

NN31050.82-04

1982\_04

**stora**

**Compost en zwarte grond**

**uit**

**zuiveringsslib**

**1. Systemen, technologie en ervaring  
(inventarisatie)**

32/440(3-1)

DELIKTIEKE  
STATUSBOEK

1988

**stora**

postbus 414, 2280 AK rijswijk

☎ 070 - 980.287

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

# Compost en zwarte grond uit zuiveringsslib

1. Systemen, technologie en ervaring  
(inventarisatie)



0000 0404 9991

18 JUN 1988

Jan 1988

	Inhoud	I - II
	Ten geleide	III
1	SAMENVATTING	1 - 3
2	INLEIDING	4 - 5
3	HET UITGANGSPRODUKT	6 - 8
3.1	Hoeveelheden	6
3.2	Kwaliteit	6 - 8
3.2.1	<i>fysische eigenschappen</i>	6
3.2.2	<i>landbouwkundige waarde</i>	6
3.2.3	<i>zware metalen</i>	6 - 7
3.2.4	<i>pesticiden en polychloorbyphenylen (PCB's)</i>	7 - 8
4	SLIBCOMPOSTERING	9 - 57
4.1	Procestechnologische aspecten	9 - 22
4.1.1	<i>omschrijving composteringsproces</i>	9 - 10
4.1.2	<i>verhouding koolstof/stikstof</i>	10 - 12
4.1.3	<i>temperatuur</i>	12 - 13
4.1.4	<i>vochtgehalte</i>	13 - 15
4.1.5	<i>zuurstof/luchthebeefte</i>	15 - 17
4.1.6	<i>porositeit</i>	17 - 18
4.1.7	<i>toeslagbeheefte</i>	18 - 19
4.1.8	<i>stabilisatie van compost</i>	19 - 22
4.2	Kwaliteitsaspecten	22 - 31
4.2.1	<i>landbouwkundige waarde</i>	22 - 23
4.2.2	<i>zeefkwaliteit</i>	23 - 24
4.2.3	<i>verontreinigingen</i>	24 - 25
4.2.4	<i>pathogeniteit</i>	25 - 27
4.2.5	<i>desinfectie door pasteurisatie</i>	27 - 31
4.3	Slibcomposteringssystemen	31 - 43
4.3.1	<i>algemeen</i>	31
4.3.2	<i>open systemen</i>	32 - 35
4.3.3	<i>gesloten systemen</i>	36 - 43
4.4	Praktijkervaring	43 - 57
4.4.1	<i>inleiding</i>	43 - 44
4.4.2	<i>windrow-compostering</i>	44 - 47
4.4.3	<i>aerated static pile</i>	47 - 53
4.4.4	<i>bioeelreactor</i>	53 - 57
5	ZWARTEGRONDBEREIDING	58 - 88
5.1	Bodemkundige omschrijving zwarte grond	58 - 60
5.1.1	<i>algemene bodemkundige beschouwing</i>	58 - 59
5.1.2	<i>omschrijving van zwarte grond</i>	59 - 60
5.2	Procestechnologische aspecten	60 - 62
5.2.1	<i>rijping</i>	60 - 61
5.2.2	<i>hoedanigheid ontwaterd slib</i>	61 - 62
5.2.3	<i>toeslagstoffen</i>	62
5.3	Kwaliteitsaspecten	63 - 69

5.3.1	<i>bemestende waarde</i>	63 - 65
5.3.2	<i>pathogeniteit</i>	65 - 66
5.3.3	<i>verontreinigingen</i>	66 - 69
5.4	Afzetmogelijkheden	69 - 72
5.5	Bereidingsprocessen	72 - 74
5.5.1	<i>algemeen</i>	72
5.5.2	<i>zwarte grond uit steekvast slib bereid</i>	72 - 74
5.5.3	<i>zwarte grond uit nat slib bereid</i>	74
5.6	Praktijkervaringen	74 - 88
5.6.1	<i>inleiding</i>	74 - 75
5.6.2	<i>zwartegrondbereiding uit natuurlijk ontwaterd slib</i>	75 - 82
5.6.3	<i>zwartegrondbereiding uit mechanisch ontwaterd slib</i>	82 - 83
5.6.4	<i>zwartegrondbereiding via het slibfreesprocédé</i>	84 - 88
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	89 - 90
6.1	Conclusies	89 - 90
6.2	Aanbevelingen	90
7	LITERATUUR	91 - 96
	BIJLAGE	
	Milieuwetgeving	97 - 98

## Ten geleide

Naast afzet in de landbouw is bereiding van compost en zwarte grond uit zuiveringsslib de belangrijkste vorm van slibafzet met een nuttige bestemming.

In deze literatuurstudie zijn de belangrijkste technische en financiële aspecten van slibcompostering en zwartegrondbereiding uit zuiveringsslib bijeengebracht. Tevens is een overzicht gegeven van praktijkervaringen in Nederland; waar deze ervaring ontbreekt of slechts zeer beperkt aanwezig was, is gebruik gemaakt van gegevens uit het buitenland.

Het onderzoek werd door het algemeen bestuur van de STORA - op voorstel van de Onderzoekadviescommissie\* - opgedragen aan de Grontmij N.V. en namens de STORA begeleid door een commissie bestaande uit drs. J. Verhaagen (voorzitter), mevr. ir. L.E. Duvoort-van Engers, ir. H.M.J. Scheltinga en ir. K. Strijbis.

september 1982.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

\* De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit: prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en dr.ir. H.J. Eggink, prof.dr. P.G. Fohr, ir. R. Karper, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. J.S. Kuiper, ir. Th.G. Martijn, ir. H.A. Meijer, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubink, ir. J. van Selm, ir. M. Tiessens, drs. A.A. Wismeijer (leden).

*compostering*

Bij compostering van zuiveringsslib worden de organische bestanddelen van het slib door aërobe micro-organismen afgebroken tot stabiele, humusachtige produkten. Het proces wordt voornamelijk beheerst door het C/N-quotiënt, de temperatuur, het vochtgehalte, de zuurstofbehoefte en de porositeit van de te composteren massa. De aard en de hoeveelheid van toeslagmaterialen is van invloed op deze procesfactoren. De stabilisatiegraad van de compost is een criterium voor de beoordeling van het eindprodukt.

