Thermische balans van slibverbranding in wervelbedovens en toepassingsmogelijkheden

'Afvalwaterzuivering is slechts dan efficiënt opgelost als ook het ontstane slib onschadelijk afgevoerd kan worden', zo zei Leonardo da Vinci (1452-1519) [1].
Vijf eeuwen later stelde Karl Imhoff (1951) [1]: *'Ein Klärwerk, das seinen Schlamm nicht loswerden kann, ist nichts wert'.*

Met een aanzienlijke groei van de slibproduktie van rioolwaterzuiveringsinrichtingen en de problematiek van de afzet van zuiveringsslib, waarbij men rekening moet houden met factoren als gehalten aan



F. A. FASTENAU
afd. Civiele Techniek
vakgroep Gezondheidstechniek TH Delft

zware metalen, mestoverschotten, etc., zijn bovenstaande citaten nog steeds actueel.
Een vergaande slibontwatering, c.q. volumereductie, kan gewenst zijn om het slib af te kunnen blijven zetten. De grootste volumereductie wordt verkregen door verbranding van het slib.
Belangrijk bij dit verbrandingsproces is de thermische balans van de oven. Met behulp hiervan kan men bijvoorbeeld een schatting maken van de eventueel benodigde aanvullende brandstof (kosten) wanneer het droge-stofgehalte van de te verbranden slibkoek zo laag is, dat autotherme verbranding van het slib niet mogelijk is.
In het volgende wordt een theoretische opzet van de thermische balans voor wervelbedovens beschreven en aangegeven hoe de benodigde hoeveelheid aanvullende brandstof (olie of aardgas) en de invloed hiervan op de verwerkingscapaciteit kunnen worden bepaald.
Van de berekening is een grafische uitwerking gegeven waardoor tevens inzicht wordt verkregen in de gevoeligheid van de thermische balans voor wijziging van de procesparameters.

Theoretische thermische balans van wervelbedovens

Men kan twee typen wervelbedovens onderscheiden:
– wervelbedovens met koude windketel (FB_K-oven), waarbij de verbrandingslucht niet voorverwarmd wordt;
– wervelbedovens met hete windketel (FB_H-oven), waarbij de verbrandingslucht voorverwarmd wordt met behulp van een rookgas-lucht-warmtewisselaar.
Beide typen zijn schematisch weergegeven in afb. 1, evenals de schema's voor de thermische balans. Voor de thermische balans van de FB_H-oven zijn twee schema's gegeven. Met behulp van deze twee schema's kan de thermische balans voor de warmtewisselaar worden opgesteld. Daar hierop niet verder wordt ingegaan, wordt verwezen naar [13].
De schema's van de FB_K-oven en de FB_H-oven, volgens afb. 1a, zijn qua structuur en symbolen identiek, zodat dit eveneens geldt voor de opzet van de betreffende balansvergelijkingen.
Deze opzet zal nader worden uitgewerkt.

In de meeste praktijksituaties wordt het verbrandingsproces op of onder het punt van autotherme slibverbranding bedreven.
De oventemperatuur zal dan zelden hoger zijn dan 850 °C zodat er nauwelijks of geen koelwater nodig is om de temperatuur van de rookgassen acceptabel te houden (t_f maximaal 850-900 °C).
De invloed van koelwater kan dan ook verwaarloosd worden.
Wanneer wordt uitgegaan van een stationaire toestand, dat wil zeggen dat de termen van de balans in de tijd constant zijn (wat in praktijk niet geheel het geval zal zijn), dan is de thermische balans:

Ingaande warmte-energie-inhoud + Vrijkomende warmte-energie = Uitgaande warmte-energie-inhoud + Warmte-energieverliezen.

Als referentietemperatuur voor de warmte-energie-inhoud wordt 0 °C (273 K) aangehouden (de temperatuur van gesmolten ijs).
De termen van de balans bestaan uit de componenten aangegeven in afb. 2. Ingevuld in de balans levert dit de vergelijking:
$S_s + S_A = \mu[\Sigma H_{M2} - \Sigma H_{M1}]$

Ten aanzien van de in te voeren specifieke warmten, specifieke hoeveelheden verbrandingslucht en gasvormige oxyden en toe te passen componenten in de balans zijn verschillen in opvattingen geconstateerd in de literatuur.
In het kader van een afstudeeropdracht aan de TH Delft is door de auteur hiernaar onderzoek verricht en de volgende vereenvoudigingen in de balans zijn een samenvatting hiervan. De vereenvoudigingen zijn gecontroleerd met praktijkresultaten van de FB_H-oven te Oyen [3] en bleken goed te voldoen.

