Elk slib verbrandt op zijn eigen wijze

Slib en slib

In een rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) kunnen allerlei soorten slib vrijkomen, zoals primair slib, secundair slib en uitgegist slib. Dit slib bevat slechts enkele procenten vaste stof. Daarom wordt het slib eerst ontwaterd voor het verder wordt verwerkt of naar zijn eindbestemming wordt afgevoerd. Traditionele bestemmingen van slib zijn landbouw en aanverwante toepassingen, stortplaatsen en oppervlaktewater.

H. BARTELDS
TNO Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie, afdeling Verbrandingstechniek te Apeldoorn

De traditionele bestemmingen kunnen helaas de toevloed van slib niet meer aan. De laatste 20 jaar is de slibproduktie van rwzi's meer dan twintigmaal zo groot geworden. Tegelijkertijd is de aandacht voor de milieuschadelijke eigenschappen van slib voortdurend gestegen. Algemeen geldt voor slib, dat metalen en metalloïden, persistente en toxische stoffen tot de schadelijke componenten behoren en dat de hygiënische betrouwbaarheid onvoldoende is. Afzetmoeilijkheden zijn vooral te verwachten in stedelijke, industriële gebieden. Het transporteren van grote hoeveelheden voornamelijk uit water bestaand slib over grotere afstanden is weinig aantrekkelijk en moet dientengevolge worden vermeden.
Het probleem van de slibafvoer kan op de rwzi zelf opgelost worden en wel door slibverbranding. Het lijkt onontkoombaar dat in de nabije toekomst een aanzienlijk groter deel dan de huidige paar procenten van de slibproduktie zal worden verbrand.
Bij verbranding doet het er niet toe of het slib nu actief slib, havenslib, kolenslib, retourslib, rioolslib, spuislib of surplusslib is. Belangrijk is, dat het slib tegen aanvaardbare kosten op milieuhygiënische wijze kan worden verwerkt en dat het goed wil branden. Aan het verbranden van twee soorten slib is in een onderzoek bij TNO uitgebreid aandacht besteed. Dit betreft slib ontwaterd in een centrifuge tot ongeveer 15% droge stof en slib ontwaterd in een filterpers tot ongeveer 40% droge stof. De ontstaansgeschiedenis van beide slibsoorten en verdere details zijn na te lezen in Bartelds e.a. [1, 2].
De samenstelling van het slib van één rwzi en daarmee het verloop van het verbrandingsproces is sterk afhankelijk van seizoensinvloeden en met name van de daarmee samenhangende temperatuurverschillen, die het zuiveringsproces beïnvloeden. Verder spelen wisselingen in de belasting van de zuiveringsinrichting en variaties in de samenstelling van het rioolwater een grote rol. Dit komt mede tot uiting in wisselende asgehalten en calorische waarden van het slib. Bij het ontwerpen van een slibverbrandingsinstallatie moet daarmee rekening worden gehouden.
Een groot aantal slibmonsters van de twee te verstoken slibsoorten zijn geanalyseerd.
In tabel I zijn de meeste voor de verbranding van belang zijnde gegevens vermeld.
De verschillen tussen beide slibsoorten zijn nogal groot. Het slib uit de filterpers bevat erg veel as door kalkdosering voor de filterpers. De bij verbranding benodigde of vrijkomende energie wordt vooral bepaald door het watergehalte van het ontwaterde slib.
In theorie is nu bekend hoe beide slibsoorten zich bij verbranding zullen gedragen. Het gedrag van het slib in een verbrandingsinstallatie in de praktijk kan echter niet uit de laboratoriumgegevens worden afgeleid. Daarvoor moeten proeven op voldoend grote schaal met het te verbranden slib uitgevoerd worden. In principe komen verschillende verbrandingsinstallaties in aanmerking voor slibverbranding, zoals roosterovens, draaitrommelovens, etageovens en wervelbedovens. In de praktijk blijkt de keuze zich meestal te beperken tot etageovens en wervelbedovens met een zekere voorkeur voor wervelbedovens. Wervelbedovens hebben onder andere het voordeel van minder bewegende delen en de afwezigheid van stankemissie in de rookgassen.
Gezien de positieve intrinsieke eigenschappen van het wervelbed en de nog beperkte kennis van wervelbedden voor het verbranden van slib is door TNO het verbrandingsonderzoek in dit oventype uitgevoerd.

