

1988-05_compendium-slibverbranding

stora

88-05

Compendium slibverbranding

stora

postbus 80200, 2508 GE den haag

☎ 070-512710

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

johan van oldenbarneveldlaan 5

Compendium slibverbranding

STOWA

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Postbus 8090

3503 RB Utrecht

tel. 030-321199

fax 030-321766

Publikaties en het publikatieoverzicht

kunt u uitsluitend bestellen bij:

Hageman Verpakkers BV

Postbus 281

2700 AC Zoetermeer

tel. 079-611188

fax 079-613927

o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.

Inhoud

Inhoud	I - II
Ten geleide	III
1 SAMENVATTING	1 - 4
2 INLEIDING	5 - 6
3 PRINCIPES VAN DE SLIBVERBRANDING	7 - 12
3.1 Volumereductie	7
3.2 Verloop van het verbrandingsproces	7 - 8
3.3 Warmtehuishouding van de slibverbranding	8 - 12
3.3.1 stookwaarde van het slib	9 - 10
3.3.2 warmtebehoefte van de slibverbranding	10 - 11
3.3.3 autotherme slibverbranding	11 - 12
4 PROCESONDERDELEN BIJ DE SLIBVERBRANDING	13 - 28
4.1 Transport, opslag en voorbehandeling	13
4.2 Slibdrogers	13 - 16
4.2.1 directe droging	13 - 15
4.2.2 indirecte droging	15 - 16
4.3 Slibovens	16 - 21
4.4 Rookgasreiniging	21 - 25
4.4.1 onvolledig verbrande organische verbindingen	20 - 22
4.4.2 vliegias	22 - 23
4.4.3 zure gassen	23 - 25
4.4.4 zware metalen	25
4.5 Warmteterugwinning	25 - 28
4.5.1 voorverwarming van de verbrandingslucht	26
4.5.2 warmtebenutting voor slibdroging	26 - 27
4.5.3 warmteterugwinning beneden 200 °C	27 - 28
4.6 Asverwerking	28
5 SYSTEMEN VOOR SLIBVERBRANDING	29 - 37
5.1 Conventionele verbrandingssystemen	29
5.2 Hoogrendementverbrandingssystemen	30 - 31
5.3 Slibverbranding met behulp van restwarmte	32 - 34
5.3.1 slibverbranding met gistingsgas of afvalproducten	32
5.3.2 slibverbranding samen met huisvuil in een A.V.I.	32 - 33
5.3.3 gebruik van restwarmte van een verbrandingsinstallatie	33 - 34
5.3.4 evaluatie van de mogelijkheden	34
5.4 Dimensionering van de verbrandingsinstallatie	35 - 37
6 PLANNING EN VOORBEREIDING VAN SLIBVERBRANDINGS- INSTALLATIES	38 - 41
6.1 Centraal of decentraal verbranden	38
6.2 Locatiekeuze en milieuprocedures	39 - 40
6.3 Organisatorische aspecten	40 - 41

7	MILIEUASPECTEN	42 - 48
7.1	Rookgassen	42 - 46
7.1.1	normen voor rookgasemissie	42
7.1.2	rookgasemissie afhankelijk van reinigingstechniek	42 - 44
7.1.3	consequenties van de normen en emissiegegevens	44 - 45
7.1.4	conclusies	46
7.2	Asresten	46 - 47
7.3	Waterverontreiniging	47 - 48
8	KOSTEN VAN SLIBVERBRANDING	49 - 57
8.1	Exploitatiekosten van hoogrendementverbranding	49 - 51
8.1.1	exploitatiekosten volgens de basisrapporten	49 - 50
8.1.2	verbrandingskosten bij gelijke uitgangspunten	50
8.1.3	conclusies	50 - 51
8.2	Conventionele slibverbranding versus hoogrendementverbranding	51 - 53
8.3	Gebruik van restwarmte	53 - 54
8.4	Kosten van extra rookgasreiniging	54 - 55
8.5	Invloed van bedrijfsfactoren op de verbrandingskosten	55 - 57
8.5.1	invloed van het drogestofgehalte	55 - 56
8.5.2	invloed van onderbelasting op de verbrandingskosten	56 - 57
9	Conclusies	58
10	LITERATUUR	59 - 60
	Bijlagen	
	1. Technische gegevens van slibverbrandingssystemen	61 - 68
	2. Exploitatiekosten van slibverbranding volgens de basisrapporten	69 - 70
	3. Raming verbrandingskosten met standaard uitgangspunten	71

Ten geleide

In de periode 1984 - 1987 is slibverbranding onder Nederlandse omstandigheden in meerdere, vaak regionaal gerichte studies op kosten, milieu-effecten en technische aspecten geëvalueerd.

Door lokale verschillen in karakter en urgentie van de slibproblematiek is dergelijk onderzoek meestal in opdracht van één of meer regionale waterkwaliteitsbeheerders uitgevoerd en soms door de rijksoverheid (het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer).

In opdracht van het algemeen bestuur van de STORA zijn in dit compendium uit de rapporten van dat onderzoek de aspecten van algemeen belang bijeengebracht om de toegankelijkheid van deze informatie te bevorderen.

Op voorstel van de Onderzoekadviescommissie* werd de samenstelling van het compendium opgedragen aan Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs, namens de STORA begeleid door een commissie bestaande uit ir. P.C. Stamperius (voorzitter), ir. K.F. de Korte, ir. M. Marskamp en ir. W.G. Werumeus Buning.

Dank is de STORA verschuldigd aan haar deelnemers en alle overige instanties die de rapporten van hun onderzoek voor deze compilatie ter beschikking stelden.

Den Haag, oktober 1988.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

*Deze commissie bestond uit:

prof.ir. J.H. Kop (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en ir. J. Boschloo, ir. R. den Engelse, prof.dr. P.G. Fohr, ir. A.E. van Giffen, ir. J.J. de Graeff, dr.ir. P.J. Huiswaard, dr. S.P. Klapwijk, ir. A.B. van Luin, ir. Tj. Meijer, ir. L.P. Savelkoul, wijlen ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubíng en ir. M. Tiessens (leden).

1 SAMENVATTING

Door de toenemende afzetproblemen in de landbouw, en door de steeds strengere eisen bij hergebruik en storten, is te verwachten dat verbranding een toenemende rol gaat spelen bij de verwerking van zuiverings-slib.

Doel van de verbranding is het bereiken van een stortbaar product met een zo klein mogelijk volume. Door de verdamping van het water en de verbranding van de organische stof wordt het volume met een factor 10 tot 20 verminderd ten opzichte van het volume ontwaterd slib.

Dit rapport geeft een overzicht van de beschikbare informatie over de technieken, milieu-effecten en kosten van slibverbranding onder Nederlandse omstandigheden. De weergegeven informatie is grotendeels gebaseerd op studies die in opdracht van waterkwaliteitsbeheerders en de rijksoverheid zijn uitgevoerd.

onderdelen van de verbrandingsinstallatie

De belangrijkste onderdelen van de slibverbrandingsinstallatie zijn de opslagbunker voor het slib bij regionale verbrandingsinstallaties, de drooginstallatie bij hoogrendementsystemen, de verbrandingsoven en de voorzieningen voor warmteterugwinning, rookgasreiniging en verwerking van de asresten.

De slibbunker heeft als voornaamste functies opslag voor de nacht en het weekeinde (bij continubedrijf), het opvangen van aanvoervariaties en het overbruggen van bedrijfsonderbrekingen van de verbrandingsinstallatie.

Bij de drooginstallaties onderscheidt men directe drogers, waarbij het slib in direct contact komt met hete gassen, en indirecte drogers, waarbij tussen het slib en het verwarmend medium een metalen wand aanwezig is.

Het oventype is sterk afhankelijk van de structuur en het vochtgehalte van het slib. Wervelbedovens met een zandbed kunnen vele soorten materiaal verbranden en zijn zowel in conventionele als in hoogrendementsystemen toepasbaar. Etage-ovens zijn vooral in het verleden toegepast, in conventionele verbrandingssystemen. Voor volledig gedroogd slib komen specifieke oventypes zoals de granulaatoven, poederoven en kettingroosteroven in aanmerking.

De verbrandingssystemen zijn in verschillende combinaties en capaciteiten leverbaar. Ter verhoging van de bedrijfszekerheid worden meestal enkele onafhankelijke verwerkingseenheden toegepast, met een overcapaciteit van 25 tot 100 %, afhankelijk van het bunkervolume en het aantal onafhankelijke verbrandingseenheden.

milieuaspecten

Om te voldoen aan de normen van de "Richtlijn Verbranden", is in alle gevallen ontstopping van de rookgassen nodig door middel van een electrofilter, doekfilter of hoge-drukwater.

Afhankelijk van de concentratie kwik in het slib zal in veel gevallen tevens neutrale of zure rookgaswassing nodig zijn.

Beperking van de geuruitworp is nodig bij etageovens, trommelovens en systemen met directe droging, zonder verbranding van de droogdampen. In deze gevallen moeten de rookgassen in een naverbranding worden behandeld.

Bij slibverbranding met goede verbrandingscondities is de uitworp van microverontreinigingen (zoals P.A.K.'s en dioxines) beperkt. De

concentratie P.C.B.'s in zuiveringsslib is zo laag dat hiervan de emissie bij slibverbranding verwaarloosbaar is.

Bij eventuele toekomstige eisen aan de SO_x -uitworp, kunnen kalkdoserings- en wassing van de rookgassen als emissiebeperkende technieken worden toegepast.

Door verbranding van de organische stof worden de zware metalen (met uitzondering van kwik) grotendeels in de asrest geconcentreerd. Incidenteel kunnen hierdoor de grenswaarden van de Wet Chemische Afvalstoffen overschreden worden, met name bij gecombineerde verbranding van slib en huisvuil. Bij grootschalige zelfstandige slibverbranding is overschrijding van de W.C.A.-grenswaarden echter niet te verwachten. Percolatieproeven geven aan dat de zware metalen slechts in geringe mate uit de asresten vrijkomen.

Het surplus waswater van de rookgaswassing, dat ondermeer vlieg- en opgeloste verontreinigingen bevat, moet door bezinking en biologische of fysisch-chemische zuivering worden behandeld. Bij zure rookgaswassing ter verwijdering van kwik is fysisch-chemische behandeling van het waswater nodig om het kwik definitief te binden.

organisatorische aspecten

Bij gezamenlijke slibverbranding door meerdere waterkwaliteitsbeheerders zijn verschillende organisatorische constructies mogelijk voor het beheer en de financiën. De verbranding kan worden uitbesteed, worden uitgevoerd door één van de betrokken partijen, worden ondergebracht in een vennootschap of worden uitgevoerd door een samenwerkingsverband in het kader van de Wet gemeenschappelijke regelingen.

Voor slibverbrandingsinstallaties zijn vergunningen nodig in het kader van de Afvalstoffenwet en de Wet verontreiniging oppervlaktewateren. De vergunning van de Afvalstoffenwet bevat tevens bepalingen met betrekking tot de Wet inzake de luchtverontreiniging, de Hindervet, de Wet op de Geluidhinder en de provinciale bepalingen op het gebied van de milieuhygiëne. Voor installaties met een verbrandingscapaciteit vanaf 5.000 ton d.s./j (circa 275.000 i.e.) is milieueffectrapportage (M.E.R.) nodig.

energiebalans bij de slibverbranding

De energiewaarde van het slib (MJ/kg H_2O) is afhankelijk van het drogestofgehalte, de gloeirest en de stookwaarde van de organische componenten.

De specifieke warmtebehoefte van het verbrandingsproces (MJ/kg waterverdamming) is vooral afhankelijk van de luchtvermaat en de temperatuur van de afgassen. Conventionele verbrandingssystemen, met directe verbranding van het ontwaterde slib, hebben een warmtebehoefte van 5 - 10 MJ/kg H_2O . In hoogrendementsystemen, met gescheiden droging en verbranding, bedraagt de warmtebehoefte 3,5 - 4,5 MJ/kg H_2O .

Wanneer de energiewaarde van het slib kleiner is dan de specifieke warmtebehoefte, moet het verschil via een externe warmtebron of door bijstoken van hulpbrandstof worden aangevuld.

De kosten voor steunbrandstof kunnen in principe worden beperkt door het gebruik van gistingsgas of brandstof geproduceerd uit afvalstoffen (R.D.F.). De benodigde aanpassingen aan de installatie en de

verhoogde emissies zijn echter belemmeringen bij het gebruik van R.D.F. als steunbrandstof.

Gecombineerde verbranding van huisvuil en zuiveringsslib kan aantrekkelijk zijn bij volledig nieuwe installaties, waarbij een geïntegreerde technische en organisatorische aanpak voor de afval- en slibverbranding wordt opgezet. De vereiste gezamenlijke aanpak is echter lang niet overal te realiseren.

Gebruik van de restwarmte van een A.V.I. in de vorm van hete rookgassen of stoom kan een kostenbesparing opleveren. Om technische en organisatorische redenen zullen de afval- en slibverbranding veelal zoveel mogelijk worden gescheiden, waarbij slechts de warmtesystemen worden gekoppeld.

kosten van slibverbranding

De geraamde verbrandingskosten uit de verschillende studies vertonen een aanzienlijke spreiding, met name door de grote verschillen in kapitaalkosten. Deze zijn ondermeer het gevolg van de verschillende uitgangspunten voor de reservecapaciteit en de aanvoer- en opslagvoorzieningen.

De verbrandingskosten per ton d.s. nemen af bij toename van de schaalgrootte, met name door de relatief lagere kosten voor kapitaal, onderhoud en personeel.

Onderstaande tabel geeft een globale indicatie van de exploitatiekosten van hoogrendementverbranding, afhankelijk van de schaalgrootte (exclusief de kosten voor ontwatering en transport).

capaciteit (ton d.s./j)	verbrandingskosten (f/ton d.s.)
5.000 - 10.000	500 - 700
10.000 - 25.000	400 - 600
> 25.000	350 - 450

De globale opbouw van de exploitatiekosten bij hoogrendementverbranding is als volgt:

kapitaal + onderhoud	50 - 60 %
brandstof + electriciteit	20 - 25 %
personeel	
< 10.000 ton d.s./j	ca. 30 %
10 - 20.000 ton d.s./j	15 - 20 %
> 25.000 ton d.s./j	ca. 10 %
asafvoer + overige kosten	10 - 15 %

Bij verbranding van slib met een drogestofgehalte rond 20 % weegt de besparing op de brandstofkosten bij hoogrendementverbranding in het algemeen op tegen de hogere kapitaal- en onderhoudskosten. Hoogrendementverbranding heeft derhalve iets lagere exploitatiekosten dan conventionele slibverbranding. Bij toenemend drogestofgehalte

van het slib en/of afnemende brandstofprijzen kan conventionele verbranding weer economisch aantrekkelijk worden.

Gebruik van restwarmte via hete rookgassen of stoom van een verbrandingsinstallatie geeft in principe een besparing van circa 5 - 10 % op de slibverbrandingskosten. De toepassingsmogelijkheden van deze techniek zijn echter sterk afhankelijk van de beschikbaarheid van een verbrandingsinstallatie waarvan de restwarmte kan worden benut.

De kosten van rookgaswassing zijn geraamd op f 51/ ton d.s. bij een capaciteit van 25.000 ton d.s./j en f 41 / ton d.s. bij 50.000 ton d.s./j. Kalkdosering in wervelbedovens kost circa f 28 per ton d.s.

Ondanks de extra kosten voor transport en opslag, zijn de totale exploitatiekosten bij centrale slibverbranding in het algemeen lager dan bij verbranding per rwzi of beheersgebied afzonderlijk.

Bij vergaande centralisatie neemt het kostenvoordeel af en kunnen transportkosten of organisatorische en planologische bezwaren meespelen.

Door de verscherpte eisen en de concurrentie van andere organische restproducten nemen de mogelijkheden tot hergebruik en afzet in de landbouw sterk af.

Bij het deponeren van slib op stortplaatsen worden hoge eisen gesteld aan het drogestofgehalte en de draagkracht van het slib. Bovendien vertoont het beleid een trend naar zo ver mogelijke volumereductie van het te storten materiaal.

Door deze ontwikkelingen is te verwachten dat verbranding een toenevende rol gaat spelen bij de verwerking van zuiveringsslib. In verschillende regio's zijn reeds ontwikkelingen gaande die op afzienbare termijn kunnen leiden tot de realisatie van slibverbrandingsinstallaties.

Met het oog op de genoemde ontwikkelingen is bij de waterkwaliteitsbeheerders behoefte aan toegankelijke informatie over de technieken, milieu-effecten en kosten van slibverbranding onder Nederlandse omstandigheden. In de afgelopen drie jaar is hierover reeds veel informatie verzameld in meerdere, vooral regionaal gerichte onderzoeken.

Dit compendium vat de reeds aanwezige informatie samen op een zo veel mogelijk toegankelijke en overzichtelijke wijze. Het is echter niet de bedoeling om een volledig overzicht te geven van de slibverbrandingsliteratuur of om nieuw feitenmateriaal te presenteren. De informatie is zo veel mogelijk geactualiseerd voor zover het aspecten betreft die aan een snelle ontwikkeling onderhevig zijn (met name het overzicht van de beschikbare verbrandingssystemen).

De informatie van het compendium is grotendeels gebaseerd op de volgende rapporten:

1. Mogelijkheden slibverbranding in Zuid-Holland. DRSH-werkgroep slibverbranding, juni 1986.
2. Slibverbranding Zuid-Holland - Onderzoek naar locatie- en systeemaspecten. Haskoning, maart 1987. In opdracht van H.H.R.S. Delfland, H.H.R.S. Rijnland, H.H.R.S. Schieland en Z.S. Hollandse Eilanden en Waarden.
3. Verbranden van zuiveringsslib. G.T.D. Oost Brabant & Z.S. Hollandse Eilanden en Waarden, juli 1985.
4. Slibverbranding - Studie naar de technische mogelijkheid en kosten van een centrale slibverbrandingsinstallatie op het terrein van de PEGUS-centrale te Utrecht. P.W. Utrecht & N.V. PEGUS, januari 1985.
5. Verbranden van zuiveringsslib, een onderzoek naar kostenminimalisatie. Reeks afvalstoffen nr. 13, Den Haag, Staatsuitgeverij, 1985.
6. Gezamenlijke slibverbranding Oostbrabantse waterschappen de Aa, de Dommel, de Maaskant. GTD Oost-Brabant, februari 1986.

De opbouw van het compendium volgt op een logische wijze de verschillende stappen bij de planning en voorbereiding van een slibverbrandingsinstallatie:

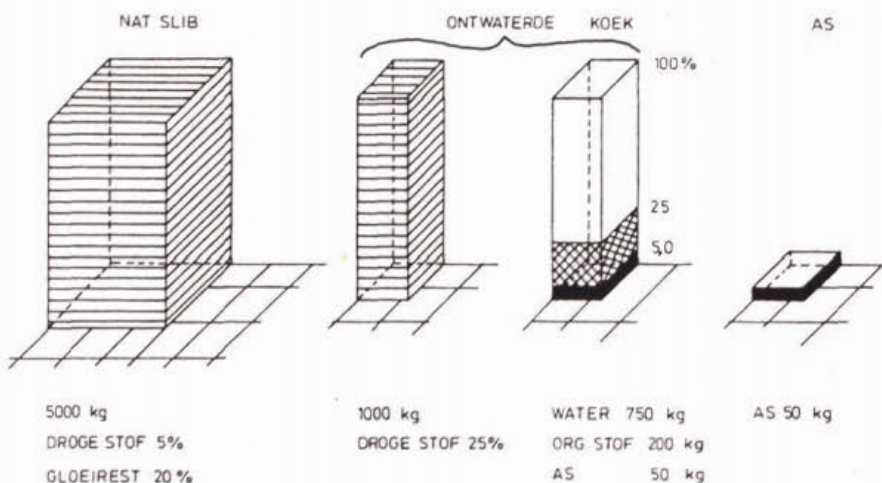
Hoofdstuk 3 beschrijft de procestechnische en energetische achtergronden van de slibverbranding. In hoofdstuk 4 komen de bouwstenen van de slibverbrandingsinstallatie aan de orde. In hoofdstuk 5 wordt

beschreven hoe deze elementen tot een verbrandingssysteem kunnen worden gecombineerd. Hoofdstuk 6 gaat in op de keuze van de schaal-grootte en locatie, de procedures bij de voorbereiding van een installatie en de organisatorische aspecten. Hoofdstuk 7 beschrijft de milieuaspecten van slibverbranding. Hoofdstuk 8 geeft een beeld van de verbrandingskosten en de verschillende factoren die daarop van invloed zijn.

3 PRINCIPES VAN DE SLIBVERBRANDING

3.1 Volumereductie

Het voornaamste doel van de slibverbranding is volumereductie. Tijdens het verbrandingsproces worden het water en de organische stof geëlimineerd, zodat slechts de anorganische asrest overblijft. Hierdoor wordt het volume gereduceerd met een factor 10 - 20 ten opzichte van het ontwaterde slib (afhankelijk van het drogestofgehalte en de asrest). Dit is geïllustreerd in figuur 1.



Figuur 1. Volumereductie bij de ontwatering en de verbranding van zuiveringsslib (4)

3.2 Verloop van het verbrandingsproces

Tijdens de slibverbranding treden achtereenvolgens droging van het natte slib, vergassing van de droge stof en verbranding van de organische bestanddelen op. De temperatuurgebieden van deze processen zijn weergegeven in figuur 2.

Bij temperaturen tot circa 150 °C verdampt het aanwezige water. Tevens komt een hoeveelheid geurstoffen uit het slib vrij.

Na verdamping van het water treedt bij toenemende temperatuur vergassing op, waarbij de grotere organische componenten gekraakt worden en vrijkomen in de vorm van vluchtige vergassingsproducten. Na de vergassing blijft een asrest over die vrijwel geheel uit anorganisch materiaal bestaat.

De eigenlijke verbranding van de organische stof speelt zich vrijwel volledig in de gasfase af. Hier worden de vergassingsproducten onder warmteontwikkeling grotendeels omgezet in CO₂ en waterdamp. De stikstof fractie van het slib wordt afhankelijk van de verbrandingsomstandigheden en de temperatuur omgezet in N₂, stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH₃). De zwavel (met uitzondering van het sulfaat) wordt geoxydeerd tot SO₂ en SO₃.

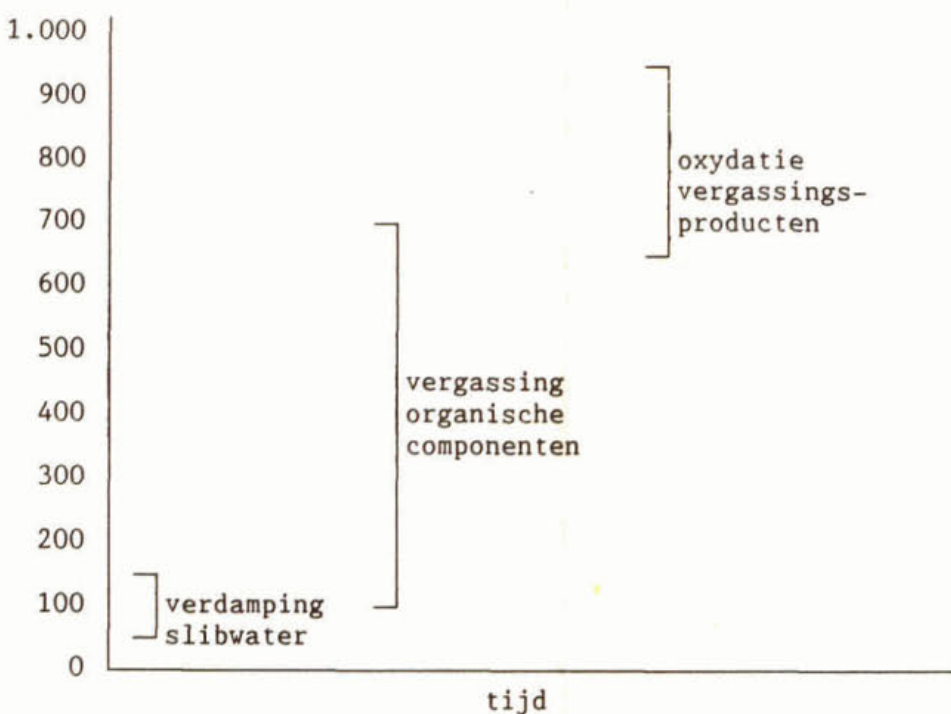
Voor volledige verbranding wordt een luchtvermaat ten opzichte van de stoichiometrische zuurstofbehoefte toegepast. De verbrandingslucht wordt in het algemeen als primaire lucht toegevoerd aan het brandende slib, dat een temperatuur heeft van 500 - 700 °C. Bij bepaalde verbrandingssystemen wordt tevens secundaire verbrandings-

lucht geïnjecteerd in de (na)verbrandingskamer, waar de vergassingsproducten verbranden bij 750 - 900 °C.

Voor volledige verbranding van de organische componenten is enkele seconden verblijftijd nodig bij 800 - 900 °C, met voldoende zuurstof en turbulentie. Wanneer de oven niet aan deze eisen kan voldoen, is een naverbranding nodig om te voorkomen dat onvolledig verbrande organische verbindingen en geurstoffen worden geëmitteerd.

De verdamping van het water en de verbranding van de droge stof kunnen gescheiden of gecombineerd in een geïntegreerde processtap worden uitgevoerd. In de hoofdstukken 4 en 5 worden de verschillende uitvoeringsvormen behandeld.

temperatuur
(°C)



Figuur 2. Deelprocessen bij de slibverbranding

3.3 Warmtehuishouding van de slibverbranding

De warmtebalans van de slibverbranding heeft de volgende posten:

<u>warmtebehoefte</u>	<u>warmteproductie</u>
- waterverdamping	- verbranding organische stof
- opwarming rookgassen	- verbranding steunbrandstof
- opwarming asresten	
- stralingsverliezen	

Bij een stationaire verbrandingstoestand zijn de warmteproductie en de warmtebehoefte in evenwicht.