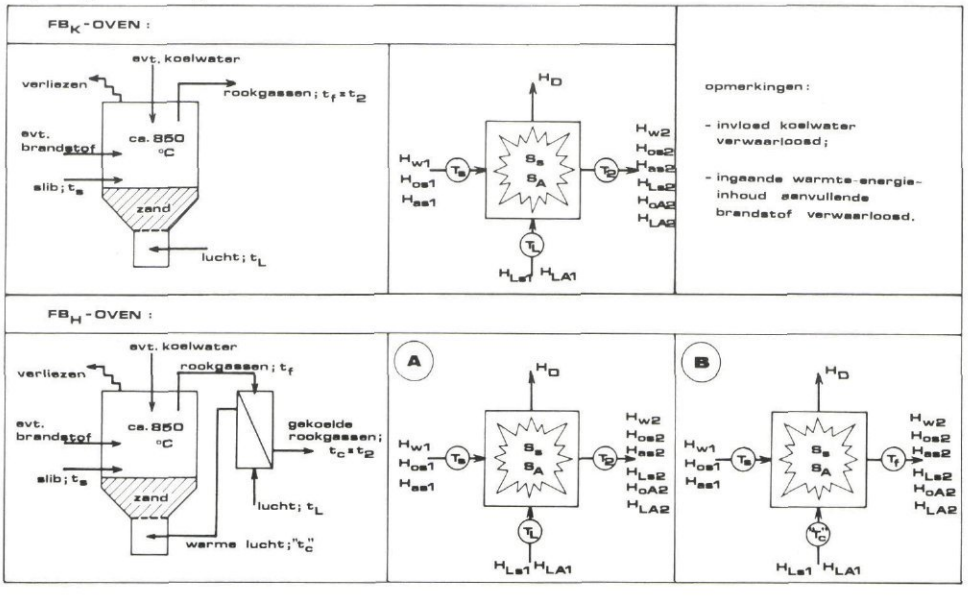
Vereenvoudigingen in de balans

De specifieke warmten c zijn afhankelijk van het doorlopen temperatuurtraject. Afb. 3 geeft hiervan een voorbeeld.
Voor nauwkeurige berekeningen is toepassing van de juiste getalswaarden voor c nodig. In andere gevallen kan men volstaan met benaderingswaarden (tabel I), geldig voor een 'willekeurig' temperatuurtraject binnen de praktijksituaties.
In plaats van de opsplitsing van de droge stof van het slib in een organische en een anorganische fractie kan men voor minder nauwkeurige berekeningen ook uitgaan van

TABEL I – *Benaderingswaarden voor specifieke warmten c_m.*

Materie		$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	$kJ \cdot Nm^{-3} \cdot K^{-1}$
c_{as}	– anorganische stof	1,00	
c_L	– lucht		1,36
c_{os}	– organische stof	1,00	
c_{oxA}	– organische stof-oxyden brandstof		2,00
c_{oxs}	– organische stof-oxyden slib		2,00
c_s	– slibdrogestof	1,26	
c_v	– waterdamp	2,10	
c_w	– water	4,19	

Afb. 1 - Schema's van thermische balansen bij slibverbranding in wervelbedovens met koude en hete windketel (resp. FB_K-oven en FB_H-oven).



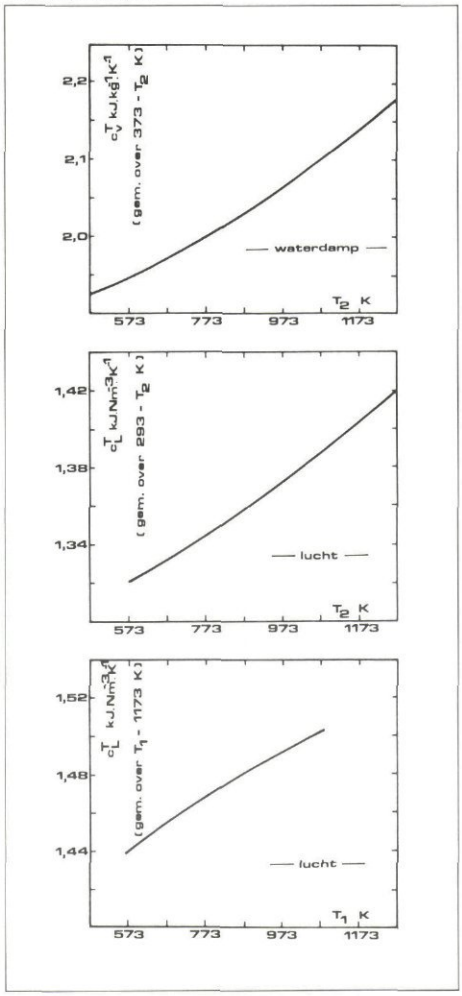
de totale hoeveelheid droge stof van het slib. In dat geval geldt:
$(H_{os2} + H_{as2}) - (H_{os1} + H_{as1}) = H_{s2} - H_{s1} =$
$D \cdot c_s^{T_2} \cdot (T_2\text{-}273) - D \cdot c_s^{T_s} \cdot (T_s\text{-}273)$

In talrijke praktijkgevallen is deze vereenvoudiging mogelijk door voor $c_s^{T_s}$ en $c_s^{T_2}$ de waarde 1,26 kJ · kg^{-1} · K^{-1} aan te houden. Voor de verdampingswaarde E_w van water bij 100 °C kan de waarde 2.260 kJ · kg^{-1} worden aangehouden.
Met deze vereenvoudigingen kan de balans worden herschreven als:
$D_{os} \cdot GCV_s + A \cdot GCV_A =$
$\mu \{W \cdot [4{,}19 \cdot (373\text{-}T_s) + 2.260 + 2{,}1 \cdot (T_2 - 373)] + D \cdot 1{,}26 \cdot (T_2 - T_s) + (D_{os} \cdot L_s + A \cdot L_A) \cdot \lambda \cdot 1{,}36 \cdot (T_2 - T_L) + A \cdot L_{foxA} \cdot 2{,}0 \cdot (T_2\text{-}273)\}$ in kJ per kg slib.

