren is opgegeven. In het ontwerp van de N/DN ruimte en de chemicaliëndosering voor P-verwijdering is dit namelijk het uitgangspunt geweest.

SLIBPRODUCTIE

De berekening van de productie van secundair slib vindt plaats op de wijze als al gegeven werd in bovenstaande tabel 3.4.1, zij het dat de gemiddelde temperatuur wordt gehanteerd en niet de maximale temperatuur.

ENERGIE

Het energieverbruik wordt voornamelijk bepaald door de beluchting, de pomp- en de mengenergie. Voor de beluchtingsenergie wordt uitgegaan van de capaciteit gedeeld door de piekfactor, vermenigvuldigt met de specifieke overdracht van de beluchting, gedurende het aantal uren dat dwa wordt aangevoerd.

Er wordt uitgegaan van een verval van 1 m per onderdeel (voorbezinking, beluchting en nabezinking). Voor de slibretour geldt een factor à 1 x dwa met een opvoerhoogte van 4 m en een recirculatiestroom van een factor 4 x dwa, met een opvoerhoogte van 0,3 m. Op basis hiervan is de energie voor het verplaatsen van water berekend.

De mengenergie is bepaald op basis van een benodigde mengenergie van 8 W/m^3 in het eerste kwart van de anaërobe ruimte en een voortstuwingsenergie van 3 W/m^3 , voor de rest van de anaërobe en de anoxische ruimte.

CHEMICALIËN

Tijdens de beluchting worden alleen chemicaliën voor de verwijdering van totaalfosfor toegepast. Dit kan aanvullende dosering zijn als er sprake is van biologische P-verwijdering. Voor chemische P-verwijdering wordt uitgegaan van dosering in de hoofdstroom. De dosering en de daarbij behorende productie van chemisch slib worden berekend aan de hand van de te verwijderen hoeveelheid P, en de gehanteerde Me/P verhouding. De hoeveelheid chemisch slib wordt bepaald aan de hand van omzetting van het gedoseerde Fe of Al tot het bijbehorende fosfaat-zout.

KOSTEN

De investeringskosten van de gecombineerde reactor voor nitrificatie en denitrificatie worden bepaald door de volumes van de verschillende reactoren (die tot een reactor worden gecombineerd), de betonhoeveelheden die nodig zijn om dit volume te bouwen, de beluchtingscapaciteit die geïnstalleerd moet worden en de benodigde mixers. Overige kostenposten zijn een afgeleide van deze belangrijkste elementen van de reactoren.

De exploitatie wordt voornamelijk bepaald door de beluchting, pomp- en mengenergie, en de verbruikte chemicaliën. Deze worden alle berekend aan de hand van eerder gegeven en berekende parameters.

3.5 NABEZINKING

3.5.1 IN TE STELLEN PARAMETERS

De in te stellen parameters zijn gegeven in tabel 3.5.1.

TABEL 3.5.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR NABEZINKTANKS

Parameter	eenheid	bereik	suggestie
aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
kantdiepte	m	2 – 3	2,0
oppervlaktebelasting: berekenen (1) of instellen (2)	1 of 2	1 – 2	v
berekenen	$m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$	v	overnemen
instellen	$m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$	v	v
Verdere parameters			
maximum diameter	m	50 – 60	50
maximum retourslibgehalte	g/l	8 – 12	8
bestaande nabezinktanks		v	v
Sheet NBT			
maximum diameter	m	v	50
ontwerp retourslib keuze		1, 2, 3 of max	v

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

3.5.2 DIMENSIONERING

De oppervlaktebelasting voor het ontwerp van de nabezinking wordt berekend aan de hand van de richtlijn van de STOWA⁵. De berekening behelst een iteratieve berekening van de oppervlaktebelasting waarbij voldaan moet worden aan de volgende drie criteria:

- het slibgehalte in de beluchte ruimte mag niet dalen beneden 2 g/l;
- de hoeveelheid slib in de beluchte ruimte mag niet dalen beneden 30% van de oorspronkelijke hoeveelheid slib;
- de tijdens RWA gevraagde buffering van slib mag niet groter zijn dan de toelaatbare buffering die op grond van de SVI en het volume van de bezinktank wordt berekend.

De toe te passen oppervlaktebelasting wordt bepaald door het eerste criterium waaraan niet meer voldaan kan worden (bij opletende oppervlaktebelastingen).

3.5.3 RESULTAAT

EFFLUENT

Effluentgehalten worden berekend aan de hand van de concentraties van de opgeloste componenten, zoals berekend voor de N/DN-ruimte, vermeerderd met de hoeveelheid zwevend stof, die met het effluent meespoeld.

SLIBPRODUCTIE

De slibproductie is nu de in de N/DN-ruimte hoeveelheid geproduceerd slib min de hoeveelheid die uitspoelt met het effluent.

⁵ Stofkoper J A & C C M Trentelman 1982. Richtlijnen voor het dimensioneren van ronde nabezinktanks voor actief-slibinstallaties. H2O 15: 344-353.

ENERGIE

Voor de nabezinking hoeft alleen het energieverbruik van de ruimer (0,25 kW) in rekening te worden gebracht. Energie voor het terugbrengen van het retourslib wordt elders (zie energieverbruik in § 3.4.3) in rekening gebracht.

KOSTEN

Voor de investeringskosten wordt uitgegaan van standaarddimensies voor waking en betondikte van bodem en wanden. Voor bodem- en wandbeton geldt een eenheidsprijs per m³ beton en voor de ruimerbrug een eenheidsprijs per meter brug.

3.6 MEMBRAANBIOREACTOR

Membraanscheiding kan worden toegepast om een effluent van zeer goede kwaliteit (vooral voor wat betreft zwevende stof) te verkrijgen. Evenzo kan het worden toegepast om ruimte te besparen, want in een membraanbioreactor (met andere woorden: een biologisch actiefslibstelsysteem met membraanscheiding) kunnen zeer hoge slibconcentraties worden aangehouden.

3.6.1 IN TE STELLEN PARAMETERS

De in te stellen parameters zijn gegeven in tabel 3.6.1.

TABEL 3.6.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR MEMBRAANSCHIEDING

Parameter	eenheid	bereik	suggestie
Aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
Slibgehalte	g/l	8 – 20	12
membraanflux			
Nominaal	L.m ⁻² .h ⁻¹	20 – 50	25
maximaal	L.m ⁻² .h ⁻¹	25 – 70	35
Sheet MBR			
roosterwijdte	mm	v	1
verwijdering BZV door rooster	%	v	10
oppervlakte per m ³ module	m ² /m ³	v	110
specifiek oppervlak	m ² /m ²	v	355
diepte membraanruimte	m	v	3
extra beluchting	m ³ · m ⁻² · h ⁻¹	v	0,5
afschrijving	j	v	7
chemicaliënverbruik		v	
citroenzuur	g.m ⁻² .j ⁻¹	v	1,2
NaOCl	g.m ⁻² .j ⁻¹	v	0,24
chemicaliënverbruik	euro · m ⁻² .j ⁻¹	v	0,28

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

3.6.2 DIMENSIONERING

De dimensionering van een membraanscheiding vindt plaats op basis van de criteria voor de membraanflux. Voor een optimale membraanscheiding worden de membranen in een aparte (aangebouwde) ruimte geplaatst, en voorzien van grove bellenbeluchting, om aangroei aan de membranen te voorkomen.

De dimensionering van de ruimten voor biologische P-verwijdering, nitrificatie en denitrificatie verloopt exact hetzelfde als eerder aangegeven, zij het dat het slibgehalte aanzienlijk hoger is, en de ruimten dus zeer veel kleiner zijn. Bij de berekening van de beluchtingscapaciteit is uitgegaan van bellenbeluchting en van een daling van de α -factor bij het toepassen van hogere slibgehalten (zie formule 2)

$$\alpha = 1 - 0,417 * SG \quad \{2\}$$

met een minimumwaarde van 0,7.

De extra ruimte die nodig is voor de membranen en de extra beluchting voor het onderhoud van de membranen zijn begroot op basis van de in tabel 10 gegeven parameters.

3.6.3 RESULTAAT

EFFLUENT

Effluentgehalten worden berekend aan de hand van de concentraties van de opgeloste componenten, zoals berekend voor de N/DN-ruimte.

SLIBPRODUCTIE

De slibproductie wordt berekend gelijk aan de berekeningen voor een conventioneel systeem, met het verschil dat een hoger drogestofgehalte wordt gehanteerd.

ENERGIE / CHEMICALIËN

Doordat voor de reiniging van de membranen een grove bellenbeluchting wordt aangehouden, wordt meer energie verbruikt. Daarnaast is voor de reiniging van de membranen citroenzuur en NaOCl benodigd. Deze worden berekend aan de hand van het geïnstalleerde aantal m².

KOSTEN

Bij het toepassen van een membraanbioreactor is geen nabezinktank benodigd. Deze kosten vervallen daarmee. Daarnaast zorgt een hoger drogestofgehalte voor een kleiner volume van de biologische ruimten. Extra kosten worden gevormd door extra beluchting, pompenergie, chemicaliënverbruik en ruimtebeslag van de membranen.

3.7 ZANDFILTRATIE

Zandfiltratie wordt vooral toegepast als men een effluentkwaliteit verlangt die aan strengere eisen voldoet dan de gebruikelijke AMvB eisen.

3.7.1 IN TE STELLEN PARAMETERS

De in te stellen parameters zijn gegeven in tabel 3.7.1.

TABEL 3.7.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR ZANDFILTRATIE

Parameter	eenheid	bereik	suggestie
aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
maximale capaciteit	x dwa	0 – 4	1,5
bedoeling van het filter			
verwijdering nitraat	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
verwijdering P	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
Verdere parameters			
ontwerpgrondslagen			
hydraulische belasting	m ³ .m-2.h-1	7 – 15	8
zwevende stofbelasting	kg.m-2.d-1	1 – 4	3
N-belasting	kg N.m-3.d-1	0,4 – 1,0	0,5
dosering			
FeCl ₃	mg/l	1 – 5	2
Me/P	Mol/Mol	1 – 3	2
MeOH/N	kg MeOH/kg N	2,8 – 4,5	4
verwijdering zwevende stof	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	1 (altijd)
frequentie rwa	%	v	10
effluentconcentraties			
zwevende stof	mg/l	v	10
nitraat	mg/l	v	10
P	mg/l	v	1
dosering			
effluent zandfilter bij gebruik			
zwevende stof	mg/l	v	2
NO ₃ -N	mg/l	v	1.5
P	mg/l	v	0.2
effluent huidig zandfilter			
zwevende stof	mg/l	v	2
hoogte	m	v	2,5

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

3.7.2 DIMENSIONERING

De dimensionering van een zandfilter vindt plaats op basis van drie criteria:

- hydraulische belasting
- belasting met zwevende stof
- nitraatbelasting

De belasting die resulteert in het grootste oppervlak, is maatgevend. Het is niet zinvol om voor het volledige rwa-debiet zandfiltratie te installeren. Het regent immers maar een beperkt deel van de tijd. De winst tussen een maximale capaciteit van 2 of 3 maal dwa is marginaal.