Men spreekt van autotherme slibverbranding wanneer geen steunbrandstof nodig is om de warmtebehoefte te dekken. Of deze toestand kan

worden bereikt is afhankelijk van het watergehalte van het slib, de stookwaarde van de droge stof en het thermische rendement van het verbrandingssysteem.

3.3.1 stookwaarde van het slib

Een belangrijke parameter bij de slibverbranding is de stookwaarde¹ van de organische slibbestanddelen. In de praktijk zijn stookwaarden van zuiveringsslib tussen 18 en 25 MJ/kg organische stof gemeten, afhankelijk van het type slib. De literatuurgegevens over de stookwaarde van zuiveringsslib zijn samengevat in tabel 1.

	stookwaarde (MJ/kg organische stof)					reken- waarde in dit rapport
	literatuurgegevens					
	(15)	(13)	(11)	(16)	(9)	
primair slib	22-23		22		22,2	22
secundair slib	18-19,5		18			18
mengslib vers - oxydatiebed - actiefslib - rwzi De Groote Lucht - pilot plant A-B-systeem	21	23 24 22-24	21	21	21,6 21,3 20-21 22-22,5	21
uitgegist slib - mechanische rwzi - oxydatiebed - actiefslib - rwzi Kralingse Veer - rwzi De Groote Lucht - pilot plant A-B-systeem	19-20	18	17,5	19	21,8 21,1 20,2 20,8 23,8 22,5	19
oxydatiesloot	18-18,5	24,5		18	19,5	18
laguneslib				16		16

Tabel 1. Stookwaarden van zuiveringsslib volgens de literatuur

Directe meting van de stookwaarde is vrij omslachtig. In een onderzoek van de G.T.D. Oost-Brabant is gevonden dat de stookwaarde goed kan worden afgeleid uit het C.Z.V. van het slib met behulp van de omrekeningsfactor 13 MJ/kg C.Z.V. (4).

¹ stookwaarde = onderste verbrandingswaarde, de voelbare warmte die vrijkomt bij de verbranding van de organische droge stof (MJ/kg o.s.)

De energiewaarde E is een maat voor de potentiële energieinhoud van het slib². E is gedefinieerd als de onderste stookwaarde van de slibdrogestof, gedeeld door de bijbehorende hoeveelheid slibwater (MJ/kg H₂O). E kan worden berekend uit het drogestofgehalte, de gloeirest en de stookwaarde per kg organisch materiaal met behulp van formule 1.

$$E = \frac{(100 - as) \times U \times d.s.}{(100 - d.s.) \times 100} \quad (1)$$

d.s. = drogestofgehalte (%)
 as = gloeirest (% van d.s.)
 U = stookwaarde organische stof (MJ/kg o.s.)

De berekende E-waarden voor de slibsoorten van tabel 1 zijn samengevat in tabel 2.

	stook- waarde (MJ/kg o.s.)	asrest (%)	energiewaarde E (MJ/kg H ₂ O) afhan- kelijk van drogestofgehalte						
			15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %
lagune/ droogbed	16	38	1,8	2,5	3,3	-	-	-	-
oxydatie- sloot	18	30 *	2,2	3,2	4,2	5,4	-	-	-
	18	50 **	-	-	-	3,9	4,8	6,0	-
uitgegist slib	19	45 *	-	2,6	3,5	4,5	-	-	-
	19	55 **	-	-	-	3,7	4,6	5,7	7,0
vers prim. + surplus	21	30 *	-	3,7	4,9	6,3	-	-	-
	21	50 **	-	-	-	4,5	5,7	7,0	8,6
	18	40 ***	-	-	-	4,6	5,8	7,2	8,8

Tabel 2. Energiewaarde E afhankelijk van conditionering en ontwateringsgraad (afgeleid uit lit. 16)

- : drogestofgehalte met dit type slib niet haalbaar
 * : conditionering met poly-electrolyt
 ** : conditionering met kalk en ijzer
 ***: thermische conditionering

3.3.2 warmtebehoefte van de slibverbranding

De specifieke warmtebehoefte van een verbrandingsinstallatie is de hoeveelheid verbrandingswarmte (uit organische stof en steunbrandstof) benodigd voor de verdamping van een kilogram water onder praktijkomstandigheden.

² De energiewaarde E (MJ/kg H₂O) is de reciproke waarde van de (minder handzame) energieparameter E_s (g H₂O/MJ) uit lit. 16.

De warmtebehoefte is samengesteld uit de volgende posten:

- verdampingswarmte van het slibwater;
- opwarming van de rookgassen;
- warmteverliezen door straling en opwarming van de as.

De warmtebehoefte voor verdamping van het slibwater bedraagt circa 2,6 MJ/kg H₂O (inclusief opwarming van het slibwater tot 100 °C). Deze post kan alleen worden beperkt door meertraps indamping. Hierbij wordt de verdampingswarmte teruggewonnen en meermalen benut om een hoeveelheid water te verdampen.

De netto warmtebehoefte voor opwarming van de rookgassen kan aanzienlijk worden beperkt door warmte aan de hete rookgassen te onttrekken en deze te benutten voor opwarming van de verbrandingslucht en voor droging van het slib.

De warmtebehoefte als gevolg van de stralingsverliezen en de opwarming van de asresten is van ondergeschikt belang in vergelijking met de verdampingswarmte en de opwarming van de rookgassen.

Bij zogenaamde conventionele slibverbranding wordt de warmte van de rookgassen alleen benut voor opwarming van de primaire verbrandingslucht. De specifieke warmtebehoefte van conventionele systemen bedraagt 5 - 10 MJ/kg H₂O.

In hoogrendementsystemen wordt tevens warmte aan de rookgassen onttrokken voor de droging van het slib. Hierdoor kan de specifieke warmtebehoefte worden teruggebracht tot 3,5 - 4,5 MJ/kg H₂O.

In 4.5 en hoofdstuk 5 worden de mogelijkheden tot warmteterugwinning nader behandeld.

3.3.3 autotherme slibverbranding

Bij autotherme verbranding levert de oxydatie van de organische slibbestanddelen voldoende warmte voor de verdamping van het slibwater en de warmteverliezen van de installatie, zonder gebruik van steunbrandstof.

Autotherme slibverbranding is mogelijk indien de E-waarde van het slib tenminste gelijk is aan de energiebehoefte van de installatie per kg waterverdamping. Bij niet-autotherme verbranding is het verbruik aan steunbrandstof per kg slibwater te berekenen uit het verschil tussen de energiewaarde van het slib en de specifieke warmtebehoefte van de verbrandingsinstallatie.

Tabel 3 geeft een indicatie van de ontwateringsgraad die bij de slibsoorten van tabel 2 nodig is voor autotherme verbranding in een hoogrendementverbrandingssysteem en in een conventioneel systeem. Voor hoogrendementverbranding is uitgegaan van 4,0 MJ/kg H₂O specifieke warmtebehoefte; voor conventionele verbranding van 5,5 MJ/kg H₂O.

	hoogrendement 4,0 MJ/kg H ₂ O	conventioneel 5,5 MJ/kg H ₂ O
lagune/droogbed	29 %	(36 %)
ox. sloot *	24 %	(31 %)
**	31 %	38 %
uitgegist *	28 %	(35 %)
slib **	32 %	39 %
vers prim. *	22 %	27 %
+ surplus **	28 %	35 %
***	27 %	34 %

Tabel 3. Minimale drogestofgehalten voor autotherme slibverbranding in hoogrendement en conventionele systemen

- (): vereiste ontwateringsgraad met dit type geconditioneerd slib technisch niet haalbaar
 * : conditionering met poly-electrolyt
 ** : conditionering met kalk en ijzer
 ***: thermische conditionering

N.B. De asrest per slibsoort en conditioneringsmethode is vermeld in tabel 2.

De in tabel 3 aangegeven autotherme situaties zijn in principe te bereiken bij de volgende combinaties van slibtype, conditioneringsmethode en ontwateringstechniek.

Autotherme verbranding is voor de volgende soorten slib alleen mogelijk in hoogrendementsystemen (4,0 MJ/kg H₂O):

- filterpersen met polymeerdosering (alle slibsoorten);
- centrifuges/zeefbandpersen met vers primair + surpluslib;
- slib uit droogbedden.

autotherme verbranding is voor de volgende soorten slib tevens mogelijk in conventionele systemen (5,5 MJ/kg H₂O):

- filterpersen met ijzer en kalkconditionering (alle slibsoorten);
- filterpersen met thermische conditionering (alle slibsoorten);
- filterpersen met polymeerconditionering (alleen vers slib).

4 PROCESONDERDELEN BIJ DE SLIBVERBRANDING

4.1 Transport, opslag en voorbehandeling

Bij gecentraliseerde slibverbranding wordt het slib in het algemeen op de rvzi's ontwaterd en vervolgens in steekvaste vorm per vrachtauto naar de verbrandingsinstallatie getransporteerd.

Bij de verbrandingsinstallatie kunnen de volgende ontvangst- en opslagvoorzieningen worden getroffen:

- weegbrug met portiersloge voor registratie van de slibtransporten;
- aan- en afvoerwegen;
- slibbunker;
- apparatuur voor mengen en vermalen van het slib.

De bunker dient als buffer tussen de aanvoer en verwerking van het slib. Storingen in de verwerking en variaties in de aanvoer moeten kunnen worden opgevangen en bij continuverbranding moet een voorraad voor de nacht en het weekeinde aanwezig zijn.

Om stankverspreiding te voorkomen wordt bij grootschalige verbranding het per vrachtwagen aangevoerde slib vanuit een afsluitbare hal in de gesloten bunker gestort. De hal en de bunker worden op een lichte onderdruk gehouden, waarbij de afgezogen lucht als verbrandingslucht in de ovens wordt gebruikt. Als gescheiden verwerking van verschillende slibsoorten voordelen in de bedrijfsvoering oplevert, kan een compartimentering in de bunker worden aangebracht. Bij de gelijktijdige verbranding van slibsoorten met sterk verschillende eigenschappen (bijvoorbeeld pasteus centrifugeslib en harde koeken van filterpersen) kunnen verkleining en homogenisering noodzakelijk zijn. Laguneslib moet vóór verbranding worden vermalen in verband met de aanwezige plantedelen.

De dimensionering van de bunker is afhankelijk van het aantal uren per week, het aantal verwerkingseenheden, de reservecapaciteit van de slibverbranding en de meest economische combinatie van opslag- en verbrandingscapaciteit (zie 5.4).

4.2 Slibdrogers

Bij slibdroging zijn twee basisprincipes mogelijk:

- directe droging;
- indirecte droging.

Bij directe droging wordt warmte overgebracht door direct contact van het warme medium (verwarmde lucht of rookgassen) met het slib. Bij indirecte droging is een warmtegeleidende scheidingswand aanwezig tussen het warmteleverend medium en het slib.

4.2.1 directe droging

In directe droogapparatuur wordt het slib in intensief contact gebracht met een hete gasstroom. De gasstroom levert de warmte voor de verdamping van het water en voert de ontstane waterdamp af.

De temperatuur van de intredende gasstroom bedraagt in de regel maximaal 550 °C; de uitgaande gasstroom heeft een temperatuur van 80 - 150 °C. Wegens het gevaar voor brand en stofexplosies kunnen de temperatuur, het vochtgehalte en de O₂-concentratie van de intredende lucht in zekere mate worden gestuurd door recirculatie van de drooglucht en bijmenging van verbrandingslucht.

Bij de meeste directe droogsystemen wordt het natte slib met een deel van het gedroogde slib gemengd, om versmering van het slib en aankoeking in de droger te voorkomen. Door het mengen ontstaan korrels met een droge kern, een natte buitenzijde en een totaal drogestofgehalte van 50 - 70 %, die in de droger tot meer dan 90 % d.s. worden gedroogd.

eigenschappen van directe droogsystemen:

voordelen

- + hoge verdampingscapaciteit per volume-eenheid
- + hoog drogestofgehalte bereikbaar bij relatief laag temperatuurniveau
- + mogelijkheid tot vorming van een korrelvormig droog product
- + mechanisch en technologisch eenvoudig
- + weinig problemen met aankoeking

nadelen

- grote leidingen en ventilatoren nodig
- grote gasstroom te behandelen bij verwijdering van geurstoffen en/of waterdamp
- risico van ontbranding bij te hoge ingangstemperatuur
- bij de meeste systemen transportvoorzieningen en procesapparatuur nodig voor de menging van droog en nat slib

uitvoeringen van directe droging:

a. Trommeldroger

- langzaam draaiende trommel met een horizontale as;
- slibtransport door transportschoepen en gasstroom;
- eventueel intern roerwerk voor het mengen en breken van slibbrokken;
- eenvoudige, bedrijfszekere constructie;
- redelijk electriciteitsverbruik;
- vrij grote ruimtebehoefte;
- het natte slib moet vóór droging worden gemengd met gedroogd slib, tenzij een roerwerk in de droger aanwezig is;
- korrelvormig product.

b. Fluid-bed droger

- droging in wervelbed met opwaartse gasstroom;
- kruisstroom slib/lucht, eventueel via meer compartimenten;
- eenvoudige bedrijfszekere constructie met een minimum aan bewegende delen;
- hoge luchtweerstand, door geperforeerde bodemplaat ten behoeve van gelijkmatige luchtverdeling;
- compacte bouw;
- menging van gedroogd slib met nat slib is noodzakelijk om de benodigde gelijkmatige korrelstructuur te bereiken;
- korrelvormig product, behalve bij droging in wervelbed met zandtoevoeging (Dorr Oliver SPUBS-systeem).

c. Maaldroger

- droging van het slib tijdens een meng/maalproces in een roterende molen;
- transport van de fijne droge fractie met de uittredende gasstroom;
- compacte installatie;
- tamelijk onderhoudsgevoelig;
- vrij hoog electriciteitsverbruik;
- menging van nat slib met droog slib, om plakken te voorkomen;
- beperking van temperatuur en O_2 -gehalte noodzakelijk ter voorkoming van stofexplosies;
- poedervormig product.

4.2.2 indirecte droging

Bij indirecte droging bewegen het verwarmende medium (lucht, stoom, thermische olie) en het slib aan weerszijden van een metalen wand. Het slib wordt getransporteerd door een schraapmechanisme. Bij stijgend drogestofgehalte neemt de warmtegeleiding tussen de wand en het slib sterk af. Om het warmtetransport te bevorderen wordt de contactlaag zo veel mogelijk door mengen en afschrapen ververst. In de meeste systemen is echter geen efficiënte droging tot hoge drogestofgehalten mogelijk.

eigenschappen van indirecte droogsystemen:

voordelen

- + geringe omvang van de gasstroom, waardoor slechts beperkte voorzieningen voor geur- en stofbestrijding nodig zijn
- + hoog thermisch rendement mogelijk door geringe op te warmen gasstroom
- + condensatie van de droogdampen in vers slib is mogelijk; hierdoor ontstaat een betere ontwatering in centrifuges (t.g.v. verhoogde temperatuur)

nadelen

- de meeste systemen zijn niet economisch voor droging tot > 50 % droge stof
- het transport van gedeeltelijk gedroogd slib (30 - 50 % droge stof) vergt aangepaste apparatuur
- gecompliceerde en onderhoudsgevoelige schraapmechanismen
- gecompliceerd stoom- of thermische oliesysteem

uitvoeringen van indirecte droging:

a. Filmdroger

- slibdroging in een dunne laag aan de binnenzijde van een uitwendig verwarmde cylinder;
- tamelijk onderhoudsgevoelige schraapconstructie;
- slechts geschikt voor deeldroging tot circa 50 % droge stof;
- goed regelbaar door het beperkte slibvolume en de korte verblijftijd (enkele minuten).

b. Schroef- en schijvendrogers

- slibtransport tussen verwarmde schroeven of schijven binnen een verwarmde mantel;
- compacte bouw;
- tamelijk gecompliceerde, onderhoudsgevoelige constructie;
- minder goed procestechnisch regelbaar door het grote slibvolume en de lange verblijftijd (30 - 40 minuten).

c. Etagedroger

- stapsgewijze slibdroging op boven elkaar geplaatste verwarmde plateau's; menging en transport door een draaiend schraapmechanisme;
- robuuste, degelijke constructie;
- verblijftijd circa 15 minuten.

d. Carver-Greenfield systeem

- meertraps waterverdamping met toevoeging van minerale olie om het medium vloeibaar te houden;
- hergebruik van de olie na afscheiding door middel van een centrifuge;
- lage warmtebehoefte door benutting van de condensatiewarmte in de volgende verdampingsstap.

4.3 Slibovens

Het ontwaterde of voorgedroogde slib wordt in een oven verbrand. In de oven wordt het resterende water verdampt, waarna de organische slibfractie vergast en geoxydeerd wordt.

Voor een volledige verbranding moet aan de volgende eisen worden voldaan:

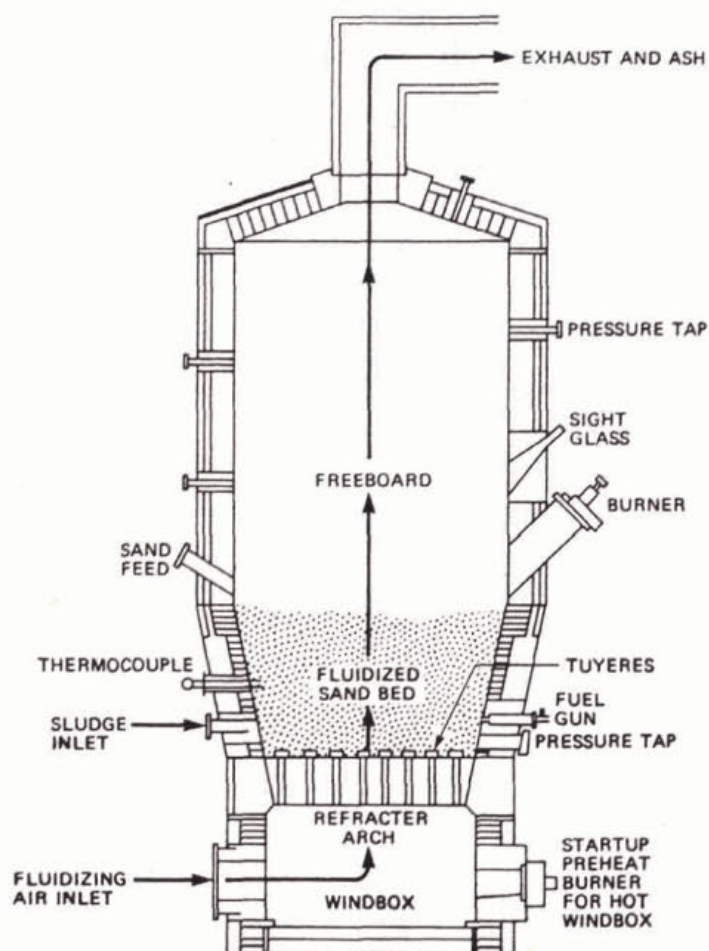
- voldoende verdampingscapaciteit in relatie tot het vochtgehalte van het te verbranden slib;
- voldoende verblijftijd, temperatuur en menging van de slibdeeltjes in de vuurhaard om de droge stof volledig te vergassen;
- voldoende verblijftijd, zuurstofovermaat, turbulentie en temperatuur voor volledige oxydatie van de vergassingsproducten in de verbrandingskamer (minimaal enkele seconden met 20 - 50 % O_2 -overmaat bij 800 °C).

De volgende ovenstystemen worden toegepast voor de verbranding van zuiveringsslib:

a. Wervelbedoven met zandbed (figuur 3)

- verbranding in een 1,5 - 2 m hoog gefluïdiseerd bed van zandkorrels in een stijgende gasstroom;
- eenvoudige constructie zonder bewegende delen in de vuurhaard;
- geschikt voor diverse soorten slib en andere afvalstoffen;
- goede verbranding van de vaste en gasvormige componenten door de intensieve menging in het wervelbed;
- door de grote warmtecapaciteit van het zandbed kan snel worden opgestart na korte onderbrekingen (bijvoorbeeld na een nachtstop);
- weinig geschikt voor deellastbedrijf wegens de minimum luchtstroom benodigd voor fluïdisatie;

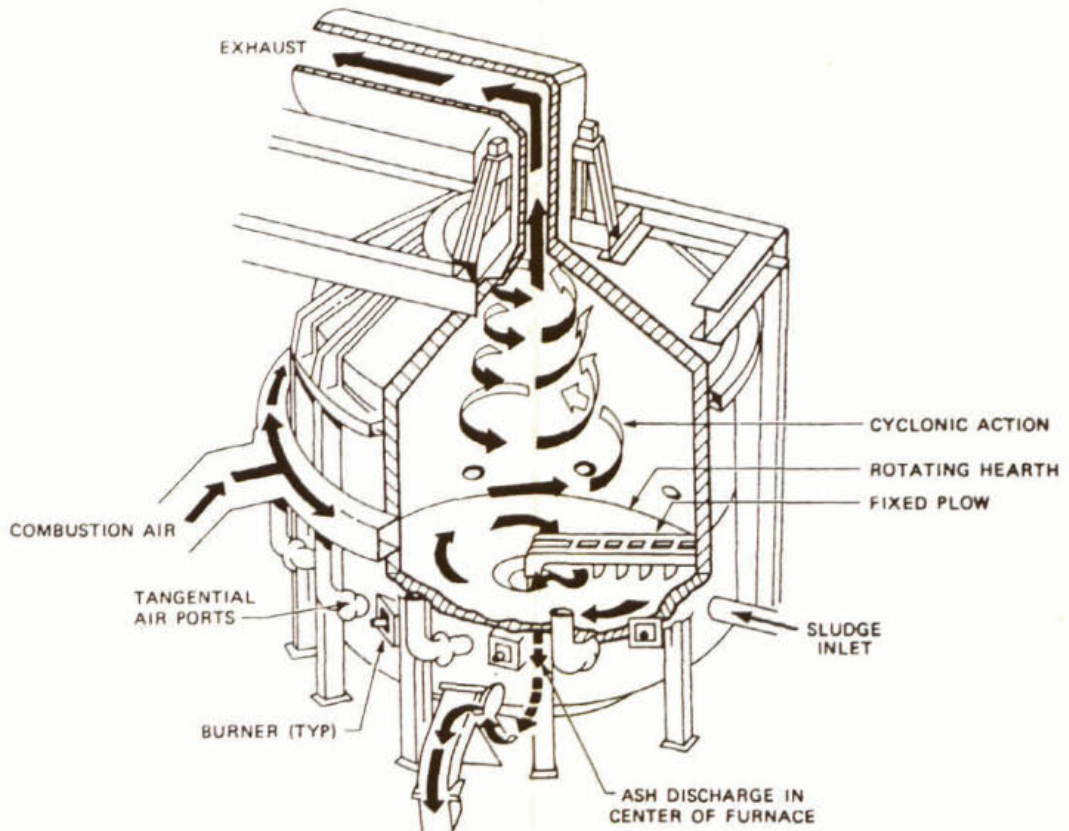
- relatief hoog electriciteitsverbruik door de hoge drukval over het wervelbed;
- vrijwel alle asresten komen vrij als vliegias;
- veelvuldig toegepast voor slibverbranding.



Figuur 3. Doorsnede van een wervelbedoven met zandbed (10)

b. Wervelbedoven met granulaatbed

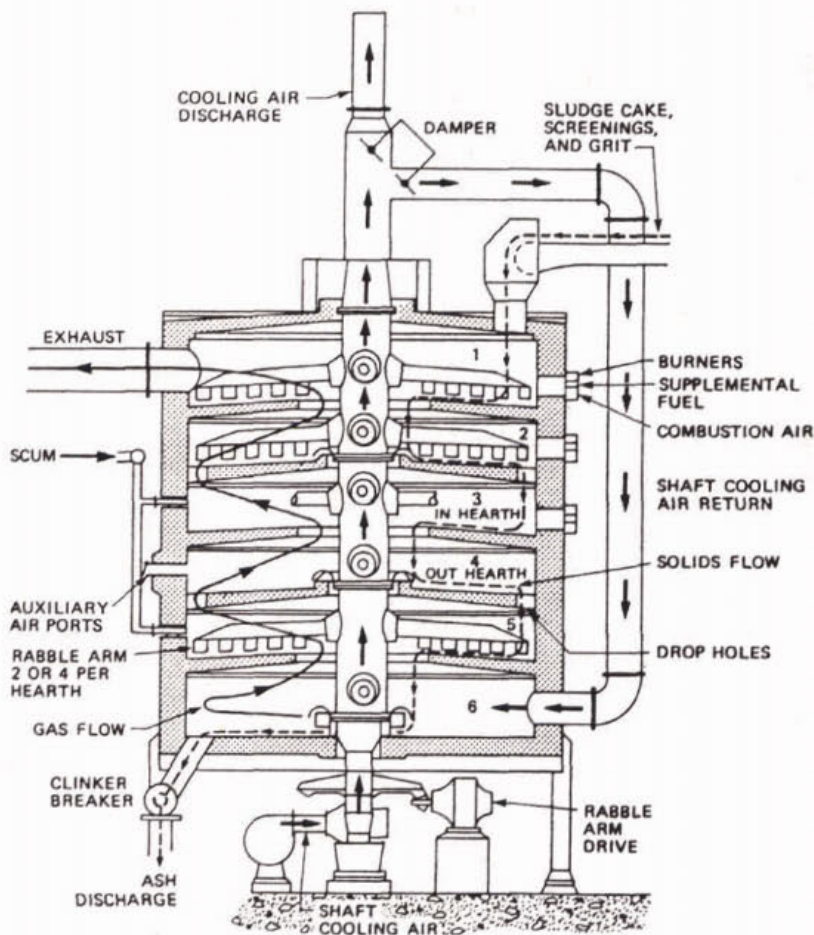
- verbranding van slibgranulaat in een opwaarts doorstroomd gefluïdiseerd bed van korrelvormige asdeeltjes;
- bij uitvoeringen met roterend bed (figuur 4) circulatiepatroon door tangentiële luchtinblazing en/of roterende mengarmen;
- geschikt voor de verbranding van volledig gedroogd slibgranulaat;
- goede verbranding van de vaste en gasvormige componenten door de intensieve menging in het wervelbed;
- weinig geschikt voor deellastbedrijf wegens de minimum luchtstroom benodigd voor fluïdisatie;
- relatief hoog electriciteitsverbruik door de hoge drukval over het wervelbed;
- de asresten worden grotendeels uit het bed afgetapt;
- toegepast voor slibverbranding in kleinere installaties (< 1000 kg d.s./h):



Figuur 4. Doorsnede van een wervelbedoven met roterend granulaatbed
(10)

c. Etage-oven (figuur 5)

- 6 - 12 etages in een verticale cilindrische oven, met roterende schrapers voor het slibtransport;
- trapsgewijze droging, vergassing en verbranding van het slib tijdens het transport van de bovenste naar de onderste etage;
- invoer van de verbrandingslucht en de steunbrandstof via het onderste niveau;
- hoge waterverdampingscapaciteit, geschikt voor ontwaterd of gedeeltelijk gedroogd slib;
- hoge geurvrucht van de rookgassen door het contact van de hete gasstroom met het drogende slib; veelal is een naverbranding nodig;
- asafvoer grotendeels als bodemas uit de laagste etage; een klein gedeelte als vliegias;
- permanente koeling van de centrale as en schrapperarmen noodzakelijk;
- in het verleden veelvuldig toegepast voor zuiveringsslib.