Ten aanzien van de aanvullende brandstof kan worden aangehouden:
– per kg olie: $L_A = 10{,}5$ Nm^3; $L_{foxA} = 0{,}6$ Nm^3; $GCV_A = 41.900$ kJ;
– per Nm^3 aardgas: $L_A = 8{,}32$ Nm^3; $L_{foxA} = 0{,}8$ Nm^3; $GCV_A = 31.400$ kJ.

Aangenomen dat de absolute warmte-energie-verliezen bij beide oventypen

Afb. 3 - Enige specifieke warmten in relatie tot het temperatuurtraject.



INGAANDE WARMTE-ENERGIE-INHOUD

slib	– slibwater	: H_{w1}	$= W \cdot c_w^{T_s} \cdot (T_s\text{-}273)$
	– organische stof	: H_{os1}	$= D_{os} \cdot c_{os}^{T_s} \cdot (T_s\text{-}273)$
	– anorganische stof	: H_{as1}	$= D_{as} \cdot c_{as}^{T_s} \cdot (T_s\text{-}273)$
	– lucht	: H_{Ls1}	$= D_{os} \cdot L_s \cdot \lambda \cdot c_L^{T_L} \cdot (T_L\text{-}273)$
brandstof	– lucht	: H_{LA1}	$= A \cdot L_A \cdot \lambda \cdot c_L^{T_L} \cdot (T_L\text{-}273)$
Totaal		: ΣH_{M1}	

(ingaande warmte-energie-inhoud aanvullende brandstof i.h.a. te verwaarlozen)

VRIJKOMENDE WARMTE-ENERGIE

slib : $S_s = D_{os} \cdot GCV_s$
brandstof : $S_A = A \cdot GCV_A$

UITGAANDE WARMTE-ENERGIE-INHOUD

slib	– waterdamp	: H_{w2}	$= W \cdot (c_w^{373} \cdot 100 + E_w + c_v^{T_2} \cdot T_2 - c_v^{373} \cdot 373)$
	– organische stof-oxyden	: H_{os2}	$= D_{os} \cdot L_{foxs} \cdot c_{oxs}^{T_2} \cdot (T_2\text{-}273)$
	– as	: H_{as2}	$= D_{as} \cdot c_{as}^{T_2} \cdot (T_2\text{-}273)$
	– lucht	: H_{Ls2}	$= D_{os} \cdot L_s \cdot \lambda \cdot c_L^{T_2} \cdot (T_2\text{-}273)$
brandstof	– organische stof-oxyden	: H_{oA2}	$= A \cdot L_{foxA} \cdot c_{oxA}^{T_2} \cdot (T_2\text{-}273)$
	– lucht	: H_{LA2}	$= A \cdot L_A \cdot \lambda \cdot c_L^{T_2} \cdot (T_2\text{-}273)$
Totaal		: ΣH_{M2}	

WARMTE-ENERGIEVERLIEZEN

Geschat op een bepaald percentage van de bij de verbranding vrijkomende warmte-energie:

$$H_D = (\mu\text{-}1) \cdot (S_s + S_A)/\mu$$

Afb. 2 - Componenten thermische balans slibverbranding in wervelbedovens (koelwater verwaarloosd) in kJ per kg slib.

ongeveer gelijk zijn, dan zal de verliesfactor μ bij de FB_H-oven hoger moeten zijn dan bij de FB_K-oven, aangezien T_2 in het eerste geval geringer is.
De volgende aannamen blijken redelijk te voldoen:
– FB_K-oven: $\mu = 1{,}02$–$1{,}05$;
– FB_H-oven: $\mu = 1{,}05$–$1{,}10$.

Voor L_s en GCV_s zijn geen algemene waarden te geven; zij zijn specifiek voor iedere slibsoort, afhankelijk van de structuurformule van de organische stof. Als vereenvoudiging kan gebruik gemaakt worden van de bevindingen van Eggink [3], dat de CZV- en de verbrandingswaarden van slib een grote vergelijkbaarheid bezitten. Eggink stelt: '1 gmol O_2 komt overeen met 100 kcal of 1 kg CZV = ca. 3.100 kcal'.
Ook voor de specifieke verbrandingsluchtbehoefte kan gebruik gemaakt worden van de CZV-waarden.
Hierdoor wordt:

$GCV_s = CZV \cdot 12.970$ kJ per kg organische stof

$L_s = CZV/0{,}3$ Nm^3 per kg organische stof

De luchtovermaatfactor λ bij wervelbedovens bedraagt in de praktijk ca. 1,2-1,5 en dient zodanig gekozen te worden dat volledige oxydatie wordt bewerkstelligd en explosieve mengsels in de rookgassen worden vermeden.