Wervelbedoven

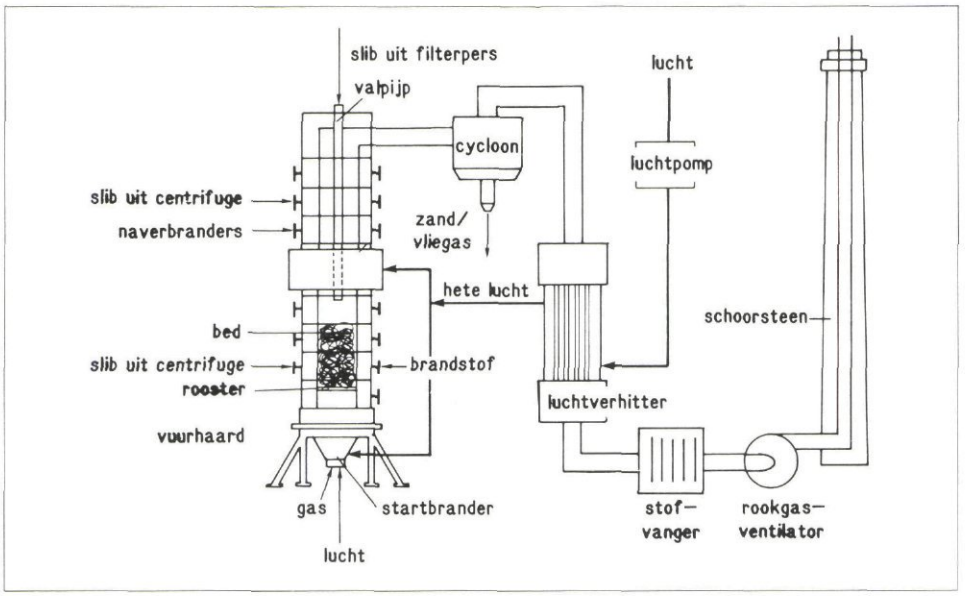
In een wervelbedoven wordt een bed van grotendeels inert materiaal, bijvoorbeeld rivierzand, door een via een roosterplaat binnentredende opwaartse gasstroom in zwevende toestand gebracht, waardoor een intense warmte- en stofoverdracht plaatsvindt.
De in afb. 1 getekende wervelbedoven is ontworpen voor het uitvoeren van goedkope verbrandingsexperimenten met voor praktijkinstallaties representatieve resultaten. De wervelbedoven is opgebouwd uit een aantal cylindervormige elementen. De cylindrische vuurhaard heeft een totale hoogte van circa 5 m, een inwendige diameter van 0,5 m en een uitwendige diameter van 1,2 m. De beddiameter van 0,5 m is gekozen wegens de afwezigheid van wandinvloeden bij beddiameters van 0,5 m en groter zodat de diameterkeuze tot representatieve resultaten leidt. De elementen van de oven zijn samengesteld uit twee betonsoorten. Vuurzijdig is hittebestendig, slijtvast beton toegepast, terwijl de buitenmantel bestaat uit een isolerende betonsoort. Deze constructie staat vuurhaardtemperaturen van circa 1.400 °C toe.
Met behulp van een luchtverhitter wordt de fluïdisatielucht (primaire lucht), die tevens als verbrandingslucht dienst doet, opgewarmd tot 400 à 450 °C en vervolgens in de vuurhaard geblazen. Via een in de luchtverhitter geplaatste warmtewisselaar wordt de met de rookgassen meegevoerde warmte benut.
De benodigde hoeveelheid primaire en secundaire lucht wordt geleverd door een blower (luchtpomp). Deze heeft het voordeel, dat voor elke luchtdebiet een nagenoeg constante opvoerhoogte wordt verkregen.
Met behulp van een voor de schoorsteen geplaatste rookgasventilator kan de druk in de vuurhaard op atmosferische druk worden gehouden. In het rookgasafvoerkanaal is een cycloon geplaatst voor het afscheiden van het grove stof uit de rookgassen. Na de cycloon passeren de rookgassen de luchtverhitter en, voor het afscheiden van het fijne stof, een

TABEL I – *Gemiddelde samenstelling en calorische waarde van droge stof van slib.*

		Slib uit centrifuge	Slib uit filterpers
Koolstof	%	36,8	24,9
Waterstof	%	5,5	2,5
Zuurstof	%	25,6	10,2
Stikstof	%	5,2	2,5
Fosfor	%	2,3	1,7
Zwavel	%	0,6	1,0
As	%	24,0	50,3
Onbekend	%	–	6,9
Calorische bovenwaarde	kJ/kg	16.260	8.550
Calorische onderwaarde	kJ/kg	15.060	7.990
Droge-stofgehalte nat slib	%	14,1	41,8
Aantal slibmonsters	–	12	8

TABEL II – *Minimale en maximale waarden parameters tijdens experimenten.*

		Slib uit centrifuge	Slib uit filterpers
Statische bedhoogte	m	0,40 – 0,90	0,41 – 0,90
Luchtdebiet	Nm^3/h	171 – 403	204,7 – 347,3
Aardgasdebiet	Nm^3/h	10,6 – 24,2	4,6 – 9,8
Slibdebiet	kg/h	40 – 142	120 – 180
Droge-stofgehalte slib	%	12,3 – 15,3	40,3 – 43,9
Bedtemperatuur	°C	774 – 880	771 – 881
Luchtovermaat	%	8 – 63	3 – 40
Fluïdisatiesnelheid zonder slib	m/s	0,8 – 2,9	1,2 – 2,1
Fluïdisatiesnelheid met slib	m/s	1,2 – 3,6	1,8 – 3,0
Gemiddelde afmeting bedmateriaal	mm	0,4 – 0,6	0,93 – 1,34