Figuur 5. Doorsnede van een etage-oven (10)

d. Etage-wervelbedoven

- combinatie-oven met een etagedroger boven de wervelbedoven;
- door de kleinere luchtvermaat iets lagere specifieke warmtebehoefte dan bij de etageoven;
- combineert een aantal voor- en nadelen van de wervelbed- en de etageoven;
- hoge geurvracht van de rookgassen door het contact van de hete gasstroom met het drogende slib; veelal is een naverbranding nodig;
- asafvoer grotendeels als vlieggas.

e. Draaitrommeloven

- verbranding van het slib tijdens het verblijf in een langzaam roterende cilindrische oven met een horizontale as;
- geschikt voor diverse materialen (slib, roostergoed, huisvuil);
- minder intensieve verbranding dan in een wervelbed; naverbranding van de rookgassen is noodzakelijk;
- mechanisch tamelijk gecompliceerd;
- beperkte capaciteit; vooral in kleinere systemen toegepast;
- asafvoer grotendeels als bodemas.

f. Poederoven

- verbranding van het slib als poeder in een stofbrander;
- verbranding van de vergassingsproducten met secundaire lucht in een nageschakelde verbrandingskamer;
- slechts geschikt voor droog, poedervormig slib;
- verbrandingsproces minder stabiel dan bij een wervelbedoven;
- in enkele slibverbrandingsinstallaties toegepast;
- asafvoer geheel als vlieg-as.

g. Kettingroosteroven

- verbranding van slibgranulaat op een bewegend bed met toevoer van de primaire verbrandingslucht vanaf de onderzijde;
- verbranding van de vergassingsproducten met secundaire lucht in een nageschakelde verbrandingskamer;
- alleen geschikt voor korrelvormig, volledig gedroogd slib;
- asafvoer grotendeels als sintelvormige bodemas;
- beperkte ervaring bij slibverbranding.

Tabel 4 geeft een overzicht van de soorten slib die in de verschillende ovens kunnen worden verbrand.

oventype	ontwaterd/ deelgedroogd < 50 % d.s.	slib- granulaat > 90 % d.s.	slib- poeder > 90 % d.s.
wervelbed, zand	+	+/-	+
wervelbed, granulaat	-	+	-
etage-oven	+	+/-	-
etage-wervelbed	+	+/-	-
draaitrommel	-	+	-
poederoven	-	-	+
kettingrooster	-	+	-

Tabel 4. Toepassingsgebied per oventype

- + : toepasbaar
- +/- : matig toepasbaar
- : niet toepasbaar

Voor de toepassing van de verschillende oventypes moet onderscheid worden gemaakt tussen ovens voor ontwaterd of gedeeltelijk gedroogd slib (drogestofgehalte 15 - 40 %) en ovens voor de verwerking van volledig gedroogd slib (drogestofgehalte > 90 %).

Ovens voor niet volledig gedroogd slib worden gedimensioneerd op de verdampingwarmte van het water in het slib. Bij niet-autotherme verbranding wordt in het wervelbed steunbrandstof toegevoerd.

Ovens voor volledig gedroogd slib worden gedimensioneerd op de stookwaarde van de droge stof. Om de temperatuur in de verbrandingsruimte te beperken tot 800 - 900 °C wordt warmte afgevoerd door warmtewisselaars of door een verhoogde luchtvermaat.

4.4 Rookgasreiniging

De afgassen van de slibdroging en slibverbranding kunnen de volgende verontreinigingen bevatten:

- onvolledig verbrande organische verbindingen
- stof
- zure gassen
- zware metalen.

Per categorie verontreinigingen wordt in de volgende paragrafen aangegeven welke emissiebeperkende maatregelen beschikbaar zijn. In 7.1 wordt nagegaan welke van deze technieken moeten worden toegepast in relatie tot de milieu-eisen.

4.4.1 onvolledig verbrande organische verbindingen

emissies uit het verbrandingsproces

De emissie van koolmonoxyde, geurstoffen en andere onvolledig verbrande organische verbindingen kan worden beperkt door optimalisatie van de verbrandingsomstandigheden. Bij temperaturen van minimaal 800 °C, enkele seconden verblijftijd, voldoende turbulentie en tenminste 6 % O₂ in de verbrandingsruimte kan een nagenoeg volledige verbranding plaatsvinden. Deze omstandigheden kunnen bij goede bedrijfsvoering in vrijwel alle ovensystemen worden bereikt.

Bij de draaitrommeloven is de vereiste temperatuur en turbulentie in het verbrandingsproces niet haalbaar en moet een aparte naverbranding worden toegepast. Bij etage-ovens komen de hete verbrandingsgassen in contact met drogend slib en raken daardoor verontreinigd met geurstoffen. Naverbranding is daarom ook bij etage-ovens in veel gevallen nodig. Voor de procescondities in de naverbranding gelden dezelfde eisen als bovengenoemd voor volledige slibverbranding.

Reiniging van de rookgassen in wassers bij hoge en bij lage druk levert naast stofverwijdering een minder volledige verwijdering van de geurstoffen op (zie tabel 5). Of deze verwijdering voldoende is om bij een etageoven een naverbranding te vervangen, hangt af van de omstandigheden (zie ook 7.1).

De emissie van onverbrande microverontreinigingen en de vorming van toxische verbrandingsproducten, zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen, dioxines en furanen, zijn in een goed functionerende slibverbranding beperkt. De in het slib aanwezige polychloorbifenylen (P.C.B.'s) worden bij verbrandingstemperaturen van 700 - 800 °C gedeeltelijk in de gasstroom opgenomen. De concentratie P.C.B.'s in zuiveringsslib is echter zo laag dat hiervoor geen emissiebeperkende maatregelen noodzakelijk zijn.

	naver- branding %	wassing		E-filter %
		lage druk %	hoge druk %	
vliegas + niet vluchtige metalen:				
> 10 µm	0	> 90	> 98	> 98
< 10 µm	0	10 - 20	50 - 95	> 98
vluchtige metalen	0	0 - 95*	30 - 95*	30 - 90
geurstoffen	100	10 - 20	50 - 80	0
PCB's	100 **	10 - 20	50 - 80	0
lagere kool- waterstoffen	100	10 - 20	50 - 80	0
CO	100	0	0	0
NO _x	0	10 - 20	10 - 20	0
SO ₂	0	> 50 **)	> 50 **)	0
HCl	0	> 90	> 90	0

Tabel 5. rendement van rookgasreinigingssystemen (gebaseerd op lit. 16)

* : afhankelijk van soort metaal, temperatuur en pH

** : bij T > 1.100 °C

*** : afhankelijk van pH waswater

emissies uit het droogproces

De geurstoffen afkomstig van het contact tussen het drogende slib en de hete gassen in directe drogers kunnen vrijwel volledig worden verwijderd door naverbranding in de sliboven of in een aparte naverbrandingsoven.

Bij indirecte droging kunnen de droogdampen worden gecondenseerd, waarbij de meeste geurstoffen in het condensaat terechtkomen. De kleine gasstroom die na condensatie overblijft, kan in de oven worden verbrand.

4.4.2 vliegas

De vliegas in de verbrandingsgassen kan door middel van de volgende technieken worden verwijderd:

- electrofilters
- doekfilters
- natte stofverwijdering.

electrofilters (E-filters)

In electrofilters worden de stofdeeltjes afgevangen door oplading met electronen in een sterk electrisch veld, gevolgd door aantrekking naar een positieve electrode. Het verzamelde stof wordt door een klopmechanisme of een waterstroompje van de electrodes losgemaakt en afgevoerd. Electro-filters hebben de volgende eigen-

schappen:

- vooral geschikt voor grote luchtstromen met hoge stofgehalten;
- grote ruimtebehoefte;
- laag reststofgehalte haalbaar (circa 20 mg/Nm³);
- laag drukverlies, matig electriciteitverbruik;
- zonder aanpassing geschikt voor temperaturen tot 400 °C;
- stofafvoer in droge of natte vorm;
- geen verwijdering van gasvormige verontreinigingen.

doekfilters

In doekfilters wordt de gasstroom door een weefsel gefilterd. Het verzamelde stof wordt door kloppen of terugblazen losgemaakt en afgevoerd. Doekfilters hebben de volgende eigenschappen:

- nog niet toegepast bij slibverbranding;
- bij hoge stofgehalten is voorafscheiding door middel van een cycloon noodzakelijk;
- zeer laag reststofgehalte haalbaar (< 5 mg/Nm³);
- matig drukverlies, beperkt energieverbruik;
- met aangepast doek inzetbaar tot 250 °C;
- stofafvoer in droge vorm;
- gunstig in combinatie met semi-droge reiniging;
- gasvormige verontreinigingen worden niet verwijderd.

natte stofverwijdering

Bij natte stofverwijdering wordt de gasstroom in zeer intensief contact gebracht met fijne waterdruppels. De stofdeeltjes worden hierbij uit de lucht 'geveegd' en komen in het waswater terecht. Om ook de fijnere stofdeeltjes te verwijderen is een grote drukval van de luchtstroom over de wasser nodig (20 - 100 cm waterkolom voor verwijdering van deeltjes < 1 µm).

Hogedrukwassers voor stofverwijdering wijken sterk af van de zogenaamde lagedrukwassers, die worden toegepast voor de verwijdering van gasvormige componenten (zie 4.4.3).

Hogedrukwassers hebben de volgende eigenschappen:

- compacte bouw;
- laag reststofgehalte haalbaar (afhankelijk van het drukverlies circa 20 - 35 mg/Nm³);
- hoog energieverbruik door het grote drukverlies;
- koeling van de gasstroom door verdamping van het waswater;
- vliegafvoer in natte vorm na sedimentatie uit het waswater;
- reiniging van het waswater nodig voor de verwijdering van zware metalen;
- gedeeltelijke verwijdering van gasvormige componenten.

4.4.3 zure gassen

Bij de verbranding van zuiveringsslib kunnen de volgende zure verbindingen ontstaan:

- SO₂
- NO, NO₂
- HCl, HF.

SO₂ ontstaat door de oxydatie van in het slib aanwezige zwavelver-

bindingen. De SO_2 -productie is niet door sturing van het verbrandingsproces te beïnvloeden. Het gevormde SO_2 kan worden gebonden door kalk te injecteren in de oven of in de rookgassen; SO_2 is bij $\text{pH} > 7$ goed in water oplosbaar.

Stikstofoxiden ontstaan door de oxydatie van Kjeldahl-stikstof uit het slib en van elementaire stikstof die in de verbrandingslucht aanwezig is. Bij de verbrandingsomstandigheden van de slibverbranding, met name de relatief lage temperaturen (maximaal $900\text{ }^\circ\text{C}$), speelt de NO_x -vorming echter geen grote rol.

HCl en HF worden gevormd uit organische chloride- en fluorideverbindingen. Beide componenten kunnen aan kalk worden gebonden en lossen makkelijk in water op, zelfs bij lage pH .

Voor de verwijdering van de zure verontreinigingen uit de rookgassen komen de volgende technieken in aanmerking:

- kalktoevoeging bij de verbranding;
- rookgasbehandeling met een kalksuspensie (semi-droge reiniging);
- alkalische wassing van de rookgassen.

kalktoevoeging in de verbranding

Tijdens het verbrandingsproces kunnen zure verbindingen worden gebonden aan gebluste kalk (Ca(OH)_2) of kalksteen (CaCO_3). Hierbij wordt de geoxydeerde zwavel gebonden in de vorm van gips (CaSO_4). Door de relatief hoge reactietemperaturen in de oven worden HCl en HF minder goed gebonden. De kalk met de gebonden verontreinigingen wordt samen met de as verwijderd.

Bij wervelbedverbranding van steenkool met kalktoevoeging worden goede resultaten bereikt, met SO_2 -rendementen tot meer dan 90 % (3). De eerste ervaringen met kalkdosering bij slibverbranding tonen echter rendementen van 50 - 65 % (rwzi Ulm, niet gepubliceerd). Belangrijke eigenschappen van de primaire kalktoevoeging zijn:

- eenvoudig toe te passen, met name bij wervelbedovens;
- geschikt voor SO_2 -binding;
- niet optimaal voor de verwijdering van HCl en HF ;
- kalkverwijdering samen met de verwijdering van de vlieg-as.

semi-droge rookgasreiniging

In het rookgaskanaal wordt een kalksuspensie verneveld, waaruit door verdamping van het water een mist van fijne kalkdeeltjes ontstaat. De kalkdeeltjes absorberen de gasvormige zure verbindingen en worden vervolgens in een stofafscheider verwijderd.

Doekfilters geven een extra goed rendement bij semi-droge reiniging, omdat de lucht in intensief contact komt met het kalklaagje dat zich op het filterdoek heeft afgezet. Bij bedrijfsonderbrekingen bestaat echter het gevaar voor uitharden van het gips in het laagje op het filterdoek.

Belangrijke eigenschappen van de semi-droge reiniging zijn:

- relatief eenvoudig in te passen;
- hoge kalkdosering nodig voor SO_2 -binding;
- geschikt voor de binding van HCl en HF ;
- de kalk kan na voorafscheiding van de vlieg-as gedeeltelijk worden gerecirculeerd.

rookgaswassing

Gasvormige verontreinigingen kunnen uit de rookgassen worden verwijderd door wassing in een lagedrukwasser. Hierbij wordt de gasstroom in contact gebracht met de wasvloeistof in een sproeitoren of in een kolom vulmateriaal met een groot uitwisselingsoppervlak. In tegenstelling tot de hogedrukwasser is de lagedrukwasser niet geoptimaliseerd voor de verwijdering van stofdeeltjes, maar voor het uitwassen van gasvormige componenten.

De zure verontreinigingen kunnen uit de rookgassen worden verwijderd door wassing met een neutrale of alkalische wasvloeistof. Bij voldoende hoge pH zijn SO_2 , HCl en HF met hoge rendementen te verwijderen.

De gewassen lucht is afgekoeld tot circa 70 °C en met water verzadigd. Om uitzakken van de rookpluim te voorkomen kan het nodig zijn de lucht op te warmen tot boven 100 °C.

De vliegias moet vóór de wassing worden verwijderd om verstopping van de wasser en vervuiling van het waswater te voorkomen. Het surplus waswater wordt behandeld in een fysisch-chemische zuiveringsinstallatie en/of rwzi. De belangrijkste eigenschappen van alkalische wassing zijn:

- er is veel procesapparatuur nodig;
- goede verwijdering van zure gassen;
- matige verwijdering van vluchtige metalen;
- behandeling van de waswaterstroom is noodzakelijk;
- het kan nodig zijn de gewassen rookgassen op te warmen.

4.4.4 zware metalen

Het grootste deel van de zware metalen wordt bij de verbranding van het slib in de asrest geconcentreerd. Een klein gedeelte van de metalen verdampt tijdens de verbranding (met name kwik, cadmium, arseen, en in mindere mate zink, lood en koper). Bij afkoeling van de rookgassen condenseren de metalen grotendeels en adsorberen aan de vliegiasdeeltjes. Bij een rookgastemperatuur van 200 - 250 °C is nog slechts een deel van het kwik en het arseen in dampvorm aanwezig. Wanneer uitsluitend droge rookgasreiniging wordt toegepast, worden deze metalen geëmitteerd.

Bij natte rookgasreiniging wordt de gasstroom gekoeld tot 70 °C of lager, waardoor ook het arseen en het grootste deel van het kwik condenseren. Door semi-droge reiniging of wassing met alkalisch water wordt slechts 30 - 50 % van het kwik verwijderd.

Wanneer met zuur water wordt gewassen, kan het kwik met een rendement van 85 - 90 % worden verwijderd.

Belangrijke eigenschappen van zure wassing zijn:

- er is veel procesapparatuur nodig;
- goede verwijdering van vluchtige metalen;
- matige verwijdering van zure gassen;
- behandeling van de waswaterstroom is noodzakelijk;
- het kan nodig zijn de gewassen rookgassen op te warmen.

4.5 Warmteterugwinning

Het thermische rendement van een verbrandingssysteem is sterk afhankelijk van het debiet en de temperatuur van de rookgassen en droogdampen die de installatie verlaten. Tabel 6 geeft een indicatie van

de specifieke warmtebehoefte, afhankelijk van de luchtvermaat en de warmteterugwinning uit de rookgassen. De waarden hebben geen absolute betekenis, omdat het warmteverlies via de straling en de uitgaande massastromen kan variëren.

temperatuur van de rookgassen (°C)	specifieke warmtebehoefte (MJ/kg H ₂ O) afhankelijk van luchtvermaat	
	40 %	100 %
800	7,2	8,0
550	5,8	6,4
250	4,3	4,5
100	3,5	3,6

Tabel 6. Specifieke warmtebehoefte afhankelijk van luchtvermaat en warmteterugwinning uit rookgassen (indicatieve waarden)

4.5.1 voorverwarming van de verbrandingslucht

Door middel van een warmtewisselaar (ook wel LUVO = luchtvoorverwarmer genoemd) kan de primaire verbrandingslucht tot 550 - 600 °C worden voorverwarmd. De temperatuur van de rookgassen (inclusief waterdamp) wordt hierdoor teruggebracht van circa 800 tot 550 °C.

Bij conventionele slibverbranding, met verdamping en verbranding gecombineerd in een wervelbed- of etageoven, blijft de warmteterugwinning beperkt tot de opwarming van de primaire verbrandingslucht. De specifieke warmtebehoefte van een dergelijk systeem bedraagt circa 5 - 7 MJ/kg H₂O, afhankelijk van de luchtvermaat en de warmteverliezen.

4.5.2 warmtebenutting voor slibdroging

In de zogenaamde hoogrendementsystemen wordt de warmte-inhoud van de rookgassen ook in het temperatuurgebied beneden 550 °C benut. De rookgassen worden in warmtewisselaars afgekoeld tot 200 - 250 °C, waarbij de vrijkomende warmte wordt benut voor de droging van het slib. De specifieke warmtebehoefte wordt hierdoor teruggebracht tot circa 4 MJ/kg H₂O.

Bij directe droging wordt de warmte van de warmtewisselaar naar de droger overgebracht door middel van een hete gasstroom. De afgekoelde lucht met de droogdampen wordt vervolgens in de oven als verbrandingslucht gebruikt. Bij indirecte droging vindt het warmtetransport plaats via stoom of thermische olie.

warmteoverdracht door middel van stoom:

<u>voordelen</u>	<u>nadelen</u>
+ universeel, te koppelen aan andere systemen bijvoorbeeld bij gecombineerde verbranding van zuiveringslib en huisvuil	- complex systeem, met ketel-waterbereiding, condensors en koelapparatuur
+ in een groot temperatuurgebied inzetbaar	- relatief hoge kosten
+ warmteoverdracht goed regelbaar door middel van drukregeling	- minder geschikt voor kleine systemen en discontinu gebruik

warmteoverdracht door middel van thermische olie:

<u>voordelen</u>	<u>nadelen</u>
+ minder complex en kostbaar dan een stoomcircuit	- minder geschikt voor koppeling aan andere verbrandingssystemen
+ meer geschikt voor kleinere en discontinue systemen	- maximum olietemperatuur circa 250 °C;
	- regeltechnisch minder flexibel dan stoom

warmteoverdracht door middel van warme lucht:

<u>voordelen</u>	<u>nadelen</u>
+ eenvoudige constructie	- kleine warmtecapaciteit en minder effectieve warmte-overdracht, daardoor grote lucht-leidingen en warmtewisselaars nodig
+ redelijke kosten	- minder geschikt voor warmte-overdracht bij kleine temperatuurverschillen

4.5.3 warmteterugwinning beneden 200 °C

De warmte-inhoud van de rookgassen beneden 200 °C kan in principe worden gebruikt voor opwarming van de gewassen rookgassen of voor gebouwverwarming.

Voor slibdroging kan het temperatuurgebied beneden 200 °C niet meer

effectief worden benut, om de volgende redenen:

- warmteoverdracht naar de droger via een warmtewisselaar is beneden 200 °C technisch en economisch ongunstig, ondermeer door het corrosieve milieu (beneden het dauwpunt van SO₃);
- directe droging met behulp van de hete rookgassen kan de rookgas-temperatuur tot circa 80 °C verlagen; hierbij raakt de gasstroom echter verontreinigd met geurstoffen, die vervolgens door naverbranding moeten worden vernietigd. Hierdoor wordt het temperatuurniveau van de te lozen gasstroom weer verhoogd, zodat het energetisch voordeel van de droging bij lage temperatuur teniet wordt gedaan.

4.6 Asverwerking

De asresten van de slibverbranding kunnen in de volgende vormen vrijkomen:

<u>type as:</u>	<u>afkomstig van:</u>
- bodemas	asafvoer uit etageovens en kettingroosterovens
- granulaatvormige as	asafvoer uit granulaat-wervelbedovens
- droge vliegas	vliegasverwijdering door droog gereinigde electrofilters of doekfilters
- natte vliegas	vliegasverwijdering met nat gereinigde electrofilters
- as in waswater	rookgaswassing

De harde brokken bodemas van de kettingroosteroven en de enkele millimeters grote askorrels van de granulaat-wervelbedoven zijn vrijwel stofvrij en kunnen na koeling zonder problemen in containers worden opgeslagen en afgevoerd.

De droog afgescheiden vliegas en de as van etageovens zijn veel fijner van structuur en hebben een sterke nijging tot stofverspreiding. Deze soorten worden meestal in een menginstallatie bevochtigd, waarna de as zonder stofproblemen kan worden gestort.

Bij nat gereinigde electrofilters en hogedrukwassers wordt de vliegas in een waterstroom gesuspendeerd. In een bezinkbassin of ontwateringscontainer wordt de as afgescheiden, waarna het licht verontreinigde waswater naar de rwzi wordt teruggeleid of via het riool wordt afgevoerd. De afgescheiden vliegas met circa 50 % water kan per container worden afgevoerd en gestort.

5 SYSTEMEN VOOR SLIBVERBRANDING

5.1 Conventionele verbrandingssystemen

Bij conventionele slibverbrandingssystemen worden de verdamping van het slibwater en de verbranding van de organische stof in één processtap gecombineerd. Van de in 4.3 beschreven oventypen zijn alleen de etageoven, de wervelbedoven, de gecombineerde etage-wervelbedoven en (voor kleinere installaties) de tegenstroom-trommeloven hiervoor geschikt.

De dimensionering van de ovens wordt voornamelijk bepaald door de benodigde capaciteit voor de waterverdamping en pas in de tweede plaats door de verbranding van de organische stof.

De warmteterugwinning is in het algemeen beperkt tot opwarming van de primaire verbrandingslucht tot maximaal 550 - 600 °C. De rookgassen worden hierbij gekoeld tot 500 - 550 °C. Verdere warmteterugwinning door middel van een secundaire warmtewisselaar is in de regel niet economisch door gebrek aan afzetmogelijkheden voor de warmte.

In tabel 7 zijn de eigenschappen van de belangrijkste conventionele verbrandingssystemen samengevat.

	etage-oven	wervelbedoven
bedrijfsvoering	continu	continu/dis-continu
gevoeligheid voor corrosie en slijtage	gering	gering
procescontrole	goed	goed
temperatuur vuurhaard	700 °C	850 °C
overmaat verbrandingslucht	120 %	20 - 50 %
naverbranding nodig	ja	nee
asproductie	fijne bodemas	vliegas
electrisch energieverbruik * (kWh/ton d.s.)	50 - 60	250 - 350
specifieke warmtebehoefte (MJ/kg H ₂ O)	8 - 10	5,5 - 8

Tabel 7. Eigenschappen van conventionele slibverbrandingssystemen
(naar lit. 16)

* bij verbranding van slib met circa 20 % d.s.

5.2 Hoogrendementverbrandingssystemen

Bij hoogrendementverbranding wordt het slib in een droger voorgedroogd met restwarmte van de verbrandingsoven en vervolgens in de oven verbrand.