De C/N-verhouding in zuiveringsslib is in het algemeen voldoende hoog, zodat het niet noodzakelijk is extra koolstof toe te voegen.

De optimale maximum temperatuur is 65°C; om het slib bovendien te desinfecteren moet deze temperatuur tenminste enkele dagen gehandhaafd blijven. Het te composteren materiaal moet voldoende vochtig zijn. Bij een vochtgehalte lager dan 30% komt het composteringsproces tot stilstand, terwijl bij een vochtgehalte hoger dan 60% het proces omslaat van aëroob naar anaëroob. Tijdens het proces is lucht nodig voor de zuurstofvoorziening en de afvoer van vocht en warmte. Om luchttransport mogelijk te maken moet tenminste 30% van het totale volume te composteren materiaal uit met lucht gevulde ruimte bestaan. Om deze porositeit te realiseren zijn toeslagmaterialen noodzakelijk. De hoeveelheden en aard van deze toeslagstoffen zijn afhankelijk van composteringwijze en te verwerken slib. De stabilisatiegraad van de organische bestanddelen wordt gebruikt om vast te stellen of het composteringsproces zo ver gevorderd is, dat van een min of meer stabiel eindprodukt gesproken kan worden.

De kwaliteit van de geproduceerde compost wordt bepaald door de landbouwkundige waarde, de zeefkwaliteit (korrelgrootte) en de aard en de hoeveelheid van eventueel aanwezige verontreinigingen en pathogene organismen. Landbouwkundig gezien is compost op de eerste plaats een bodemstructuurverbeterend middel. Als meststof is de werking beperkt; wel wordt door compost de werking van andere meststoffen bevorderd. De zeefkwaliteit van de compost is afhankelijk van de toeslagmaterialen en het al of niet uitgeven ervan. De verontreinigingen in compost kunnen bestaan uit zware metalen, toxische milieuvreemde stoffen en ziektekiemen. Het gehalte aan zware metalen en milieuvreemde stoffen in het eindprodukt is direkt afhankelijk van de kwaliteit van het verwerkte slib en de aard en hoeveelheid van de toeslagmaterialen.

Bij een juist verlopend composteringsproces met een temperatuur van 55 à 60°C gedurende twee dagen wordt de compost voldoende gedesinfecteerd.

In tegenstelling tot huisvuilcompost bevat slibcompost geen scherven, waardoor slibcompost een visueel aantrekkelijker produkt is.

Compostering van zuiveringsslib kan zowel in de buitenlucht als in een afgesloten ruimte uitgevoerd worden (open, respectievelijk gesloten systemen). Binnen deze hoofdindeling kunnen de systemen worden onderverdeeld naar procestecnologische aspecten (zoals de wijze van opslag en omzetting van de materialen) de toeslagmaterialen en de wijze van beluchting.

Open composteringssystemen, die in hoofdzaak in de Verenigde Staten zijn ontwikkeld en beproefd, worden onderverdeeld in systemen, waarbij het te composteren materiaal wordt belucht door regelmatig omzetten, en systemen waarbij een geforceerde beluchting met ventilatoren wordt toegepast.

De eerste methode staat bekend als "windrow"-compostering, terwijl het

systeem met geforceerde beluchting wordt aangeduid met "aerated static pile".

Het belangrijkste nadeel van de windrow-methode is het vrijkomen van stank bij het omzetten van het materiaal. Dit probleem doet zich bij een aerated static pile niet voor. Daarentegen zijn storingen in een static pile weer moeilijker op te heffen.

Het al of niet optreden van nadelige milieueffecten bij compostering in open systemen wordt bepaald door de wijze van uitvoering. Door de eenvoud van het systeem blijven de kosten beperkt tot circa f 250,-- à f 300,-- per ton slib op drogestofbasis.

In Europa zijn diverse gesloten slibcomposteringssystemen ontwikkeld, die worden onderscheiden op basis van de positie en de inrichting van het reactorvat of de reactortoren. Er worden zowel horizontaal als verticaal geplaatste reactoren aangetroffen; de horizontale reactoren roteren langzaam om hun eigen as, waardoor de te composteren massa intensief gemengd en geróerd wordt. De verticale systemen zijn zowel ééncellig, als meer-cellig uitgevoerd. In het laatste geval is een betere procesbeheersing mogelijk.

Met de gesloten systemen kunnen zeer goede resultaten bereikt worden met nauwelijks of geheel geen nadelige milieueffecten. Door de vereiste technische voorzieningen kunnen de verwerkingskosten van 1 ton slib op drogestofbasis oplopen tot circa f 550,--.

Praktijkervaring met slibcompostering in gesloten systemen ontbreekt in Nederland geheel, terwijl de open systemen sedert medio 1981 op beperkte schaal op enkele lokaties worden toegepast. De eerste resultaten zijn veelbelovend.

#### *zwartegrondbereiding*

Zwarte grond wordt bodemkundig gedefinieerd als een grondmengsel dat dient tot verbetering van het groeimilieu op voor plantengroei niet of weinig geschikte gronden. Hiertoe dient de zwarte grond voldoende vocht te kunnen vasthouden, een voldoende hoog basisbemestingsniveau te bezitten en bodemfysisch geschikt te zijn voor plantengroei.

Het basismateriaal voor de zwartegrondbereiding is gedeeltelijk ontwaterd slib, dat nog onvoldoende gerijpt is. Het bereidingsproces wordt bepaald door de hoedanigheid van het ontwaterde slib, de fysische en chemische rijping van het slib en de aard en verwerkingswijze van de toeslagmaterialen (meestal zand).

De hoedanigheid van het ontwaterde slib is afhankelijk van het toegepaste zuiveringsproces en de wijze van ontwatering. In het algemeen leent natuurlijk ontwaterd slib - en in het bijzonder anaëroob uitgegist slib - zich het best voor zwartegrondbereiding. Mechanisch ontwaterd slib, dat chemisch geconditioneerd is, is slechts moeizaam en met veel extra handelingen tot zwarte grond te verwerken. Dit mechanisch ontwaterde slib rijpt slecht en is moeilijk verder te ontwateren; slechts het direkt mengen met toeslagstoffen en het regelmatig omzetten van het mengsel kan enige verbetering opleveren.