3.7.3 RESULTAAT

EFFLUENT

Er is uitgegaan van een instelbare effluentkwaliteit. Kwaliteiten beneden de grenzen die zijn aangegeven in tabel 3.7.1 mogen onredelijk worden geacht.

SLIBPRODUCTIE

De slibproductie is gesteld op de verwijderde hoeveelheid zwevend stof plus de chemisch slib productie als gevolg van de dosering van chemicaliën plus de (biologische) slibproductie als gevolg van methanoldosering.

$$Y = \frac{(Z_{Sin} - Z_{Seff})}{Z_{Sin}} * V_{ZSin} + D_{Fe} * 2,5 + D_{MeOH} * 0,15 \quad \{3\}$$

ENERGIE

Het energieverbruik van het zandfilter is gesteld op 0,25 kWh/m³ behandeld water.

CHEMICALIËN

De verbruiken aan chemicaliën volgt rechtsreeks uit de hoeveelheid water die wordt behandeld en de ingestelde doseringen.

KOSTEN

De kosten van het zandfilter worden voornamelijk bepaald door het oppervlak van het zandfilter en de eventuele doseringen.

3.8 INDIKKING**3.8.1 IN TE STELLEN PARAMETERS**

De in te stellen parameters zijn gegeven in tabel 3.8.1. Er kan worden gekozen uit gravitaire of mechanische indikking. Voor de mechanische indikking is uitgegaan van een bandfilter. De in te dikken hoeveelheden volgen rechtstreeks uit eerdere berekeningen.

TABEL 3.8.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR INDIKKERS

Parameter	eenheid	bereik	suggestie
aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
primair slib apart gravitair	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
alle slib gravitair	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
secundair slib mechanisch	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
direct onttrekking?	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
alle slib mechanisch	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
Verdere parameters			
droge stofbelasting primair	kg.m-2.d-1	25 – 50	40
droge stofbelasting secundair	kg.m-2.d-1	15 – 30	20
maximum diameter	m	15 – 30	20
PE-dosering bandindikker	g/kg ds	1 – 5	2,5
Sheet indik			
afdekking	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
indikker primair slib			
maximum diameter	m	20 – 30	20
kanddiepte	m	3 – 5	3
indikking tot	%		5
indikker secundair slib			
maximum diameter	m		20
kanddiepte	m		3
indikking tot	%		3
bandindikker secundair slib			
indikking tot	%		6
aantal (indikker primair)			1

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

3.8.2 DIMENSIONERING

Dimensionering van de gravitaire indikking vindt plaats op basis van de slibproductie van primair en secundair slib en de toe te passen drogestofbelastingen. Het indikresultaat is van groot belang bij de dimensionering van de slibgisting. Dimensionering van een bandfilter vindt eigenlijk niet plaats.

De capaciteit wordt slechts bepaald aan de hand van de slibproductie. Er wordt uitgegaan van een resultaat van 6% droge stof voor de bandindikker.

3.8.3 RESULTAAT

SLIBPRODUCTIE

De hoeveelheid droge stof verandert niet gedurende de indikking, maar het volume van het slib natuurlijk wel. Het dagelijkse slibvolume is het gevolg van de in te stellen slibconcentraties.

ENERGIE

Er wordt geen energieverbruik berekend voor de indikkers.

CHEMICALIËN

Het chemicaliënverbruik is het gevolg van een instelbare dosering van PE.

KOSTEN

De kosten voor gravitaire indikking volgen uit de dimensies van de indikker(s) en van de ruimerbruggen). Voor een bandfilter zijn nog geen kosten vastgelegd.

3.9 ULTRASONE VOORBEHANDELING

Voorbehandeling met ultrasoon geluid kan worden toegepast voor de verbetering van de vergistbaarheid van slib. Door de ultrasone geluidsgolven ontstaan microscopische luchtbelletjes die bij het in elkaar klappen hoge temperatuur en druk opleveren. Hierdoor kunnen bacteriecellen en macromoleculen uiteenvallen. De verbetering van de vergistbaarheid heeft vooral toepassing op secundair slib. Op primair slib is het effect veel geringer⁶.

Het effect kan dus worden opgevat als een wijziging in de factor K in de berekening van de afbraak van slib volgens Chen & Hashimoto (zie § 3.10). Deze formule voor de afbraak luidt:

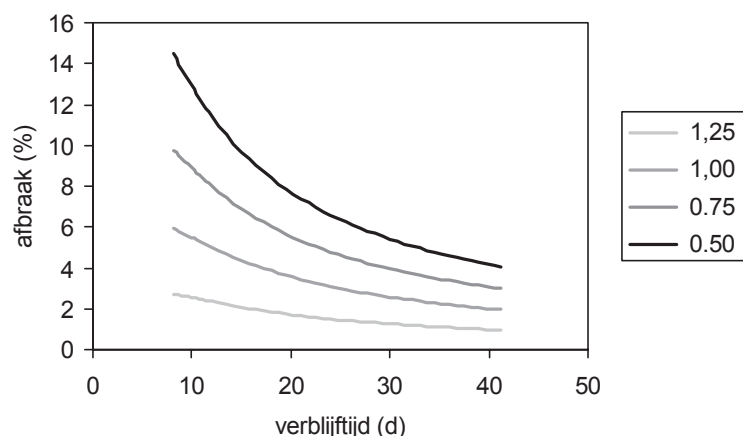
$$\frac{R}{B} = \frac{\Theta - 1}{\Theta - 1 + K}$$

waarin R is het percentage afbraak van de organische stof, B is het maximum haalbare percentage afbraak, Θ is de relatieve sibleeftijd (sibleeftijd gedeeld door minimum sibleeftijd voor methaangisting) en K is de afbraakconstante. Een verlaging van de afbraakconstante leidt in dit model niet tot een verbetering van de uiteindelijke mogelijke afbraak, maar wel tot een snellere afbraak. De verschillen die in de afbraak worden berekend zijn weergegeven in figuur 3.9.1.

⁶ Neis U, K Nickel & A Tiehm 2000. Enhancement of anaerobic sludge digestion by ultrasonic disintegration. Water Science & Technology 42 (9): 73-80.

FIGUUR 3.9.1

VERSCHIL IN RENDEMENT VAN DE AFBRAAK VAN ORGANISCHE STOF ALS FUNCTIE VAN DE SLIBLEEF TIJD Θ BIJ VERGELIJKING MET AFBRAAKCONSTANTE $K = 1,50$ BIJ VERSCHILLENDE WAARDEN VAN DE CONSTATE K



Aangezien de verbetering van de afbraak redelijk overeenkomt met de verbetering die en daling van K tot $K=0,5$, is deze K verder aangehouden. De verbetering van de afbraak is hiermee sterk afhankelijk van de verblijftijd en neemt langzaam af tot vrijwel nul. Voor de kosten, het energieverbruik, de verbetering van de slibontwatering en de reductie in het verbruik van polyelektrolyet zijn als suggestie de opgaven van Grontmij gebruikt, die zijn samengevat in onderstaande Tabel 3.9.2.

TABEL 3.9.2

KARAKTERISTIEKEN VAN ULTRASONE BEHANDELING. PARAMETERS VOOR DE SLIBGISTING DIENEN IN SAMENHANG TE WORDEN GEZIEN MET DE PARAMETERS DIE BIJ SLIBGISTING VAN NIET-VOORBEHANDELD SLIB HOREN, ZIE TABEL 14

parameter	eenheid	bereik	suggestie
parameters van de slibgisting			
behandeling van alleen secundair	0 of 1	0 of 1	1
hoeveelheid slib behandeld	%	20 - 100	30
primaair slib			
afbraakconstante	-	0.80 - 1.50	1.00
maximale afbraak	%	60 - 70	65
secundair slib			
afbraakconstante	-	0.30 - 1.00	0.50
maximale afbraak	%	40 - 50	40
energieverbruik	kW.ton ⁻¹ .d ⁻¹	12	12
verbetering ontwatering	%	0 - 5	3
reductie PE verbruik	g / kg ds	0 - 3	2

3.10 SLIBGISTING

3.10.1 IN TE STELLEN PARAMETERS

De in te stellen parameters zijn samengevat in tabel 3.10.1.

TABEL 3.10.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR SLIBGISTING

Parameter	eenheid	bereik	suggestie
aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
temperatuur	°C	20 – 38	33
verblijftijd	d	15 – 35	20
Verdere parameters			
asgehalte secundair slib ex	%	15 – 50	30
Sheet gist			
maximum volume	m	3.000 – 8.000	5.000
temperatuur	°C	28 – 37	30
verblijftijd	d	15 – 30	20,0
methaangehalte	%	58 – 65	65
opslagtijd gashouder	h-1	4 – 12	8
asgehalte DS ex primair	%	15 – 30	20
asgehalte DS ex secundair	%	20 – 40	30
maximale reductie primair	%	60 – 70	65
maximale reductie secundair	%	35 – 50	40
kg CZV / kg ODS secundair	kg CZV / kg ODS	1,4 – 1,5	1,4
kg CZN / kg ODS totaal	kg CZV / kg ODS	1,4 – 2,4	1,4

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

Tijdens de gisting kunnen chemicaliën worden toegevoegd om de concentratie van H₂S in het biogas of de emissie ervan binnen de perken te houden. Deze chemicaliën zijn niet vermeld op de sheet.

Voor de afbraak van de organische stof in het slib wordt de benadering van Chen & Hashimoto aangehouden⁷. Voor primair en secundair slib wordt de afbraak beschreven met:

$$\frac{R}{B} = \frac{\Theta - 1}{\Theta - 1 + K} \quad \{4\}$$

waarin R is het percentage afbraak van de organische stof, B is het maximum haalbare percentage afbraak, Θ is de relatieve sibleeftijd (sibleeftijd gedeeld door minimum sibleeftijd voor methaangisting) en K is de afbraakconstante. De waarden voor de verschillende parameters voor primair en secundair slib zijn samengevat in tabel 3.10.2; deze zijn in goede overeenstemming met praktijkwaarden (W. Sanders, Landbouwniversiteit, persoonlijke mededeling).

⁷ Chen Y R & A G Hashimoto 1980. Substrate utilization model for biological treatment systems. Biotechnology & Bioengineering 22: 2081-2095.