De installatie heeft de volgende hoofdonderdelen:

- slibdroger;
- transportsystemen:
 - * opslag en transport van het natte slib
 - * (eventueel) menging van droog slib met nat slib vóór directe droging
 - * transport van gedroogd slib van de droger naar de sliboven
 - * transport en opslag van de asresten;
- sliboven;
- warmte-terugwinning uit de hete rookgassen:
 - * warmte-overdracht naar de droger
 - * voorverwarming van de verbrandingslucht;
- afgasbehandeling:
 - * behandeling van de droogdampen
 - * behandeling van de rookgassen.

Het separate drogen en verbranden heeft een aantal belangrijke consequenties:

- het warmerendement is beter dan bij conventionele verbranding door de lagere rookgastemperatuur;
- de droger en de oven kunnen beter worden geoptimaliseerd dan bij gecombineerde droging/verbranding;
- het te behandelen rookgasvolume kan worden verlaagd door condensatie van de waterdamp uit de droogdampen;
- de vlieggasverwijdering en de asafvoer kunnen worden vereenvoudigd door de productie van een stofarme asrest (bij granulaatovens);
- er is extra procesapparatuur nodig voor het mengen van droog en nat slib (bij directe droging), voor het drogen van het slib en voor het transport van het gedroogde slib naar de oven;
- de processturing is ingewikkelder door het grotere aantal gekoppelde systemen;
- de investeringskosten zijn hoger dan bij conventionele slibverbranding.

Voor de separate droging en verbranding komen bijna alle in 4.2 en 4.3 beschreven onderdelen in aanmerking. In de praktijk is een beperkt aantal combinaties leverbaar, waarvan de belangrijkste kenmerken in tabel 8 beschreven zijn. Meer uitgebreide informatie is opgenomen in bijlage 1.

Toelichting op tabel 8:

- de gegevens hebben betrekking op autonome verbrandingssystemen, dat wil zeggen zelfstandige slibverbrandingsinstallaties, zonder koppeling met bijvoorbeeld een afvalverbrandingsinstallatie;
- de kolom warmteoverdracht heeft betrekking op de warmte die van de hete rookgassen naar de droger wordt overgedragen; in vrijwel alle systemen wordt tevens voorverwarming van de verbrandingslucht toegepast;
- de rookgasbehandeling is niet beschouwd, omdat deze voor de beschreven systemen vrijwel gelijkwaardig is.

stelsel	type droging	type verbranding	warmte-overdracht	behandeling droog-dampen	status
Comrimo-Shegers	indirect, 90 % d.s., etage-droger	wervelbed met zand	stoom of thermische olie-circuit	naar oven	Belgie (rwzi Brugge)
Dorr Oliver - SPUBS	direct, > 90 % d.s. wervelbed met zand	wervelbed met zand	circulatie rookgas + heet zand	naar oven, na wassing	operationeel, USA
Fläkt - Okawara	direct, > 90 % d.s. trommel-droger met roerwerk	granulaat-wervelbed met roerwerk	lucht/lucht-warmtewisselaar of direct met rookgassen	naar oven of naverbranding	vele (kleine) installaties in Japan
Lurgi	indirect, < 50 % d.s. filmdroger	wervelbed met zand	thermo-olie	condensatie damp, lucht naar oven	operationeel in Amsterdam en Düren (West-Duitsland)
Rashka	indirect, < 50 % d.s. schijven-droger	wervelbed met zand	stoomcircuit	condensatie damp, lucht naar oven	operationeel in Stuttgart
Sulzer - Escher Wyss	indirect, > 90 % d.s. fluidbed-droger met stoomverwarming	granulaat-wervelbed met warmte-onttrekking door stoom	stoomcircuit	condensatie damp, lucht naar oven	pilot plant Japan, prototype Duitsland
Thyssen	indirect, 50 % d.s. filmdroger	wervelbed met zand	stoomcircuit	condensatie damp, lucht naar oven	operationeel in Ulm (West-Duitsland)
VanderBroek	direct, > 90 % d.s. trommel-droger	ketting-rooster-oven	lucht/lucht-warmtewisselaar of direct met rookgassen	naar oven of naverbranding	pilot plant, verwant systeem operationeel in Hamilton, Canada
Von Roll - Pulvotherm	direct, > 90 % d.s. maaldroger	stofoven of wervelbed met zand	lucht/lucht-warmtewisselaar	naar oven	operationeel (met poederoven), in Duitsland, Frankrijk

Tabel 8. Belangrijkste eigenschappen hoogrendementverbrandings-systemen

5.3 Slibverbranding met behulp van restwarmte

De stookwaarde van de meeste soorten zuiveringsslib is onvoldoende voor autotherme verbranding, zelfs in hoogrendementsystemen. Het kan economisch aantrekkelijk zijn de ontbrekende warmte niet door middel van dure steunbrandstof, maar door een goedkope warmtebron aan te vullen. Hiervoor staan in principe de volgende mogelijkheden open:

- a. Slibverbranding met als steunbrandstof gistingsgas of afvalproducten (R.D.F.).
- b. Slib samen met huisvuil verbranden in een afvalverbrandingsinstallatie (= A.V.I.).
- c. Gebruik van de hete rookgassen van een verbrandingsinstallatie voor directe slibdroging.
- d. Gebruik van stoom uit een verbrandingsinstallatie voor indirecte slibdroging.

5.3.1 **slibverbranding met gistingsgas of afvalproducten**

Als steunbrandstof bij de slibverbranding kan gistingsgas, afgewerkte olie, verkleind roostergoed en afvalvet worden verbrand. Ook kan gebruik worden gemaakt van brandstofbriketten geproduceerd uit afvalstoffen (R.D.F. = refuse derived fuel; B.R.A.M. = Brennstoff aus Müll).

Randvoorwaarden bij de toepassing van brandbare afvalstoffen:

- a. Beschikbaarheid en kosten van een goedkope brandstof.
 - b. Geschikte combinatie van het oventype en de verbrandingseigenschappen van het slib en de R.D.F.
 - c. Geschikte rookgasbehandeling in verband met de eventuele verhoogde concentraties verontreinigingen.
- ad a. Gebruik van gistingsgas als hulpbrandstof kan alleen bij verbranding op een rwzi met anaërobe slibstabilisatie. De beschikbaarheid en de prijs van R.D.F. kan regionaal sterk verschillen, afhankelijk van het aanbod, de inzameling en de verwerking van energierijke afvalstoffen, de vraag naar R.D.F. en de transportkosten.
- ad b. R.D.F., meestal bestaande uit de papier- en plasticfractie van het afval, is lichter en verbrandt aanzienlijk sneller dan het slib. Voor het gebruik van R.D.F. als hulpbrandstof is derhalve een aanpassing van de sliboven nodig. In het algemeen komen vooral wervelbedovens met zandbed voor R.D.F.-verbranding in aanmerking.
- ad c. De verbranding van afvalolie is technisch goed mogelijk, maar levert in de praktijk grote bezwaren door de verhoogde rookgasemissies.

5.3.2 **slibverbranding samen met huisvuil in een A.V.I.**

Zuiveringsslib heeft in vergelijking met huisvuil sterk afwijkende verbrandingseigenschappen door het hogere watergehalte en de lagere stookwaarde en verbrandingssnelheid. Directe verbranding van zuiveringsslib gemengd met huisvuil is derhalve niet mogelijk. Slechts bij een zeer grondige menging en verkleining van beperkte hoeveelheden slib met een overmaat huisvuil, een aangepast verbrandingsroos-

ter en een verminderde vuildoorzet is gecombineerde verbranding in principe mogelijk. Om deze redenen zijn de mogelijkheden tot gecombineerde verbranding van huisvuil met ontwaterd slib uiterst beperkt.

Een gunstiger situatie wordt verkregen wanneer het slib voorafgaand aan de verbranding wordt gedroogd met behulp van de hete verbrandingsgassen. Het droge slib kan vervolgens te zamen met het afval op het rooster worden verbrand.

Bij het Von Roll-systeem wordt het slib in een maaldroger gedroogd en in poedervorm in de verbrandingskamer boven het rooster geïnjecteerd, waar het te zamen met de vergassingsproducten verbrandt. Dit heeft als voordeel dat geen beslag wordt gelegd op de vuilverbrandingscapaciteit van de A.V.I. Hier staat tegenover dat (bij niet autotherm slib) de terug te winnen warmtehoeveelheid iets afneemt en dat de rookgasbehandeling extra wordt belast door de grotere gasstroom en stofvracht (17).

Slibverbranding in een vuilverbrandingsinstallatie vergt, zelfs bij voordroging van het slib, tamelijk ingrijpende aanpassingen, die op een bestaande A.V.I. dikwijls niet mogelijk zullen zijn.

Ook op organisatorisch en vergunningstechnisch gebied kunnen problemen ontstaan, omdat de stromen asresten en rookgassen van de slib- en vuilverbranding te zamen vrijkomen.

5.3.3 gebruik van restwarmte van een verbrandingsinstallatie

Door in een gescheiden slibverbrandingsinstallatie het warmteoverschot van een naburige A.V.I. te benutten, kan goedkope steunwarmte worden verkregen zonder de bovengenoemde nadelen van gecombineerde verbranding van slib en afval.

De volgende technieken komen hiervoor in aanmerking:

- conventionele slibverbranding in een etageoven ondersteund door A.V.I.-verbrandingsgassen;
- hoogrendementverbranding met directe slibdroging, met behulp van A.V.I.-verbrandingsgassen;
- hoogrendementverbranding met indirecte slibdroging, met behulp van stoom van een A.V.I.

De warmte-inhoud van de A.V.I.-verbrandingsgassen kan worden gebruikt voor directe droging van het slib in een drooginstallatie of etageoven. Het voordeel van deze methode is dat de warmte van de rookgassen zonder tussenkomst van een warmtewisselaar wordt benut, waardoor de kosten relatief laag zijn. Hier staat tegenover dat een met geurstoffen verontreinigde gasstroom ontstaat, die door naverbranding of terugvoer naar de verbrandingsinstallatie moet worden gereinigd.

Koppeling van een indirecte slibdroger aan het stoomnet van een A.V.I. kan economisch aantrekkelijk zijn, wanneer warmte wordt onttrokken aan de lagedrukstoom, afkomstig van de stoomturbines. In een voor Zuid-Holland uitgevoerde studie (14) is een situatie beschouwd waarbij een indirecte droger wordt gevoed met circa 30 ton/h lagedrukstoom, afkomstig van de turbines van een verbrandingsinstallatie. Achter de sliboven is een stoomketel geplaatst die op zijn beurt 20 ton/h middendrukstoom aan de verbrandingsinstallatie teruglevert. Wegens de hogere waarde van de middendrukstoom mag worden aangenomen dat de stoomuitwisseling kostenneutraal is. In de auto-

therm werkende sliboven wordt slechts enige regelbrandstof bijgestookt.

De toepassing van deze techniek is beperkt tot hoogrendementsystemen met indirecte droging door middel van een (relatief duur) stoomcircuit. Voor de koppeling van de beide stoomnetten moeten investeringen worden gedaan. Hier staat tegenover dat de brandstofkosten van de sliboven gering zijn.

De mogelijkheden tot gebruik van de restwarmte van een A.V.I. zijn vooral afhankelijk van de volgende aspecten:

- beschikbaarheid van een A.V.I. met een benutbaar warmteoverschot;
- mogelijkheden voor de bouw van een slibverbrandingsinstallatie nabij de A.V.I.;
- technische aspecten van de koppeling (capaciteiten, koppelingsmogelijkheden, procesregeling, onderlinge afhankelijkheid);
- economische aspecten (investeringen/brandstofkosten);
- organisatorische aspecten (gemeenschappelijke bedrijfsvoering, vergunningen, kostenverdeling, productie- en afnamegarantie).

5.3.4 evaluatie van de mogelijkheden

Het gebruik van R.D.F. als steunbrandstof kan een besparing op de brandstofkosten geven. In de praktijk zijn er echter beperkingen aan de technische mogelijkheden voor gecombineerde verbranding van slib en R.D.F. in één oven. Afhankelijk van het type R.D.F. kunnen de verhoogde emissies een bezwaar zijn.

Gecombineerde verbranding van huisvuil en zuiveringsslib in één installatie is in principe technisch mogelijk en kan financieel aantrekkelijk zijn. Het toepassingsgebied beperkt zich echter tot volledig nieuwe installaties, waarbij een geïntegreerde technische en organisatorische aanpak voor de afval- en slibverbranding wordt opgezet. Omdat slib en huisvuil in Nederland onder de verantwoordelijkheid van verschillende diensten vallen, zijn de mogelijkheden voor de vereiste gezamenlijke aanpak in de praktijk beperkt.

Slibverbranding met gebruik van restwarmte kan ook bij een bestaande A.V.I. financieel aantrekkelijk zijn door de besparing op de brandstofkosten. Om technische en organisatorische redenen zullen de afval- en slibverbranding veelal zoveel mogelijk worden gescheiden, waarbij slechts de warmtesystemen worden gekoppeld.

Indirecte droging met lagedrukstoom kan aantrekkelijk zijn bij koppeling van een indirecte droger aan een A.V.I. met stoomproductie en electriciteitsopwekking. Bij A.V.I.'s zonder warmtebenutting kunnen de hete rookgassen voor slibdroging worden gebruikt, indien een oplossing wordt gevonden voor het geurprobleem.

Geconcludeerd kan worden dat er in principe diverse methoden beschikbaar zijn om de brandstofkosten bij niet-autotherme slibverbranding te beperken door gebruik van een goedkope brandstof of warmtebron. In de praktijk kunnen echter vele technische en organisatorische beperkingen de toepassing van deze technieken in de weg staan.

5.4 Dimensionering van de verbrandingsinstallatie

Bij de dimensionering van een slibverbrandingsinstallatie moet de capaciteit van de hoofdonderdelen worden gekozen:

- nuttig volume van de slibopslag
- verwerkingscapaciteit van de verbrandingsinstallatie
 - * aantal verbrandingseenheden
 - * verbrandingscapaciteit per eenheid.

Hierbij spelen de volgende aspecten een rol:

- a. Bedrijfstijden van de slibverbranding.
 - b. Bedrijfstijden van de slibontwatering en/of slibaanvoer (bij centrale slibverbranding).
 - c. Gewenste reservecapaciteit om aanvoervariaties, storingen en onderhoudsperioden op te vangen.
 - d. Capaciteitsbegrenzungen van de gebruikte apparatuur.
 - e. Investerings- en bedrijfskosten.
- ad a. Deeltijdbedrijf van de verbrandingsinstallatie vergt in vergelijking met continubedrijf een grotere nominale capaciteit (= capaciteit per uur); bovendien heeft discontinue verbranding technische en bedrijfsmatige bezwaren.
- ad b. Het ontwaterde slib moet kunnen worden gebufferd wanneer de ontwatering en/of slibaanvoer niet gelijktijdig met de verbranding in bedrijf is (bijvoorbeeld 8 h/d versus 24 h/d; 5 d/w versus 7 d/w).
- ad c. De reservecapaciteit benodigd om de gewenste bedrijfszekerheid te bereiken, is afhankelijk van de gebruikte apparatuur en de plaatselijke omstandigheden. Factoren die hierbij een rol spelen zijn:
- variaties van de slibproductie (week- en/of seizoenspatroon);
 - aantal onafhankelijke verbrandingseenheden;
 - duur en frequentie van bedrijfsonderbrekingen per eenheid;
 - de mogelijkheid om bij onderbreking van de verbranding slib te bufferen op de rwzi('s) of af te voeren naar andere verbrandingsinstallaties.
- ad d. Het aantal proceseenheden en de capaciteit per eenheid zijn aan praktische grenzen gebonden. Bij toepassing van meer proceslijnen dienen bij voorkeur onafhankelijke eenheden van identieke uitvoering te worden geïnstalleerd.
- ad e. De reservecapaciteit met het oog op storingen en aanvoervariaties kan (binnen zekere grenzen) worden uitgevoerd als extra buffervolume of als extra verbrandingsvermogen. In het algemeen leidt extra buffervolume tot lagere investeringskosten dan extra verbrandingscapaciteit.

De dimensionering is een optimalisatieproces waarbij de capaciteiten van de onderdelen en de aspecten a t/m e niet onafhankelijk van elkaar kunnen worden beschouwd. Een algemeen geldige formule voor de dimensionering, rekening houdend met al deze factoren kan niet worden gegeven, gezien de sterk verschillende plaatselijke omstandigheden.

In rapporten over slibverbranding in Zuid-Holland (14) en Oost-Brabant (7) is de dimensionering uitgewerkt van verbrandingsinstallaties met een capaciteit van circa 50.000 ton d.s./j. De conclusies van de berekeningen worden hieronder besproken.

aantal proceslijnen en reservecapaciteit

Zowel voor Zuid-Holland (14) als voor Oost-Brabant (7) geldt als uitgangspunt dat de verbrandingsinstallatie onder alle omstandigheden in staat moet zijn de slibproductie van de aangesloten rwzi's te verwerken. Dit betekent dat reservecapaciteit moet worden geïnstalleerd voor de periodes waarin één van de verbrandingseenheden buiten bedrijf is wegens storing of onderhoud. Men houdt rekening met bedrijfsonderbrekingen van minimaal drie aaneengesloten weken voor grote onderhoudswerkzaamheden.

Wanneer de slibbunker ten hoogste een voorraad voor het weekeinde kan bevatten, zal de reservecapaciteit geheel in de verbrandingsinstallatie aanwezig moeten zijn. Om met één oven buiten bedrijf de gehele aanvoer te kunnen verwerken, is bij een installatie met twee verbrandingseenheden 100 %, bij drie eenheden 50 % en bij vier eenheden 33 % overcapaciteit ten opzichte van de normale aanvoer nodig.

De keuzes van het aantal verbrandingseenheden en de capaciteit per eenheid worden niet alleen bepaald door de benodigde reservestelling, maar ook door de praktische grenzen aan de capaciteit per eenheid en door de kosten.

minimaal bunkervolume

Het bunkervolume moet tenminste voldoende zijn om het verschil tussen de bedrijfstijden van de slibaanvoer en de verbranding te kunnen overbruggen.

Bij 5 dagen à 8 uur slibaanvoer en 7 dagen à 24 uur verbranding is voor de verbranding in het weekeinde een bunkervolume nodig van 45 x de nominale uurcapaciteit (= verbrandingscapaciteit exclusief reserve).

Omdat de slibaanvoer bij storing van de verbrandingsinstallatie niet direct kan worden onderbroken en om aanvoervariaties op te vangen, wordt in het algemeen enige extra opslagcapaciteit geïnstalleerd. In de rapporten voor Zuid-Holland (14) en Oost-Brabant (7) wordt voor zeven dagen continue verbranding als minimaal bunkervolume respectievelijk 60 en 70 x de nominale uurcapaciteit aangegeven.

bedrijfsduur

Voor Oost-Brabant is het effect van 5 of 6 dagen in plaats van 7 dagen bedrijfstijd per week nagegaan (7). Rekening is gehouden met twee mensen per ploeg en met de gebruikelijke absentie wegens ziekte, vakantie en dergelijke. Resultaat:

- bij 5 dagen continudienst, met 8 medewerkers in de ploegendienst à f 60.000 per manjaar, bedragen de personeelskosten f 480.000 /j;
- bij 7 dagen continudienst met 13 medewerkers à f 65.000 bedragen de personeelskosten f 845.000 /j.

De besparing op de loonkosten van f 365.000 /j (= 45 %) bij 5 d/w in plaats van 7 d/w was in de berekende situatie onvoldoende om de grotere ovencapaciteit te bekostigen. Mede wegens de praktisch gunstiger capaciteit per oven werd de voorkeur gegeven aan 7 dagen continudienst (7).

verhouding buffervolume/verbrandingscapaciteit

Voor centrale slibverbrandingsinstallaties met totale verwerkingscapaciteiten van 25.000 en 50.000 ton d.s./j zijn de exploitatiekosten geraamd, afhankelijk van het aantal verbrandingsovens (2 of 3) en van de verhouding tussen reserve-buffervolume en reserve-verbrandingscapaciteit (14). Het resultaat van de berekeningen:

- bij gelijke totale capaciteit is een installatie met twee ovens voordeliger dan een installatie met drie ovens;
- om de slibverwerking te garanderen gedurende tenminste drie weken met één van de ovens buiten bedrijf, is buffering in een extra grote bunker voordeliger dan een evenredige vergroting van de verbrandingscapaciteit per oven.

Ondanks het financiële voordeel is het installeren van extra buffervolume in plaats van extra verbrandingscapaciteit aan praktische grenzen gebonden:

- ook bij volledige buffering van het slib tijdens bedrijfsonderbrekingen is een overcapaciteit van de verbrandingsinstallatie nodig om de buffer binnen een redelijke tijd na het herstel van de verbrandingscapaciteit weer leeg te maken;
- drie weken buffering van de gehele slibproductie vergt bij grote installaties een onpraktisch groot bunkervolume;
- langdurige slibopslag kan aanzienlijk stankproblemen opleveren, met name bij niet gestabiliseerd slib.

conclusies

Voor de dimensionering van centrale verbrandingsinstallaties kunnen met enig voorbehoud de volgende conclusies worden getrokken:

- bij slibverbranding moet rekening worden gehouden met bedrijfsonderbrekingen van minimaal drie weken voor het onderhoud van de ovens; deze perioden moeten kunnen worden opgevangen door opslag van het slib op de rwzi's en/of in de slibbunker en/of door overcapaciteit van de verbrandingseenheden;
- bij volcontinue verbranding (7 dagen per week) en slibaanvoer alleen tijdens de werkdagen is een effectief buffervolume van circa 60 x de nominale verbrandingscapaciteit per uur nodig voor de verbranding in het weekeinde en voor de opvang van aanvoerpijpen;
- ondanks de hogere loonkosten, is continue verbranding goedkoper dan discontinu bedrijf, door de lagere nominale verbrandingscapaciteit;
- een installatie met enkele grote verbrandingseenheden is goedkoper dan een installatie met meer kleine eenheden;
- voor reservestelling bij storing en voor het opvangen van variaties in aanvoer en verwerking is extra buffercapaciteit voordeliger dan extra verbrandingscapaciteit. Een zekere overcapaciteit van de verbranding blijft echter nodig om de buffer weer leeg te maken. Bovendien heeft grootschalige slibbuffering als nadeel het onpraktisch grote bunkervolume en de kans op geurverspreiding.

6 PLANNING EN VOORBEREIDING VAN SLIBVERBRANDINGSINSTALLATIES

6.1 Centraal of decentraal verbranden

Bij slibverbranding heeft de schaalgrootte een grote invloed op de technische, economische en organisatorische aspecten. Een belangrijke keuze is derhalve of het slib per rwzi afzonderlijk wordt verbrand, of gemeenschappelijk in een grote centrale installatie. De voor- en nadelen van centralisatie worden hier vergeleken.

Voordelen van centrale slibverbranding:

- door grootschalige verwerking zijn lagere exploitatiekosten mogelijk;
- continubedrijf met ploegendiensten is beter te realiseren op grote installaties dan op kleine;
- beheer en onderhoud zijn op enkele grote installaties beter uitvoerbaar dan op een groter aantal kleine installaties;
- bij centralisatie behoeven minder MER-procedures te worden doorlopen.

Nadelen van centrale slibverbranding:

- de transportkosten nemen toe bij centralisatie;
- voor de ontvangst en de opslag van het aangevoerde slib zijn voorzieningen nodig;
- een geschikte, centraal gelegen locatie is nodig;
- bij samenwerking door meer waterkwaliteitsbeheerders moet een gemeenschappelijke beheersstructuur voor de slibverbranding worden opgezet.

De kapitaal- en personeelskosten bij slibverbranding nemen af met de schaalgrootte. Deze afname is het sterkst bij capaciteiten tot circa 15.000 ton d.s./j = circa 800.000 i.e.

Financiële vergelijkingen van centraal verbranden in één installatie versus verbranding in meer kleinere installaties zijn gemaakt voor de volgende situaties:

Utrecht 1 x 15.000 versus 3 x 5.000 ton d.s./j (13)

Oost-Brabant 1 x 30.000 versus 3 x 10.000 ton d.s./j (7)

Zuid-Holland 1 x 50.000 versus 2 x 25.000 ton d.s./j (14)

In de onderzochte gevallen waren de verbrandingskosten bij centrale verbranding f 40 tot f 300 per ton d.s. lager dan bij verbranding in meer installaties (zie 8.1).

Tegenover de lagere verbrandingskosten van centrale slibverbranding staan de hogere transportkosten en de kosten die moeten worden gemaakt voor de ontvangst en tussenopslag van het aangevoerde slib. In de onderzochte gevallen waren, ondanks de extra kosten voor transport en opslag, de totale exploitatiekosten bij centrale verbranding lager dan bij verbranding per rwzi of beheersgebied afzonderlijk.

Bij zeer vergaande centralisatie kan het punt worden bereikt waar de lagere verbrandingskosten niet meer opwegen tegen de hogere transportkosten of tegen eventuele organisatorische en planologische bezwaren. De optimale schaalgrootte zal voor iedere situatie apart moeten worden vastgesteld.

6.2 Locatiekeuze en milieuprocedures

Bij de keuze van een geschikte locatie voor een slibverbrandingsinstallatie spelen de volgende aspecten een rol:

- transport van slib en verbrandingsresten:
 - * per auto
 - * per schip;
- beschikbare ruimte op de locatie voor:
 - * wegen
 - * ontvangstgebouw en slibopslag
 - * procesinstallaties
 - * asopslag;
- reeds aanwezige faciliteiten:
 - * zuivering van het waswater (op rwzi)
 - * gebruik van gistingsgas en restwarmte (verbrandingsinstallatie, energiecentrale)
 - * overige installaties (weegbrug, schoorsteen, opslag)
 - * samenvoegen van ploegendiensten bij gecombineerde bediening met andere installatie;
- gevoeligheid voor milieueffecten:
 - * geluidproductie
 - * emissie van geurstoffen en luchtverontreiniging
 - * zuivering en lozing van waswater;
- planologische en bestuurlijke aspecten:
 - * bestemmingsplan
 - * onderlinge samenwerkingsorganen;
- kosten:
 - * grondkosten
 - * beschikbaarheid van goedkope energie en restwarmte
 - * transportkosten.