De bemestingswaarde van uit slib bereide zwarte grond is afhankelijk van de aard en de hoedanigheid van het slib en de toeslagstoffen en van de mengverhouding tussen de diverse componenten. Bij de meest toegepaste slibsoorten en mengverhoudingen blijkt dat in eerste instantie alle voedingsstoffen voldoende aanwezig zijn en dat voor fosfaat en magnesium zelfs van een ruime voorraadbemesting kan worden gesproken. De pathogene kiemen nemen in het al-

gemeen sterk af tot aantallen beneden de M.I.D.-50 waarde, terwijl het gehalte aan zware metalen en toxische milieuvreemde stoffen zo sterk afhankelijk is van de uitgangsprодукten en de mengverhoudingen dat hierover geen algemene uitspraak gedaan kan worden.

De processen om zwarte grond uit zuiveringsslib te bereiden kunnen ingedeeld worden naar de ontwateringstoestand van het slib (steekvast of vloeibaar) op het moment van menging met de toeslagmaterialen.

Bij het verwerken van natuurlijk ontwaterd slib worden de beste resultaten bereikt, indien het slib reeds in een vergevorderd rijpingsstadium verkeert, voordat het gemengd wordt met zand en eventuele andere toeslagmaterialen. In dit geval is op betrekkelijk eenvoudige wijze zwarte grond te bereiden met gunstige fysische eigenschappen. Indien het slib, na conditionering met - bijvoorbeeld - polymeren of kalk en ijzerchloride, mechanisch ontwaterd is, moet echter wel direkt gemengd worden met toeslagstoffen. Alleen op deze wijze kan zulk slib verder rijpen en ontwateren.

Op praktijkschaal zijn in Nederland goede resultaten bereikt met zwarte-grondbereiding uit natuurlijk ontwaterd, steekvast slib. Op grote schaal toegepast bedroegen de kosten circa f 200,-- à f 250,-- per ton slib op drogestofbasis.

De praktijkervaringen met mechanisch ontwaterd slib zijn minder gunstig; de verwerking van dit slib eist extra bewerkingen, waardoor de kostprijs aanzienlijk verhoogd kan worden.

De commerciële positie van uit zuiveringsslib bereide zwarte grond is sterk afhankelijk van de locale situatie.



Tot 1985 zal de produktie van zuiveringsslib in Nederland aanzienlijk stijgen; ten opzichte van 1978 wordt met een verdubbeling gerekend<sup>2,3,4,5</sup>.

Het is daarom nodig, zoveel mogelijk afzetgebieden te ontsluiten, of te ontwikkelen. Hierbij zijn zowel nuttige bestemmingen (afzet in de landbouw, compostering en zwartegrondbereiding) als bestemmingen zonder nuttig karakter (storten, verbranden) te onderscheiden.

Dit rapport behandelt de bereiding van compost en zwarte grond uit zuiveringsslib. Daarbij wordt ingegaan op de procestehnologie, de verschillende verwerkingssystemen, investerings- en exploitatiekosten en gebruikswaarde van het eindprodukt. Als bijlage zijn uittreksels uit de relevante milieuwetgeving opgenomen.

Het onderzoek is beperkt tot een studie naar de stand van zaken waarbij buitenlandse ervaringen zo veel mogelijk vertaald zijn naar de Nederlandse situatie. Ook is Nederlandse praktijkervaring op dit gebied in het rapport opgenomen.

Vraag en aanbod van slibprodukten worden vooral beïnvloed door randvoorwaarden van politieke ("de vervuiler betaalt"), milieuhygiënische (zware metalen, ziektekiemen) en commerciële (afzetmarkt) aard.

"Vraag en aanbod" zijn in het kader van deze - primair technische - studie niet diepgaand onderzocht.

Het zoeken naar nuttige toepassingen van zuiveringsslib wordt bemoeilijkt door, al dan niet gefundeerde, maatschappelijke bezwaren.

Deze vinden hun oorzaak onder meer in de algemeen heersende onrust ten aanzien van het gebruik van afvalstoffen welke vaak tot uiting komt in onvolledige of onjuiste (dag- en weekblad) publicaties.

Voorbeeld hiervan is de misvatting ten aanzien van steriliteit van koeien door weidebemesting met slib waarin restanten van de anti-conceptiepil aanwezig zouden zijn.

Wanneer slib wordt beschouwd als een onderhoudsmeststof met relatief beperkte bemestende waarde, dan kan voor de Nederlandse situatie concurrentie verwacht worden van dierlijke meststoffen.

In tabel 1 wordt een indruk gegeven van de bemestende waarde van verschillende organische meststoffen.

Ook afval van landbouwgewassen zou na een composteringsproces als onderhoudsmeststof in aanmerking kunnen komen.

produkt	d.s. %	org. stof*	N*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	K <sub>2</sub> O*	CaO*	MgO*
	%	%	%	%	%	%	%
stalmest	21,5	65	2,6	1,8	1,6	1,9	0,7
gier	2,6	38,5	15,4	0,8	30,8	3,8	-
rundvee- drijfmest	9,5	63,2	4,6	2,1	5,3	2,1	1,1
varkens- drijfmest	8	78,8	8,8	5	5	4,4	1,3
kippedrijf- mest	16	71,9	5,6	5,5	2,8	10,4	0,9
nat slib	5	60,5	4,4	4,6	0,4	4,8	0,4

Tabel 1. Samenstelling van verschillende organische meststoffen<sup>5,2</sup>

\* Gehalten in procenten van de droge stof.

De concurrentie van bijvoorbeeld varkensdrijfmest met slib is weer te geven aan de hand van het volgende rekenvoorbeeld<sup>22</sup>:

- de mestoverschotten in de concentratiegebieden Gelderland, Noord-Brabant en Limburg bedragen circa 3.000.000 m<sup>3</sup>/jaar met een drogestofgehalte van 8%. De hoeveelheid fosfaat en stikstof hierin bedragen respectievelijk 15.000 ton P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en 20.000 ton N.
- De totale slibproductie voor 1985 is gepland op 400.000 ton droge stof/jaar, hetgeen overeenkomt met 18.000 ton P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en 17.000 ton N.