TABEL 3.10.2

PARAMETERS VOOR BEREKENING VAN HET PERCENTAGE AFBRAAK VAN DE ORGANISCHE STOF

Parameter	eenheid	waarde
minimale sibleeftijd bij 30°C	d	3,0
temperatuurfactor	kg DS.m-2.d-1	1,07
maximale reductie primair slib	%	65
maximale reductie secundair slib	%	40
afbraakconstante primair slib	%	1,0
afbraakconstante secundair slib	%	1,5

De hoeveelheid biogas die ontstaat, wordt bepaald door de mate van afbraak van de organische stof. Over een slibgistinginstallatie dient de CZV balans te kloppen (want er wordt geen zuurstof toegevoerd. 1 kg CZV komt overeen met 0,35 m³ methaan (bij 1 atm en 30°C). Uitgaand van de veronderstelling dat 1 kg organische stof overeenkomt met 1,4 kg CZV kan eenvoudig worden berekend dat de reductie van 1 kg organische stof overeenkomt met een methaanproductie van 0,49 m³; bij een methaangehalte van 65% komt de biogasproductie (in Nm³) dus overeen met 0,754 x de reductie in organische stof (in kg), overeenkomend met 0,854 m³/kg OS bij 30°C en verzadiging met waterdamp. Vooral bij primair slib komen ook wel hogere verhoudingen tussen CZV en organische stof voor, tot waarden van 1,8 à 2,0 kg CZV/kg organische stof.

3.10.2 DIMENSIONERING

De dimensionering van het benodigde reactorvolume voor de slibgisting volgt uit het product van de hoeveelheid slib en de verblijftijd. Ook voor de gashouder wordt een verblijftijd aangehouden.

3.10.3 RESULTAAT

SLIBPRODUCTIE

De slibproductie volgt direct uit de gegevens die bij de berekening zijn gebruikt. Het slibvolume blijft hetzelfde tijdens de gisting: er wordt ervan uitgegaan dat er geen noemenswaardige verandering in volume plaatsvindt.

ENERGIE

De energie die wordt gewonnen tijdens de slibgisting volgt uit de berekende methaanproductie en kan berekend worden uit de energieopbrengst van het geproduceerde methaan. De energie-input wordt bepaald door de benodigde energie voor warmtewisseling, die weer gedekt wordt door de WKK installatie.

CHEMICALIËN

Dosering van chemicaliën tijdens de slibgisting wordt toegepast ter verlaging van het H₂S-gehalte van het biogas en ter verhindering van geuroverlast. In de berekeningen wordt hier geen rekening mee gehouden.

KOSTEN

De kosten van de slibgistinginstallatie worden bepaald door de dimensies van de slibgistingstanks. De capaciteiten van gascompressor en gaslansen worden bepaald op basis van het benodigde volume. De capaciteiten van recirculatiepompen en warmtewisselaar op basis van de aangevoerde slibhoeveelheden samen met de verblijftijd. Als laatste worden de capaciteiten van gashouder, flare en dual fuel engines op basis van de biogasproductie bepaald.

3.11 NA-INDIKKING

De in te stellen parameters staan weergegeven in tabel 3.11.1, de dimensionering en het resultaat zijn vrijwel identiek aan die van gravitaire voorindikking. Ze worden hier niet herhaald. Het uitgaande drogestofgehalte dient te worden opgegeven. Overigens wordt na-indikking niet veel meer toegepast.

TABEL 3.11.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR TRANSPORT

parameter	eenheid	bereik	suggestie
aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
afdekking	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
Verdere gegevens			
drogestof belasting	kg · m ⁻² · d ⁻¹	15 – 30	20
Sheet nadik			
stofbelasting	kg · m ⁻² · d ⁻¹		
kantdiepte	m		3,0
indikken tot	%		4,0

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

3.12 SLIBONTWATERING

3.12.1 IN TE STELLEN PARAMETERS

De in te stellen parameters zijn weergegeven in tabel 3.12.1.

TABEL 3.12.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR ONTWATERING

parameter	eenheid	bereik	suggestie
ontwatering op de locatie	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
kamerfilter, centrifuge of zeefband	K (kamerfilter), C (centrifuge) of Z (zeefband)	K, C of Z	
slibverwerking elders	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
drogestof gehalte	%	15 – 35	27
Sheet ontwater			
FeCl ₃ dosering	g/kg ds		6
houddosering	g/kg ds		0
draaiuren	h/d		8
draaidagen	d/w		5
verblijftijd	s		60
ontwateringsgraad	%		25
energieverbruik	kWh/ton ds		80

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

3.12.2 DIMENSIONERING

De dimensionering van de ontwatering wordt bepaald aan de hand van de ontwateringsgraad en aantal draaiuren per dag.

3.12.3 RESULTAAT

ENERGIE, CHEMICALIËN

Er wordt bij de ontwatering PE en FeCl₃ gedoseerd. Deze staan ingesteld op 6 g/kg ds. Het energieverbruik is op 80 kWh per ton drogestof bepaald.

KOSTEN

De kosten worden geraamd op basis van de reactorgrootte, benodigde appendages en chemicaliën- en energieverbruik.

3.13 SLIBOPSLAG

3.13.1 IN TE STELLEN PARAMETERS

De in te stellen parameters zijn weergegeven in tabel 3.13.1.

TABEL 3.13.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR TRANSPORT

parameter	eenheid	bereik	suggestie
aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
slibopslagtijd	d	3 – 15	7
Sheet opslag			
maximum volume	m ³	400	v

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

3.13.2 DIMENSIONERING

De dimensionering van de slibopslag in een silo is eenvoudigweg het debiet vermenigvuldigd met de opslagtijd.

3.13.3 RESULTAAT

ENERGIE, CHEMICALIËN

Er worden bij de opslag verwaarloosbare hoeveelheden energie en chemicaliën verbruikt.

KOSTEN

De kosten worden geraamd op basis van een eenheidsprijs voor de slibopslag.

3.14 SLIBTRANSPORT

3.14.1 IN TE STELLEN PARAMETERS

De in te stellen parameters betreffen zowel de transportafstanden als de kostenfactoren. Een overzicht van de parameters staat in tabel 3.14.1.

TABEL 3.14.1 IN TE STELLEN PARAMETERS VOOR TRANSPORT

parameter	eenheid	bereik	suggestie
transport			
van bezinking naar indikking	km	v	v
van indikking naar slibgisting	km	v	v
van gisting / na-indik naar ontwatering	km	v	v
van ontwatering naar verwerking	km	v	v
van verwerking naar stort	km	v	v
Sheet trans			
transportkosten			
waarde van A	Euro/ton	0,80	0,80
waarde van B	Euro.ton-1.km-1	0,06	0,06
verbruik diesel	l.ton-1.km-1	0,03	0,03

v: vrij instelbaar, er is geen specifieke suggestie

Het slibtransport is berekend volgens de volgende formule:

$$K = A + B * X \quad \{5\}$$

waarin A en B bedragen per ton nat slib zijn en X is de transportafstand.

3.14.2 RESULTAAT

Energie en kosten

Het verbruik van energie en de kosten volgt rechtsreeks uit bovenstaande formule, en het bijbehorende dieselverbruik.

3.15 LUCHTBEHANDELING

Voor de berekeningen van de luchtbehandeling kunnen parameters ingesteld worden zoals weergegeven in tabel 3.15.1.

TABEL 3.15.1 IN TE STELLEN PARAMETERS BIJ DE BEREKENING VAN INTERNE STROMEN

parameter	eenheid	bereik	suggestie
aanwezig	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
welke elementen			
voorbezinking	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
anaërobe tank	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
anoxische ruimte	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
beluchting	0 (nee) of 1 (ja)	0 of 1	v
Sheet lucht			
specifieke sulfideproductie	g · m-2 · h-1		0,20
sulfide aanwezig als gas	%		70
sulfide emissie uit waterfase	%		30
dimensionering lavafilters			
verwijdering sulfide	g · m-3 · h-1		20
gasbelasting	m3 · m-2 · h-1		300
vulhoogte	m		3,6
gecombineerde behandeling	0 (nee) of 1 (ja)	0 – 1	v
aantal voor de waterlijn		v	v
aantal voor de sliblijn		v	v

Daarnaast moet op het tabblad het aantal persleidingen, samen met de lengte en de diameter ingevoerd worden.

3.15.1 DIMENSIONERING

De dimensionering is uitgelegd op de sulfidenvracht van het afvalwater en het afzuigdebiet. Aan de hand van de specifieke sulfideproductie en het (pers)leiding oppervlakte wordt de sulfidenvracht bepaald. De lavafilters worden op basis van een sulfideverwijderingscoëfficiënt of een maximaal luchtdebiet per m² gedimensioneerd.

3.15.2 RESULTAAT

ENERGIE, CHEMICALIËN

Er wordt voor de luchtbehandeling geen rekening gehouden met chemicaliënverbruik en energiebehoefte.

KOSTEN

De kosten worden geraamd op basis van een grootte afhankelijke prijs voor de lavafilters.

3.16 RETOURSTROMEN

3.16.1 IN TE STELLEN PARAMETERS

Bij de berekening van de interne stromen kunnen parameters worden ingesteld als gegeven in tabel 3.16.1.

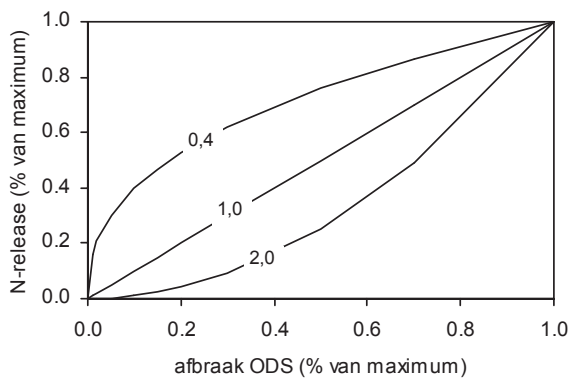
TABEL 4 IN TE STELLEN PARAMETERS BIJ DE BEREKENING VAN INTERNE STROMEN

parameter	eenheid	bereik	suggestie
aandeel NH ₄ in effluent	%		75
hydrolyse tijdens indikking			
primair slib	%	0 – 40	v
secundair slib	%	0 – 50	v
N in water (secundair)	mg/l	0 – 15	v
DS uit (secundair)	%		v
coëfficiënt voor N	–	0,4	0,4 – 1,5
slibgisting			
CZV van ODS (primair)	kg/kg	1,4 – 2,4	1,8
CZV van ODS (secundair)	kg/kg	1,35 – 1,5	1,4
SLT	d	15 – 30	20
temperatuur	°C	28 – 37	30
maximum afbraak (primair)	%	60 – 70	65
maximum afbraak (secundair)	%	35 – 45	40
afbraakconstante (primair)		0,8 – 1,2	1,0
afbraakconstante (secundair)		1,2 – 1,8	1,5
methaangehalte	%	58 – 65	60
DS gehalte ontwaterd	%	20 – 30	21

Het aandeel NH_4 van de binnenkomende stikstof en het aandeel zwevende stof moeten een zeker verband hebben. Bij een te lage instelling wordt het N-gehalte van het primaire slib zeer hoog.

De coëfficiënt voor N betreft de snelheid van vrijkomen van N. Het is onduidelijk of de stikstof net zo snel vrijkomt als dat de organische stof wordt afgebroken. Hiervoor is een coëfficiënt geïntroduceerd, die beide processen aan elkaar relateert. Als de coëfficiënt 1 is, dan verlopen de afbraak van organische stof en het vrijkomen van stikstof even snel, bij een waarde lager dan 1 verloopt het vrijkomen van stikstof sneller, bij een waarde hoger dan 1 langzamer (zie figuur 3.16.1).