Op grond van bovenstaande eisen komen als verbrandingslocaties vooral grote rwzi's, vuilverbrandingsinrichtingen, energiecentrales en industrieterreinen in aanmerking.

procedures

Voor de vestiging van een centrale slibverbrandingsinstallatie moeten de volgende procedures worden doorlopen:

- M.E.R.
- vergunningaanvraag Afvalstoffenwet
- vergunningaanvraag Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Wvo)

M.E.R.

Voor slibverbrandingsinstallaties met een capaciteit van minimaal 25.000 ton slib of 5.000 ton droge stof per jaar (circa 275.000 i.e.) moet een milieu-effectrapport (M.E.R.) worden opgesteld. Het M.E.R. geeft een beschrijving van de voorgenomen activiteit en haar gevolgen voor het milieu in de breedste zin (lucht, bodem, water, geluid, veiligheid, vegetaties, landschap, enzovoort). Ten aanzien van de directe en toekomstige milieueffecten worden de volgende situaties beschouwd:

- de bestaande toestand en verwachte ontwikkelingen (nulvariant);
- de voorgenomen activiteit;
- varianten op de voorgenomen activiteit;
- alternatieve technieken om hetzelfde doel te bereiken.

De leemtes in kennis en informatie worden aangegeven en de verschillende varianten en alternatieven worden op hun effecten geëvalueerd.

Afvalstoffenwet

In de Afvalstoffenwet wordt een geïntegreerde aanpak van de afvalstoffenproblematiek op provinciaal niveau aangegeven. Voor de oprichting van een centrale slibverbrandingsinstallatie is een vergunning ingevolge de Afvalstoffenwet nodig. Als onderdeel van deze vergunning worden tevens de bepalingen van de Wet inzake de luchtverontreiniging, de Hinderwet, de Wet op de geluidhinder en de provinciale bepalingen op het gebied van de milieuhygiene geregeld. De vergunning wordt verstrekt door het college van Gedeputeerde Staten.

De afvalstoffenwet is niet van toepassing wanneer op een rwzi uitsluitend het eigen slib wordt verbrand, zonder enige slibaanvoer van elders. In dat geval worden procedures doorlopen voor de Hinderwet en bij een verbrandingscapaciteit groter dan 1,5 ton slib per uur de Wet inzake de luchtverontreiniging.

Wvo

Voor de lozing van al dan niet gezuiverd water op riolering of oppervlaktewater moet door de waterkwaliteitsbeheerder een Wvo-vergunning worden verleend.

6.3 Organisatorische aspecten

Bij gezamenlijke slibverbranding door meerdere waterkwaliteitsbeheerders zijn verschillende organisatorische constructies mogelijk voor het beheer en de financiën. In een notitie van de organisatorisch-juridische werkgroep van de Oost-Brabantse waterschappen zijn de voor- en nadelen van de verschillende structuren onderzocht.

uitbesteden

Uitbesteding van de slibverbranding heeft als voordeel dat de diensten van de betrokken waterkwaliteitsbeheerders minimaal worden belast. Een nadeel van uitbesteden is dat de zeggenschap over de bedrijfsvoering ontbreekt, terwijl de diensten toch op de milieukundige kwaliteit van de verbranding kunnen worden aangesproken.

De continuïteit van de slibverwerking is zelfs bij langlopende contracten niet volledig gewaarborgd, omdat niet kan worden uitgesloten dat de onderneming tussentijds wordt opgeheven.

De volgende factoren werken kostenverhogend bij verbranding door een private onderneming:

- over de toegevoegde waarde (= verbrandingsstarief - kosten) moet B.T.W. worden betaald;
- de kapitaalkosten kunnen iets verhoogd zijn door het ongunstiger rentetarief;
- de ondernemer moet winst maken.

Als totaal zullen de kosten hoger zijn dan bij verbranding door een publiekrechtelijke organisatie.

verbranding door één van de waterkwaliteitsbeheerders

Uitbesteden van de verbranding aan één van de betrokken beheerders is in feite een variant op verbranding door een private onderneming.

De zeggenschap voor de andere beheerders is beperkt en de uitvoerende instantie draagt het ondernemersrisico.

De continuïteit is in het algemeen beter gegarandeerd dan bij uitvoering door een private onderneming.

De partij die de verbrandingsinstallatie beheert, hoeft geen B.T.W. te betalen over het verbrandingstarief. De andere partijen betalen B.T.W. over hun verbrandingstarief, verminderd met de B.T.W. over hun aandeel in de kosten die voor de verbranding zijn gemaakt (bijvoorbeeld investeringen, brandstof, chemicaliën).

Voor de medewerkers van de verbrandingsinstallatie kan het van belang zijn dat hun rechtspositie wordt geregeld door het ambtenarenreglement.

verbranding door een vennootschap

De slibverbranding kan worden ondergebracht in een naamloze of besloten vennootschap, waarbij de betrokken waterkwaliteitsbeheerders de aandelen bezitten en de bestuursorganen aanstellen. Voor de oprichting van de vennootschap is toestemming nodig van het college van Gedeputeerde Staten.

De continuïteit kan door de betrokken partijen zelf worden bepaald. De medewerkers van de verbrandingsinstallatie krijgen een privaatrechtelijk dienstverband.

Over de toegevoegde waarde bij de verbranding wordt BTW verrekend.

gemeenschappelijke regeling

Volgens artikel 50 van de Wet Gemeenschappelijke Regelingen kunnen Waterkwaliteitsbeheerders een samenwerkingsverband opzetten, zonder dat een nieuwe rechtspersoon wordt gecreëerd. Binnen dit verband kunnen afspraken worden gemaakt over de door één van de instanties te beheren verbrandingsinstallatie, te verwerken hoeveelheden slib, prijzen e.d. Deze situatie is vergelijkbaar met die van slibverbranding door één waterkwaliteitsbeheerder. Over de verbrandingstarieven wordt geen B.T.W. verrekend.

De werkgroep van de Oost-Brabantse waterschappen komt tot de conclusie dat de gemeenschappelijke regeling volgens artikel 50 grote voordelen heeft bij gezamenlijke slibverbranding door waterkwaliteitsbeheerders:

- de positie van de werknemers wijkt niet af van die bij verbranding in eigen beheer;
- de B.T.W.-vrijstelling is financieel gunstig;
- bij goede afspraken over de feitelijke zeggenschap kan een goed werkzame organisatie worden opgezet.

Een wijziging van artikel 50 Wgr is in voorbereiding op grond waarvan waterkwaliteitsbeheerders gemeenschappelijke regelingen kunnen aangaan die wel rechtspersoonlijkheid bezitten.

7 MILIEUASPECTEN

7.1 Rookgassen

De afgassen van de slibdroging en de slibverbranding kunnen als verontreinigingen bevatten:

- onverbrande organische verbindingen en geurstoffen
- stof
- zure gassen
- zware metalen.

De criteria voor de emissie van deze componenten, de verwachte concentraties in de rookgassen en de benodigde emissiebeperkende maatregelen worden in de volgende paragrafen behandeld.

7.1.1 normen voor rookgasemissie

De emissienormen voor huisvuil- en slibverbrandingsinstallaties zijn vastgelegd in de "Richtlijn Afvalverbrandingsinrichtingen" van het Ministerie van V.R.O.M., februari 1985, kortweg genoemd de "Richtlijn Verbranden". De Nederlandse emissienormen zijn vermeld in tabel 9. Ter vergelijking zijn tevens de West-Duitse en Zwitserse normen vermeld.

	Richtlijn Verbranden		TA-Luft '86 (14)	Zwitserland (16)
	24 h-gemiddelde	max.		
stof	50	75	30	50
SO _x	-	-	100	-
NO _x	-	-	500	-
HCl	50	75	50	100
HF	3	5	2	5
Pb + Zn	5	-	5 *)	5
Cd, Hg	0,1	-	samen 0,2	0,1

Tabel 9. Emissienormen voor rookgassen van verbrandingsinstallaties (mg/m³)

*: samen met andere metalen en verbindingen

De normen, die in eerste instantie bedoeld zijn voor afvalverbrandingsinrichtingen (A.V.I.'s), gelden ook voor slibverbrandingsinstallaties.

7.1.2 rookgasemissie afhankelijk van reinigingstechniek

Tabel 10 en 11 vermelden respectievelijk de emissiegegevens van enkele slibverbrandingsinstallaties en de technisch bereikbare waarden, afhankelijk van de wijze van rookgasreiniging.

	rwzi Oyen	rwzi Emscher	TNO slib uit centrifuge	TNO slib uit filterpers
	E-filter	E-filter + neutrale + NaOH water	cycloon + doekfilter	cycloon + doekfilter
stof	< 25	< 15	-	-
CO	-	-	78	607
SO _x	1.330	600 - 1.000	923	< 20 *)
NO _x	15	30 - 50	348	1.970
HCl	58	-	-	-
HF	1,9	1,5 - 2,0	-	-
Pb + Zn	0,14	-	-	-
Cd	**)	-	-	-
Hg	0,14 - 0,29	-	-	-

Tabel 10 Rookgasemissies (mg/m³) gemeten bij slibverbrandingsinstallaties (15, 12, 1)

* : kalkrijk slib

** : beneden de detectiegrens

	TA-Luft * (3)			Zuid-Holland (14)	
	E-filter + zure wassing	neutrale + alkalische wassing	semi-droge reiniging + doekfilter	droge reiniging + kalkdosering	natte reiniging
stof	15 - 20	20 - 35	0,5 - 4	< 50	< 50
SO _x	50 - 200	30	100 - 250	500	200
NO _x	-	-	-	-	-
HCl	30 - 35	10	40 - 50	10 - 25	10 - 25
HF	1,5 - 2	0,5	2	1 - 3	1 - 3
Pb + Zn	-	-	-	0,4 - 1,4	0,4 - 1,4
Cd) < 0,2) < 0,2) > 0,2	< 0,2	< 0,01
Hg)))	0,2 - 0,4	< 0,03

Tabel 11. Bereikbare emissiewaarden (mg/m³) afhankelijk van de rookgasreinigingstechniek (14, 3)

*) gegevens vooral betrokken op afvalverbranding

rwzi	verbranding	rookgasreiniging	geurconcentratie (g.e./m ³)
Knothrop Esher Blackburn-	roterende oven wervelbed	lagedrukwater	14 x 10 ⁶
		hogedrukwater	32 x 10 ⁶
Meadows Coleshill	etage-oven	lagedrukwater	140 x 10 ⁶
	etage-oven	electrofilter	420 x 10 ⁶

Tabel 12. Geuremissie afhankelijk van oventype en rookgasreiniging (16)

7.1.3 consequenties van de normen en emissiegegevens

De "Richtlijn Verbranden" stelt eisen aan de concentraties stof, HCl, HF, lood en zink, kwik en cadmium (tabel 9). Bij vergelijking van de normen met de concentraties die (eventueel na reiniging) in de rookgassen van slibverbrandingsinstallaties worden aangetroffen, kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

vliegias

Het stofgehalte in de ruwe rookgassen en/of droogdampen bij slibverbranding zal in alle gevallen groter zijn dan 50 mg/m³ (de emissienorm volgens de "Richtlijn Verbranden").

De vereiste stofverwijdering kan worden bereikt door een hogedrukwater, electrofilter of doekfilter.

zure gassen

HCl en HF ontstaan bij vuilverbranding door de verbranding van organische Cl- en F-verbindingen, met name aanwezig in kunststoffen. In zuiveringsslib komen deze verbindingen in veel mindere mate voor, waardoor de concentraties HCl en HF in de rookgassen onder normale omstandigheden beneden de norm van de "Richtlijn Verbranden" blijven.

De "Richtlijn Verbranden" is in de eerste plaats bestemd voor afvalverbrandingsinstallaties. Voor deze installaties is geen SO_x-norm gesteld, omdat het SO₂-gehalte van de rookgassen door het lage zwavelgehalte van huishoudelijk afval in het algemeen gering is (100 - 500 mg/m³). Bij slibverbranding kan 500 - 2.000 mg SO_x/m³ ontstaan (zie tabel 10 en 11). Indien strengere eisen worden gesteld aan de SO_x-emissie, zoals in West-Duitsland reeds het geval is (TA-Luft '86: 100 mg SO_x/m³), zullen bij slibverbranding maatregelen nodig zijn. Mogelijkheden hiertoe zijn dosering van kalk bij wervelbedverbranding, semi-droge rookgasreiniging of alkalische wassing. Ook voor stikstofoxyden zijn geen normen opgenomen in de "Richtlijn Verbranden". Door de lage verbrandingstemperatuur is de NO_x-vorming bij slibverbranding zeer beperkt. Verwacht mag worden dat bij een eventuele toekomstige normering voor NO_x geen problemen zullen optreden (ter indicatie: emissie slibverbranding Oyen = 15 mg NO_x per m³; grenswaarde TA-Luft '86 = 500 mg NO_x/m³).

zware metalen

De som van de concentraties lood en zink mag volgens de "Richtlijn Verbranden" niet hoger zijn dan 5 mg/Nm^3 . Gezien de beperkte concentraties van deze metalen in de ruwe rookgassen en de verwijdering die bij de vliegasaafscheiding plaatsvindt, zal de norm bij slibverbranding in het algemeen niet worden overschreden.

Bij $200 - 250 \text{ }^\circ\text{C}$, de luchttemperatuur bij droge rookgasreiniging (electrofilter, doekfilter), zijn een gedeelte van het arseen en vrijwel al het kwik in de dampfase aanwezig. De dampvormige metalen worden niet met de vliegasaafscheiding afgescheiden, zodat bij droge rookgasreiniging met name de kwikconcentratie in de rookgassen de norm van $0,1 \text{ mg/Nm}^3$ kan overschrijden (zie tabel 11).

Bij natte reiniging worden de rookgassen afgekoeld tot circa $70 \text{ }^\circ\text{C}$, waardoor cadmium grotendeels op de vliegasaafscheiding neerslaat en met de as wordt verwijderd. Omdat een belangrijk deel van het kwik bij deze temperatuur nog dampvormig is, kan het voor de kwikverwijdering nodig zijn de wassing aan te passen, door verlaging van de temperatuur en de pH en door een hoge chlorideconcentratie van het waswater.

Semi-droge reiniging, met name toegepast om SO_2 te binden, is voor de binding van Hg en Cd minder effectief dan wassing. Dit is het gevolg van de hogere pH en temperatuur (zie tabel 11).

geurstoffen

De norm voor geurstoffen is niet afgestemd op de concentratie in de rookgassen (emissienorm), maar op de frequentie waarmee de reukdrempel bij de dichtstbijzijnde woonbebouwing wordt overschreden (immissienorm, 1 g.e./m^3 gedurende maximaal $0,5 \%$ van de tijd). Dit betekent dat niet alleen de uitgestoten geurvracht, maar ook de afstand tot de bebouwing, de overheersende windrichting en de hoogte van de schoorsteen van belang zijn.

In het algemeen zullen door de gunstige verbrandingseigenschappen bij wervelbedovens vrijwel nooit extra maatregelen nodig zijn ter verwijdering van de geurstoffen.

Bij etageovens en systemen met directe droging kunnen aanzienlijk hogere concentraties geurstoffen in de rookgassen aanwezig zijn door het contact tussen de hete gassen en het drogende slib (zie tabel 12). In dergelijke systemen zal dikwijls naverbranding nodig zijn om de geurstoffen te vernietigen. Wassing met water of effluent is in het algemeen minder effectief om de geurstoffen te verwijderen (tabel 5).

microverontreinigingen

De uitstoot van microverontreinigingen is in de "Richtlijn Verbranden" niet vastgelegd. De emissie van onverbrande organische verbindingen zoals P.A.K.'s is bij een goed verloopend verbrandingsproces uiterst beperkt. In de rookgassen van de wervelbedinstallatie te Oyen is $400 - 600 \text{ ng P.A.K./m}^3$ gemeten (6). Bij onvolledige verbranding van de organische componenten, bijvoorbeeld in trommelovens, zal naverbranding moeten worden toegepast, mede ter bestrijding van de geuremissie.

De concentratie P.C.B.'s in zuiveringsslub is zo laag dat bij eventuele toekomstige normering geen problemen worden verwacht.

7.1.4 conclusies

Om te voldoen aan de normen van de "Richtlijn Verbranden", is in alle gevallen ontstopping van de rookgassen nodig door middel van een electrofilter, doekfilter of hogedrukwasser.

Afhankelijk van de concentratie kwik in het slib zal in veel gevallen tevens neutrale of zure wassing van de rookgassen nodig zijn. Beperking van de geuruitworp zal vrijwel alleen nodig zijn bij etageovens, trommelovens en systemen met directe droging, zonder verbranding van de droogdampen. In deze gevallen moet naverbranding worden toegepast.

Bij eventuele toekomstige eisen aan de SO_x -emissie, kan als eenvoudigste methode kalkdosering bij wervelbedverbranding worden toegepast. Andere mogelijkheden zijn semi-droge rookgasreiniging en wassing van de rookgassen.

Wanneer meer soorten verontreiniging de emissienormen overschrijden, kan een combinatie van technieken nodig zijn, zoals kalkdosering in de oven om SO_x te binden, een electrofilter om vlieggas te verwijderen en zure wassing van de rookgassen ter verwijdering van vluchtige metalen.

7.2 Asresten

metaalconcentraties in de as

metalen	Oijen	Dordrecht*	W.C.A.
zink	4.350	12.900	20.000
koper	1.670	1.163	5.000
lood	1.900	4.030	5.000
chrom	705**	285**	5.000 (III) 50 (VI)
nikkel	97	88	5.000
arsen	17,5	38	50
cadmium	24	96	50

Tabel 13. Concentraties zware metalen in asresten (mg/kg d.s.) in vergelijking met grenswaarden van de Wet Chemische Afvalstoffen (7)

* : slib- en assamenstelling sterk beïnvloed door waswater van de afvalverbranding

** : in de as voor > 99 % als Cr(III) aanwezig

In tabel 13 zijn de concentraties zware metalen in de asresten van de slibverbranding op de rwzi Oijen en bij de Gevudo te Dordrecht vergeleken met de grenswaarden van de Wet Chemische Afvalstoffen (W.C.A.).

Bij de hoge concentraties zink, lood en cadmium in de as van de rwzi Dordrecht, moet worden opgemerkt dat het slib een grote metaalvracht krijgt toegevoerd via het waswater van de A.V.I.-rookgaswassing.

Door verbranding van de organische stof worden de in het slib aanwezige zware metalen (met uitzondering van kwik) in de anorganische

asrest geconcentreerd. Het metaalgehalte van de as zal hierdoor een factor 2 tot 4 hoger zijn dan dat van het slib. Bij slibverbranding per rwzi afzonderlijk kunnen door plaatselijke omstandigheden dusdanig hoge metaalconcentraties in het slib voorkomen dat de concentraties in de asresten boven de W.C.A.-grens komen. Bij centrale, grootschalige slibverbranding is deze situatie uitzonderlijk.

uitlooggedrag van de asresten

Door het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden en de Gemeenschappelijk Technologische Dienst Oost-Brabant is het uitlooggedrag van de asresten in kolomproeven onderzocht. De uitloging van zware metalen bleek sterk af te hangen van de pH. Door het alkalische karakter van de as werd de pH van het percolerende water in de kolom binnen 20 cm verhoogd van pH 3 tot pH 9. Wegens de lage concentraties aan metalen die hierbij in het percolaat vrijkwamen, werd geconcludeerd dat storten op een gecontroleerde stortplaats verantwoord lijkt (8).

In een Amerikaans onderzoek werd geconstateerd dat bij percolatie van vlieg-as met vetzuurhoudend vuilstortpercolaat een verhoogde uitloging optreedt. De concentraties waren echter laag en overschreden slechts in enkele gevallen de drinkwaternormen (5). Geconcludeerd kan worden dat bij gecontroleerd storten de asresten van de slibverbranding in vergelijking met andere afvalstoffen geen verhoogd risico opleveren voor de uitspoeling van zware metalen.

7.3 Waterverontreiniging

Rookgaswassing wordt toegepast om vlieg-as, zware metalen of SO_2 uit de rookgassen te verwijderen. Hierbij ontstaat een warme waswaterstroom die de uitgewassen verontreinigingen bevat en in bepaalde gevallen een hoge of lage pH kan hebben.

Tabel 14 geeft de samenstelling van het surpluswaswater afkomstig van de rookgaswassing bij de slibverbranding te Dordrecht (2). De betreffende wasser behandelt per uur 40.000 m³ afgassen van een etage-oven, die warmte krijgt toegevoerd via de A.V.I.-rookgassen. Na sedimentatie van de vlieg-as wordt het waswater in de rwzi gereinigd.

	wasser in	wasser uit	opname waswater
debiet	90 m ³ /h	70 m ³ /h	- 20 m ³ /h *
temperatuur	15 °C	75 °C	53 GJ/h
F ⁻	1,3 mg/l	9,0 mg/l	1,5 kg/h
Cl ⁻	204 mg/l	625 mg/l	76 kg/h
SO ₄ ²⁻	127 mg/l	320 mg/l	33 kg/h **
C.Z.V.	60 mg/l	90 mg/l	3 kg/h

Tabel 14. Gegevens waswater bij slibverbranding met warmtetoevoer via A.V.I.-rookgassen te Dordrecht (2)

* : verdamping waswater

** : 22 kg/h als SO₂

De relatief hoge gehalten chloride en fluoride in het waswater zijn waarschijnlijk afkomstig van de A.V.I.-rookgassen die door de etage-oven zijn geleid. De toename van het sulfaatgehalte correspondeert met een SO_2 -verwijdering uit de rookgassen van 550 mg SO_2/m^3 . Gezien de lage SO_x -gehalten die in het algemeen bij vuilverbranding optreden, is het aannemelijk dat deze vracht grotendeels afkomstig is van de slibverbranding. De biologische belasting van de rwzi door het C.Z.V. van het waswater bedraagt ruim 500 i.e. De zware-metalenbalans van de slibverbranding kon niet goed worden bepaald, door de metaalhoudende lucht- en waterstromen van de afvalverbranding.

Het surplus waswater afkomstig van natte rookgasreiniging moet in het algemeen de volgende stappen ondergaan vóór lozing op het riool of het oppervlaktewater:

koeling

De temperatuur van het waswater kan door het contact met de hete rookgassen tot circa 80 °C toenemen. Voor lozing van het surpluswater kan koeling nodig zijn.

vlieggasverwijdering

Wanneer geen voorafgaande vliegasaafscheiding door middel van een electrofilter of doekfilter heeft plaatsgevonden, bevat het waswater vrijwel alle vlieggas. De as kan vrij eenvoudig door bezinking uit het water worden verwijderd.

neutralisatie

Ter verwijdering van de zware metalen en de zure gassen kan respectievelijk zuur en alkalisch waswater worden gebruikt. Voorafgaand aan de lozing of nabehandeling van het water moet de pH in het neutrale gebied worden gebracht.

zuivering

De resterende verontreinigingen, met name fijn zwevend materiaal en zware metalen, kunnen worden verwijderd door fysisch-chemische of biologische zuivering.

Bij fysisch-chemische zuivering door middel van flocculatie worden de gesuspendeerde verontreinigingen en de zware metalen in een chemische vlok gebonden. Het vlok materiaal met de verontreinigingen wordt eventueel als chemisch afval afgevoerd.

Bij biologische zuivering concentreren de metalen en microverontreinigingen zich grotendeels in het surplus-slib. De uitgewassen zure gassen worden als onschadelijke sulfaat-, chloride- en fluoride-ionen met het effluent afgevoerd.

Voorkomen moet worden dat een kringloop ontstaat, waarbij de microverontreinigingen via de sliblijn naar de verbranding worden teruggevoerd en alsnog met de rookgassen worden geëmitteerd. Dit betekent dat rookgaswassing ter verwijdering van kwik alleen zinvol is wanneer het uitgewassen kwik vervolgens door fysisch-chemische waswaterbehandeling wordt gebonden en met het chemische slib wordt afgevoerd.

8 KOSTEN VAN SLIBVERBRANDING

In 8.1 worden de exploitatiekosten van hoogrendementverbranding beschouwd op basis van de kostenramingen in de regionale studies (7, 9, 13, 14, 16).

Als basistoestand is uitgegaan van autonome hoogrendementverbranding met vliegasverwijdering, zonder kalkdosering of rookgaswassing.