Afb. 1 - Wervelbedoven.

tweede stofafascheider (doekenfilter).
Het eigenlijke verbrandingsproces vindt plaats in het wervelbed, waarbij het bedmateriaal dienst doet als thermisch vliegwiel. Dit bed rust, wanneer de vuurhaard niet in werking is, op een roosterplaat. De roosterplaat is voorzien van een groot aantal straalpijpen. In elk van deze straalpijpen zijn een groot aantal kleine horizontale gaatjes geboord. De maximale bedhoogte in niet-geëxpandeerde toestand bedraagt circa 1 m. Met behulp van een startbrander, die onder de roosterplaat is aangebracht, wordt de oven op temperatuur gebracht. Als de temperatuur van het bed voldoende hoog is, wordt hulpbrandstof in het bed gedoseerd, waar het verbrandt en daardoor de gewenste temperatuur handhaaft. De startbrander wordt dan uitgeschakeld. Bij de gewenste temperatuur, meestal tussen 800 en 900 °C, kunnen afvalstoffen worden gedoseerd. Hulpbrandstof is niet nodig als de afvalstoffen voldoende calorische waarde hebben. Zuiveringsslib uit de filterpers en zuiveringsslib uit de decanteercentrifuge in sterkere mate hebben te lage calorische waarden om de gewenste bedtemperatuur in stand te houden, zodat voor beide slibsoorten hulpbrandstof tijdens het slibverbrandingsproces gedoseerd moet blijven.

Slib en slibdosering

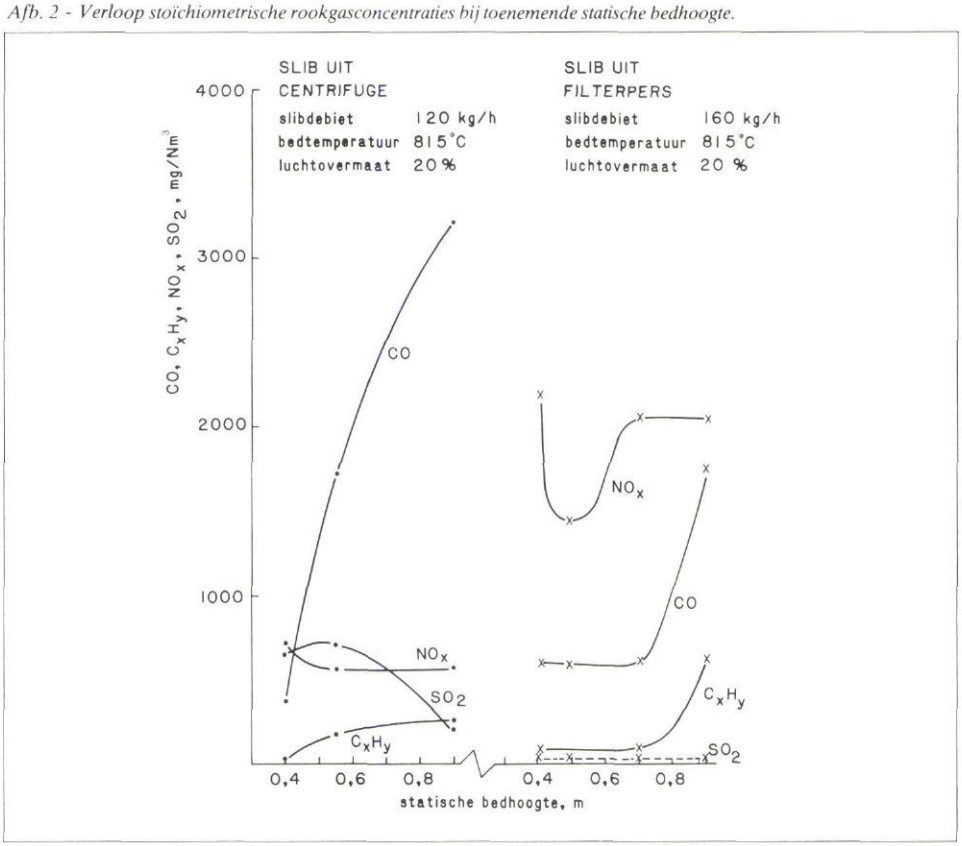
Bij het doseren van slib in een (wervelbed)-oven moet worden nagestreefd, dat:
– de slibtoevoer zeer constant is, zodat te allen tijde voldoende verbrandingslucht beschikbaar is om het slib volledig te verbranden;
– het slib onderin het bed terechtkomt, zodat het gehele volume van het wervelbed op efficiënte wijze wordt benut;
– het slib zo goed mogelijk verdeeld wordt over de doorsnede van de oven, zodat nog slechts weinig radiale menging nodig is.