FIGUUR 3.16.1 HOEVEELHEID VRIJGEKOMEN STIKSTOF ALS FUNCTIE VAN DE HOEVEELHEID AFGEBROKEN ORGANISCHE STOF



3.16.2 BEREKENING

De berekening gaat uit van een zekere hydrolyse tijdens de indikking en van het vrijkomen van N tijdens de gisting, die gerelateerd is aan de afbraak van organische stof. Deze laatste is al berekend bij de slibgisting. Aan de hand van de drogestofconcentraties IN en UIT kan de hoeveelheid water berekend worden die vrijkomt. Gecombineerd met de hoeveelheid vrijgekomen N levert dit de concentratie aan stikstof in het vrijkomende water.

3.16.3 RESULTAAT

EFFLUENT

Het effluent van de processen wordt overgebracht naar het advies voor de hoeveelheid N_{kj} in de retourstroom op blad IN. Daarnaast vormt de samenstelling van de retourstroom de input voor de deelstroomberekeningen.

3.17 'EINDAFREKENING'

In de 'eindafrekening' wordt een samenvatting gegeven van:

- influent
de influent karakteristieken zoals ze zijn opgegeven
- effluenteisen
de effluenteisen zoals opgegeven
- installatie
de aan- of afwezigheid van de verschillende installatieonderdelen
- effluentconcentraties
de berekende effluentconcentraties verschillen doorgaans niet van de opgegeven concentraties
- slibproductie
de slibproductie wordt opgesplitst in primair, secundair en uitgestort slib
- verbruik chemicaliën
het verbruik van FeCl_3 , methanol, NaOH, poly-elektrolyt, citroenzuur en NaOCl wordt apart gespecificeerd
- verbruik energie
het energieverbruik van de verschillende onderdelen van de installatie wordt gespecificeerd
- productie energie
de productie van energie uit biogas wordt gegeven
- kosten
de investeringskosten, opgedeeld in civiele en niet-civiele investeringen worden gegeven, ze worden elders meer gedetailleerd gepresenteerd. De exploitatiekosten en de kosten per i.e. zijn apart benoemd.

4

TOELICHTING OP HET GEBRUIK VAN HET REKENMODEL VOOR DE SLIBEINDVERWERKING

4.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft het model voor de slibeindverwerking. Het spreadsheet model kan worden toegepast om vanuit een bekende slibsamenstelling en -hoeveelheid een eindverwerking energetisch en economisch door te rekenen. Als invoer voor het model kan gebruik worden gemaakt van de berekeningsresultaten afkomstig van het waterlijnmodel. Het model kan de slibeindverwerking doorrekenen voor verschillende typen slib afkomstig voor verschillende typen rwzi's om daarmee volledige slibketens energetisch en economisch met elkaar te kunnen vergelijken.

Het programma kan worden opgestart door de file "Slibeindverwerking versie 12" in Excel te laden. Vervolgens klikken op "Enable macro's". Daarna verschijnt het eerste tabblad van het spreadsheet programma in beeld. Dit is het blad: "Legenda". Vanuit dit blad kan snel door het gehele model genavigeerd worden. Ieder blad dat rechtstreeks benaderd kan worden "Legenda" middels een snelknop, bevat ook een snelknop om direct terug te keren naar het blad "Legenda" Het blad "Legenda" fungeert dus in feite als centrale navigatie.

Het model is opgebouwd uit de volgende tabbladen:

- Legenda;
- UGP (afkorting voor uitgangspunten);
- Extern slib;
- Transport;
- Totaal overzicht;
- Tabel energie;
- Overzicht;
- Resultaten RWZI model;
- Condensaatbehandeling;
- Vaste constantes.

Vervolgens is er voor de volgende slibeindverwerkingstechnieken een rekenblad en een blad met een processchema opgenomen:

- indirect drogen met verbranding in een wervelbedoven;
- natte oxidatie;
- meeverbranden in een AVI;
- biologisch drogen, gevolg door meestoken;
- gasgestookt drogen, gevolgd door meestoken;
- drogen met restwarmte, gevolgd door meestoken;
- biologisch drogen, gevolgd door verbranding in een cementoven;

- gasgestookt drogen, gevolgd door meestoken in een cementoven;
- drogen met restwarmte, gevolg door meestoken in een cementoven;
- biologisch droging gevolgd door storten;
- gasgestookt drogen, gevolgd door storten;
- drogen met restwarmte, gevolg door storten.

Voor indirect drogen met verbranding in een wervelbed zijn drie specifieke varianten door-gerekend. Het betreft:

- indirect drogen met wervelbedverbranding in combinatie met een tegendrukturbine;
- indirect drogen met wervelbedverbranding in combinatie met een condensatieturbine;
- indirect drogen met wervelbedverbranding in combinatie met damprecompressie.

Daarna volgen de economische berekeningen voorafgegaan door het tabblad met de alge-mene financiële uitgangspunten “Alg. ec. uitgangspunten” die voor alle slibeindverwerkings-technieken gelden. Vervolgens zijn per slibeindverwerkingstechniek twee tabbladen opgeno-men die specifiek geldig zijn voor de betreffende slibeindverwerkingstechniek:

- één tabblad met de specifieke economische uitgangspunten;
- één tabblad met de economische berekening.

De eindresultaten van de economische berekeningen worden ook getoond op het tabblad “Totaal overzicht”.

In de navolgende paragrafen 4.2 t/m 4.15 zal een nadere uiteenzetting worden gegeven van de gebruikte tabbladen.

4.2 TABBLAD “LEGENDA”

Voor het uitvoeren van de berekeningen is een groot aantal parameters nodig. Voor veel van deze waarden is een default waarde ingevoerd, waarvan indien gewenst kan worden afgewe-ken. Op het tabblad “Legenda” wordt uiteengezet dat de zwarte getallen niet wijzigbaar zijn. Voor de in blauw weergegeven getallen voorziet het model in een default waarde, overeenko-mend met de verwachtingswaarde onder normale omstandigheden. Een blauw weergegeven default waarde kan desgewenst worden gewijzigd door de gebruiker. Indien een default waar-de door de gebruiker wordt aangepast, en de ingevulde waarde buiten een vóóraf aangegeven range valt, dan wordt het getal in rood weergegeven.

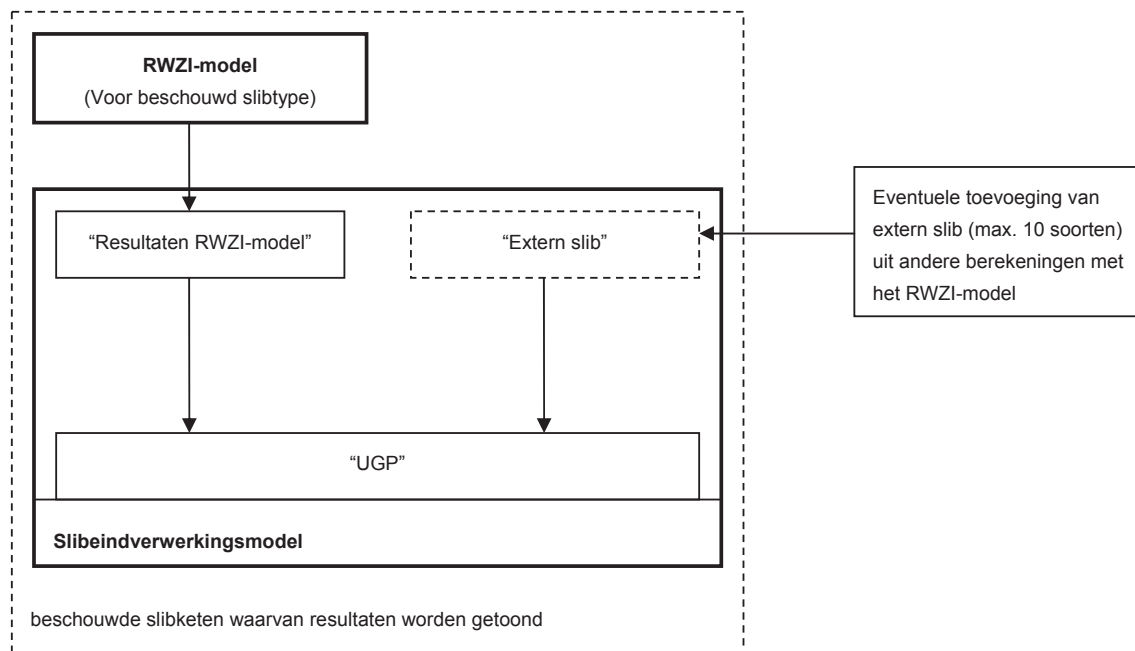
Daarnaast staan op dit blad snelknoppen waarmee snel door het model genavigeerd kan wor-den. De knoppen zijn gerangschikt bij invulbladen, overzichten, eindverwerkingstechnieken en varianten. Door op een knop te klikken komt men per direct in betreffende tabblad. Met de knop “Terug naar legenda” kan men vanuit een bepaald blad direct terugkeren naar het blad “Legenda”.

4.3 TABBLAD “UGP”

Op het tabblad “Resultaten RWZI-model” zijn de berekeningsresultaten van het rekenmodel voor de water- en sliblijn overgeheveld naar het slibeindverwerkingsmodel. Met deze gege-vens wordt het slibeindverwerkingsmodel doorgerekend. Voor de gekozen RWZI worden de resultaten getoond op de overzichtsbladen voor alle slibeindverwerkingstechnieken.

De slibeindverwerking kan belast worden met meerdere typen slib. De verschillende typen slib kunnen op het tabblad “Extern slib” worden ingegeven. Om hiermee te rekenen dient er op het blad “UGP” gekozen worden voor “Ja” bij toevoer extra slib meenemen. De extern toegevoerde hoeveelheid slib + het slib dat uit het blad “Resultaten RWZI model komt” dienen samen gelijk te zijn aan de werkelijke verwerkingscapaciteit van een eindverwerkingsinstallatie. Vervolgens wordt er een rekenkundig gemiddelde waarde bepaald van het samengestelde slib. Het slibeindverwerkingsmodel gaat dan uit van de samenstelling van het slib zoals weergegeven in het blok met titel “Rekenkundig gemiddelde waarde totaalstroom”. Het doel van dit blok is het optellen van verschillende slibhoeveelheden die separaat berekend zijn met het waterlijnmodel ingeval slibhoeveelheden gezamenlijk verder worden verwerkt in de slibeindverwerking. In totaal kan men maximaal 10 verschillende slibstromen in het blad “Extern slib” opgeven. Één en ander is in figuur 4.3.1 weergegeven.