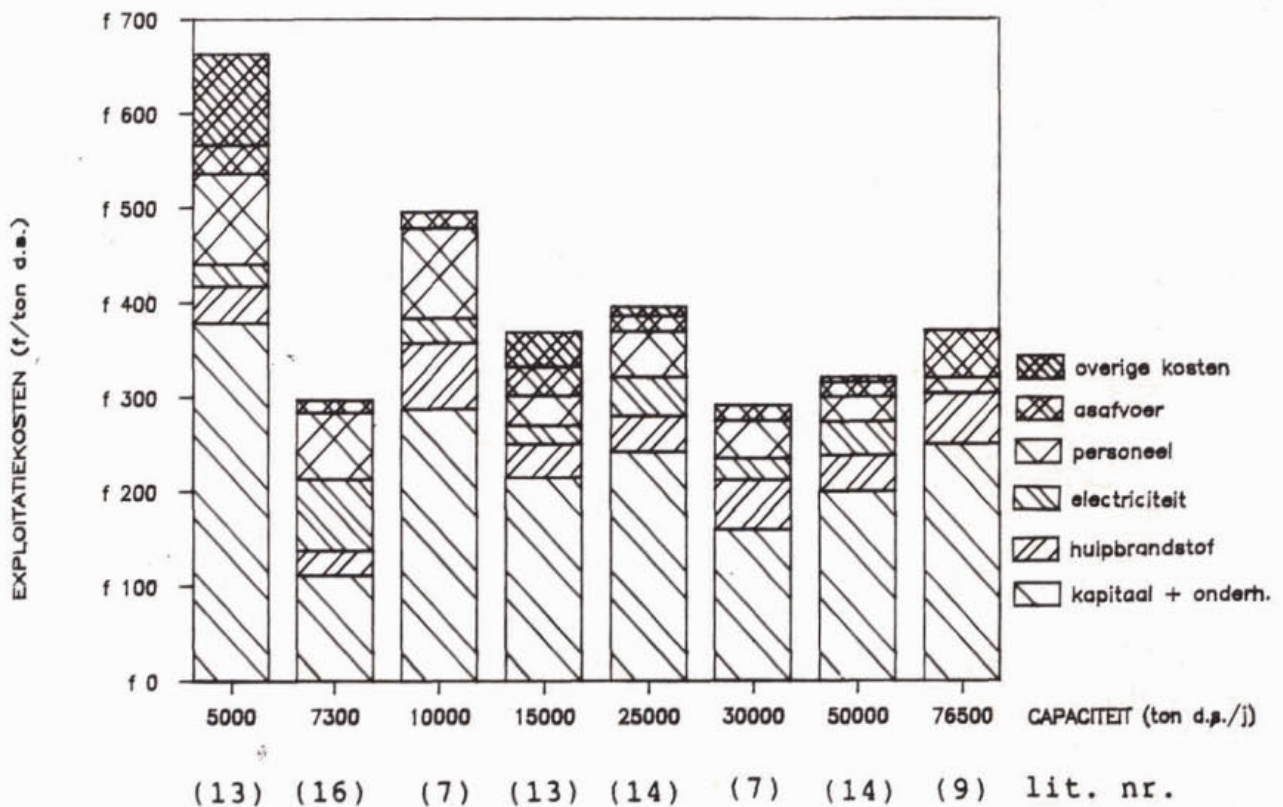
In de paragrafen 8.2 tot en met 8.5 worden, in vergelijking met de basissituatie, de kosten beschouwd van conventionele slibverbranding, van slibverbranding met gebruik van restwarmte, van extra rookgasreiniging en van slibverbranding onder afwijkende bedrijfsomstandigheden.

De vermelde kosten zijn inclusief B.T.W., exclusief ontwatering en slibtransport.

8.1 Exploitatiekosten hoogrendementverbranding

8.1.1 exploitatiekosten volgens de basisrapporten

De ramingen van de verbrandingskosten uit de basisrapporten (7, 9, 13, 14, 16) zijn opgenomen in bijlage 2.



Figuur 6. Exploitatiekosten van hoogrendements-slibverbranding volgens de basisrapporten

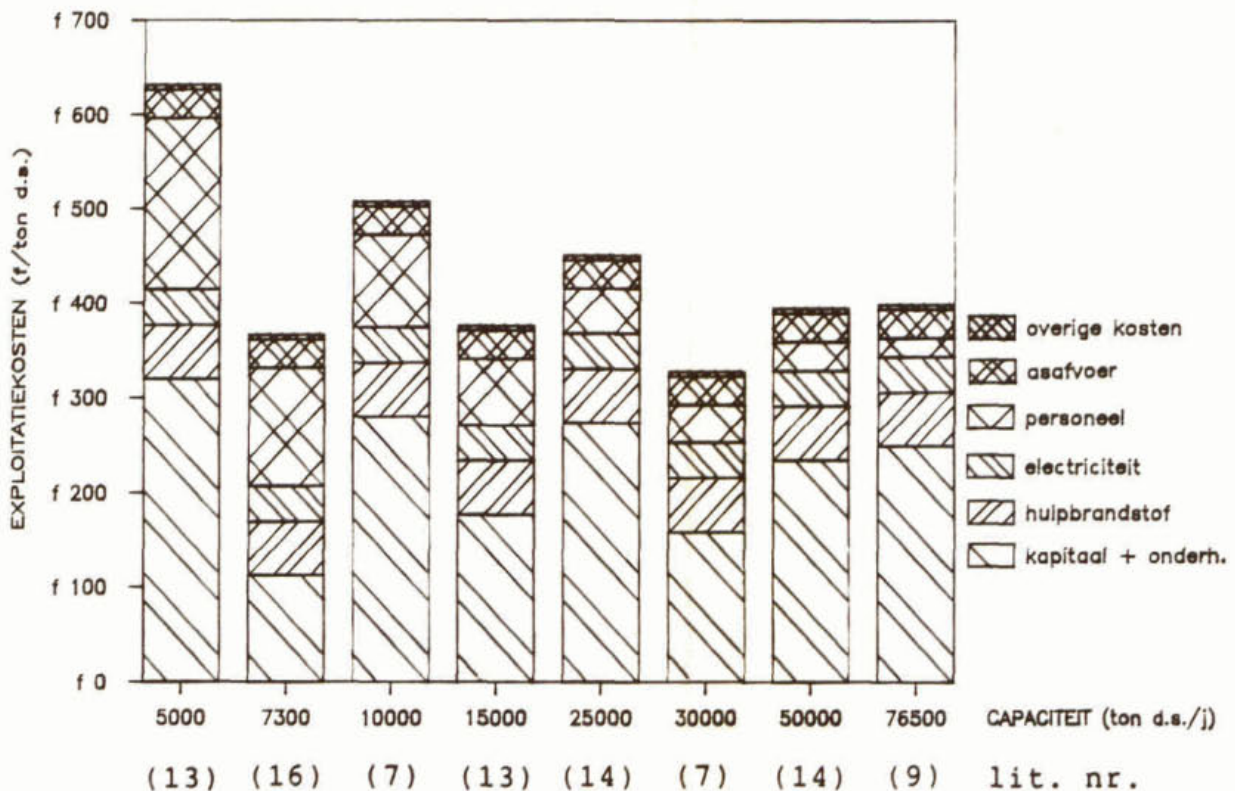
De verbrandingskosten volgens de basisrapporten lopen uiteen van f 298 tot f 663 per ton droge stof. De kosten dalen bij toenemende schaalgrootte.

Ten opzichte van de algemene lijn komen sterke afwijkingen voor. De opbouw van de kosten in de ramingen is sterk verschillend als gevolg

van de uiteenlopende uitgangspunten, zoals aangegeven in bijlage 2. De verbrandingskosten in lit. 13 en 16 zijn relatief laag, omdat geen rekening is gehouden met extra verbranding- en opslagcapaciteit om onderbrekingen in de bedrijfsvoering op te vangen. Bovendien zijn geen of slechts beperkte voorzieningen voor de slibaanvoer en slibopslag geraamd.

8.1.2 verbrandingskosten bij gelijke uitgangspunten

De oorspronkelijke kostenramingen zijn door de sterk uiteenlopende uitgangspunten niet goed vergelijkbaar. Derhalve is een herberekening uitgevoerd met de oorspronkelijke investeringskosten, maar met gestandaardiseerde uitgangspunten voor de bedrijfskosten. De uitgangspunten en de uitkomsten van de berekening zijn opgenomen in bijlage 3. De resultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 7.



Figuur 7. Verbrandingskosten op basis van standaard uitgangspunten

Ondanks de standaard uitgangspunten lopen de exploitatiekosten sterk uiteen door de grote variatie in de investeringen. Bij de capaciteiten 7.300 ton d.s./j (16) en bij 5.000 en 15.000 ton d.s./j (13) zijn de kosten relatief laag wegens de in 8.1.1 genoemde redenen. Het aandeel van de personeelskosten neemt bij grotere verwerkingscapaciteiten duidelijk af.

8.1.3 conclusies

De ramingen van de verbrandingskosten vertonen een aanzienlijke spreiding. Deze spreiding is vooral het gevolg van de grote verschillen in kapitaalkosten, onder andere door de verschillende uitgangspunten voor de reservecapaciteit en de infrastructuur voor slibaanvoer en -opslag.

De verschillende uitgangspunten met betrekking tot rente, energieverbruik, aantal personeelsleden, asafvoer, en dergelijke, veroorzaken een kleiner deel van de spreiding.

Het effect van de schaalgrootte op de verbrandingskosten is met name te herkennen bij de centralisatiescenario's in de regionale studies (zie 6.1). Bij vergelijking van de gegevens uit verschillende rapporten is het schaafeffect door de grote spreiding minder duidelijk.

Als globale indicatie voor de exploitatiekosten van hoogrendementverbranding afhankelijk van de schaalgrootte kan op basis van figuur 7 de volgende bandbreedte worden aangegeven:

capaciteit (ton d.s./j)	verbrandingskosten (f/ton d.s.)
5.000 - 10.000	500 - 700
10.000 - 25.000	400 - 600
> 25.000	350 - 450

Tabel 15. Indicatieve kosten van hoogrendementverbranding (excl. ontwatering en transport)

De globale opbouw van de exploitatiekosten bij hoogrendementverbranding is als volgt:

kapitaal + onderhoud	50 - 60 %
brandstof + electriciteit	20 - 25 %
personeel	
< 10.000 ton d.s./j	ca. 30 %
10 - 20.000 ton d.s./j	15 - 20 %
> 25.000 ton d.s./j	ca. 10 %
asafvoer + overige kosten	10 - 15 %

8.2 Conventionele slibverbranding versus hoogrendementverbranding

De basisrapporten geven de volgende informatie over de kosten van conventionele verbranding versus hoogrendementverbranding:

1. Situatie Zuid-Holland, studie 1986 (9)

Uitgangspunten:

- * capaciteit 76.500 ton d.s./j
- * E-waarde slib 3,0 MJ/kg H₂O
- * aardgasprijs f 0,43/m³

	conventioneel	hoog rendement
* rendement oven	5,4 MJ/kg d.s.	4,0 MJ/kg d.s.
* aardgasverbruik	300 m ³ /ton d.s.	120 m ³ /ton d.s.

Exploitatiekosten:

kapitaal + onderhoud	f 200/ton d.s.	f 250/ton d.s.
brandstof	f 130/ton d.s.	f 55/ton d.s.
overige	f 65/ton d.s.	f 65/ton d.s.
totaal	f 395/ton d.s.	f 370/ton d.s.

Hoogrendementverbranding is in de berekende situatie f 25 /ton d.s. voordeliger dan conventionele verbranding.

2. Situatie Zuid-Holland, studie 1987 (14)

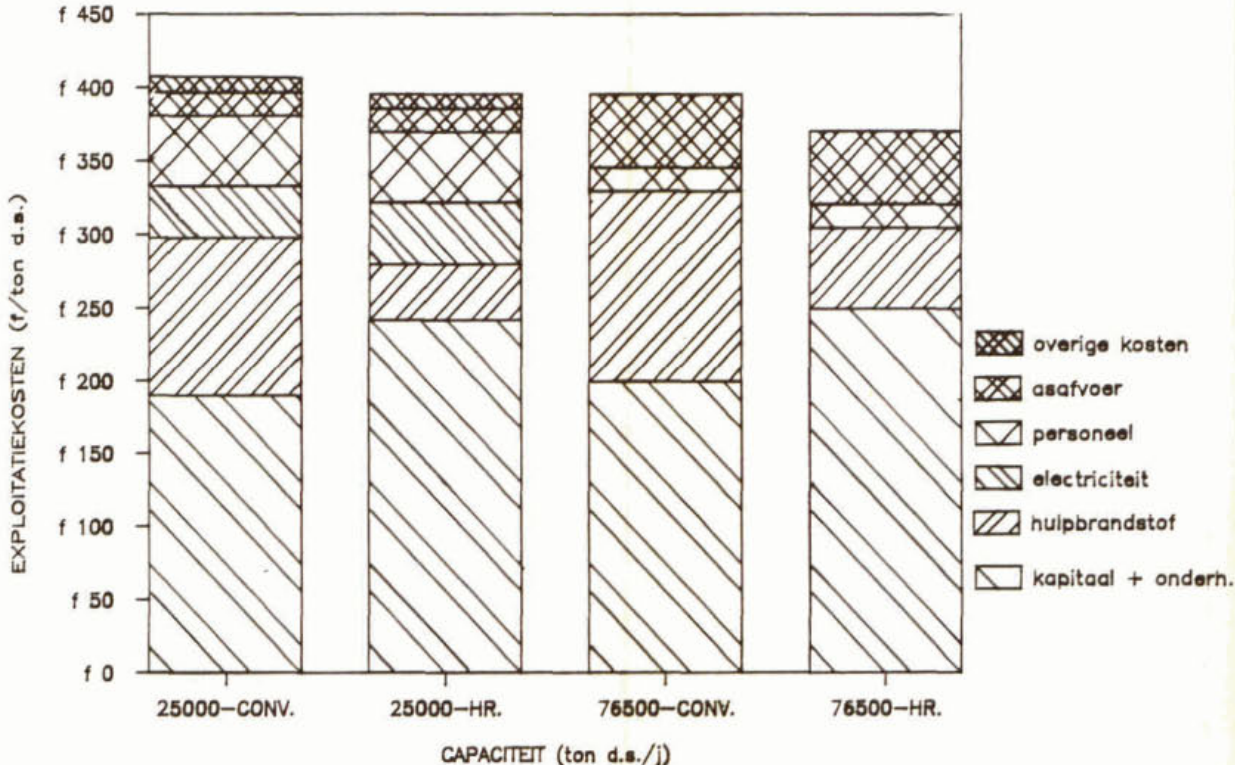
Uitgangspunten:

- * capaciteit 50.000 ton d.s./j
- * aardgasprijs f 0,25/m³
- * bij conventionele verbranding 250 - 300 m³/ton d.s. extra aardgasverbruik
- * bij hoogrendementverbranding circa 20 % extra investeringen

Exploitatiekosten:

	conventioneel	hoog rendement
kapitaal + onderhoud	f 167/ton d.s.	f 200/ton d.s.
brandstof	f 107/ton d.s.	f 38/ton d.s.
overige	f 84/ton d.s.	f 84/ton d.s.
totaal	f 358/ton d.s.	f 322/ton d.s.

Hoogrendementverbranding is in de berekende situatie f 36/ton d.s. voordeliger dan conventionele verbranding. (Bij een hogere aardgasprijs dan de aangenomen f 0,25 /m³ wordt het voordeel nog groter).



Figuur 8. Exploitatiekosten voor hoogrendement- en conventionele slibverbranding (9, 14)

Exploitatiekosten:

kapitaal + onderhoud	f 200/ton d.s.	f 250/ton d.s.
brandstof	f 130/ton d.s.	f 55/ton d.s.
overige	f 65/ton d.s.	f 65/ton d.s.
totaal	<u>f 395/ton d.s.</u>	<u>f 370/ton d.s.</u>

Hoogrendementverbranding is in de berekende situatie f 25 /ton d.s. voordeliger dan conventionele verbranding.

2. Situatie Zuid-Holland, studie 1987 (14)

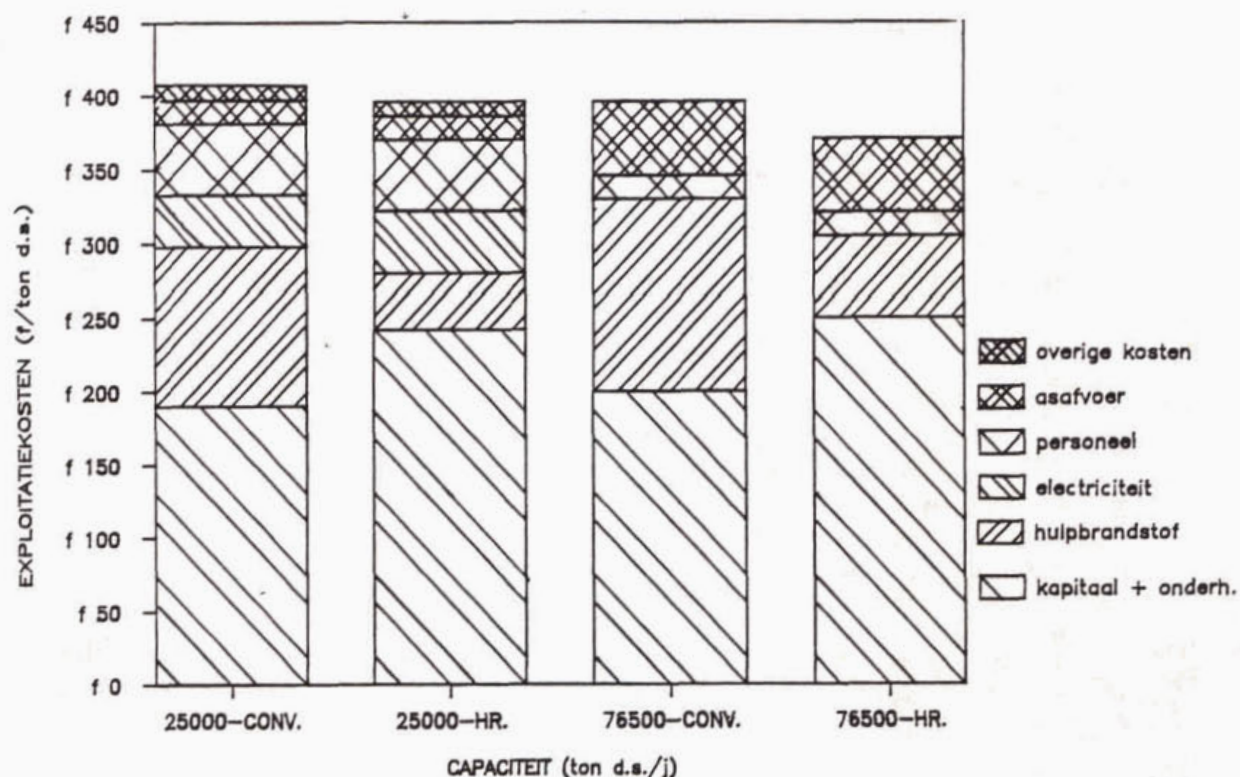
Uitgangspunten:

- * capaciteit 50.000 ton d.s./j
- * aardgasprijs f 0,25/m³
- * bij conventionele verbranding 250 - 300 m³/ton d.s. extra aardgasverbruik
- * bij hoogrendementverbranding circa 20 % extra investeringen

Exploitatiekosten:

	conventioneel	hoog rendement
kapitaal + onderhoud	f 167/ton d.s.	f 200/ton d.s.
brandstof	f 107/ton d.s.	f 38/ton d.s.
overige	f 84/ton d.s.	f 84/ton d.s.
totaal	<u>f 358/ton d.s.</u>	<u>f 322/ton d.s.</u>

Hoogrendementverbranding is in de berekende situatie f 36/ton d.s. voordeliger dan conventionele verbranding. (Bij een hogere aardgasprijs dan de aangenomen f 0,25 /m³ wordt het voordeel nog groter).



Figuur 8. Exploitatiekosten voor hoogrendement- en conventionele slibverbranding (9, 14)

3. Rapport minimalisatie verbrandingskosten (16)

De contante waarde van de exploitatiekosten is berekend voor diverse combinaties van ontwatering + verbranding en capaciteiten van 50.000 tot 400.000 i.e. (circa 800 tot 7.000 ton d.s./j). Hoogrendementverbranding blijkt 0 tot 30 % voordeliger dan conventionele verbranding. (De verhouding tussen de kapitaalkosten en energiekosten kan niet uit de gepresenteerde gegevens worden afgeleid.)

4. Overige rapporten

In de studies voor Utrecht (13) en Oost-Brabant (7) is uitgegaan van hoogrendementverbranding, op basis van een verondersteld kostenvoordeel. Nadere gegevens over de kosten van beide technieken ontbreken echter.

Conclusies:

Bij autonome verbranding van slib met een drogestofgehalte rond 20 % is de besparing op de brandstofkosten bij hoogrendementverbranding in het algemeen groter dan de hogere kapitaal- en onderhoudskosten. Hoogrendementverbranding heeft derhalve iets lagere exploitatiekosten dan conventionele slibverbranding.

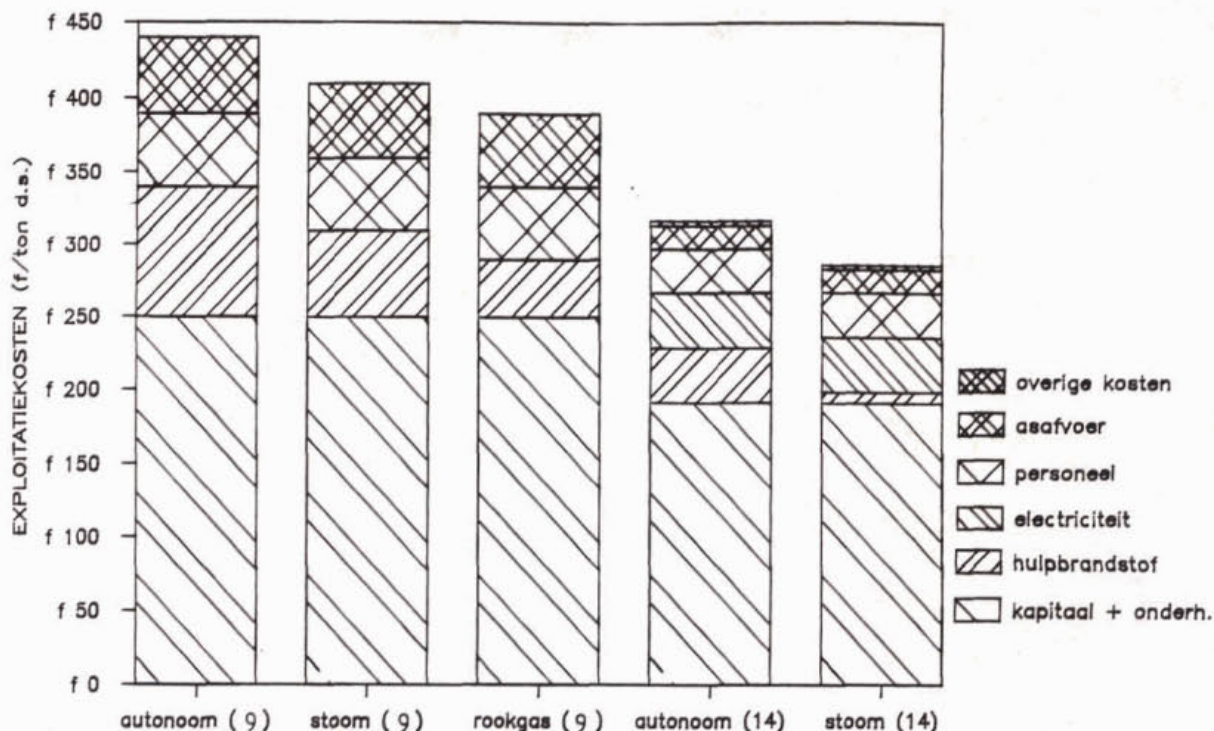
Bij een hoger drogestofgehalte van het slib en/of lagere brandstofprijzen kan conventionele verbranding economisch aantrekkelijker zijn.

8.3 Gebruik van restwarmte

Voor de centrale slibverbranding in Zuid-Holland is zelfstandige verbranding vergeleken met gekoppelde verbranding, waarbij de restwarmte wordt benut van een afvalverbrandingsinstallatie (A.V.R. Rijnmond of Gevudo Dordrecht).

In de studie van 1986 (9) is aangenomen dat de geleverde warmte 1/3 van de aardgasprijs kost bij overdracht in de vorm van hete rookgasen en 2/3 van de aardgasprijs bij overdracht van stoom. Geconcludeerd wordt dat de besparing op de energiekosten bij hoogrendementverbranding f 20 /ton d.s. bedraagt bij koppeling met het stoomnet en f 35 /ton d.s. bij gebruik van de hete rookgassen (capaciteit 48.500 ton d.s./j).

In de studie van 1987 (14) is de situatie beschouwd waarbij het slib indirect wordt voorgedroogd met lagedrukstoom uit de turbines van de verbrandingsinstallatie. Via de rookgasketel achter de sliboven wordt een kleinere hoeveelheid middendrukstoom aan de A.V.I. teruggeleverd. In de sliboven wordt nog slechts regelbrandstof bijgestookt. Volgens de raming zijn de wederzijdse stoomleveranties kostenneutraal en zijn de extra investeringen voor de koppeling van de stoomnetten verwaarloosbaar. Door de lage brandstofkosten wordt f 30 /ton d.s. bespaard op de exploitatiekosten van de slibverbranding (capaciteit 50.000 ton d.s./j).



Figuur 9. Autonome hoogrendementverbranding versus droging/verbranding met restwarmte via rookgas of stoom (9, 14)

Geconcludeerd wordt dat door gebruik van restwarmte bij de verbranding van slib met circa 20 % d.s. een kostenbesparing van circa 5 tot 10 % mogelijk is ten opzichte van hoogrendement autonome verbranding. De toepassing van deze techniek is uiteraard sterk afhankelijk van de mogelijkheid tot koppeling van de slibverbranding aan een geschikte warmtebron.