Benodigde hoeveelheid aanvullende brandstof

Beschouwt men alleen de componenten met betrekking tot het slib in de balans, dan kan men schrijven:

$X + S_s =$
$\mu[(H_{w2} + H_{s2} + H_{Ls2}) - (H_{w1} + H_{s1} + H_{Ls1})]$

Hierin stelt X het energie-tekort op de thermische 'slib'-balans voor. Een energie-overschot (X negatief) kan betekenen dat koelwater toegevoegd moet worden. Hierop wordt verder niet ingegaan.
Indien X gelijk is aan 0 dan is juist autotherme slibverbranding mogelijk onder de gegeven omstandigheden.
Een energietekort (X positief) dient gedekt te worden door het gebruik van aanvullende brandstof, als men de slibverbranding onder de gegeven procesvariabelen mogelijk wil maken. Uit de thermische balans volgt dan de benodigde hoeveelheid aanvullende brandstof:

$$A = \frac{X}{GCV_A \cdot \eta}$$

Hierin is η het rendement van de aanvullende

brandstof onder de gegeven condities (inclusief warmte-energie-verliezen):

$$\eta = \frac{1}{\mu} - \left[\frac{L_A \cdot \lambda \cdot 1{,}36 \cdot (T_2 - T_L) + L_{foxA} \cdot 2{,}0 \cdot (T_2 - 273)}{GCV_A}\right]$$

Bij een hoge luchtovermaatfactor λ en geen voorverwarming van de verbrandingslucht (t_2 hoog) is het rendement η van de brandstof zeer gering, een reden temeer om de rookgaswarmte te benutten voor verwarming van de verbrandingslucht.

Verwerkingscapaciteit van de oven

Een groot aantal factoren bepaalt de verwerkingscapaciteit van de oven, zoals:
- de slibaanvoercapaciteit;
- de ovenafmetingen, het bedvolume;
- de capaciteit van de rookgas-lucht-warmtewisselaar;
- de fluïdisatiestatus van het bed;
- de luchttoevoercapaciteit ten opzichte van de benodigde verbrandingslucht.

Indien het gehele slibverwerkingssysteem is gedimensioneerd op de situatie waarin juist autotherme slibverbranding mogelijk is, kan men aannemen dat de benodigde hoeveelheid verbrandingslucht bepalend is voor de verwerkingscapaciteit van de oven.
De benodigde hoeveelheid verbrandingslucht bedraagt:
$L_{tot} = \lambda \cdot (D_{os} \cdot L_s + A \cdot L_A)$ Nm^3 per kg slib.
Stel dat de geïnstalleerde luchttoevoercapaciteit L_{toe} Nm^3 per uur is, dan bedraagt de slibverwerkingscapaciteit:
L_{toe}/L_{tot} kg slib per uur.
De droge-stofverwerkingscapaciteit is:
$D \cdot L_{toe}/L_{tot}$ kg droge stof per uur.
Deze schattingen van de verwerkingscapaciteiten voldoen goed indien de oven op of onder het punt van autotherme slibverbranding wordt geëxploiteerd.

Grafische uitwerking

Gebruikmakende van voorgaande vergelijkingen is een aantal grafieken opgesteld, dat kan dienen om de hoeveelheid brandstof grafisch te bepalen (afb. 4 en 5).
Met afbeeldingen 4 en 5 kunnen respectievelijk het energietekort X op de thermische 'slib'-balans en de benodigde hoeveelheid aanvullende brandstof worden bepaald.
De temperaturen van het slib (t_s) en de lucht (t_L) zijn op 15 °C aangenomen. Afwijkingen hierin van ± 10 °C hebben slechts geringe invloed op de uitkomsten van de berekeningen.
De toepassing van de grafieken is verduidelijkt met een rekenvoorbeeld, waarbij gebruik wordt gemaakt van procesgegevens vermeld in tabel II (naar praktijkgegevens FB_H-oven Oyen [3]).
Van slibsoort a (tabel II) is bekend dat deze onder de gegeven condities autotherm te verbranden is (te controleren met afb. 4: X = 0), waarbij de verwerkingscapaciteit 4,3 ton slib per uur bedraagt (1.032 kg droge stof per uur).
Voor slibsoort b (tabel II) zijn aanvullende brandstof en verwerkingscapaciteit als volgt te bepalen.

Afb. 4:
- Grafiek I: Uit D en t_2 volgt de benodigde warmte-energie voor het slib: 3,13 MJ per kg slib (incl. 5% verliezen).
- Grafiek II, III, IV: Uit D, % gloeirest van D en CZV volgt een vrijkomende warmte-energie S_s = 3,19 kJ per kg slib, en een minimale hoeveelheid verbrandingslucht: $D_{os} \cdot L_s = L_{slib}$ = 0,82 Nm^3 per kg slib.
- Grafiek IV, V: Uit L_{slib}, λ en t_2 volgt de benodigde warmte-energie voor de verbrandingslucht voor het slib: 0,89 MJ per kg slib (incl. 5% verliezen).
- Energietekort X op de thermische 'slib'-balans bedraagt:
(3,13 + 0,89) – 3,19 = 0,83 MJ per kg slib.