In de praktijk kan het soms vrij moeilijk zijn om een goede slibdosering te bereiken. Variaties in de slibtoevoer leiden bijvoorbeeld tot sterk verhoogde rookgasconcentraties van milieuverontreinigende stoffen. Het droge-stofgehalte van het slib heeft grote invloed op de toe te passen doseertechniek. Bij lage droge-stofgehalten gedraagt het slib zich als een vloeistof. Slib met 15% droge stof, ontwaterd met een centrifuge, kan verpompt worden. Slib met 40% droge stof, ontwaterd met een filterpers, vormt een steekvaste slibkoek, die niet verpompt doch wel tot korrels verwerkt kan worden en verder als een vaste stof behandeld kan worden. Echter slib met een iets lager droge-stofgehalte dan 40% vormt een dikke, kleverige brij, die zeer moeilijk te verwerken is.
Het slib uit de centrifuge is met monopompen via flexibele leidingen gepompt naar een doseerlans, waarmee op een aantal verschillende plaatsen in de vuurhaard is gedoseerd [1].
Het slib uit de filterpers wordt na een voorbewerking als korrels via een doseerweegband met een continu weegsysteem in een valpijp gestort, zodat het slib centraal in de oven valt [2]. Een transportschroef is ook toegepast voor de slibdosering, maar blijkt minder geschikt te zijn voor een regelmatige slibdosering.
In afb. 1 is een aantal tijdens de proeven benutte slibdoseerpunten aangegeven. Slib gedoseerd boven in de oven blijkt diep in het bed te penetreren.

Verbrandingsexperimenten

De experimenten in de wervelbedvuurhaard zijn onder te verdelen in twee gedeelten. Dit geldt voor beide slibsoorten. Het eerste gedeelte omvat de experimenten, die zijn verricht om de invloed van verschillende

Afb. 2 - Verloop stoïchiometrische rookgasconcentraties bij toenemende statische bedhoogte.



variabelen op het verbrandinsproces na te gaan. Daar het bed, afhankelijk van de wijzigingen in de procescondities, voor de meeste rookgascomponenten relatief snel in een evenwichtstoestand komt, kan op deze wijze binnen een redelijke tijd de invloed van een aantal variabelen worden vastgesteld. Uit de resultaten van deze experimenten worden de optimale procescondities in de wervelbedoven vastgesteld. Het tweede gedeelte omvat metingen voor het opstellen van massa- en energiebalansen bij de gevonden optimale instelling van het verbrandingsproces.

Gevarieerde parameters

Bij de experimenten is een groot aantal parameters gevarieerd. In tabel II zijn de maximale en minimale waarden van een aantal parameters vermeld.
De deeltjesgrootte van het bedmateriaal rivierzand is niet bewust gevarieerd, maar is tijdens beide proevenseries toegenomen door aangroeiing van deeltjes met verbrandingsresten. De fluïdisatiesnelheid in de tabel is de gassnelheid betrokken op de lege doorsnede van de oven. De waterdamp uit het slib levert een aanzienlijke bijdrage aan de fluïdisatiesnelheid. Bij slib uit de centrifuge is relatief veel verbrandingslucht nodig om de hulpbrandstof aardgas te verbranden, waardoor ook de fluïdisatiesnelheid toeneemt.
Afhankelijk van de fluïdisatiesnelheid bedraagt de gefluïdiseerde bedhoogte 1,5 à 2 maal de statische bedhoogte.
De verwerkingscapaciteit (slibdebiet) wordt in sterke mate bepaald door de fluïdisatiesnelheid. Als de fluïdisatiesnelheid de valsnelheid van een bedmateriaaldeeltje overschrijdt, dan wordt dit deeltje met de verbrandingsgassen meegevoerd en verdwijnt zodoende een gedeelte van het bed. Bij een hoge fluïdisatiesnelheid is de verblijftijd van het slib op verbrandingstemperatuur kort, zodat voor een volledige verbranding van het slib en de daaruit ontstane gassen weinig tijd beschikbaar is.