8.4 Kosten van extra rookgasreiniging

Zoals in 7.1.4 is aangegeven, kan in de toekomst naast vlieggasverwijdering tevens de verwijdering van zware metalen en/of zure gassen vereist worden. De exploitatiekosten van de extra rookgasbehandeling worden in deze paragraaf behandeld. De resultaten zijn weergegeven in figuur 10.

kalkdosering

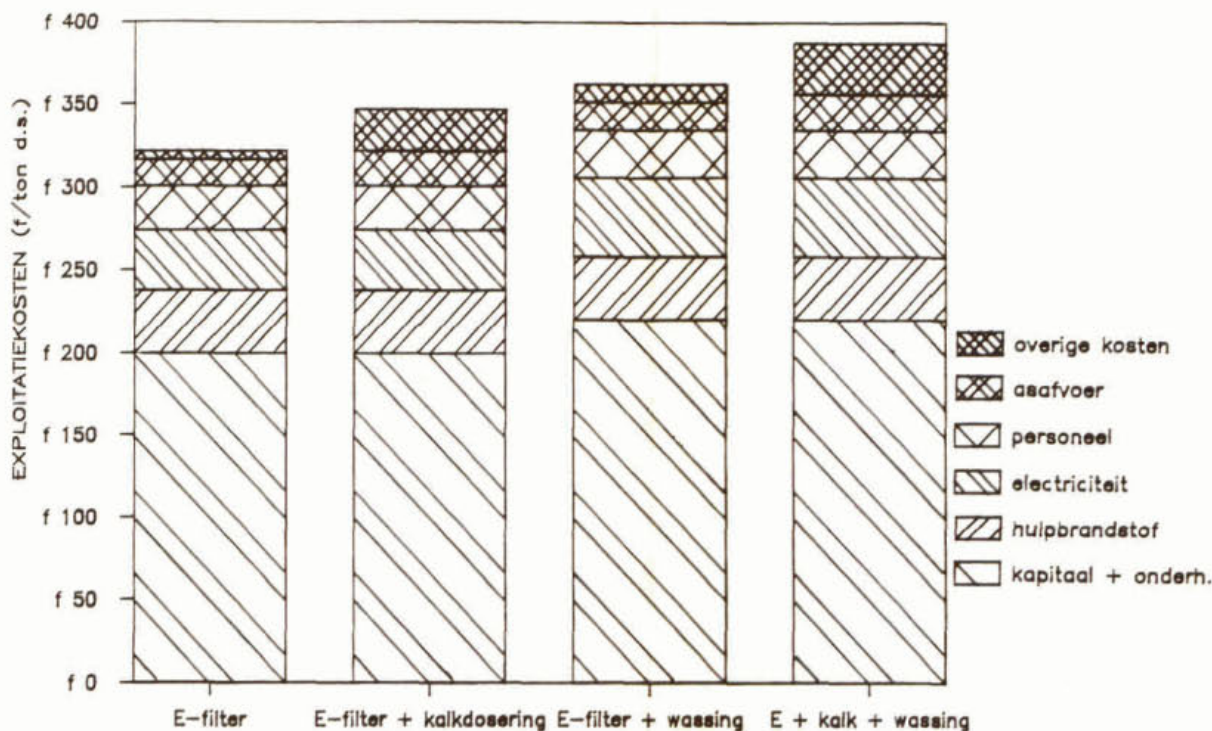
Om SO_x te binden kan in de wervelbedoven 100 - 150 kg kalk per ton d.s. worden gedoseerd (14). De totale bedrijfskosten van de kalkdosering bedragen circa f 28 /ton d.s., samengesteld uit circa f 3 /ton d.s. kapitaal- en bedrijfskosten van de doseerinstallatie (afhankelijk van de uitvoering en de schaalgrootte), f 20 /ton d.s. voor het kalkverbruik en f 5 /ton d.s. voor de afvoer van de extra as.

rookgaswassing

In een studie voor slibverbranding in Zuid-Holland (14) zijn de kosten van rookgaswassing ter verwijdering van de vluchtige zware metalen geraamd op f 51/ ton d.s. voor installaties met een capaci-

teit van 25.000 ton d.s./j en op f 41 /ton d.s. voor 50.000 ton d.s./j.

In figuur 10 is voor een 50.000 ton d.s./j installatie de opbouw van de exploitatiekosten afhankelijk van het type rookgasreiniging weergegeven.



Figuur 10. Opbouw van de verbrandingskosten bij 50.000 ton d.s./j, afhankelijk van de toegepaste rookgasreiniging (14)

8.5 Invloed van bedrijfsfactoren op de verbrandingskosten

8.5.1 invloed van het drogestofgehalte

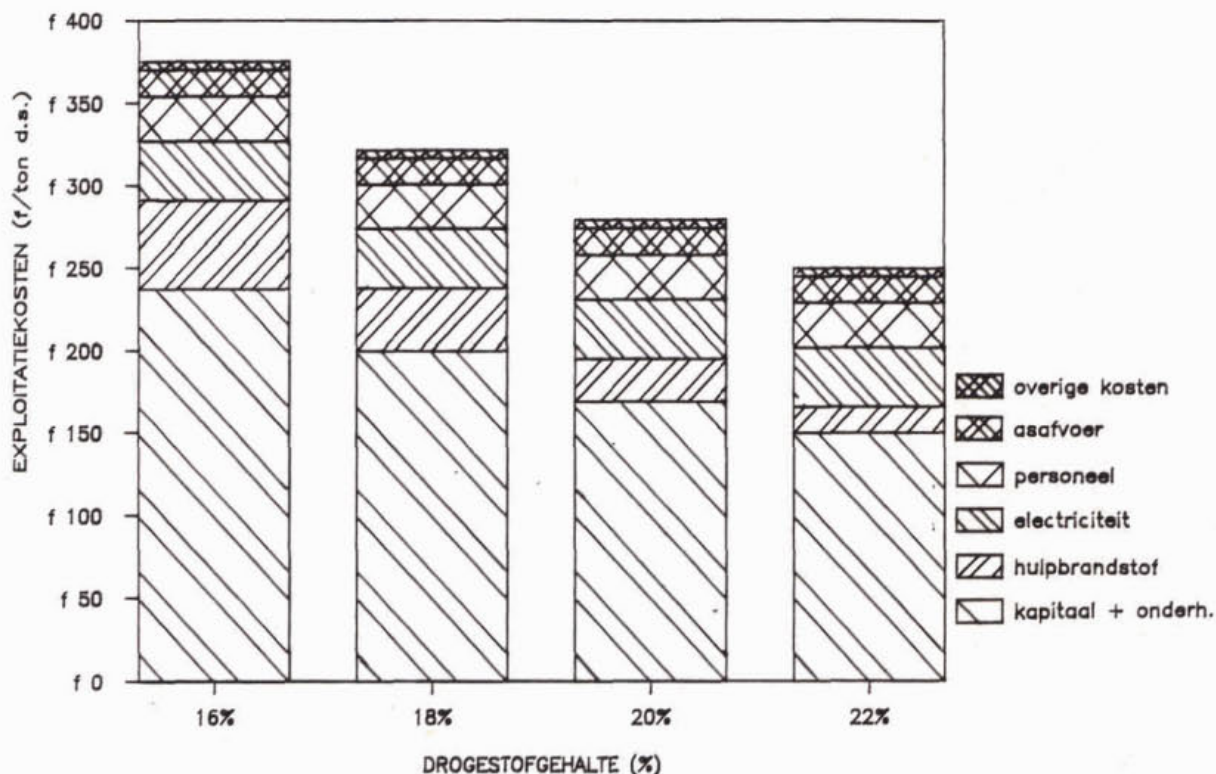
Verbranding van slib met een lager drogestofgehalte leidt via twee wegen tot extra kosten. De benodigde hoeveelheid steunbrandstof neemt toe bij dalend drogestofgehalte door de grotere hoeveelheid water die per kg droge stof wordt verdampt ('brandstofeffect'). Daarnaast stelt de capaciteit van de verbrandingsinstallatie een bovengrens aan de hoeveelheid slibwater die per tijdseenheid kan worden verdampt. Bij een laag drogestofgehalte is derhalve een relatief grote installatie nodig om dezelfde hoeveelheid droge stof te verbranden. Dit leidt tot hoge kapitaalkosten per kg verbrande droge stof ('capaciteitseffect').

De invloeden van het brandstof- en capaciteitseffect op de verbrandingskosten zijn weergegeven in figuur 11. De Ausgangssituatie is hoogrendementverbranding van 50.000 ton d.s./j met 18 % d.s. (14).

De verbranding van slib met 16 % d.s. vergt in vergelijking met 18 % d.s. een 15 % grotere thermische capaciteit, met een 53 % groter brandstofverbruik en 17 % hogere exploitatiekosten. Omgekeerd geldt dat ontwatering tot 20 % droge stof 13 % lagere verbrandingskosten oplevert dan 18 % d.s.

Uit deze gegevens blijkt dat een optimaal verlopende ontwatering van het slib zowel voor de dimensionering van de verbrandingsinstallatie als voor de exploitatiekosten van groot belang is.

In dit rapport wordt niet verder ingegaan op de kostenafweging tussen vergaande ontwatering met relatief goedkope verbranding en goedkope ontwatering tot een matig drogestofgehalte in combinatie met dure verbranding. Deze vergelijking komt ondermeer aan de orde in het onderzoek naar kostenminimalisatie bij slibverbranding (16).



Figuur 11. Invloed van het drogestofgehalte op de verbrandingskosten per ton droge stof, bij 50.000 ton d.s./j (14)

8.5.2 invloed van onderbelasting op de verbrandingskosten

Gedeeltelijke benutting van de verbrandingscapaciteit leidt tot verhoogde verbrandingskosten per ton droge stof.

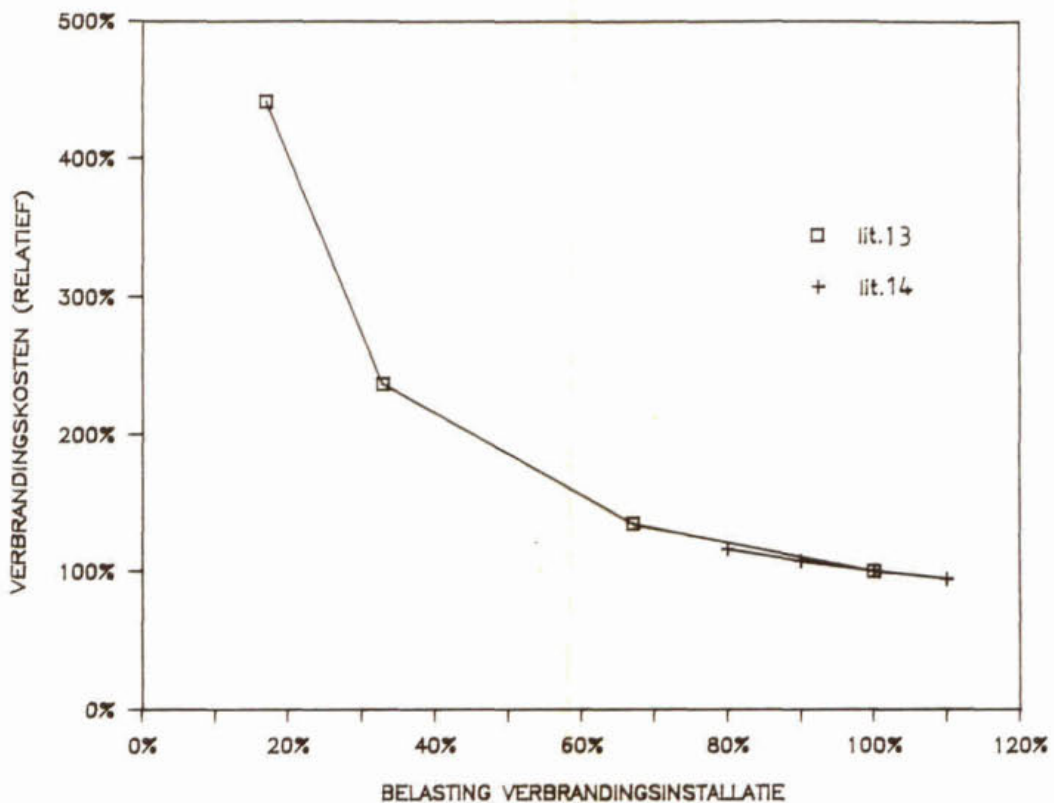
De kosten van kapitaal, onderhoud en personeel zijn vrijwel onafhankelijk van de hoeveelheid verbrand slib. Dit betekent dat het aandeel van deze kosten in de verbrandingsprijs evenredig toeneemt met de mate van onderbelasting.

De kosten per ton d.s. voor chemicaliën, verwerking van de restproducten en transport zijn vrijwel onafhankelijk van de capaciteitsbenutting.

Het energieverbruik per ton slib zal bij deelbelasting iets groter worden (afhankelijk van het installatietype), omdat het thermisch en elektrisch rendement bij deelbelasting afnemen.

Voor 50.000 ton d.s./j hoogrendementverbranding zijn de verbrandingskosten berekend bij 80 - 110 % belastingsgraad (14). Bij 80 % van de nominale belasting zijn de kosten 16 % verhoogd en bij 110 % belasting 6 % verlaagd ten opzichte van de 100 % situatie.

Voor een installatie met 15.000 ton d.s./j verwerkingscapaciteit zijn de kosten berekend bij verwerking van 2.500 - 10.000 ton d.s./j (17 - 67 % deelbelasting)(13). De verwerkingskosten per ton zijn bij de laagste belasting ruim 4 x zo hoog als bij 100 % belasting. De resultaten van beide berekeningen zijn weergegeven in figuur 12.



Figuur 12. Verbrandingskosten als functie van de belastingsgraad van de installatie (13, 14)

Figuur 12 toont niet alleen de gevolgen van onderbelasting van een installatie, maar geeft ook een indicatie van de kosten van overdimensionering, ten behoeve van de benodigde reservecapaciteit. Het installeren van een verbrandingsinstallatie met 100 % overcapaciteit leidt volgens deze raming tot circa 70 % hogere exploitatiekosten. Bij de keuze tussen gegarandeerde verwerkingscapaciteit in een centrale installatie of de mogelijkheid tot tijdelijke slibopslag speelt dit gegeven een belangrijke rol (zie 5.4).

CONCLUSIES

De studies naar de mogelijkheden voor slibverbranding in Nederlandse regio's hebben voor de onderzochte situaties de onderstaande conclusies opgeleverd.

1. Voor zowel conventionele als hoogrendementsslibverbranding zijn diverse systemen op de markt beschikbaar, die zich in de praktijk bewezen hebben.
2. Centrale verbranding biedt voordelen op het punt van de kosten, het beheer van de installaties en het aantal te doorlopen procedures. De locatiekeuze en de planologische en organisatorische voorbereiding van grote slibverbrandingsinstallaties vergen veel tijd en inspanning.
3. Gezamenlijke verbranding van zuiveringsslib en huisvuil kan financieel gunstig zijn, maar heeft technische, mileukundige en organisatorische bezwaren. Alleen in nieuw op te zetten installaties is een goede uitvoering te realiseren.
Gebruik van restwarmte van vuilverbrandingsinstallaties voor droging van het slib geeft een beperkte besparing op de slibverbrandingskosten.
4. Bij de in Nederland gebruikelijke slibontwatering tot circa 20 % d.s. is hoogrendementverbranding financieel gunstiger dan conventionele verbranding.
5. De kostenramingen van slibverbranding geven sterk uiteenlopende waarden als gevolg van verschillen in uitgangspunten, schaalgrootte en dimensioneringsgrondslagen.
De kosten van autonome slibverbranding worden vanaf een minimum van 5.000 ton d.s./j, globaal geschat op f 350 - 700 /ton d.s., afhankelijk van de verwerkingscapaciteit.
De verbrandingskosten zijn opgebouwd uit ruim 50 % kosten voor kapitaal en onderhoud, 20 - 25 % voor energie, 10 - 30 % voor personeel en 10 - 15 % voor asafvoer en diversen.
6. Bij de dimensionering van centrale verbrandingsinstallaties speelt de keuze van het bunkervolume en de verbrandingscapaciteit een grote rol, mede in relatie tot de slibverwerking bij bedrijfsonderbrekingen.
Reservecapaciteit in de vorm van extra bunkervolume is minder kostbaar dan vergroting van de verbrandingscapaciteit.
Discontinue bedrijfsvoering (dagbedrijf) is in veel systemen technisch niet mogelijk en leidt tot hoge kapitaalkosten.
Door de kleinere uurcapaciteit van de verbrandingsinstallatie zijn bij 7 dagen per week 24-uurbedrijf de totaalkosten lager dan bij 5 dagen per week, ondanks de aanzienlijk hogere personeelskosten.
7. Om aan de huidige emissienormen van de "Richtlijn Verbranden" te voldoen, moeten slibverbrandingsinstallaties voorzien zijn van vlieggasverwijdering. Afhankelijk van de slibsamenstelling kan rookgaswassing voor de verwijdering van kwik nodig zijn.
Afhankelijk van scherpere eisen voor de SO_x -emissie kan kalkdosering, semi-droge reiniging of basische wassing van de afgassen nodig zijn.

10 LITERATUUR

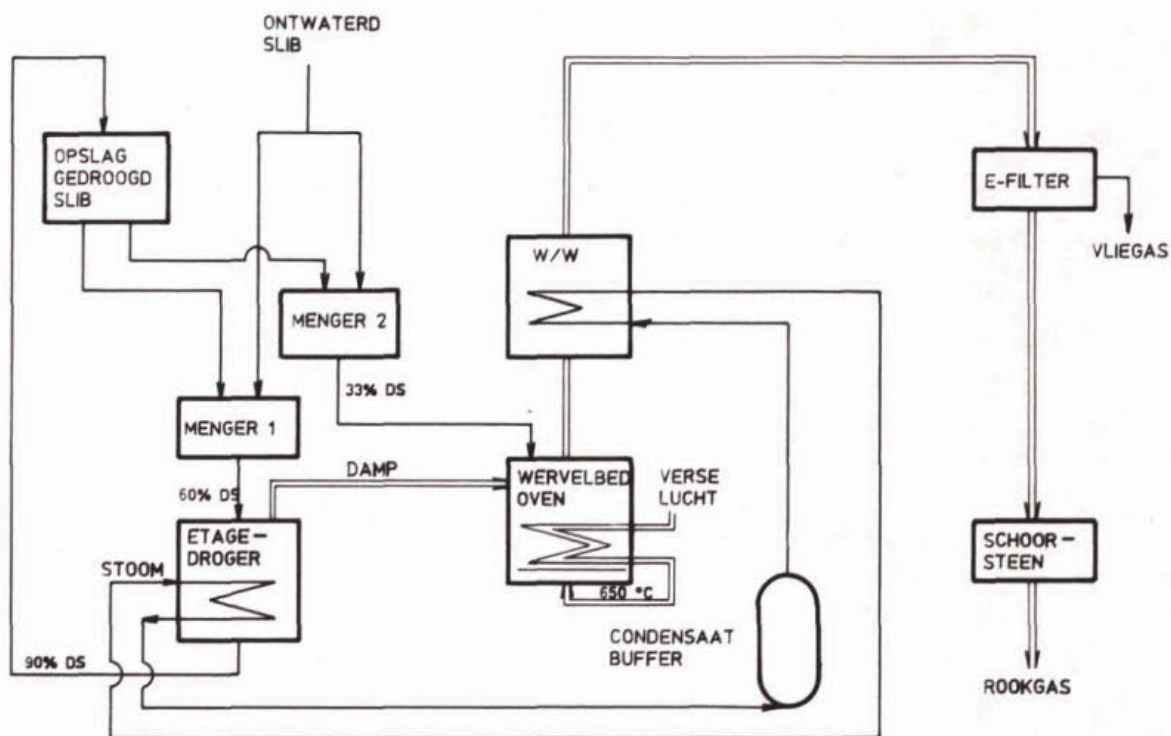
1. Bartelds, H. - Elk slib verbrandt op zijn eigen wijze. H₂O 17 (1984) nr 22: 506 - 510.
2. Burg, L. van der, e.a. - Huisvuil en rioolwater te Dordrecht; 5 jaar ervaring. H₂O 12 (1979) nr 6: 117 - 124.
3. Davids, P & Lange, M. - Die TA Luft '86 - Technischer Kommentar. VDI Verlag, Düsseldorf (1986).
4. Eggink, H.J. - Verbrandingswaarde van zuiveringsslib en de vereiste ovencapaciteit. H₂O 16 (1983) nr 22: 492 - 496.
5. Francis, C.W. & White, G.H. - Leaching of toxic metals from incinerator ashes. Journal WPCF, 59 (1987), nr 11: 979 - 986.
6. Geest, A. Th. van der - Slibverbranding en milieu. Voordracht NVA-symposium "Verbranding zuiveringsslib", 24 oktober 1985 te Amersfoort.
7. Gezamenlijke slibverbranding Oostbrabantse waterschappen de Aa, de Dommel, de Maaskant. GTD Oost-Brabant, februari 1986.
8. Marvelde, J.H.B. te - Verbranden van zuiveringsslib, energetische en milieuhygiënische aspecten. H₂O 19 (1986) nr 4: 62 - 65.
9. Mogelijkheden slibverbranding in Zuid-Holland. DRSH-werkgroep slibverbranding, juni 1986.
10. Process design manual for sludge treatment and disposal. U.S. environmental protection agency, EPA 625/1-79-011, september 1979.
11. Richtlijn voor de inhoud van het provinciale plan voor de verwijdering van zuiveringsslib, Ministerie van V.R.O.M., januari 1986.
12. Sande, A.J. van de - Tien jaar slibverbranding Oijen. Voordracht NVA-symposium "Verbranding zuiveringsslib", 24 oktober 1985 te Amersfoort.
13. Slibverbranding - Studie naar de technische mogelijkheid en kosten van een centrale slibverbrandingsinstallatie op het terrein van de PEGUS-centrale te Utrecht. P.W. Utrecht & N.V. PEGUS, januari 1985.
14. Slibverbranding Zuid-Holland - Onderzoek naar locatie- en systeemaspecten. Haskoning, maart 1987. In opdracht van H.H.R.S. Delfland, Rijnland en Schieland en Z.S. Hollandse Eilanden en Waarden.
15. Verbranden van zuiveringsslib. G.T.D. Oost Brabant & Z.S. Hollandse Eilanden en Waarden, juli 1985.

16. Verbranden van zuiveringsslib, een onderzoek naar kostenminimalisatie. Reeks afvalstoffen nr. 13, Den Haag, Staatsuitgeverij, 1985.
17. Würdeman, M. - Slibverbranding, gecombineerd met huisvuilverbranding. H₂O (15) 1982, nr 14: 362 - 365.

B I J L A G E N
= = = = =

Bijlage 1. Technische gegevens van hoogrendementverbrandingssystemen

1. Comprimo - systeem Shegers



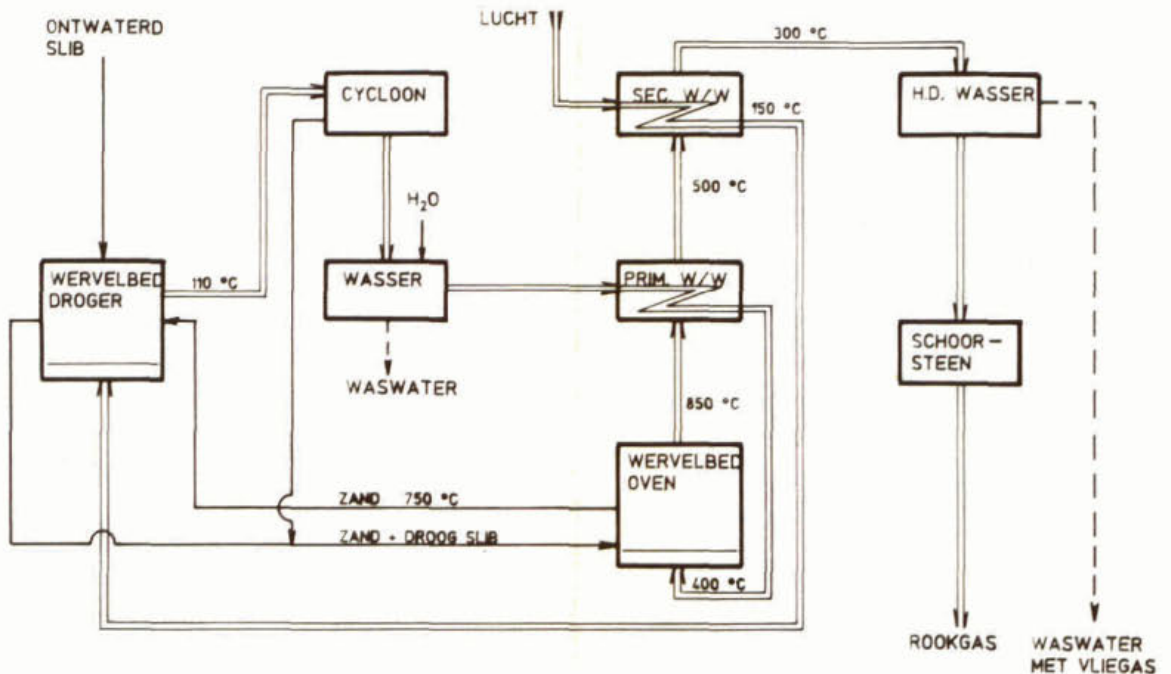
Proceskenmerken

Het natte slib wordt met droog slib gemengd tot circa 60 % d.s. Het mengslib wordt gedroogd tot 90 % d.s. in een etageoven, indirect verwarmd door stoom of thermische olie. De droogdampen worden in de oven verbrand.

In een tweede menger worden nat en droog slib gemengd tot een autotherm mengsel (circa 33 % d.s.), dat wordt verbrand in een wervelbedoven met een zandbed. De verbrandingslucht wordt voorverwarmd via pijpenbundels in de vuurhaard. De rookgassen passeren een stoomketel (of verhitter voor thermische olie) en worden vervolgens door een E-filter en eventuele wassing gereinigd.

Referenties: toegepast op rwzi Brugge.