Afb. 5:
- Grafiek VII: Uit λ en t_2 volgt een rendement η = 0,64 van het aardgas. Uit η en X volgt een aardgasbehoefte: A = 0,042 Nm^3 per kg slib, wat een extra minimale hoeveelheid verbrandingslucht betekent ter grootte van: $A \cdot L_A = L_a$ = 0,35 Nm^3 per kg slib.
(N.B.: voor olie verloopt de berekening analoog, gebruikmakend van grafiek VI).

Uit grafiek VIII (afb. 5) of grafiek IV (afb. 4) volgt uit de totale minimale luchtbehoefte ($L_{slib} + L_a$) en λ, de totale hoeveelheid verbrandingslucht: L_{tot} = 1,68 Nm^3 per kg slib.
De verwerkingscapaciteit bij een luchttoevoercapaciteit L_{toe} = 6.400 $Nm^3 \cdot h^{-1}$ bedraagt dan:
L_{toe}/L_{tot} = 3,8 ton slib per uur (760 kg droge stof per uur).
Deze resultaten stemmen goed overeen met de in de praktijk gemeten waarden [3[.

Invloed aanvullende brandstof op de verwerkingscapaciteit

Om een beeld te geven van de invloed van de slibkarakteristieken en de aanvullende brandstof op de verwerkingscapaciteit wordt uitgegaan van twee ideële situaties, waarbij slechts één slibkarakteristiek varieert.
Stel: CZV = 1,6; λ = 1,4; $t_s = t_L$ = 15 °C; t_2 = 550 °C; 5% verliezen.
- D varieert; gloeirest = 25% van D.

Bij D = 0,26 is de slibverbranding nagenoeg autotherm.
Brandstofbehoeften en verwerkingscapaciteiten bij verschillende droge-stofgehalten worden gegeven in tabel III.
- Gloeirest varieert; D = 0,22.

Bij een gloeirest van 7% van D is de slibverbranding juist autotherm. Brandstofbehoeften en verwerkingscapaciteiten bij verschillende gloeirestpercentages worden gegeven in tabel IV.
Uit tabellen III en IV valt op te maken dat bij

TABEL II – *Gegevens slibkarakteristieken en stookomstandigheden (naar praktijkgegevens wervelbedoven Oyen [3]).*

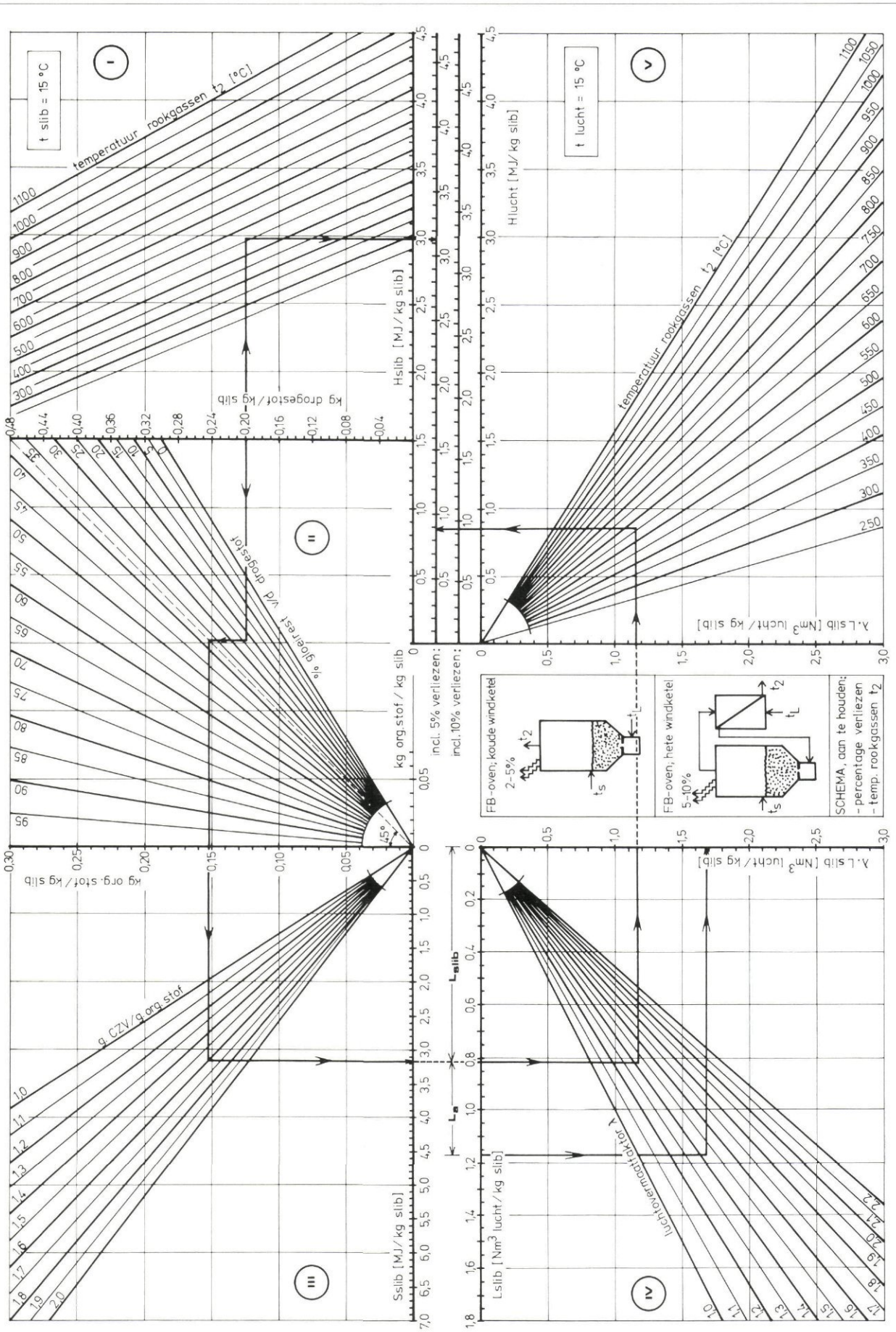
Parameter	slib a	slib b
D [kg droge stof per kg slib]	0,24	0,20
gloeirest [% van D]	25	23
CZV [g per g organische stof]	1,8	1,6
λ [–]	1,378	1,438
t_2 [°C]	568	558
L_{toe} [$Nm^3 \cdot h^{-1}$]	6.400	6.400
verliezen [%]	5	5