FIG. 4.3.1 SCHEMA VOOR BEREKENING MET EVENTUEEL EXTERN SLIB



Alle parameters die door de gebruiker gewijzigd kunnen worden, zijn in blauw weergegeven. Voor het verbrandingsgedrag van slib zijn, in principe, twee parameters van belang, namelijk:

- droge stofgehalte;
- organisch stofgehalte.

Op grond van ervaring is vastgesteld dat de stookwaarde van het organische bestanddeel van de droge stof in zuiveringsslib vrij constant is en overeenkomt met 21,662 MJ/kg organische droge stof. Alle verschillende typen slib worden met deze constante verbrandingswaarde per kg organisch stof doorgerekend. Het is echter ook mogelijk deze waarde zelf in te vullen in de cel “C22”.

Per slibstroom kan het volgende opgegeven worden:

- massa slib;
- droge stof gehalte;
- organische fractie in d.s.;
- temperatuur slib;
- stookwaarde slib;
- Fosfor;
- Hg;
- Cd;
- Al;
- Fe;
- S;
- Zware metalen.

Standaard wordt alleen gerekend met het slib zoals dat uit het blad “Resultanten RWZI-model” komt. Bij het gebruik van meerdere slibstromen (uit het blad “Extern slib”) zal er een rekenkundig gewogen gemiddelde worden bepaald. Dit gemiddelde wordt voor alle gehalten per kg droge stof bepaald. De stookwaarde echter, zal per kg organische stof berekend worden.

Voor een ingevoerde situatie is het bovenste gedeelte van de invoersheet in figuur 4.3.2 ter illustratie opgenomen.

FIGUUR 4.3.2 SPREADSHEET UITGANGSPUNTEN SLIBVERWERKING

Invoerparameters		RWZI	Extern slib
Capaciteit	[ton d.s./jaar]	1.717	250
Massa slib	[ton/jaar]	8.174	1.000
droge stof gehalte	[%]	21%	25%
organische fractie in d.s.	[%]	63%	60%
temperatuur slib	[°C]	15	20
stookwaarde slib	[MJ/kg organisch stof]	2,0	21,7
stookwaarde slib, zelf op te geven waarde	[MJ/kg organisch stof]	2	
stookwaarde slib, standaard 21,662 MJ/kg organisch stof	[MJ/kg organisch stof]	21,7	21,7
Fosfor	[mg/kg d.s.]	25.000,0	0,0
Hg	[mg/kg d.s.]	1,0	1,0
Cd	[mg/kg d.s.]	1,5	1,5
Al	[mg/kg d.s.]	300,0	0,0
Fe	[mg/kg d.s.]	25.000,0	0,0
S	[mg/kg d.s.]	2.500,0	2.100,0
Zware metalen	[mg/kg d.s.]	1.500,0	1.500,0

Rekenkundig gemiddelde waarde totaalstroom		
beschouwde eenheidsmassa slib	[kg d.s.]	1,00
droge stof gehalte	[%]	21%
organische fractie in d.s.	[%]	62%
temperatuur slib	[°C]	15,5
stookwaarde slib	[MJ/kg organisch stof]	4,4
Fosfor	[mg/kg d.s.]	21.821,9
Hg	[mg/kg d.s.]	1,0
Cd	[mg/kg d.s.]	1,5
Al	[mg/kg d.s.]	261,9
Fe	[mg/kg d.s.]	21.821,9
S	[mg/kg d.s.]	2.449,1
Zware metalen	[mg/kg d.s.]	1.500,0

Op dit tabblad “UGP” kan voor vier verschillende type eindverwerkingstechnieken worden aangegeven voor welke verwerkingscapaciteiten de slibeindverwerking wordt ontworpen (in ton d.s./jaar) en wat het werkelijke aanbod zal zijn van het te verwerken zuiveringsslib (in ton d.s./jaar). Dit geeft de mogelijkheid om ook te berekenen wat de consequenties kunnen zijn van een (tijdelijke) onderbezetting. Daar er in het waterlijnmodel een keuze is gemaakt

voor een bepaalde grootte van de RWZI, en daarmee ook de jaarlijkse slibproductie, wordt automatisch het aantal RWZI's per type eindverwerkingstechniek aangepast om te kunnen voldoen aan het werkelijke aanbod.

Tenslotte zijn er op het tabblad "UGP" twee knoppen opgenomen:

- één knop voor een herberekening van alle modellen;
- één knop voor een herberekening van varianten.

De noodzaak tot herberekening wordt aangegeven. Met de eerstgenoemde knop worden alle reguliere modellen doorgerekend. Het is niet nodig om alle modellen met macro's separaat aan te klikken. In feite worden die macro's opgeroepen met de twee hierboven genoemde knoppen.

4.4 TABBLAD "EXTERN SLIB"

In het algemeen verwerkt een slib(eind)verwerkingsinstallatie het zuiveringsslib van een groot aantal RWZI's, met verschillende eigenschappen en dus ook met verschillende hoeveelheden en samenstellingen van het geproduceerde zuiveringsslib. Daarom is in het rekenmodel voor de slibeindverwerking een tussenmodule (separaat tabblad) opgenomen, waarmee een aantal (maximaal 10) slibhoeveelheden van verschillende samenstelling gesommeerd kunnen worden, waarna hun gewogen samenstelling wordt bepaald. Dit resultaat wordt dan gecombineerd met de hoeveelheid en samenstelling van het slib van de slibketen die in beschouwing wordt genomen. Deze gecombineerde hoeveelheid en gewogen samenstelling wordt gebruikt als ingangsparemeter voor het rekenmodel van de slibeindverwerking.

Op het tabblad "UGP" kan worden aangegeven of extern slib (slib van andere typen rwzi's) aandeel uitmaakt van de totale hoeveelheid slib die bij de slibeindverwerking ter verwerking wordt aangeboden. Op het tabblad "Extra slib" kan van maximaal 10 partijen slib, de hoeveelheid en samenstelling worden ingevoerd. Van deze partijen wordt vervolgens de totale hoeveelheid en de gewogen samenstelling berekend.

De invoer van de slibeindverwerking wordt berekend vanuit de hoeveelheid en samenstelling van het extern aangeboden slib en de hoeveelheid en samenstelling van het slib geproduceerd door de rwzi die deel uitmaakt van de beschouwde slibketen. Op het tabblad "Totaaloverzicht" staat aangegeven hoeveel rwzi's van de beschouwde slibketen slib aanleveren om de capaciteit van de slibeindverwerking volledig te bezetten.

Door in "UGP" te keizen voor het meenemen van extern slib, wordt dit blad geactiveerd. In eerste instantie staat alleen de eerste slibstroom ("Slib 1") ingevuld. Andere slibstromen kunnen onder "Slib 2" tot en met "Slib 10" worden opgeven. Het blok "Rekenkundig gemiddelde waarde extern slib" laat de rekenkundig gewogen waarden zien van alle ingevoerde slibstromen. De waarden uit dit blok worden overgenomen in het blad "UGP" Daar wordt het rekenkundig gemiddelde bepaald van de slibstroom uit één RWZI en de totaalstroom uit het blad "Extern slib". De slibmassa die ingevoerd wordt in de cellen "C4" tot met "L4" dient enkel om het rekenkundig gemiddelde te bepalen en het terug te reken naar de beschouwde eenheidsmassa (1,00 kg d.s.).

In onderstaande tabellen 4.4.1 en 4.4.2 volgt een voorbeeld met twee verschillende soorten slib.

TABEL 4.4.1 INVOER SLIBSTROMEN 1 EN 2

		Slib 1	Slib2
Massa slib	[kg]	10,00	5,00
droge stof gehalte	[%]	25%	35%
organische fractie in d.s.	[%]	60%	70%
temperatuur slib	[°C]	15	20
stookwaarde slib (standaard 21 MJ/kg organisch stof)	[MJ/kg organisch stof]	20,5	20,5
Fosfor	[kg/kg d.s.]	0,005	0,013
Hg	[kg/kg d.s.]	0,005	0,011
Cd	[kg/kg d.s.]	0,005	0,04
Al	[kg/kg d.s.]	0,005	0,08
Fe	[kg/kg d.s.]	0,005	0,008
Reserve 1	[kg/kg d.s.]	0,005	0,005

TABEL 4.4.2 UITVOER SLIBSAMENSTELLING

Rekenkundig gemiddelde waarden			
beschouwde eenheidsmassa slib		[kg d.s.]	1,00
droge stof gehalte		[%]	28%
organische fractie in d.s.		[%]	64%
temperatuur slib		[°C]	16,7
stookwaarde slib		[MJ/kg organisch stof]	20,5
Fosfor		[kg/kg d.s.]	0,008
Hg		[kg/kg d.s.]	0,007
Cd		[kg/kg d.s.]	0,019
Al		[kg/kg d.s.]	0,036
Fe		[kg/kg d.s.]	0,006
Reserve 1		[kg/kg d.s.]	0,005

4.5 TABBLAD "MEP"

Op het tabblad "MEP" kan er voor worden gekozen om de MEP-subsidie bij elektriciteitslevering mee te nemen. Indien ervoor wordt gekozen deze mee te nemen, dient er aangegeven te worden of de installatie kleiner of groter dan 50 MW is. Affankelijk van de installatiegrootte zal het subsidiebedrag aangepast worden. Indien er niet voor wordt gekozen de MEP-subsidie mee te nemen, zal het blad grijs worden.

4.6 TABBLAD "TRANSPORT"

Op het tabblad "Transport" wordt berekend wat het energiegebruik bij het transport. Dit gebeurt voor de verschillende typen transport die bij een bepaald eindverwerkingsproces voorkomen.

4.7 TABBLAD "TOTAAL OVERZICHT"

Op het tabblad "Totaal overzicht" wordt voor het gekozen type RWZI, voor alle slibeindverwerkingsketens, een overzicht gegeven per ton droge stof van:

- het energieverbruik van de RWZI en de slibeindverwerking (beiden uitgedrukt GJ/primair per ton droge stof);
- de investeringskosten per verwerkte ton droge stof;
- de verwerkingskosten per verwerkte ton droge stof.

Verder zijn de emissies van P, Hg, Cd, Al, Fe, S en zware metalen berekend op basis van kentallen.

De gegevens voor de slibeindverwerking zijn ontleend aan het tabblad “Overzicht” dat uitsluitend bestemd is voor de slibeindverwerking (zonder RWZI).

Het energieverbruik, de investeringskosten en de verwerkingskosten zijn op dit tabblad ook uitgedrukt per i.e. Om het aantal i.e. vast te stellen waarop de slibeindverwerking (ofwel de werkelijke slibaanvoer) betrekking heeft, is voor het betreffende type RWZI (waarvoor in het waterlijnmodel de grootte is gekozen) berekend hoeveel RWZI's slib aan een bepaald type eindverwerking moeten leveren om deze op de ingegeven hoeveelheden uit het blad “UGP” te laten draaien.