Hieruit blijkt dat het bemestend potentieel van zuiveringsslib anno 1985 van een gelijke orde is als de huidige varkensmestoverschotten in de drie concentratiegebieden.

De afzetmogelijkheden van zuiveringsslib worden bepaald door de transportafstand, de samenstelling en de kwaliteit van het produkt en de aard van het bodemgebruik in de regio van de slibproducent.

De transportkosten kunnen voor 1981 op f 0,50 per m<sup>3</sup>/km worden gesteld, waardoor de actieradius van het slibtransport ten opzichte van de verwerking ter plaatse beperkt wordt. In het onderstaande voorbeeld wordt de invloed van de transportkosten toegelicht:

- nat slib à 5% droge stof  
afstand 15 km. f 150,- per ton droge stof
- steekvast slib à 20% droge stof  
afstand 15 km f 37,50 per ton droge stof

Naast de transportkosten zijn bodemgesteldheid en bodemgebruik van grote invloed op de afzetmogelijkheden. Bouwland kan volgens de richtlijn van de Unie van Waterschappen<sup>52</sup> 2 ton droge stof/ha.jaar aan slib ontvangen. Met name de lichtere gronden hebben een behoefte aan onderhoudsbemesting met organische stof. Hiertoe worden veelal mestoverschotten gebruikt.

Op weidegrond geldt als richtlijn voor de jaarlijkse slibdosering 1 ton droge stof/ha. jaar. Met name in de randstad is de noodzaak voor organische onderhoudsbemesting minder aanwezig (bodemgesteldheid en grondgebruik), terwijl de slibproductie in verhouding tot de oppervlakte landbouwgrond hoog is (grote bevolkingsdichtheid).

Het nuttig gebruik van zuiveringsslib in het westen van Nederland is dan ook alleen mogelijk wanneer aan het slib een (bemestende) waarde toegekend kan worden. Grotere transportafstanden worden dan economisch haalbaar.

Een van de methoden om aan slib waarde toe te voegen is de verwerking tot compost of zwarte grond.

### 3 HET UITGANGSPRODUKT

#### 3.1 Hoeveelheden

Tabel 2 geeft een overzicht van de jaarlijks geproduceerde hoeveelheid zuiveringsslib in Nederland en de hoedanigheid ervan.

Voor 1985 wordt gerekend<sup>9</sup> op circa 400.000 ton (droge stof) per jaar, een verdubbeling ten opzichte van 1978.

De belangrijkste toename wordt verwacht<sup>4,5</sup> in de hoeveelheid slib die wordt ontwaterd met filterpersen.

hoedanigheid	slibverwerkings- methode	hoeveelheden slib ton d.s./jaar.	
		1978 <sup>2,3</sup>	1985 <sup>4,9</sup>
nat 0-10% d.s.	statische- en mechanische in- dikking	100.000	80.000
pasteus 10-20% d.s.	lagunes centrifuges zeefbandpers	15.000	35.000
steekvast 20-30% d.s.	zeefbandpers slibdroogbed	20.000	40.000
slibkoeken 30-55% d.s.	kamerfilterpers	60.000	240.000
slibkorrels 90% d.s.	ontwatering + droogtrommel	5.000	5.000

Tabel 2. Hoeveelheid en hoedanigheid van de slibproductie

#### 3.2 Kwaliteit

##### 3.2.1 *fysische eigenschappen*

Deze worden vooral bepaald door de herkomst en het drogestofgehalte van het slib, het toegepaste ontwateringsproces en de mate van rijping. Hierop wordt nader ingegaan in paragraaf 4.1.

##### 3.2.2 *landbouwkundige waarde*

Tabel 3 geeft een overzicht van het gemiddelde gehalte aan meststoffen in zuiveringsslib. Ter vergelijking zijn tevens de gemiddelde waarden voor deze stoffen van stalmest en huisvuilcompost opgenomen.

##### 3.2.3 *ware metalen*

Tabel 4 geeft een overzicht van het gemiddelde<sup>21</sup> gehalte aan zware metalen in zuiveringsslib in Nederland. Ook de 50%-waarde per in het slib voorkomend metaal en de maximaal toelaatbare waarde volgens de Richtlijn van de Unie van Waterschappen voor de afzet van zuiveringsslib op grasland zijn in deze tabel gegeven. Ter vergelijking zijn bovendien de spreiding van de gehalten in Engels slib en de grenswaarden voor Baden-Württemberg opgenomen.

samenstelling		slib, 1979 <sup>21</sup>	stalmest <sup>10</sup>	huisvuil- compost <sup>10</sup>
droge stof	gew %	5,0	21,5	-
organische stof	% van d.s.	57,6	65,0	38,5
stikstof-N	% van d.s.	5,3	2,6	1,0
fosfaat-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% van d.s.	5,1	1,8	0,85
kali-K <sub>2</sub> O	% van d.s.	0,5	1,6	0,31
kalk-CaO	% van d.s.	7,9	1,9	2,9
magnesium-MgO	% van d.s.	0,5	0,7	0,38

Tabel 3. Gehalten aan bemestende stoffen in nat zuiveringsslib, stalmest en huisvuilcompost (in % d.s.)

metaal	Nederlands slib		richtlijn U.v.W. <sup>52</sup>	Engeland (spreiding)	Baden- Württen- berg (norm) <sup>52</sup>
	gemiddeld <sup>21</sup>	50%-waarde per element <sup>63</sup>			
zink	1106	1483	2000	1500-3000	3000
koper	564	541	600	600- 800	600
lood	364	330	500	200- 700	800
chrom	351	98	500	100- 400	-
nikkel	63	39	100	50- 80	-
cadmium	8	6	10	7- 50	30
kwik	4	3	10	-	25

Tabel 4. Zware metalen in zuiveringsslib (mg/kg droge stof)

### 3.2.4 pesticiden en polychloorbyphenylen (PCB's)

Tabel 5 geeft een overzicht van het gehalte aan deze stoffen in zuiveringsslib, ontleend aan een publicatie van de Unie van Waterschappen<sup>51</sup>.