Gasvormige emissies

Een voorbeeld van de invloed van een parametervariatie op de emissies is te zien in afb. 2. De gasconcentraties hebben steeds betrekking op droge rookgassen, waarbij teruggerekend is naar stoïchiometrische (0% zuurstof in de rookgassen) condities aan het einde van de vuurhaard. De stikstofoxydenconcentraties NO_x worden uitgedrukt in NO_2-equivalenten terwijl de koolwaterstoffenconcentraties C_xH_y uitgedrukt worden in CH_4-equivalenten.
Uit afb. 2 blijkt, dat het voor beide slibsoorten geen aanbeveling verdient een grote bedhoogte toe te passen, omdat dan onvolledige verbranding met koolmonoxyde- en koolwaterstoffenemissies gaat optreden. Voor wervelbedovens geldt deze aanbeveling zeker niet in het algemeen, want bij steenkoolverbranding wordt volledige verbranding juist bevorderd door een grote bedhoogte.
Het verloop van de concentraties van CO en C_xH_y is bij beide slibsoorten verschillend.
De verschillen met betrekking tot de stikstofoxydenconcentraties NO_x en zwaveldioxydeconcentraties SO_2 zijn echter nog veel groter. De NO_x-concentratie in de rookgassen is bij verbranding van slib uit de filterpers ongeveer een factor 3 hoger dan bij verbranding van slib uit de centrifuge.
Een groot gedeelte van het verschil wordt echter veroorzaakt door verdunningseffecten ten gevolge van de rookgassen van de aardgasverbranding, hetgeen een veel groter effect heeft bij slib uit de centrifuge vergeleken met slib uit de filterpers.
De hoogte van de NO_x-concentratie wordt behalve door het verbrandingsproces vooral bepaald door de in tabel I vermelde stikstofgehalten van het slib. Voor beide slibsoorten geldt, dat van de stikstof in het slib minder dan 10% wordt omgezet naar stikstofoxyden. Dit percentage is erg laag vergeleken met de bij steenkoolverbranding optredende percentages.
Het meest indrukwekkende verschil in de rookgasconcentraties heeft betrekking op SO_2. Bij verbranding van slib uit de filterpers is de SO_2-concentratie in de rookgassen zo laag, dat zij nauwelijks meetbaar is. In het slib bevindt zich een grote overmaat aan calcium, waardoor alle zwavel met het calcium en zuurstof in het gefluïdiseerde bed kan reageren tot calciumsulfaat, dat als vaste stof in het bed achterblijft.

Optimale bedrijfsvoering

De resultaten van de experimenten met parametervariaties spelen een voorname rol bij de keuze van een optimale bedrijfsvoering. Aan het verbrandingsproces worden met betrekking tot de uitworp van milieuverontreinigende componenten een aantal, gedeeltelijk tegenstrijdige, eisen gesteld.
De koolstof, de koolmonoxyde en de koolwaterstoffen moeten volledig verbranden.
De zwavel moet reageren tot calciumsulfaat.
De stikstof in het slib moet niet omgezet worden naar stikdstofoxyden. Gevormde stikstofoxyden moeten in de naverbrandingsruimte boven het bed zoveel mogelijk weer gereduceerd worden. De rookgasconcentraties van koolmonoxyde, koolwaterstoffen, stikstofoxyden en zwaveldioxyde (voor slib uit centrifuge) zijn sterk afhankelijk van de procescondities.
Aan het verbrandingsproces worden naast eisen met betrekking tot de uitworp van luchtverontreinigende componenten ook eisen gesteld met betrekking tot een zuinig energieverbruik. Het energieverbruik van het proces is te splitsen in verbruik van hulpbrandstof aardgas en van elektriciteit voor de verbrandingsluchtpomp (blower), rookgasventilator, etc. Het aardgasverbruik neemt af bij toenemende luchtovermaat, toenemende bedhoogte, afnemende bedtemperatuur en afnemend slibdebiet.
Het elektriciteitsverbruik is laag bij een laag luchtdebiet (per kilogram slib) en een kleine bedhoogte.
Om bedrijfseconomische redenen zijn behalve een laag energieverbruik, een grote verwerkingscapaciteit gewenst, dus een hoog slibdebiet, en een laag rookgasdebiet, dus weinig rookgassen te reinigen en weinig thermische rookgasverliezen.
De experimentele resultaten en de bedrijfseconomische voorwaarden leiden samen tot de in tabel III vermelde parameters voor een optimale bedrijfsvoering.

TABEL III – *Parameters voor een optimale bedrijfsvoering.*

		Slib uit centrifuge	Slib uit filterpers
Slibdebiet	kg/h	100	160
Luchtovermaat	%	20	20
Bedtemperatuur	°C	825	835
Bedhoogte	m	0,55	0,55

Experimenten met optimale bedrijfsvoering

Bij stationair thermisch evenwicht zijn gedurende de experimenten met optimale bedrijfsvoering balansmetingen uitgevoerd. Tijdens de balansmetingen zijn alle procesparameters em overige grootheden, waaronder debieten, temperaturen en rookgassamenstellingen, gemeten. Tevens zijn monsters genomen en geanalyseerd van het zuiveringsslib, het bedmateriaal, het cycloonstof, het doekenfilterstof en het stof in de rookgassen.
De metingen zijn uitgevoerd om:
– gegevens te verzamelen over het verloop van de samenstelling van de rookgassen en de vaste-stofdeeltjes gedurende een langere periode bij stationaire bedrijfsvoering onder met de industriële praktijk vergelijkbare omstandigheden;
– balansen te kunnen opstellen over de complete verbrandingsinstallatie met betrekking tot gasvormige componenten en elementen, stofstromen, zware metalen en energiestromen.