4.8 TABBLAD “TABEL ENERGIE”

Het tabblad “Tabel energie” geeft voor het gekozen type RWZI, voor alle typen slibeindverwerking aan wat het energieverbruik is, omgerekend naar GJ_{primair} per ton droge stof. Daarbij is onderscheid gemaakt in het gebruik van primaire energie, elektrische energie, stoom/condensaat, zuurstof/hout en condensaatbehandeling.

Daarnaast wordt de energieopbrengst weergegeven, waarbij onderscheid is gemaakt in productie van secundaire energie, elektrische energie en stoom. Tenslotte is het netto verbruik of overschot aangegeven in GJ_{prim} per ton droge stof.

Op dit blad is hetzelfde nogmaals berekend, maar dan in MJ_{prim} per i.e.

Tevens wordt op dit blad de CO_2 -emissie weergegeven in kg/ton d.s. en in $kg/i.e.$

4.9 TABBLAD “OVERZICHT”

Op het tabblad “Overzicht” staan uitsluitend de eindresultaten van de berekening weergegeven voor alle slibeindverwerkingsketens (zonder de gegevens van de RWZI), uitgedrukt per verwerkte ton droge stof. Genoemde waarden zijn ook opgenomen in het tabblad “Totaal overzicht”.

4.10 TABBLAD “RESULTATEN RWZI MODEL”

In het tabblad “Resultaten RWZI model” zijn de berekeningsresultaten uit het waterlijnmodel overgeheveld naar het slibeindverwerkingsmodel. Het blauwe gebied is in feite het gebied waarin de gegevens uit het waterlijnmodel gekopieerd kunnen worden.

4.11 TABBLAD “CONDENSAATBEHANDELING”

In het tabblad “Condensaatbehandeling” wordt het energiegebruik en de verwerkingskosten per type slibeindverwerking berekend. Het is mogelijk uit 5 verschillende type condensaatbehandeling te kiezen, te weten: SHARON, BABE, MEMBRAAN, SHARON+ANNAMOX en ANNAMOX.

Deze keuze maakt men op het blad deelstroombehandeling door de betreffende cellen : “C11” tot en met “C14” in te vullen. Zie figuur 4.11.1

FIGUUR 4.11.1 KEUZE TYPE CONDENSAATBEHANDELING

type		
SHARON	0 of 1	0
AMMANOX	0 of 1	0
BABE	0 of 1	1
MEMBRAAN	0 of 1	0

In bovenstaand voorbeeld zullen alle type slibeindverwerking worden doorgerekend met een BABE condensaatbehandeling.

De resultaten van deze berekeningen worden in de tabbladen met economische berekeningen in cel "C19" bij de investeringen ingevuld en tevens in cel "F73" als bedrijfsvoeringskosten.

4.12 TABBLAD "VASTE CONSTANTEN"

In het tabblad "Vaste constanten" zijn alle waarden die normaal niet veranderen (zoals de verbrandingswaarde van aardgas) opgegeven. In tabel 4.12.1 staan alle gebruikte constanten weergegeven. In principe dienen c.q. hoeven deze niet veranderd te worden.

TABEL 4.12.1 WAARDEN VASTE CONSTANTEN

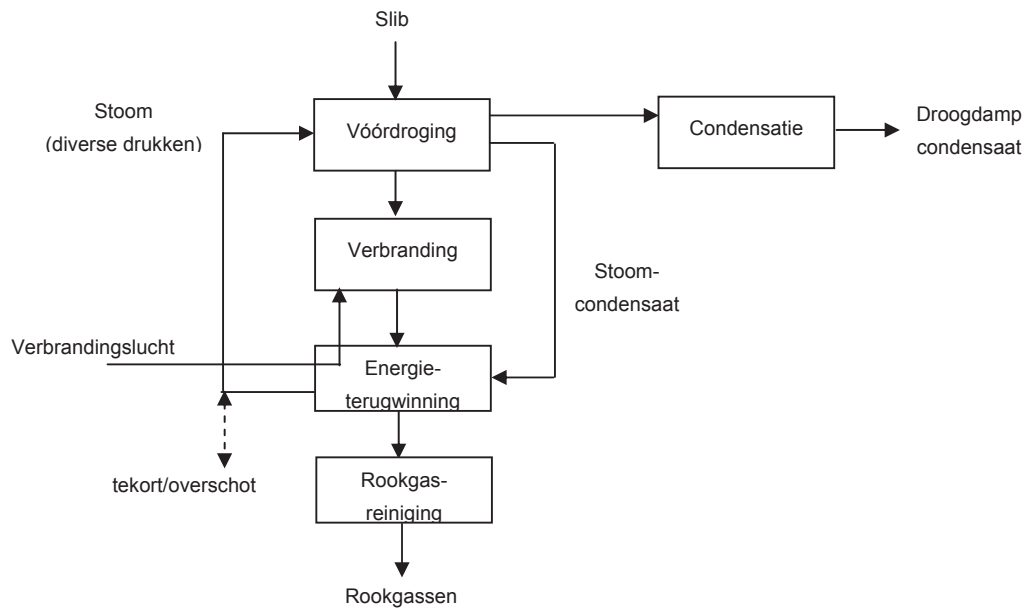
Algemeen		
enthalpie waterdamp (atmosferisch)	[kJ/kg]	2.675
verdampingswarmte water (atmosferisch)	[kJ/kg]	2.258
omgevingstemperatuur	[°C]	15
koelwatertemperatuur in	[°C]	10
maximale opwarming koelwater	[°C]	7
dichtheid lucht	[kg/m03]	1,29
Energie		
energieinhoud ELEKTRICITEIT	[MJ/kWh]	3,6
verbrandingswaarde AARDGAS [o.w.]	[MJ/m03]	31,65
dichtheid AARDGAS	[kg/m03]	0,83
hoeveelheid verbrandingslucht AARDGAS (n=1,4)	[kg/m03 gas]	14,86
hoeveelheid rookgassen AARDGAS droog (n=1,4)	[kg/m03 gas]	13,85
hoeveelheid waterdamp AARDGAS (n=1,4)	[kg/m03 gas]	1,40
dichtheid rookgas AARDGAS	[kg/m03]	1,29
verbrandingswaarde METHAAN	[MJ/m03]	36,00
dichtheid METHAAN	[kg/m03]	0,72
verbrandingswaarde HOUT [o.w.]	[MJ/kg]	19,80
Waarderingen		
waardering electriciteitstekort/overschot	[kJe/kJprim]	0,50
waardering zuurstof	[kg O2/kJprim]	2,880
waardering condensaat (1 tot 75 bar)	[kJcond./kJprim]	0,20
waardering warmwater (110 °C, atm.)	[kJrestw/kJprim]	0,10
Soortelijke warmtes		
soortelijke warmte lucht	[kJ/kg °C]	1,00
soortelijke warmte water	[kJ/kg °C]	4,22
soortelijke warmte waterdamp (atmosferisch)	[kJ/kg °C]	2,00
soortelijke warmte rookgassen (droog)	[kJ/kg °C]	1,00
soortelijke warmte droge stof	[kJ/kg °C]	1,00
soortelijke warmte asrest	[kJ/kg °C]	1,00
soortelijke warmte rookgas AARDGAS	[kJ/kg °C]	1,00
Rendementen		
thermische rendement droger	[%]	99%
thermische rendement droogdamcondensor	[%]	99%
thermisch rendement verbrandingskamer	[%]	96%
thermische rendement LUV0 1	[%]	99%
thermische rendement wervelbedoven	[%]	98%
thermische rendement ketel	[%]	99%
thermisch rendement condensor	[%]	100%
rendement turbine (Nmech*Nel)	[%]	97%
isentrop rendement turbine	[%]	80%
rendement conventionele poederkool gestookte centrale	[%]	43%
rendement op enthalpietoevoer i.g.v. bijstoken in poederko	[%]	98%
Enthalpieën		
ingangsenthalpie lucht	[kJ/kg]	15
ingangsenthalpie koelwater	[kJ]	42
ingangsenthalpie slib	[kJ/kg d.s.]	253

4.13 TABBLAD "IND. DR. + WERVELBED BER."

Het tabblad "Ind. dr. + wervelbed ber." heeft uitsluitend betrekking op de eindverwerking van de slibketen van indirect drogen met verbranding in een wervelbedoven (tevens referentie-scenario van de slibeindverwerking). Het globale processchema is weergegeven in figuur 4.13.1.

Het tabblad toont de resultaten van de uitgevoerde berekeningen met het rekenmodel.

FIGUUR 4.13.1 GLOBAAL PROCESSHEMA SLIBVERBRANDING MET WERVELBEDOVEN EN INDIRECTE VOORDROGING



4.14 TABBLAD "IND. DR. + WERVELBED SCH."

Het tabblad "Ind. dr. + wervelbed sch." heeft eveneens uitsluitend betrekking op de eindverwerking van de slibketen van indirect drogen met verbranding in een wervelbedoven (tevens referentiescenario van de slibeindverwerking). Dit tabblad toont een schema van het proces, met de berekende waarden op basis van het rekenmodel. Tevens is de berekende massa- en energiebalans in tabelvorm weergegeven.

De onder paragraaf 4.13 en 4.14 beschreven tabbladen zijn ook voor alle overige slibverwerkingsketens opgenomen. Vanwege de identieke opbouw, worden deze hier niet separaat behandeld.

4.15 TABBLAD "ALG. EC. UITGANGSPUNTEN"

In het tabblad "Alg. ec. uitgangspunten" worden de algemene uitgangspunten weergegeven die gehanteerd zijn voor de economische berekeningen van de eindverwerkingen van alle slibketens.

4.16 TABBLAD "SPEC. EC. UITGP. WERVELBEDOVEN"

Het tabblad "Spec. Ec. uitgp. wervelbedoven" geeft de uitgangspunten weer die naast de algemene uitgangspunten, specifiek gehanteerd zijn voor de eindverwerking "indirect drogen en verbranding in een wervelbedoven".

4.17 TABBLAD “EC. BEREKENING WERVELBEDOVEN”

Het tabblad “Ec. berekening wervelbedoven” geeft een overzicht van de economische berekening voor de eindverwerking “indirect drogen en verbranding in een wervelbedoven”. Deze berekening gaat uit van de algemene en specifieke uitgangspunten.

De onder paragraaf 4.16 en 4.17 beschreven tabbladen zijn ook voor alle overige slibeindverwerkingen opgenomen.

5

TOELICHTING OP DE MODELLERING VAN HET SLIBEINDVERWERKINGSMODEL

5.1 PROCESBESCHRIJVING INDIRECTE DROGING EN SLIBVERBRANDING IN EEN WERVELBEDOVEN

Aan de hand van de eindverwerking “Indirecte droging en slibverbranding in een wervelbedoven” wordt in dit hoofdstuk een beschrijving gegeven van het proces, de modellering en de uitgevoerde berekeningen. Een gedetailleerd schema staat vermeld in paragraaf 4.11.