2. Dorr-Oliver - Sludge predrying using bed sand (SPUBS)



Proceskenmerken

Het ontwaterde slib wordt gedroogd in een wervelbeddroger met zandbed. De warmte voor de droging wordt toegevoerd door pneumatisch transport van heet zand uit de wervelbedoven (circa 750 °C) en door verwarming van de fluïdisatielucht tot circa 150 °C in de secundaire warmtewisselaar.

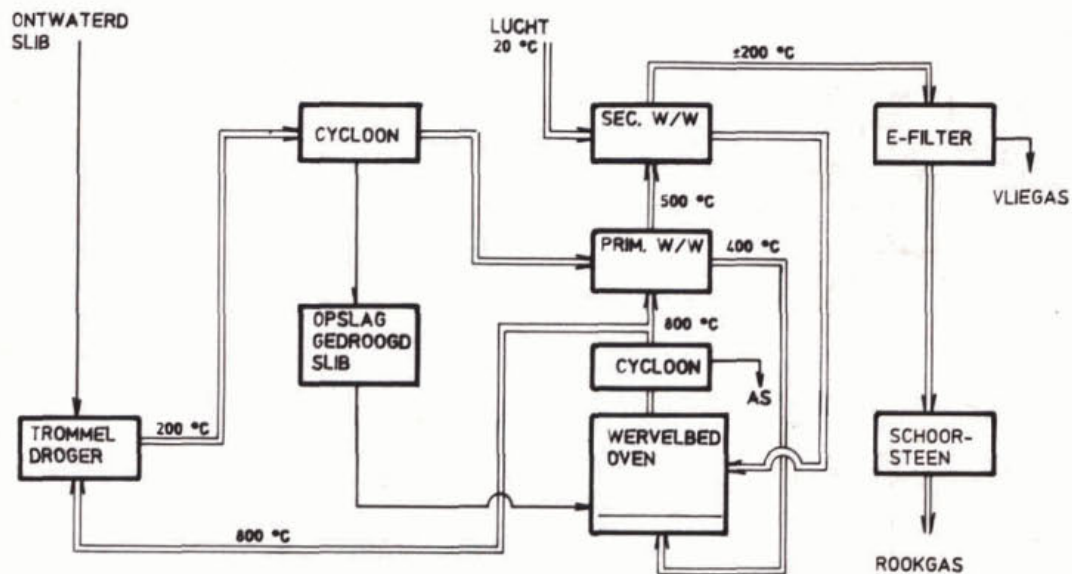
De droogdampen worden via de primaire warmtewisselaar naar de wervelbedoven gevoerd, nadat in een cycloon het stof, en in een wasser de waterdamp verwijderd is.

Het gedroogde slib wordt met het afgekoelde zand naar de wervelbedoven getransporteerd. De verbrandingslucht wordt voorverwarmd in de primaire warmtewisselaar.

De rookgassen worden afgekoeld in een warmtewisselaar en vervolgens door wassing en/of filtratie gereinigd.

Referenties: City of Norwalk (Conn.) U.S.A., 1,5 t/h slib met 25 % d.s.; in bedrijf 1983 - 1987.

3. Fläkt-Okawara systeem

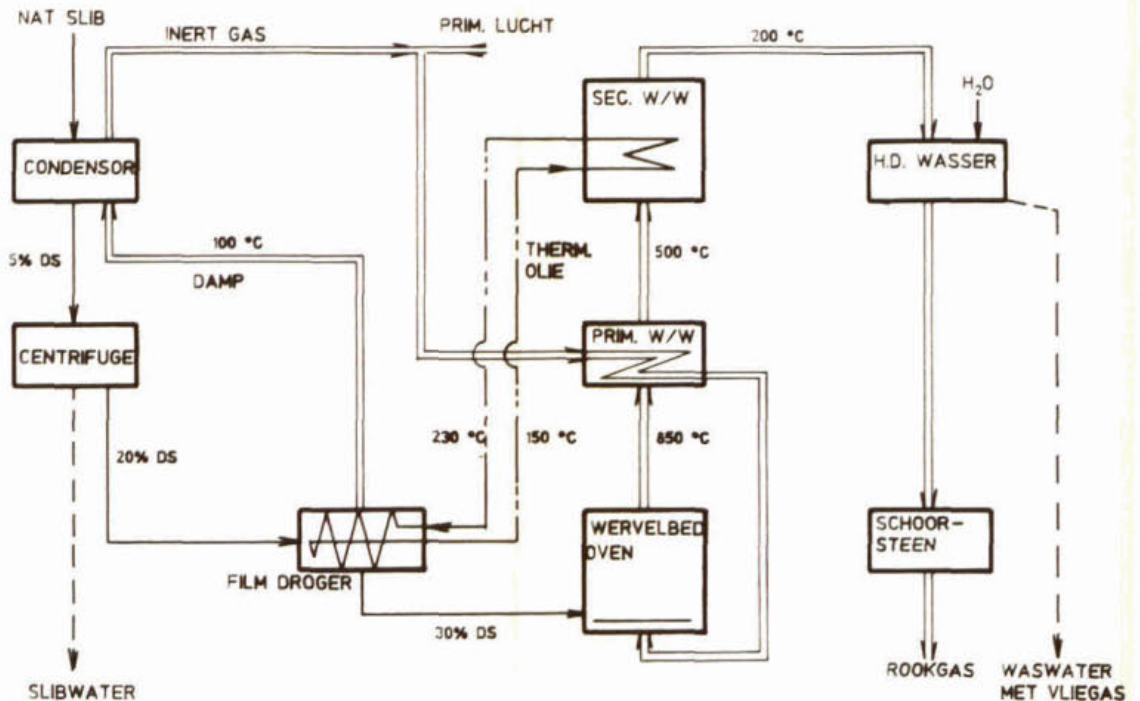


Proceskenmerken

Het ontwaterde slib wordt direct gedroogd met hete rookgassen. De trommeldroger is voorzien van een snel draaiend roerwerk dat de slibbrokken verkleint. Het gedroogde slib verlaat de droger met de uitgaande gasstroom en wordt in een cycloon afgevangen. De gasstroom wordt opgewarmd en als verbrandingslucht naar de oven gevoerd. Het volledig gedroogde slib wordt verbrand in een wervelbedoven met zandbed of in een roterend-bedoven (fig. 4, blz. 18). Een gedeelte van de rookgassen wordt teruggevoerd naar de droger; de rest wordt via een warmtewisselaar naar de rookgasreiniging gevoerd.

Capaciteit: 100 - 5.000 kg waterverdamping per uur
Referenties: meer dan 55 (meestal kleinere) slibverbrandingsinstallaties in Japan.

4. Systeem Lurgi



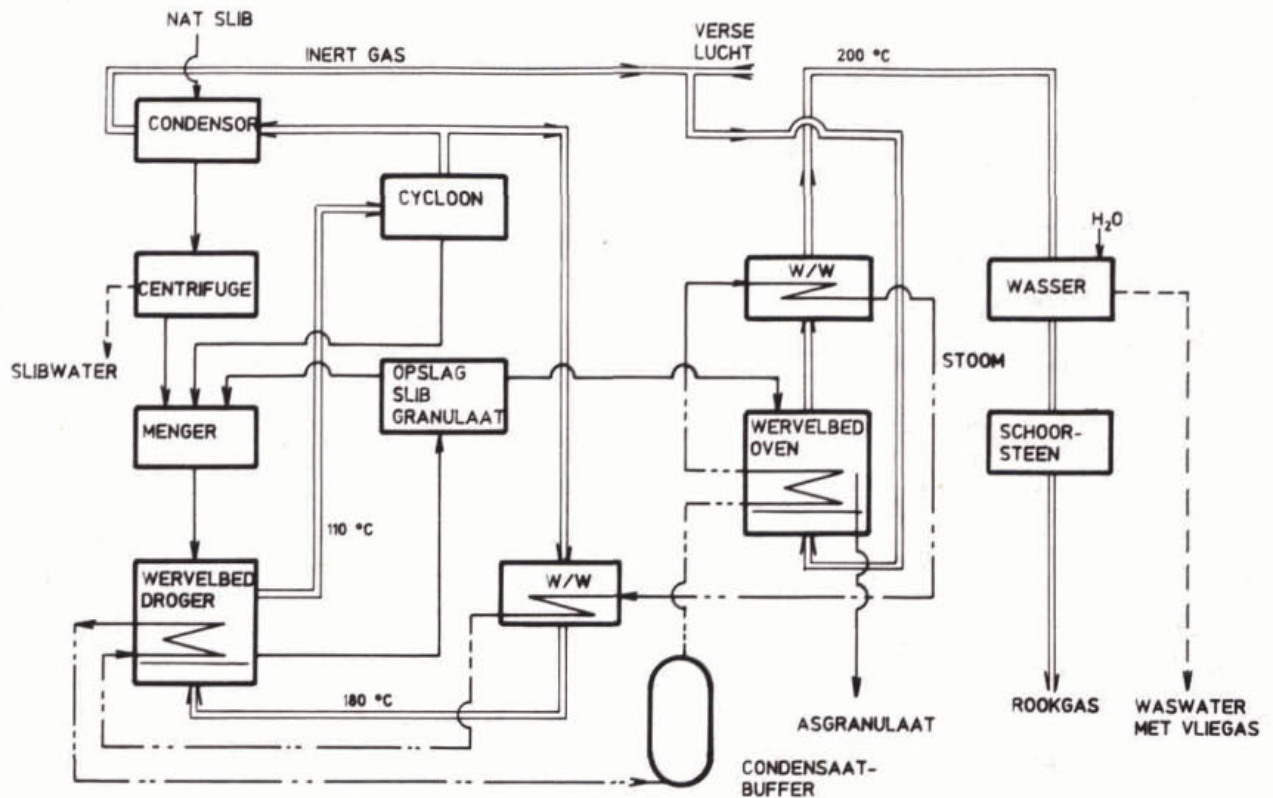
Proceskenmerken

Het ontwaterde slib wordt indirect gedroogd tot circa 40 % d.s. in een filmdroger, verwarmd door thermische olie. De droogdampen worden gecondenseerd (ondermeer met vers slib), waarna de resterende gassen met de primaire lucht in de oven worden geleid.

Het deelgedroogde slib wordt verbrand in een wervelbedoven met een zandbed. De hete rookgassen worden afgekoeld in de luchtvoorverwarmer en de warmtewisselaar van het oliecircuut en vervolgens door wassing en/of filtratie gereinigd.

Referenties: hoogrendementsysteem in Amsterdam en Düren (West-Duitsland); tevens diverse conventionele wervelbedinstallaties.

5. Sulzer - systeem Escher Wyss



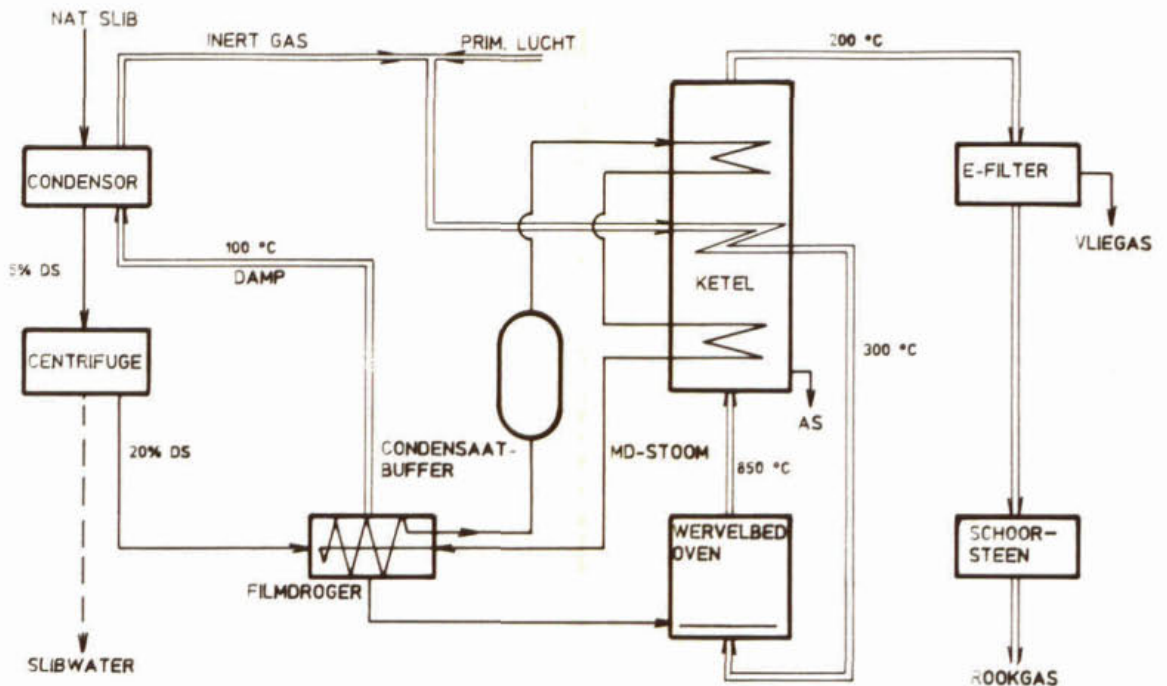
Proceskenmerken

Het ontwaterde slib wordt gemengd met droge slibkorrels en gedroogd met een fluid-beddroger. De droogdampen passeren een gesloten kringloop, waarbij de waterdamp wordt gecondenseerd met ingedikt slib, de ingesloten lucht naar de oven wordt gevoerd en de resterende gasstroom na verwarming naar de droger wordt teruggevoerd.

Het volledig gedroogde slib wordt verbrand in een wervelbedoven, die tot circa 800 °C wordt gekoeld met het ketelwater van het stoomcircuit. De rookgassen worden afgekoeld tot circa 200 °C in de stoomketel. De as wordt grotendeels als granulaat uit het wervelbed afgetapt.

Referenties: Pilot plant in Japan, prototype in Ravensburg (West-Duitsland).

6. Systeem Thyssen Engineering



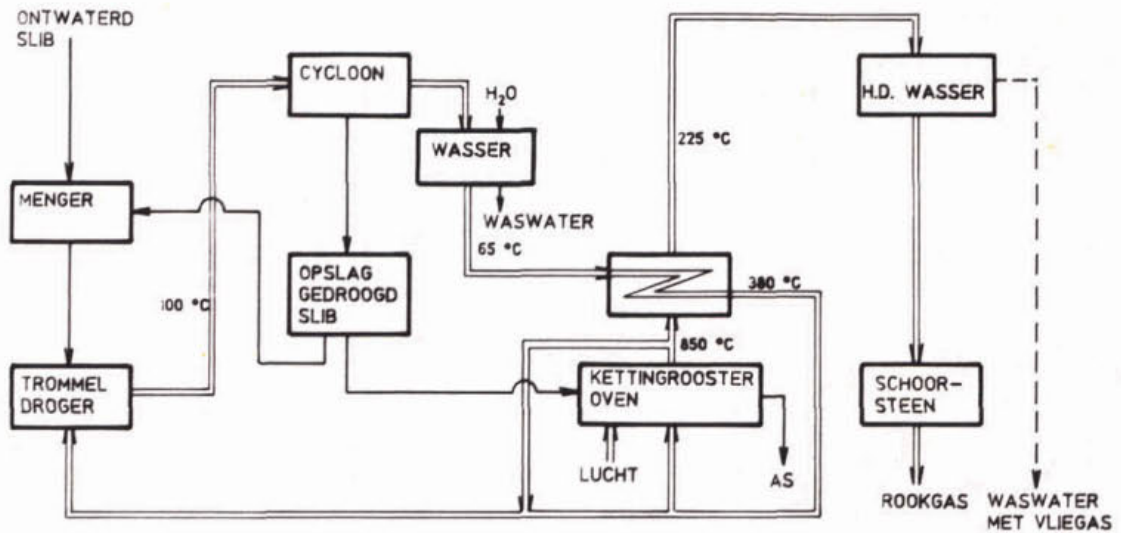
Proceskenmerken

Het ontwaterde slib wordt indirect gedroogd tot circa 40 % d.s. in een filmdroger, verwarmd door stoom. De droogdampen worden gecondenseerd (ondermeer met vers slib), waarna de resterende gassen in de oven worden verbrand.

Het deelgedroogde slib wordt verbrand in een wervelbedoven met een zandbed. De hete rookgassen passeren een stoomketel, luchtverhitter en economiser (= voorverwarming van het ketelwater) en worden vervolgens door een E-filter en eventuele wassing gereinigd.

Referenties: hoogrendementsysteem in Ulm (West-Duitsland); tevens diverse conventionele wervelbedinstallaties.

7. Vanderbroek international

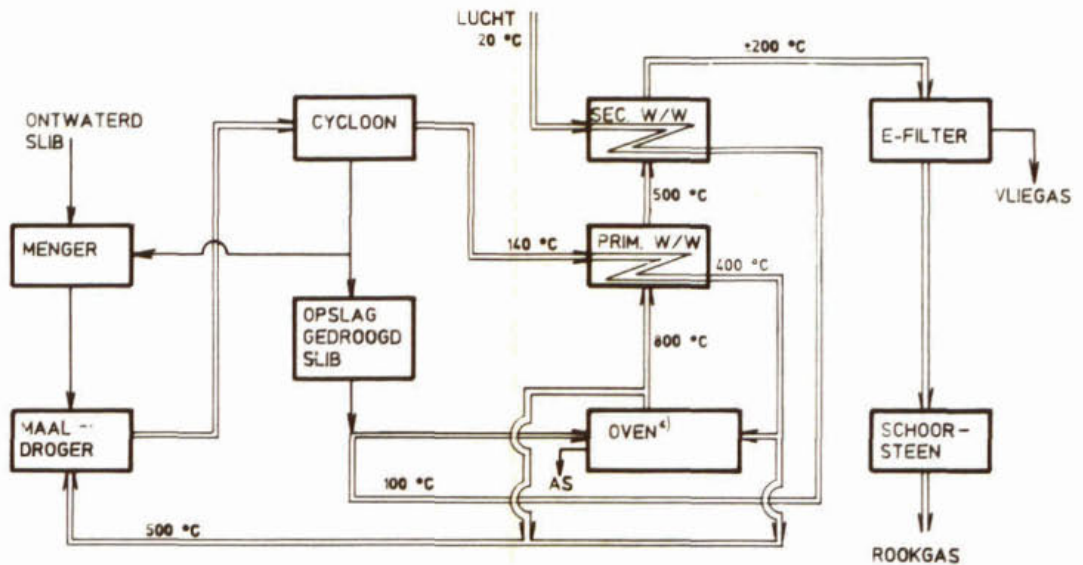


Het ontwaterde slib wordt gemengd met droge slibkorrels en gedroogd in een trommeldroger. De droogdampen passeren een gesloten kringloop, waarbij de waterdamp wordt gecondenseerd en de gasstroom wordt opgewarmd en gerecirculeerd. De samenstelling wordt constant gehouden door afvoer naar de oven en verversing met buitenlucht of rookgas.

Het volledig gedroogde slibgranulaat wordt verbrand in een kettingroosteroven. De rookgassen worden afgekoeld tot circa 200 °C in een lucht/lucht-warmtewisselaar. De as wordt vrijwel volledig als gesinterde brokken bodemas vrij.

Referenties: Pilot plant in Driebergen, verwant systeem toegepast in Hamilton, Canada.

8. Van Roll - Pulvotherm



¹⁾ POEDEROVEN OF WERVELBEDOVEN

Proceskenmerken

Het ontwaterde slib wordt gemengd met droog slib en vervolgens met de hete gasstroom in de maaldroger gebracht. Het droge slib wordt afgescheiden in een cycloon, waarna de gasstroom in een warmtewisselaar wordt opgewarmd en grotendeels gerecirculeerd. Het vocht- en O₂-gehalte van de circulerende gasstroom wordt laag gehouden door afvoer naar de oven en aanvulling met hete rookgassen. Het gedroogde slib wordt in een poederbrander of wervelbedoven verbrand. De rookgassen worden in een filter ontdaan van de vliegias en eventueel gewassen, waarbij het grootste deel van het slibwater condenseert.

Referenties: enkele autonome slibverbrandingsinstallaties met poederoven operationeel in West-Duitsland en Frankrijk; slibdroging met restwarmte in maaldroger + gecombineerde verbranding van afval en droog slib in A.V.I. op meer plaatsen toegepast.

**Bijlage 2. Investerings en exploitatiekosten van slibverbranding
volgens de basisrapporten**

<u>basisgegevens</u>								
locatie	Utrecht	-	Oost- Brabant	Utrecht	Zuid- Holland	Oost- Brabant	Zuid- Holland	Zuid- Holland
lit. nr	13	16	7	13	14	7	14	9
ton d.s./j	5.000	7.300	10.000	15.000	25.000	30.000	50.000	76.500
<u>investerings</u> (1.000)	12.840	6.375	22.500	21.000	52.420	37.500	89.860	*)
<u>expl. kosten</u> (£/ton d.s.)								
kapitaal	319	96	237	179	197	132	162)
onderhoud	60	16	51	36	45	28	38)250
hulpbrandstof	39	26	70	35	38	52	38)
electriciteit	23	75	26	20	42	23	36	55
personeel	96	71	95	32	48	40	27	-
asafvoer	30	14	17	30	16	17	16	16
overige kosten	96	0	0	37	10	0	5	50
<u>totaal exploit.</u> (£/ton d.s.)	663	298	496	369	396	292	322	0

*) alleen kapitaalkosten vermeld, geen investeringen

De uitgangspunten in de beschouwde studies vertonen de volgende verschillen:

- schaalgrootte van 5.000 tot 76.500 ton d.s./j;
- dimensionering:
 - * wel of geen slibontvangst en opslagbunker
 - * wel of geen reservecapaciteit van de slibopslag en slibverbranding om bedrijfsonderbrekingen op te kunnen vangen;
- kapitaalkosten:
 - * uiteenlopende typen verbrandingsapparatuur
 - * verschillende rente en afschrijvingstermijn;
- onderhoudskosten:
 - * 0,5 - 2 % van de bouwkosten voor civiele onderdelen per jaar
 - * 2,5 - 3,5 % van de bouwkosten voor elektrische en mechanische onderdelen per jaar;

- verbruik steunbrandstof:
 - * verschillende E-waarde van het slib (2,7 - 3,2 MJ/kg H₂O)
 - * verschillende rendementen van de verbrandingsinstallatie (3,5 - 4,0 MJ/kg H₂O bij hoogrendementinstallaties)
 - * verbruik steunbrandstof 50 - 150 m³ aardgas/ton d.s.;
- electriciteitsverbruik: 0 - 300 kWh/ton d.s.;
- energieprijzen:
 - * aardgas f 0,25 - f 0,70 per m³
 - * electriciteit f 0,13 - f 0,25 per kWh;
- personeelskosten:
 - * bedrijfstijd 5 of 7 dagen/week (in alle gevallen 24 h/d)
 - * bediening zelfstandig/gecombineerd met andere installatie(s)
 - * inclusief/exclusief personeel voor slibontvangst en beheer
 - * totaal 5 - 19 personeelsleden per installatie
 - * kosten per manjaar f 60.000 - f 80.000;
- kosten voor asafvoer:
 - * afvoer in droge of natte vorm (0 - 30 % water)
 - * afvoer + stortkosten f 25 - f 75 per ton nat materiaal
- overige kosten:
 - * verbruik van zand en chemicaliën, laboratoriumkosten
 - * verzekering, reservering, etc.
 - * totaal 0 - f 90 per ton droge stof.

Bijlage 3. Raming verbrandingskosten met standaard uitgangspunten.

Uitgangspunten:

- investeringen volgens basisrapporten (zie bijlage 2)
- kapitaalkosten:
 - * annuïteit op basis van 7 % rente
 - * afschrijftermijn civiele onderdelen 30 jaar
 - * afschrijving elektrische en mechanische onderdelen in 15 jaar;
- onderhoudskosten:
 - * 2,5 % van elektrisch/mechanische investeringen per jaar
 - * 1,0 % van civiele investeringen per jaar;
- kosten hulpbrandstof:
 - * uitgegist slib 20 % droge stof, Eslib = 2,8 MJ/kg H₂O
 - * HR-verbranding 4,0 MJ/kg H₂O
 - * aardgas 1,2 MJ/kg H₂O = 4,8 MJ/kg d.s. = 150 m³ à f 0,38 = f 57/ ton d.s.
- electriciteit: 150 kWh à f 0,25 = f 38 /ton d.s.
- personeelskosten:
 - * minimaal 10 man in de ploegendienst + 3 man overige diensten
 - * geleidelijke toename met de capaciteit tot totaal 22 man bij meer dan 50.000 ton d.s./j
 - * loonkosten f 70.000 per manjaar;
- kosten asafvoer:
 - * 0,5 ton à f 60 transport + stort = f 30 /ton d.s.;
- overige kosten (analyses, etc.): f 5 /ton d.s.

<u>basisgegevens</u>								
locatie	Utrecht	-	Oost-Brabant	Utrecht	Zuid-Holland	Oost-Brabant	Zuid-Holland	Zuid-Holland
lit. nr	13	16	7	13	14	7	14	9
ton d.s./j	5.000	7.300	10.000	15.000	25.000	30.000	50.000	76.500
<u>expl. kosten</u> (f/ton d.s.)								
kapitaal	265	93	232	146	225	131	193))250)
onderhoud	55	20	49	31	50	29	43)
hulpbrandstof	57	57	57	57	57	57	57	57
electriciteit	38	38	38	38	38	38	38	38
personeel	182	125	98	70	48	40	31	20
asafvoer	30	30	30	30	30	30	30	30
overige kosten	5	5	5	5	5	5	5	5
<u>totaal exploit.</u> (f/ton d.s.)	632	368	509	377	453	330	397	400