Rookgasconcentraties bij optimale bedrijfsvoering

In tabel IV zijn de rookgasconcentraties tijdens de balansmetingen vergeleken met de rookgasconcentraties tijdens korte-duurproeven met overeenkomstige bedrijfsvoering.
Bij verbranding van slib uit de centrifuge blijken vooral de concentraties van CO en C_xH_y pas bij langere duur van de experimenten constant te blijven.
De betekenis van de tijdsfactor voor het doen

TABEL IV – *Rookgasconcentraties tijdens korte-duurproeven en balansmetingen.*

		Slib uit centrifuge		Slib uit filterpers	
		korte-duurproef	balansmeting	korte-duurproef	balansmeting
Zuurstof	vol. %	3,4	3,5	3,7	3,2
Kooldioxyde	vol. %	12,0	11,4	13,0	13,9
Koolmomoxyde	mg/Nm³	550	78	584	607
Koolwaterstoffen	mg/Nm³	27	14	–	–
Stikstofoxyden	mg/Nm³	391	348	1.450	1.970
Zwaveldioxyde	mg/Nm³	903	923	< 20	< 20

TABEL V – *Massabalans over wervelbedoven van stof, metalen en metalloïden bij verbranding van slib uit centrifuge en slib uit filterpers.*

	Toevoer met slib g/h	Afvoer naar bed %	Afvoer naar cycloon %	Afvoer naar doekenfilter %	Afvoer naar rookgassen %	Restpost %
Centrifuge						
Stof	4.100	0,0	34,8	56,4	1,9	3,3
Zink	21,0	10,5	28,8	55,8	2,4	2,5
Koper	28,3	14,8	25,8	45,5	1,7	12,2
Cadmium	1,3	62,5	20,2	41,3	2,0	–26,0
Filterpers						
Stof	35.350	7,6	72,4	18,4	0,01	1,6
Arseen	0,547	8,2	19,9	21,3	<24,4	26,2
Zink	85,0	7,5	76,0	23,3	0,16	– 7,0
Koper	45,9	2,2	54,5	13,9	0,08	29,3
Cadmium	<0,578	< 2,3	20,4	< 22,5	31,7	23,1
Calcium	16.890	3,8	51,2	16,1	N.G.	28,9
IJzer	1.600	4,8	75,6	20,4	N.G.	– 0,8
Fosfor	1.210	3,9	55,8	12,2	N.G.	28,1
Zwavel	645	12,4	30,7	11,1	< 0,4	45,3

van verbrandingsexperimenten is hiermee duidelijk aangetoond. Bij verbranding van slib uit de filterpers zijn de verschillen tussen de rookgasconcentraties bij de korte-duurproef en bij de balansmeting minder opvallend, omdat bij het begin van deze korte-duurproef door voorafgaande experimenten stationair thermisch evenwicht nagenoeg was bereikt.
Opvallend in tabel IV zijn weer de grote verschillen in NO_x- en SO_2-concentraties bij verbranding van beide slibsoorten.

Massabalans zware metalen voor slib uit centrifuge

Teneinde inzicht te verkrijgen in de nauwkeurigheid van de metingen is het noodzakelijk om massabalansen op te stellen. De moeilijkheidsgraad daarvan wordt goed weergegeven door de accumulatie van circa 0,8 g cadmium per uur in het bed met een massa van 200 kg. De gemeten massabalansen voor stof, zware metalen en metalloïden zijn weergegeven in tabel V. Uit deze tabel blijkt, dat voor slib uit de centrifuge geen gewichtstoename van het bedmateriaal plaatsvindt. Het stof wordt grotendeels in de cycloon en het doekenfilter afgevangen. Circa 2% van het met het slib toegevoerde inerte stof wordt met de rookgassen geëmitteerd.

Het zink blijft voor meer dan 10% in het bed achter. Van het met het slib toegevoerde zink wordt iets meer dan 2% geëmitteerd.
Het koper blijft voor bijna 15% in het bed achter. Van het koper wordt bijna 2% met de rookgassen geëmitteerd.
Het cadmium blijkt voor meer dan 60% in het bed achter te blijven, hetgeen, gezien de hoge en negatieve sluitpost in de cadmiumbalans, waarschijnlijk een te hoge waarde is. De emissie van cadmium bedraagt 2% van het met het slib toegevoerde cadmium.

TABEL VI – *Massa- en energiebalans van vuurhaard voor balansmeting bij verbranding van slib uit filterpers.*

	kg/h	kW		kg/h	kW
Slib	160,00	161,21	Zuurstof	13,63	3,45
Aardgas	7,00	82,04	Kooldioxyde	74,62	20,39
Primaire lucht	351,16	28,42	Stikstof	293,29	79,87
Doseerlucht	8,67	0,04	Waterdamp	121,11	143,41
Meegesleurde lucht	20,72	0,09	Vliegstof	31,54	9,34
			Organische elementen (als vliegstof)	6,72	1,99
			Bedmateriaal	2,70	0,75
			Organische elementen (als bedmateriaal)	0,13	0,04
			Onbekend slib	4,10	1,92
			Warmteverliezen vuurhaard	–	12,86
			Restpost	0,01	– 2,22
Toevoer massa/energie	547,85	271,80	Afvoer massa/energie	547,85	271,80