Gehalten van 10 à 50 ppb kunnen volgens de literatuur<sup>51</sup> samenhangen met het voorkomen van pesticiden in het voedselpakket of in leidingwater.

Gehalten van 100 ppb of meer (pesticiden) en 10.000 ppb of meer (PCB's) zijn meestal<sup>52</sup> van bedrijfsmatige herkomst.

contaminant	1975/1976		1978	
	gemidd.	max.	gemidd.	max.
pesticiden:				
- HCH	25	440	43	780
- HCB	31	640	52	1000
- dieldrin	18	180	37	250
polychloor- biphenyl:				
- aroclor 1254	950	6600	800	5500

Tabel 5. Pesticiden en biphenylen in zuiveringsslib<sup>51</sup> (in ppb)

4 SLIBCOMPOSTERING

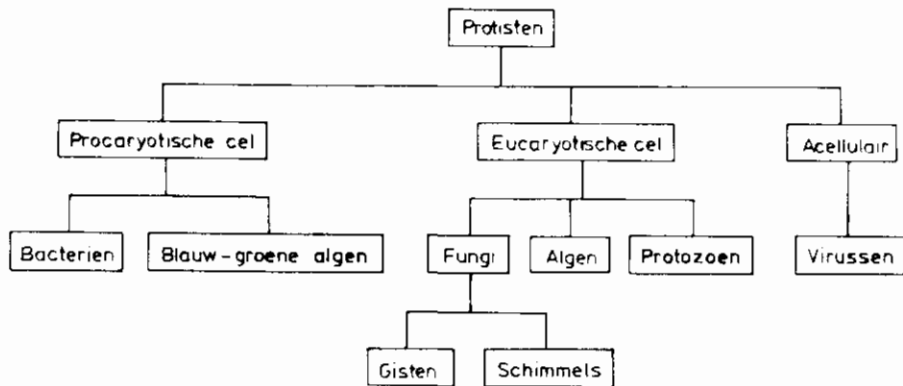
4.1 Procestechnologische aspecten

4.1.1 *omschrijving composteringsproces*<sup>54,46</sup>

Composteren is een biologisch proces, waarbij organische bestanddelen worden afgebroken door middel van micro-organismen welke behoren tot de zogenaamde protisten. Hieronder vallen:

- bacteriën;
- algen;
- fungi;
- protozoa;
- virussen(niet op zichzelf staand).

In figuur 1 is de indeling van de protisten schematisch weergegeven.



Figuur 1. Indeling micro-organismen behorende tot de protisten

Alle organische stoffen in de natuur maken deel uit van een kringloopproces; na het verrichten van een functie worden zij langs natuurlijke weg afgebroken door micro-organismen. Opbouw en afbraak van organische stof houden elkaar in evenwicht, daarbij is compostering een proces waarbij micro-organismen de grondstof afbreken.

De micro-organismen die aan dit proces deelnemen onttrekken hun voedingsstoffen uit het te composteren materiaal. De in dit materiaal aanwezige koolstof wordt geoxydeerd. Bij compostering zijn de belangrijkste organismen organoheterotroof, hetgeen betekent dat zij organische verbindingen en reacties daartussen gebruiken als koolstof- en energiebron.

Bij dit micro-biologische oxydatieproces ontstaat warmte welke voor een gedeelte wordt omgezet in energie die de micro-organismen in staat stelt hun functie te verrichten en die voor het overige verdwijnt als stralingswarmte.

Indien de uitstraling van warmte wordt belemmerd stijgt de temperatuur van het materiaal dat afgebroken wordt (biologische zelfverhitting).

Men kan dit proces bewerkstelligen door organisch materiaal op een dusdanige wijze te stapelen of op te hopen dat voldoende zuurstof van de atmosferische buitenlucht kan toetreden voor een ongeremde aërobe biologische afbraak van het materiaal, maar zodanig dat de warmte-uitstraling wordt beperkt.

Hierdoor ontstaat in het inwendige van het opgehoopte materiaal een stijging van de temperatuur. De aard van het materiaal en de hoogte van de hopen zijn bepalend voor de temperatuur welke wordt bereikt in een bepaalde tijd.

"Vers" organisch materiaal bevat als regel veel koolstof en weinig stikstof (hoog C/N-quotiënt). Bij de afbraak van het materiaal is de koolstof de energiebron voor de micro-organismen. Deze laatste hebben echter ook voedingsstoffen nodig; met name stikstof is een noodzakelijke voedingsstof. Met behulp van nutriënten kunnen de micro-organismen hun lichaamseiwitten vormen. De stikstof, welke slechts beperkt voorradig is in het verse organische materiaal, wordt volledig omgezet in bacterieel eiwit.

Aangezien bacteriën een zeer korte levensduur hebben rouleert deze stikstof in het opgehoopte materiaal; de stikstof van de afgestorven bacteriën (celmateriaal) is weer beschikbaar voor de volgende bacterie-generatie. Op deze wijze vindt relatieve stikstofverrijking van het uitgangsmateriaal plaats.

Het doel van het composteren is ruw organisch materiaal geschikt maken als meststof en grondverbeteringsmiddel.

Het boven omschreven composteringsproces wordt voornamelijk beheerst door de volgende procesfactoren:

- het C/N-quotiënt;
- de temperatuur;
- het vochtgehalte;
- de zuurstofbehoefte;
- de porositeit.

In de volgende paragrafen worden deze factoren nader toegelicht.

Andere zaken die tevens van belang zijn voor het composteringsproces zijn toeslagstoffen en de stabilisatie van compost.

#### 4.1.2 *verhouding koolstof/stikstof*

Tijdens het aërobe afbraakproces verbruiken de micro-organismen koolstof en stikstof in een verhouding van ca. 20-25 op 1. Uit experimenten<sup>59</sup> is gebleken dat voor een "snelle" compostering van huishoudelijk afval, een beginverhouding van koolstof/stikstof nodig is van 30-35 op 1. Hoe meer deze verhouding afwijkt van het optimum, speciaal aan de bovengrens, hoe langzamer het composteringsproces zal verlopen. Naar de relatie tussen relatieve stikstofverrijking, C/N-factor en composteringstijd zijn onder meer onderzoeken gedaan door de University of California<sup>44</sup>. Uit de resultaten daarvan blijkt dat bij variërende C/N-verhoudingen bij aanvang het composteringsproces zich kan voltrekken.