5.1.1 SLIBVÓORDROGING

Als eerste processtap wordt mechanisch ontwaterd slib in (indirecte) drogers gedeeltelijk vóórgedroogd. Door de vóórdroging is een aanzienlijke besparing op de voor de slibverbranding benodigde steunbrandstof mogelijk of kan de steunbrandstof zelfs geheel vervallen. Daardoor kan, ten gevolge van een geringere thermische totaalbelasting, de oven kleiner worden gedimensioneerd.

De voor de vóórdroging benodigde energie wordt in de vorm van stoom onttrokken aan de achter de slibovens opgestelde stoomketels. Het temperatuur- en drukniveau van de stoom is instelbaar.

De bij de droging vrijkomende dampen bestaan in hoofdzaak uit waterdamp. Daarnaast is leklucht aanwezig en een aanzienlijke hoeveelheid geurcomponenten.

De geurcomponenten worden effectief vernietigd wanneer de droogdampen door de oven worden gevoerd.

De aan de oven toe te voeren hoeveelheid droogdampen wordt gereduceerd door de droogdampen te koelen en zo een gedeelte van de waterdamp te condenseren. Het gevormde condensaat wordt afgevoerd naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie.

Bij de slibvoordroging hoeft niet alle water uit het slib verdampt te worden. Het is voldoende, wanneer een zodanig drogestofgehalte gerealiseerd kan worden dat de slibverbranding onder optimale omstandigheden kan plaatsvinden. Het voorgedroogde slib (drogestofgehalte circa 40%) wordt vervolgens aan de slibverbrandingsovens toegevoerd. In het model wordt er vanuit gegaan dat de temperatuur na de ovens 850 °C is. Om deze temperatuur na de oven te kunnen halen, zal het drogestofgehalte na de voordroger aangepast worden. De variatie van deze parameter is noodzakelijk om de energiebalansen over de verschillende procesonderdelen sluitend te krijgen.

5.1.2 SLIBVERBRANDING

In de wervelbedoven verdampt het resterende water, waarna de organische stof met behulp van de in de verbrandingslucht aanwezige zuurstof wordt verbrand. In het wervelbed vindt een zeer intensieve menging van het slib plaats waardoor een goede uitbrand van het slib gerealiseerd kan worden.

Het wervelbed bestaat uit door de verbrandingslucht in werveling gebracht (gefluidiseerd) zand van een specifieke korrelgrootte. Dit zand dient af en toe gesuppleerd te worden. Met geregelde tussenpozen (enkele maanden tot een jaar) dient het gehele zandbed vervangen te worden.

De verbrandingstemperatuur bedraagt circa 850 °C. Het zuurstofgehalte van de rookgassen bedraagt circa 11 % (luchtvermaat 2,11). Het temperatuurprofiel van de oven wordt zodanig bepaald, dat de rookgassen minimaal twee seconden op een temperatuurniveau van minimaal 850°C verblijven. Het percentage onverbrande koolstof in de as bedraagt maximaal circa 0,5%.

Als verbrandingslucht wordt de uit de slibopslag afgezogen ventilatielucht toegepast. Tevens worden de niet gecondenseerde droogdampen uit de voordroging als verbrandingslucht toegevoerd. De verbrandingslucht wordt in een LUVO met behulp van warmte uit de rookgassen voorverwarmd.

De oven kan worden voorzien van doseringsmogelijkheden voor niet-voorgedroogd slib en eventueel voor roostergoed en kalk. Bij storting van de voordrooginstallatie kan zodoende ook niet-voorgedroogd slib worden verbrand, waarbij aardgas als steunbrandstof nodig is. Daarbij daalt dan wel de doorzet van de droge stof. De eventuele kalkdosering heeft tot doel het binden van de in het slib aanwezige zwavel. Daardoor wordt de chemische belasting van de natte wasser gereduceerd.

5.1.3 ENERGIETERUGWINNING

Bij de verbranding bereiken de rookgassen een temperatuur van circa 850 °C. Vervolgens vindt afkoeling van de rookgassen in een ketelinstallatie plaats, waarbij stoom wordt geproduceerd.

De op deze wijze teruggewonnen energie wordt benut voor de vóórdroging van het slib en voor opwarming van de benodigde verbrandingslucht. Het overschot aan stoom kan extern aangewend worden met inachtnaam van de hoeveelheid primaire energie.

De ketelinstallatie wordt aan de rookgaszijde belast met een grote hoeveelheid as. Een gedeelte van deze as wordt in de ketel afgevangen (circa 20 - 30%) en dient afgevoerd te kunnen worden. Door de goede uitbrand van de as, de fijne deeltjesgrootte en de homogene samenstelling zijn de vervuilingproblemen van de ketel beperkt. Eventueel kunnen speciale reinigingssystemen (kloppen en dergelijke) toegepast worden.

5.1.4 ROOKGASREINIGING

De bij de verbranding gevormde rookgassen bestaan in hoofdzaak uit stikstof, zuurstof, kool-dioxide en waterdamp. Daarnaast bevatten de rookgassen stoffen die in het slib aanwezig waren en stoffen die bij verbranding zijn gevormd. Voor de uitworp van deze stoffen zijn normen opgesteld door het Ministerie van VROM, en opgenomen in de Nederlandse Emissie

Richtlijn. De normen voor het verbranden van zuiveringsslib komen overeen met de normen opgenomen in de Richtlijn Verbranden 1989 en in het Besluit luchtemissies afvalverbranding (Bla).

Op het gebied van rookgasreiniging bij afvalverbranding kunnen diverse reinigingssystemen worden toegepast, te weten:

- droge rookgasreiniging;
- semi-droge rookgasreiniging;
- natte rookgasreiniging met afvalwaterbehandeling;
- natte afvalwatervrije rookgasreiniging.

Voor de verwijdering van de NO_x komen met name in aanmerking:

- selectieve niet-katalytische reductie (SNCR-DeNO_x);
- selectieve katalytische reductie (SCR-DeNO_x).

Het toegepaste type rookgasreiniging heeft een beperkte, eenvoudig te kwantificeren invloed op de totale energiebalans van de installatie (en wel met name ten gevolge van verschillen in elektriciteitsverbruik). Alleen bij keuze voor SCR-DeNO_x treedt extra energieverbruik op, maar deze techniek wordt bij slibverbranding tot op heden niet toegepast.

Op grond van het bovenstaande blijft een verdere uitwerking van de diverse typen rookgasreiniging in deze rapportage achterwege. Verwezen wordt naar de literatuur over dit onderwerp.

5.2 BEREKENINGEN

5.2.1 INVOER EN BEREKENINGEN

In dit blad vinden de eigenlijke berekeningen plaats. De getallen uit het blad “Indirecte drogingwervel ber.” worden grafisch gepresenteerd in het blad “Indirecte drogingwervel sch.” In figuur 5.2.1 is het invulgedeelte van het blad “Indirecte drogingwervel ber.” weergegeven. De blauwe getallen kunnen veranderd worden.

FIGUUR 5.2.1 INVOERGEGEVENS VOOR BEREKENING

Ingaand		default		Uitgaand	
eigen verbruik elektriciteit + N-verwijdering	[kWh/kg d.s]	0,31	0,31	T rookgas na ketel	[°C] 180
Vaste constantes				T asrest	[°C] 180
thermische rendement droger	[%]	99%		T slib condensaat na droger	[°C] 100
thermische rendement droogdampecondensator	[%]	99%		T slib condensaat na droogdampecondensator	[°C] 65
thermische rendement LUVVO 1	[%]	99%		T rookgas na wervelbedoven	[°C] 850
thermische rendement wervelbedoven	[%]	98%		T stoomcondensaat na droger	[°C] 100
thermische rendement ketel	[%]	99%		maximale luchttemperatuur na LUVVO 2	[°C] 250
				O ₂ -percentage in rookgas slib	[%] 11%
				luchttemperatuur na LUVVO 1	[°C] 60

Vervolgens komt er een overzicht van reeds berekende waarden op basis van de gegevens uit andere bladen, zie figuur 5.2.2. De zwarte getallen kunnen niet gewijzigd worden.

FIGUUR 5.2.2 WEERGAVE REEDS BEREKENDE WAARDEN

Stoomcondities		
stoomtemperatuur ketel uit	[°C]	180
stoomdruk ketel uit	[bar]	10
Primaire energie factor	[-]	0,232
enthalpie stoomcondensaat na droger (10 bar)	[kJ/kg]	422,0
enthalpie oververhitte stoom (10 bar)	[kJ/kg]	2.777

Uitgangspunten		
verbrandingswaarde slib [o.w.]	[MJ/kg d.s.]	11,984 VW_PM
asrest	[%]	45%
massastroom verbrandingslucht bij (n)	[kg/kg d.s.]	7,9711 MLUCHT
massastroom rookgassen droog bij (n)	[kg/kg d.s.]	8,1862 MROOK
gevormde waterdamp rookgassen	[kg/kg d.s.]	0,3381 MWAT
luchtvermaat slib verbranding (n)	[-]	2,11

Na deze algemene gegevens wordt er van iedere module uit de wervelbedverbranding met indirecte voordroging separaat een energiebalans met in- en uitgaande energie opgesteld.

Er wordt gestart met de droger, zie figuur 5.2.3.

FIGUUR 5.2.3 ENERGIEBALANS DROGER

Berekeningen droger					
Indirecte droging, verbranding in een wervelbed					
Ingaand		Uitgaand			
Enthalpie slib in (incl. verbrandingswaarde)	[kJ]	12.189	Enthalpie slib uit (incl. verbrandingswaarde)	[kJ]	12.819
Enthalpie stoom in	[kJ]	4.865	Warmteverlies (betrokken op totale ingang)	[kJ]	122
			Enthalpie damp uit	[kJ]	3.374
			Enthalpie condensaat uit	[kJ]	739
<i>tussenberekeningen</i>					
verbrandingswaarde slib [o.w.]	[MJ/kg d.s.]	11,984			
netto warmtebehoefte voor opwarmen water	[kJ]	1.076			
netto warmtebehoefte voor verdampen water	[kJ]	2.843			
netto warmtebehoefte voor opwarmen d.s.	[kJ]	85 +			
netto warmtebehoefte	[kJ]	4.004			
netto stoombehoefte	[kg]	1,75			

FIGUUR 5.2.4 ENERGIEBALANS DROOGDAMPCONDENSOR

Berekeningen droogdampcondensor					
Indirecte droging, verbranding in een wervelbed					
Ingaand		Uitgaand			
Enthalpie damp condensor in	[kJ]	3.374	Enthalpie condensaat condensor uit	[kJ]	345
Enthalpie koelwater condensor in	[kJ]	4.279	Warmteverlies (betrokken op ingangsenthalpie)	[kJ]	34
			Enthalpie koelwater condensor uit	[kJ]	7.274
<i>tussenberekeningen</i>					
netto warmteafdracht condensereren droogdampe	[kJ]	2.843			
netto warmteafdracht afkoelen droogdampen	[kJ]	186			
netto warmteafdracht	[kJ]	3.029 +			
netto warmteafdracht aan koelwater	[kJ]	2.995			
Massa droogdampen	[kg]	1,26			
koelwaterbehoefte	[kg]	101,39			