Massabalans zware metalen en metalloïden voor slib uit filterpers

Voor het slib uit de filterpers treden duidelijk lagere stofemissies op. Een gedeelte van de vaste stof (slibas) komt in het bed terecht, zodat het bed periodiek moet worden afgetapt. Het vliegstof wordt bijna geheel in de cycloon en het doekenfilter afgevangen. De werking van de stofvangers is erg goed. Slechts 0,01% van de vaste stof passeert de stofvangers, waardoor slechts een zeer klein gedeelte van het vliegstof met de rookgassen de schoorsteen verlaat. De restpost in de vaste-stofbalans is laag.
Van het zink en het koper wordt respectievelijk 0,16% en 0,08% geëmitteerd, terwijl het cadmium voor meer dan 30% met de rookgassen wordt meegevoerd.
Zwavel wordt voor een relatief groot deel geconcentreerd in het bed, hetgeen kan samenhangen met de lage smeltpunten van sommige (complexe) sulfaten, waardoor de vorming van grote deeltjes mogelijk wordt. De vorming van calciumsulfaat uit calcium, zwavel en zuurstof kan daarbij ook een rol spelen. De restpost in de zwavelbalans bedraagt bijna 50%. Slechts een gering gedeelte van de zwavel wordt als zwaveldioxyde geëmitteerd.
Zoals uit tabel V blijkt, zijn de restposten behalve voor zwavel ook voor een aantal andere elementen vrij groot.

Invloed slibsoort op emissies stof en metalen

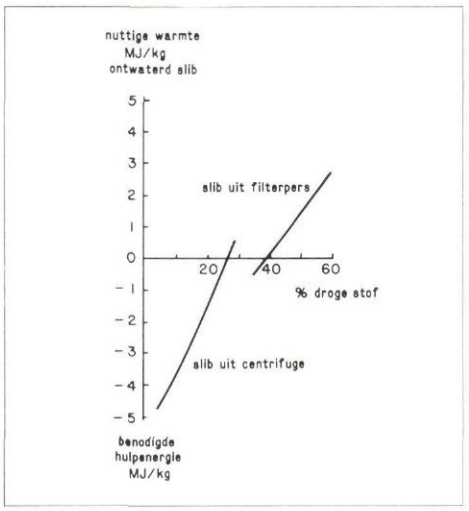
De werking van de cycloon en het doekenfilter wordt nogal beïnvloed door de slibsoort. Behalve met de deeltjesgrootteverdeling van het stof hangt dit samen met de aard van het stof, waarin voor slib uit de filterpers erg veel fijn, kleverig (calcium)poeder voortkomt. Daardoor blijkt de stofafscheiding te verbeteren, zoals uit tabel V blijkt. De drukval over het doekenfilter neemt echter toe.
De emissies van metalen zijn sterk gerelateerd aan de emissie van stof zodat bij een hoge stofemissie vaak ook een hoge metaalemissie optreedt. Een belangrijke rol wordt daarbij gespeeld door de grootte van de geëmitteerde deeltjes en door de vluchtigheid van het betrokken metaal. Cadmium, lood en kwik zullen daarom voor een relatief groot deel worden geëmitteerd.
Het is duidelijk, dat het slib een aanzienlijke invloed kan uitoefenen op de emissies van metalen. Bij het ontwerpen van een installatie met rookgasreiniging moet men daarmee rekening houden.

Energiebalans vuurhaard

De procescondities voor de energiebalans van de vuurhaard zijn in tabel III gegeven. Met de gegevens van het slib (tabel I) en de temperatuur van de primaire lucht kan dan zowel de energiebalans als de massabalans van de vuurhaard worden berekend. Deze

TABEL VII – *Procentuele energiebalansen van industriële slibverbrandingsinstallaties bij toepassing van optimale warmteterugwinning uit rookgassen.*

	%		%
Slib uit *centrifuge*	23	Warmteverliezen installatie	5
Aardgas	62	Warmteverliezen warmteterugwinning	5
Primaire lucht	12	Warmte voor primaire lucht	13
Luchtpomp	2	Rookgassen (200 °C)	43
Rookgasventilator	1	Winbare energie	34
Toevoer energie	100	Afvoer energie	100
Slib uit *filterpers*	59	Warmteverliezen installatie	5
Aardgas	28	Warmteverliezen warmteterugwinning	5
Primaire lucht	10	Warmte voor primaire lucht	11
Luchtpomp	2	Rookgassen (200 °C)	41
Rookgasventilator	1	Winbare energie	38
Toevoer energie	100	Afvoer energie	100



Afb. 3 - Energie-overschot/-behoefte bij verbranding van ontwaterd slib in een wervelbedverbrandingsinstallatie met optimale warmteterugwinning.

berekeningen zijn nogal omslachtig, omdat meerdere iteratiecycli nodig zijn.
De energiebalans ten opzichte van 0 °C en 101,3 kPa voor de vuurhaard luidt:
Energie slib + energie aardgas + energie verbrandingslucht = energie rookgassen + warmteverliezen.
Onder energie wordt dan telkens verstaan de som van thermische energie en chemische energie. In de praktijk moet ook nog rekening worden gehouden met elektrische energie voor luchtpomp en rookgasventilator om de optredende drukval over de installatie te overwinnen.
In tabel VI is een voorbeeld gegeven van een massa- en energiebalans, die is opgesteld naar aanleiding van de balansmetingen bij de verbranding van slib uit de filterpers.
De warmteverliezen zijn ongeveer gelijk aan 5% van de aan de vuurhaard toegevoerde energie.