Voorts bleek de C/N-verhouding duidelijk afgenomen, doch er kan geen verband worden gelegd tussen de comosteringsduur en de relatieve stikstofverrijking en/of de C/N-verhouding.

De resultaten van deze proeven zijn weergegeven in tabel 6.

C/N begin	comosterings- tijd (dagen)	C/N eind	verandering N (%)
18,5	8	12,2	+ 0,53
19,0	12	14,0	- 0,06
20,0	14	19,0	- 0,11
20,2	10	10,8	+ 0,27
21,0	7	12,1	+ 0,60
22,0	14	19,0	- 0,11
24,9	16	14,1	+ 0,80
27,7	14	20,5	+ 0,08
28,0	16	19,0	- 0,01
30,0	14	19,0	+ 0,01
31,0	14	20,0	+ 0,11
32,0	16	20,0	+ 0,29
33,0	14	19,0	+ 0,44
34,6	10	26,4	+ 0,06
35,0	15	24,0	+ 0,11
40,2	16	20,1	+ 0,32
50,0	16	24,0	+ 0,45
51,0	16	22,7	+ 0,33
54,6	17	22,8	+ 0,54
78,0	21	35,0	+ 0,36

Tabel 6. Relatie C/N-verhouding en comosterings-tijd<sup>44</sup>

De werkelijke optimale C/N-verhouding zal afhankelijk zijn van de mate waarin koolstof beschikbaar is. Een nadelig effect van een lage C/N-factor voor het comosteringsproces is het stikstofverlies door de vorming van ammonia welke door verdamping of vervluchtiging uit het materiaal verdwijnt. Een dergelijk effect treedt in meer of mindere mate op bij een C/N-quotiënt kleiner dan 30.

Aangezien de C/N-verhouding niet eenvoudig is te bepalen, is het geen handzame parameter om de voortgang van het comosteringsproces te beoordelen.

De C/N-verhouding kan wel worden gehanteerd als parameter om het eindprodukt te beoordelen. Goede, gerijpte compost heeft een C/N-verhouding van 15 à 20. Is de C/N-verhouding > 20, dan is de compost nog niet voldoende gerijpt en kan, bij een landbouwkundige toepassing, stikstofgebrek van het gewas veroorzaken.

Is de C/N-verhouding < 15, dan is de compost te ver verteerd en bevat dan weinig organische stof<sup>64</sup>. In het algemeen is het stikstofgehalte in het te comosteren materiaal (huishoudelijk afval, zuiveringsslib, enz.) voldoende voor de groei van micro-organismen.



Dit, ondanks het verdwijnen van stikstof in de vorm van ammoniak tijdens het ontwateren van slib.

In tabel 7 zijn weergegeven de C/N-verhouding en stikstofpercentages van verschillende soorten stoffen.

materiaal	stikstofgehalte % van droog gewicht	C/N-factor
bloed	10-14	3,0
urine	15-18	0,8
koemest	1,7	18
pluimveemest	6,3	15
schapenmest	3,8	-
varkensmest	3,8	-
paardenmest	2,3	25
ruw slib (primair)	4-7	11
gegist slib	2-4	-
actiefslib	5	6
grassnippers	3-6	12-15
grasmengsels	2,4	19
aardappelschillen	1,5	25
tarwe stro	0,3-0,5	128-150
haver stro	1,1	48
zaagsel	0,1	200-500

Tabel 7. C/N-verhouding van verschillende soorten afval<sup>29</sup>

#### 4.1.3 *temperatuur*

Gedurende het composteringsproces treedt binnen het opgehoopte materiaal temperatuurstijging op. Deze stijging van temperatuur is het gevolg van activiteit van de micro-organismen en mede afhankelijk van de vochtigheidsgraad van het te composteren materiaal, de afmetingen en de aanwezigheid van lucht en nutriënten. Zoals alle organismen hebben ook micro-organismen een temperatuursrange waarbinnen zij biochemisch kunnen functioneren. Binnen zekere grenzen kan de reactiesnelheid zich - volgens de Wet van Van 't Hof - ongeveer verdubbelen bij elke 10°C temperatuursverhoging.

In een gemengde populatie van micro-organismen, welke normaal voorkomt in compost, kan een natuurlijke overgang worden verwacht van mesofiele naar thermofiele organismen.

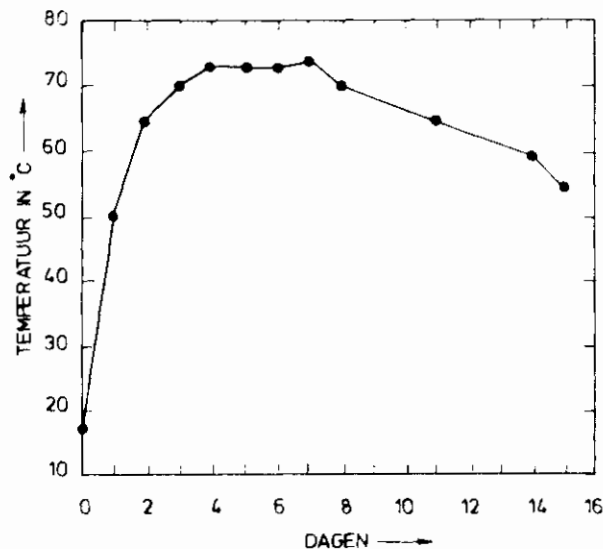
De maximaal toelaatbare temperatuur wordt gevormd door de eigenschap dat de thermofiele micro-organismen niet bestand zijn tegen de effecten van thermische denaturatie van hun enzymen. Bij deze temperatuur zal de reactiesnelheid afnemen (aannemende dat het reactiemechanisme wordt begrensd door microbiële activiteit en niet door andere factoren).

De temperatuur waarbij de microbiële activiteit niet verder afneemt, is niet exact gedefinieerd<sup>77,34,60,35</sup>. In dit stadium verkeren de micro-organismen in de endogene fase, waarin groei en afsterving elkaar compenseren.