TABEL III – *Brandstofbehoefte en verwerkingscapaciteit bij verschillende droge-stofgehalten. (CZV = 1,6; gloeirest = 25% van D; λ = 1,4; t_2 = 550 °C; 5% verliezen).*

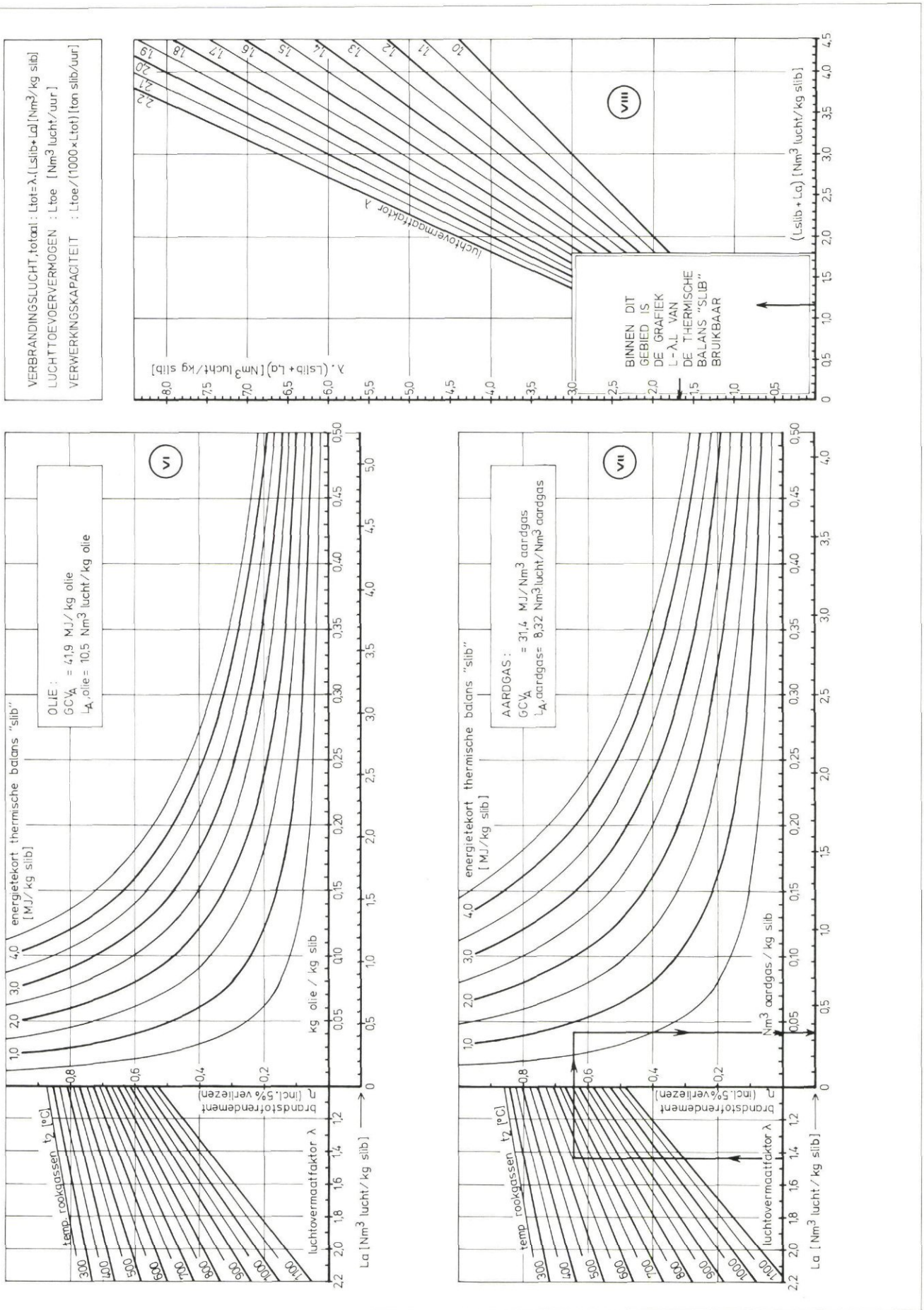
		Droge-stofgehalten [%]						
		26	24	20	16	12	8	4
OLIE:								
kg per ton slib		–	11	31	51	71	91	111
slib/h	[%]	100	97	93	89	85	82	78
droge stof/h	[%]	100	90	71	55	39	25	12
AARDGAS:								
Nm^3 per ton slib		–	15	43	71	98	126	154
slib/h	[%]	100	96	90	85	80	76	72
droge stof/h	[%]	100	89	69	52	37	23	11