Energiebalansen industriële slibverbrandingsinstallaties

Uit de balansmetingen zijn zowel voor het slib uit de centrifuge als voor het slib uit de filterpers energiebalansen opgesteld voor de experimentele wervelbedverbrandings-installatie. De installatie is niet ontworpen voor een optimale energiebenutting bij alle denkbare experimenten, omdat voorrang is gegeven aan de voor de experimenten benodigde flexibiliteit. De rookgassen worden zowel voor als na de luchtverhitter door bijmenging van lucht afgekoeld.
De cycloon is niet volledig geïsoleerd, zodat aanzienlijke warmteverliezen kunnen optreden.
Voor een industriële installatie met een optimale warmteterugwinning en een goede isolatie kan op basis van de energiebalans van de experimentele installatie de energiebalans worden bepaald. De resultaten voor beide slibsoorten zijn vermeld in tabel VII. Bij het toepassen van optimale warmteterugwinning bedraagt de netto-energiebehoefte aan hulpbrandstof ongeveer 3 MJ/kg slib uit de centrifuge en het netto-energieoverschot ongeveer 0,25 MJ/kg slib uit de filterpers.
Uit tabel VII blijkt, dat de procentuele verdeling van de energietoevoer sterk beïnvloed wordt door de slibsoort in tegenstelling tot de procentuele verdeling van de energieafvoer.
Naast verschillen in de verdeling van de energietoevoer bestaan er ook verschillen in de verdeling van de massastromen naar de installaties. Bij het ontwerpen van installaties moet ook daarmee rekening worden gehouden.
In afb. 3 is voor de beide slibsoorten de energiebehoefte of -overschot weergegeven als functie van het droge-stofgehalte.
Het met de centrifuge ontwaterde slib blijkt bij een droge-stofgehalte hoger dan 26% nuttige warmte te kunnen leveren. Bij slib uit de filterpers moet hiervoor tot meer dan 38% ontwaterd worden. Dit wordt verklaard door het hogere inerte bestanddeel van de droge stof van dit slib ten opzichte van het slib uit de centrifuge.

Conclusies

Uit het onderzoek blijkt, dat de onderzochte slibsoorten op verantwoorde wijze in een wervelbedoven kunnen worden verbrand.
De emissies van zware metalen naar de lucht zijn laag bij voldoende afkoeling van de rookgassen en gebruik van een efficiënte stofvanger.
Aangezien ieder slib op zijn eigen wijze verbrandt, zijn proefverbrandingen nodig om tot een goed ontwerp van de praktijk-installatie te komen. De proefverbrandingen moeten uitgevoerd worden in een installatie, die zoals bij de TNO-installatie representatieve resultaten voor de praktijkinstallatie oplevert.

Literatuur

1. Bartelds, H., Brem, G., and De Koning, J. (1983). *Environment, energy and operation by fluidized combustion of sewage sludge dewatered in a decantation centrifuge.* Proceedings 7th Members Conference of the International Flame Research Foundation, IJmuiden, The Netherlands.
2. Bartelds, H., Brem, G. und De Koning, J. (1983). *Umwelt-, Energie- und Betriebsaspekte bei Wirbelschichtverbrennung von mittels einer Filterpresse entwässertem Klärschlamm, VDI-Berichte 498, 67-75.*

● ● ●

• *End of page 499*

In general the presented measures prove not to be sufficient to meet the requirement within the fixed time. The way in which this is presented is different for all plans (own requirements, referring to foreign countries, codswallop strategy and so on).
It proves that the plans have reached a deadlock because of three factors: insufficient money, resulting from the protest of the population against a further increase in the pollution levy; insufficient power, in respect of the pollution from abroad or the influence of the agriculture; insufficient knowledge to be able to mention clearly what measures will be necessary to meet the requirements.
It is suggested that the Public Authorities in an open discussion with the drafters, insist on further working-out of the problems mentioned in the plans.

H_2O (17) 1984, nr. 22; 527
U.D.C. 628.21

F. H. M. VAN DE VEN:

Report on the 3d int. conference on Urban Storm Drainage; Göteborg, 3-8 June 1984

The impressions of the author about the material presented at the 3d int. conference on Urban Storm Drainage are submitted in this article. The material is available elsewhere.