Uit diverse onderzoeken is gebleken dat de maximum temperaturen bij compostingsprocessen kunnen variëren van 45° C tot meer dan 70° C. Opgemerkt wordt hierbij dat extreem hoge temperaturen niet impliceren dat ook een hoge reactiesnelheid wordt bereikt.

Studies van Schultz<sup>56</sup> en Wiley<sup>77,75,76</sup> tonen daarentegen aan dat een continue toename bestaat van de reactiesnelheid tot een temperatuur van ca. 70° C (zie fig. 2). Bovendien werd door Schultz geconstateerd dat zich bij deze hogere temperatuur een meer optimale microflora ontwikkelt.

Aangezien uit deze onderzoeken eveneens een relatie blijkt tussen het zuurstofverbruik en de temperatuur wordt een maximale temperatuur van ca. 65° C aanbevolen.



Figuur 2. Temperatuurverloop als functie van de tijd<sup>75</sup>

#### 4.1.4 *vochtgehalte*

Het te composteren materiaal moet voldoende vochtig zijn. Bij een vochtgehalte lager dan 30% komt het compostingsproces tot stilstand, terwijl bij een vochtgehalte boven 60% het proces omslaat van aëroob naar anaëroob.

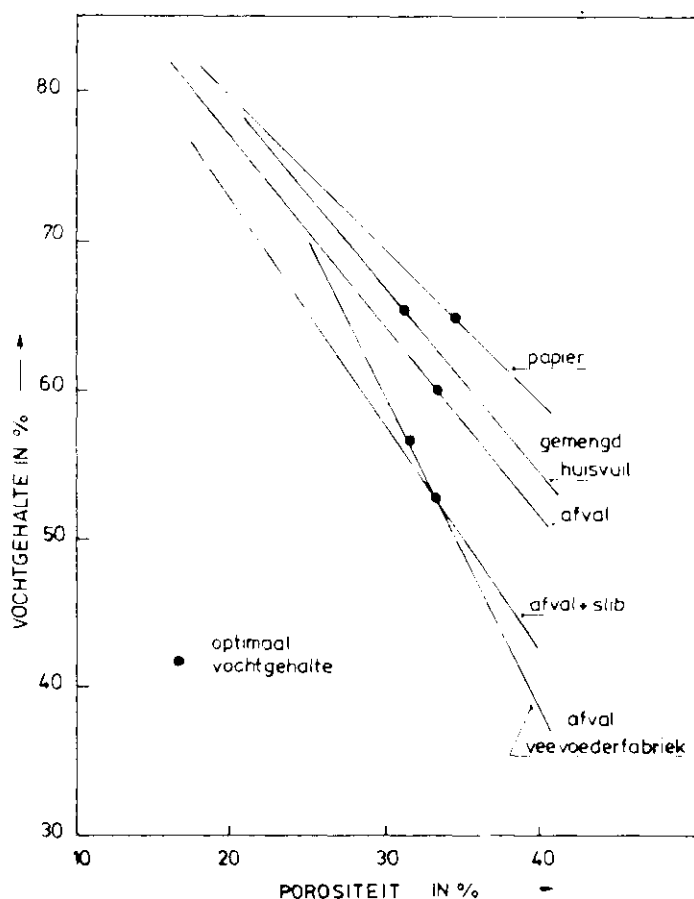
Een te hoog vochtgehalte betekent hier dat te weinig lucht in het materiaal aanwezig is. Naarmate het vochtgehalte toeneemt, wordt het doorvoeren van lucht moeilijker aangezien de weerstand toeneemt door vermindering van het beschikbare poriënvolume. Bij te lage vochtgehaltes van het materiaal kunnen micro-organismen niet voldoende functioneren.

Compostering van ontwaterd slib verschilt duidelijk van het composteren van relatief droge materialen. Bij droge composteringmaterialen moet vaak water worden toegevoegd om verstoring van het composteringproces, ten gevolge van een te laag vochtgehalte, te vermijden.

Bij nat slib moet veelal een toeslagstof worden bijgevoegd om een te hoog vochtgehalte te voorkomen. De aanwezigheid van veel water in slib kan leiden tot reductie van de composteringstemperatuur en een vermindering van het composteringsrendement.

Als regel kan worden aangehouden dat naarmate het vochtgehalte van het organisch materiaal hoger is, de noodzaak van een vrije luchtruimte (vergroten porositeit) toeneemt om verzekerd te zijn van goede beluchting. Ontwaterde slibkoeken zijn weinig poreus omdat alle aanwezige poriën verzadigd met water zijn.

Uit experimenten is gebleken dat de optimale vochtigheidsgraad ligt tussen 50-65%<sup>34,35</sup>. Bij deze vochtigheidsgraad zal de vrije luchtruimte ca. 25-35% van het totaal volume bedragen en is het slib voldoende vochtig voor de microbiologische activiteit. Het effect van vochtgehalte op de porositeit is weergegeven in fig. 3<sup>34</sup>.



Figuur 3. Porositeit als functie van vochtgehalte

Slibontwatering en compostering zijn nauw met elkaar verbonden. Optimale compostering is sterk afhankelijk van het drogestofgehalte en het vochtgehalte van het te composteren materiaal. Een optimaal vochtgehalte van 50% betekent dat het te composteren slib vergaand moet worden ontwaterd.

Bij een drogestofgehalte van het slib van 30-40% kunnen ongeveer equivalente hoeveelheden slib en huisvuil gezamenlijk worden gecomposteed<sup>58</sup>. In geval van composteren en droging wordt ca. 75% van de totale energiebehoefte in beslag genomen door verdamping. Deze energie moet worden geleverd door microbiologische oxydatie van organisch materiaal in het substraat.

De luchthoeveelheden benodigd voor vochtverwijdering en droging zijn in evenwicht met de luchthoeveelheid voor de biologische oxydatie van organisch materiaal als het te composteren materiaal een drogestofgehalte heeft van 30-40% en de uittretemperatuur van de ontwijkende gassen en dampen hoger is dan 70° C.

#### 4.1.5. *zuurstof/luchtbehoefte*

Tijdens het composteringsproces is lucht benodigd voor een groot aantal doeleinden zoals:

- voorzien in zuurstofbehoefte t.b.v. (micro)biologische activiteit;
- afvoer vocht;
- afvoer warmte.