TABEL IV – *Brandstofbehoefte en verwerkingscapaciteit bij verschillende percentages gloeirest. (CZV = 1,6; D = 0,22; λ = 1,4; t_2 = 550 °C; 5% verliezen).*

		% gloeirest van de droge stof						
		7	15	25	35	45	55	65
OLIE:								
kg per ton slib		–	9	21	32	44	55	67
slib/h	[%]	100	100	99	99	99	98	98
droge stof/h	[%]	100	100	99	99	99	98	98
AARDGAS:								
Nm^3 per ton slib		–	13	29	45	61	77	94
slib/h	[%]	100	99	97	96	95	93	91
droge stof/h	[%]	100	99	97	96	95	93	91



Afb. 4 - Grafische uitwerking van de thermische balans van wervelbedovens bij verbranding van slib.



Afb. 5 - Grafische uitwerking van de benodigde hoeveelheid aanvullende brandstof bij slibverbranding in wervelbedovens.

SYMBOLENLIJST

A	aanvullende brandstof	kg olie per kg slib; Nm^3 aardgas per kg slib
c_m^T	gemiddelde specifieke warmte materie m over het temperatuurtraject 273-T [K]	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$; $kJ \cdot Nm^{-3} \cdot K^{-1}$
CZV	chemisch zuurstofverbruik	g per g organische stof
D	droge stof van het slib	kg per kg slib
D_{as}	anorganische stof van het slib	kg per kg slib
D_{os}	organische stof van het slib	kg per kg slib
E_w	verdampingswarmte water (373 K)	kJ per kg water
GCV_A	stookwaarde aanvullende brandstof	kJ per kg olie; kJ per Nm^3 aardgas
GCV_s	bruto-stookwaarde slib	kJ per kg organische stof
H_D	warmte-energieverliezen	kJ per kg slib
H_{M1}	ingaande warmte-energie-inhoud balanscomponent M t.o.v. referentietemperatuur (273K)	kJ per kg slib
H_{M2}	uitgaande warmte-energie-inhoud balanscomponent M t.o.v. referentietemperatuur (273 K)	kJ per kg slib
L_a	minimale hoeveelheid lucht voor aanvullende brandstof: $A \cdot L_A$	Nm^3 per kg slib
L_A	specifieke luchtbehoefte voor aanvullende brandstof	Nm^3 per kg olie; Nm^3 per Nm^3 aardgas
L_{foxA}	specifiek volume organische stofoxyden van aanvullende brandstof in rookgassen	Nm^3 per kg olie; Nm^3 per Nm^3 aardgas
L_{foxs}	specifiek volume organische stofoxyden van slib in rookgassen	Nm^3 per kg organische stof
L_{slib}	minimale hoeveelheid lucht voor slib: $D_{os} \cdot L_s$	Nm^3 per kg slib
L_s	specifieke luchtbehoefte voor slib	Nm^3 per kg organische stof
L_{toe}	luchttoevoercapaciteit	Nm^3 per uur
L_{tot}	verbrandingslucht voor proces: $\lambda \cdot (L_{slib} + L_a)$	Nm^3 per kg slib
t	temperatuur	°C
T	absolute temperatuur (t+273)	K
t_c; T_c	(absolute) temperatuur rookgassen na passage warmtewisselaar	°C; K
"t_c"; "T_c"	(absolute) temperatuur verbrandingslucht na passage warmtewisselaar	°C; K
t_f; T_f	(absolute) temperatuur rookgassen bij ovenuitgang	°C; K
t_L; T_L	(absolute) temperatuur aangevoerde lucht	°C; K
t_s; T_s	(absolute) temperatuur aangevoerd slib	°C; K
t_2; T_2	(absolute) temperatuur rookgassen, afhankelijk van oventype: – FB_K-oven; $t_2 = t_f$ – FB_H-oven; $t_2 = t_c$	°C; K
W	slibwater	kg per kg slib
X	energietekort op thermische 'slib'-balans	kJ per kg slib
η	rendement aanvullende brandstof	–
λ	luchtovermaatfactor: $L_{tot}/(L_{slib} + L_a)$	–
μ	factor in verband met warmte-energieverliezen	–