FIGUUR 5.2.5 ENERGIEBALANS LUV01

Berekeningen LUV01					
Ingaand		Uitgaand			
Enthalpie lucht in (droge lucht)	[kJ]	120	Enthalpie lucht uit (droge lucht)	[kJ]	478
Enthalpie stoomcondensaat in	[kJ]	739	warmteverlies (betrokken op ingangsenthalpie)	[kJ]	9
			Enthalpie stoomcondensaat uit	[kJ]	372
<i>tussenberekeningen</i>					
Netto warmteoverdracht aan lucht	[kJ]	359	temperatuur condensaat LUV01 uit	[°C]	50
massastroom lucht in (droge lucht)	[kg]	7,97	netto enthalpie	[kJ/kg]	212,3

FIGUUR 5.2.6

ENERGIEBALANS WERVELBEDOVEN

Berekeningen wervelbedoven				
Ingaand		Uitgaand		
Enthalpie slib in (incl. verbrandingswaarde)	[kJ]	12.819	verlies in oven (betrokken op enthalpie slib [kJ])	296
Enthalpie lucht in	[kJ]	1.993	Enthalpie as	[kJ] 80
		Totale netto beschikbare enthalpie oven in [kJ]		14.515
<i>tussenberekeningen</i>				
Totale enthalpie oven in	[kJ]	14.811	asrest	[kg] 0,45
Benodigde hoeveelheid verbrandingslucht	[kg]	7,97	Enthalpie waterdamp	[kJ] 7.269
Enthalpie waterdamp	[kJ]	7.269	Enthalpie rookgassen (nat, ex verd.warmte [kJ])	7.608
Enthalpie ds (ex verbrandingswaarde)	[kJ]	850	Enthalpie as	[kJ] 80
Enthalpie lucht	[kJ]	6.775	Controle: enthalpie van de reactieproducten [kJ]	14.958
Totaal enthalpie van de producten bij verbrandir	[kJ]	14.895		

FIGUUR 5.2.7

ENERGIEBALANS LUVUO 2 / KETEL

Berekeningen LUVUO 2 / ketel				
Ingaand		Uitgaand		
Enthalpie lucht in (droge lucht)	[kJ]	478	Enthalpie lucht uit (droge lucht)	[kJ] 1.993
Enthalpie totaal in	[kJ]	14.877	verlies in LUVUO2 / Ketel (betrokken op entf [kJ])	154
		Enthalpie totaal uit		[kJ] 6.607
		Beschikbaar voor stoomvorming		[kJ] 6.603
<i>tussenberekeningen</i>				
Enthalpiestijging lucht (droge lucht)	[kJ]	1.515	Enthalpie rookgassen uit (nat, ex verd.warr [kJ])	1.670
Enthalpie rookgassen in	[kJ]	7.608	Enthalpie waterdamp uit	[kJ] 4.936
Enthalpie waterdamp in	[kJ]	7.269	Enthalpie totaal uit	[kJ] 6.607 +
Enthalpie totaal in	[kJ]	14.877 +		
Geproduceerde oververhitte stoom	[kg]	2,57 check water		

ITERATIE

Om de stoomproductie van de ketel en de behoefte van de droger op elkaar af te stemmen, waarbij de temperaturen in de wervelbedoven gehandhaafd blijven, zal er een iteratieproces nodig zijn. Dit proces verandert het drogestofgehalte van het slib na de droger tot er aan bovenstaande criteria voldaan is, zie figuur 5.2.8. Hiermee zijn de stoombehoefte van het droogproces en de stoomproductie door de ketel aan elkaar gelijk.

Door op de knop “Bereken!!” te klikken zal er geïtereerd worden totdat het drogestofgehalte van het slib na de droger in overeenstemming is met de oven- en rookgastemperaturen. Indien herberekening noodzakelijk is wordt dit door een “rood” vak aangegeven. Zo niet, dan is het vak “groen”. In het tabblad “UGP” kunnen alle macro’s in één keer worden opgestart.

FIGUUR 5.2.8

ITERATIEPROCES

d.s. na droger	[%]	36,5%
Berekening nodig? Ja	Bereken!!	<i>iteratie op d.s. na droger</i>

Naast de berekening van de enerie- en massastromen worden ook de emissies berekend. Dit is weergegeven in figuur 5.2.9.

FIGUUR 5.2.9

EMISSIES

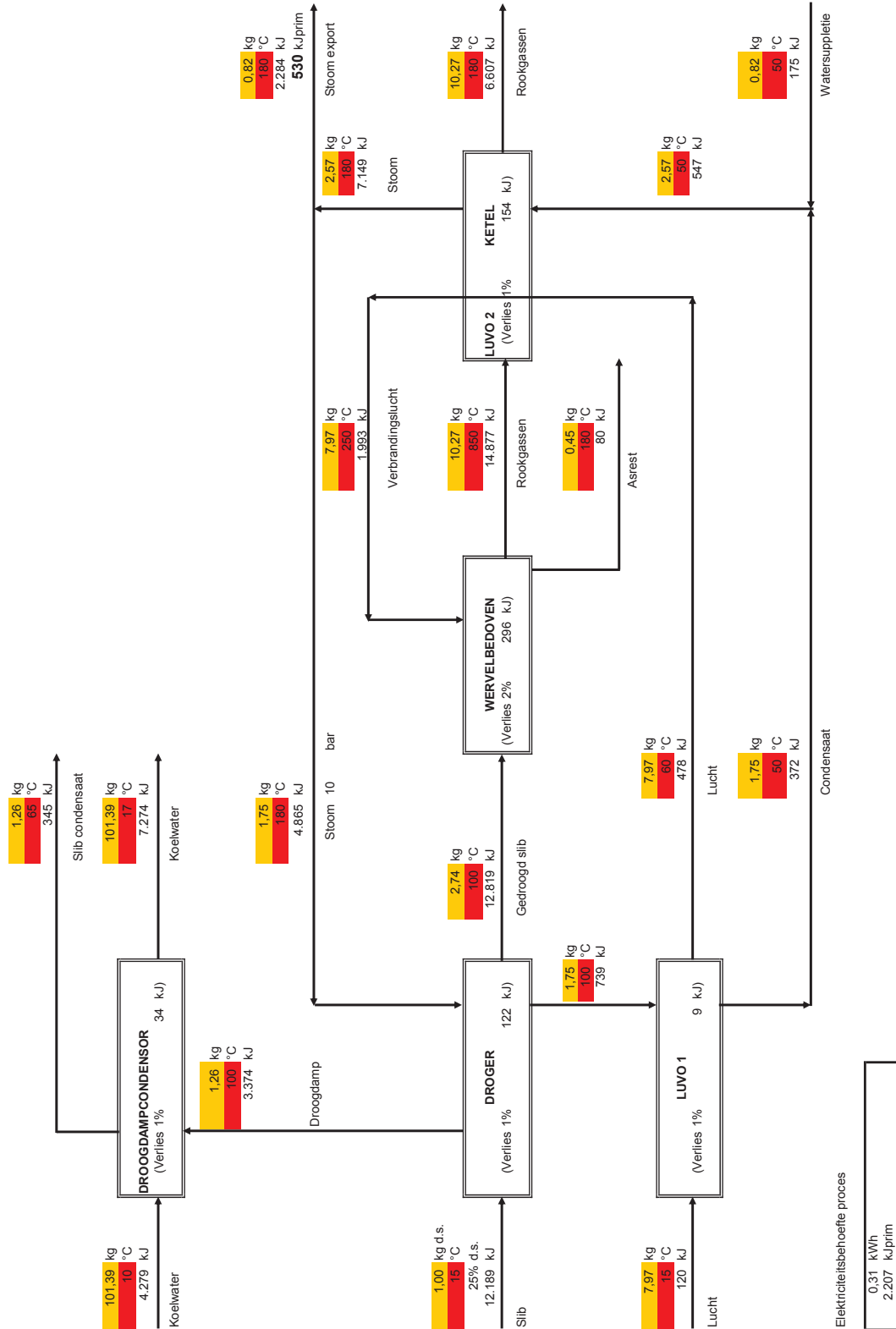
Emissievrachten	Vracht in de as	Vracht in de rookgas- sen
	[mg/kg d.s.]	[mg/kg d.s.]
Fosfor	21.821,854	-
Hg	-	0,084
Cd	0,750	0,042
Al	261,862	-
Fe	21.821,854	-
SO ₂	-	84,221
Zware metalen	1.499,625	0,150

Zoals in figuur 5.2.9 te zien is, wordt er onderscheid gemaakt naar emissies in as en emissies in de rookgassen.

5.3 SCHEMA

Zoals reeds genoemd worden in het blad schema grafisch alle groottes en waarden van processtromen weergegeven. Men kan er geen getallen ingeven of wijzigen. Ook de massa- en energiebalansen over de verschillende installatiedelen worden weergegeven. Op de volgende bladzijde wordt een gedeelte van het blad "Indirecte voordroging + wervelbedoven" grafisch weergegeven.

Indirecte droging, verbranding in een wervelbed



UITVOUWBLAD

CONFIGURATIES IN DE WATER- EN SLIBLIJN (0= AFWEZIG; 1= AANWEZIG)

variant	eenheid	configuratie							
		1	2	3	4	5	6	7	8
voorbezinking	1 / 0	0	1	0	1	0	1	0	1
slibgisting	1 / 0	0	0	1	1	0	0	1	1
bio-P verwijdering	1 / 0	0	0	0	0	1	1	1	1

RWZI varianten:

- 1 Referentie;
- 2 Voorbezinking;
- 3 Slibgisting;
- 4 Voorbezinking + gisting;
- 5 Bio-P verwijdering;
- 6 Bio-P verwijdering + voorbezinking;
- 7 Bio-P verwijdering + gisting;
- 8 Bio-P verwijdering + voorbezinking + gisting

Varianten ontstaan voor de slibeindverwerking:

- 1 indirecte droging met restwarmte en verbranding in een wervelbed;
- 2 natte oxidatie;
- 3 meeverbranden in een AVI;
- 4 biologische droging, gevolgd door meestoken;
- 5 direct thermisch drogen met aardgas, gevolgd door meestoken;
- 6 indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door meestoken;
- 7 biologische droging, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
- 8 directe thermische droging met aardgas, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
- 9 indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door meestoken in een cementoven (vervanging 100% primaire brandstof);
- 10 biologische droging, gevolgd door storten;
- 11 directe thermische droging met primaire energie, gevolgd door storten;
- 12 indirecte thermische droging met restwarmte, gevolgd door storten.

Subvarianten op indirecte droging met restwarmte en verbranding in een wervelbed:

- 13 indirecte droging en verbranding in een wervelbed + tegendrukturbine;
- 14 indirecte droging en verbranding in een wervelbed + condensatieturbine;
- 15 indirecte droging en verbranding in een wervelbed + damprecompressie.