een toenemende hoeveelheid aanvullende brandstof de verwerkingscapaciteit in meer of mindere mate afneemt. Bij toename van de gloeirest is deze afname veel minder geprononceerd dan bij afname van het drogestofgehalte.
Deze bevinding doet vermoeden, dat men niet in zijn algemeenheid kan stellen dat de afname in verwerkingscapaciteit veroorzaakt wordt door de zuurstofbehoefte van de aanvullende brandstof, zoals men zou kunnen opmaken uit de opmerkingen van Eggink [3].
Bij de overweging slibverbranding toe te passen, bijvoorbeeld als een van de alternatieven om sterk verontreinigde slibsoorten te verwerken, is het een goede zaak om eerst na te gaan welke ontwateringsgraad van het slib vereist is voor autotherme slibverbranding en of deze ontwatering redelijk benaderbaar is, zodat teleurstellingen achteraf worden voorkomen.
De in dit artikel beschreven thermische balans kan hierbij een hulpmiddel zijn.

Dankwoord
De auteur bedankt prof. ir. A. C. J. Koot voor zijn hulp bij het opstellen van deze publikatie.

Literatuur

1. Dickgiesser, G. (1981). *Klärschlammentsorgung - Verfahrenshinweise und -empfehlungen aufgrund von Kostenminimierungs- und Betriebssicherheitsbetrachtungen.* Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, blz. 5.
2. Weast, R. C. and Astle, M. J. (1982-1983). *CRC Handbook of Chemistry and Physics.* 63rd edition, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
3. Eggink, H. J. (1978). *De capaciteit van de wervelbedoven in Oyen.* H_2O (11), 1978, nr. 13, blz. 285-287.
4. *Slibontwatering tot meer dan 40% drogestof.* Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater, Rijswijk, 1979, blz. 82-103.
5. Koot, A. C. J. (1980). *Behandeling van afvalwater.* Uitgeverij Waltman, Delft, (2e druk), blz. 330-338.
6. *Sludge utilization and disposal seminar.* Environmental Protection Service Canada, Toronto, Ontario, 1978 (congresverslagen), blz. 254-277.
7. *Sludge handling and disposal seminar.* Environmental Protection Service Canada, Toronto, Ontario, 1974 (congresverslagen), blz. 391-412.
8. Pallasch, O. und Triebel, W. (1969). *Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band III.* Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-München, blz. 54-59.
9. Daesdonk, A. J. van en Sande, A. J. van de (1979). *Slibverbranding in een wervelbedoven.* H_2O (12) 1979, nr. 14, blz. 306-309.
10. Gniosdorsch, L. G. (1979). *Ein Beitrag über den Einfluss der in Abhängigkeit von der Verfahrensmässigen Durchführung der biologischen Abwasserreinigung bedingten Schlammeigenschaften auf die Schlammentwässerung und anschliessende Verbrennung.* Institut für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt, blz. 80-123.
11. Eggink, H. J. (1983). *Verbrandingswaarde van zuiveringsslib en de vereiste ovencapaciteit.* H_2O (16) 1983, nr. 22, blz. 492-496.
12. Irmer, H. (1977). *Rechnergestützte Planung von Anlagen zur Klärschlammbehandlung.* Technische Hochschule Darmstadt, blz. 252-261.
13. Fastenau, F. A. (1984). *Slibverbranding in wervelbedovens & milieueffecten van slibverwerking en -afzet.* Technische Hogeschool Delft, blz. 1-46.

● ● ●

Zweedse Int. Inventors Awards uitgeloofd

Bij gelegenheid van het 100-jarig bestaan van de Zweedse Uitvinders Vereniging in 1986 worden vier prijzen van $ 27.000 beschikbaar gesteld in de categorieën water, energie, bosbouw en industrie. Gegadigden dienen hun vinding in eerste instantie ter beoordeling aan te bieden aan de secretarisgeneraal van een der grote internationale organisaties, zoals voor water betreft de UNDP en wel vóór 1 augustus a.s.
Voorzitter van het IIA Water Comité is Bertil Hawerman, directeur van de Zweedse vereniging van exploitanten van waterleidingbedrijven en afvalwaterzuiveringsbedrijven te Stockholm. Nadere inlichtingen zijn bij hem te verkrijgen op het adres: VAV, Postbus 16020, S-10321.

Int. Seminarie over de bodem in Brussel

De dienst voor Chemische Ingenieurstechniek en Industriële Scheikunde van de Vrije Universiteit Brussel organiseert op 6 en 7 juni a.s. een 5de Internationaal Seminarie met als thema 'Bodemverontreiniging en -sanering'.
Aandacht wordt besteed aan de diverse methoden om bodemverontreiniging op te sporen en vast te stellen, de actie van de Overheid terzake, niet alleen in Vlaanderen, maar ook in Nederland en de Duitse Bondsrepubliek, het standpunt van de openbare of private instellingen, die voor de verontreiniging verantwoordelijk gesteld worden en de beschikbare bodemreinigingstechnieken, zowel (elektro-, fysico-)chemisch als thermisch.
Verdere inlichtingen verstrekt Ann Torfs, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussel, telef.: 09 - 32 26 41 32 37.