De zuurstofbehoefte wordt bepaald door de chemische samenstelling van de organische bestanddelen en de mate van afbraak gedurende het composteringsproces. Onder aanname dat de organische fractie in slib een gemiddelde samenstelling vertoont van  $C_{10}H_{19}O_3N$ , kan de zuurstofbehoefte, gebaseerd op het molecuulgewicht van de te oxyderen stof, worden uitgedrukt als:

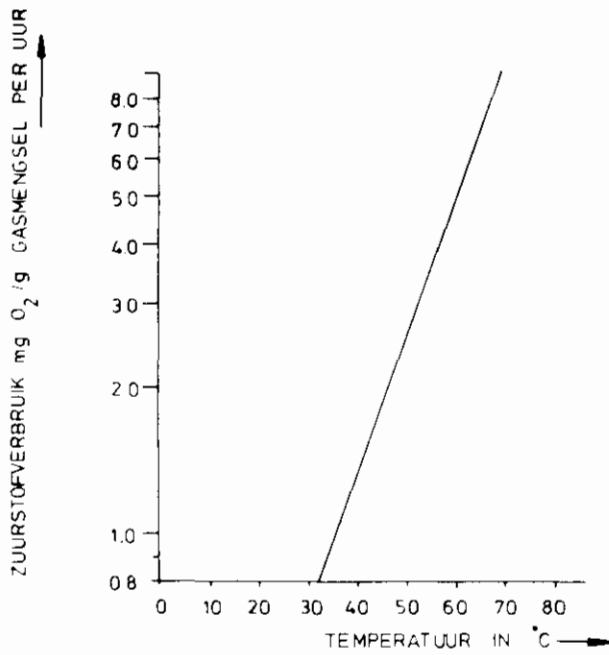


Dat wil zeggen dat ca. 2,0 gram  $O_2$  is benodigd om 1,0 gram organisch materiaal te oxyderen.

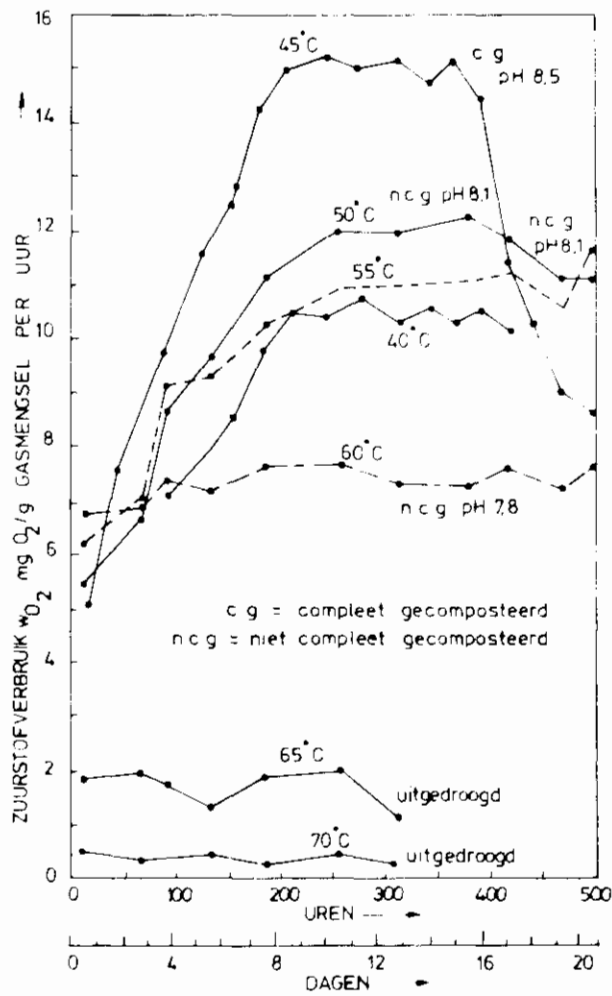
Uit studies<sup>34,35</sup> komt naar voren dat bij stijgende temperatuur een toename ontstaat van het zuurstofverbruik. Naarmate het te composteren materiaal meer is gestabiliseerd zal minder zuurstof worden opgenomen.

Wel moet voortdurend worden voorzien in de zuurstofbehoefte van het substraat. De aan een compostmengsel toegevoegde lucht wordt verhit door de composterende massa. De hoeveelheid vocht opgenomen in verzadigde lucht neemt exponentieel toe bij toename van de temperatuur. Daarom kunnen verwarmde gassen in het compostmengsel aanzienlijke hoeveelheden vocht transporteren, zelfs als de omringende lucht is verzadigd.

De benodigde hoeveelheid lucht voor dit drogingsproces is veel groter dan de voor de biologische oxydatie benodigde hoeveelheid lucht. Het zuurstofverbruik door de microbiologische populatie blijkt een maximum te hebben tussen de 7 en 12 mg  $O_2$ /gram gasmengsel per uur.



Figuur 4. Relatie tussen temperatuur en zuurstofverbruik



Figuur 5. Zuurstofverbruik bij verschillende temperaturen in batchreactor met vermalen afval

Voor slibkoeken met een d.s.gehalte van 20% is de benodigde hoeveelheid voor droging (afvoer van vocht) circa 10 tot 30 x groter dan voor de biologische oxydatie. Voor slibkoeken met 30 - 40% droge stof is de luchthoeveelheid voor droging in evenwicht met de benodigde luchthoeveelheid voor biologische oxydatie.

Door Schultz<sup>55,56</sup> is vastgesteld dat het zuurstofverbruik sterk wordt beïnvloed door de temperatuur (zie fig. 4). Het maximale zuurstofverbruik als functie van de temperatuur kan worden benaderd volgens:

$$W_{O_2} = 0,11 (1,066)^T$$

Hierin is:

$W_{O_2}$  = zuurstofverbruik, mg  $O_2$ /g gasmengsel

T = temperatuur in graden C.

Gebleken is dat de zuurstofbehoefte kan worden uitgedrukt als een luchtbehoefte van 20-200 m<sup>3</sup> per uur per ton droge stof met een zuurstofconcentratie variërend van 5-15 vol. % (zie fig. 5<sup>60</sup>).

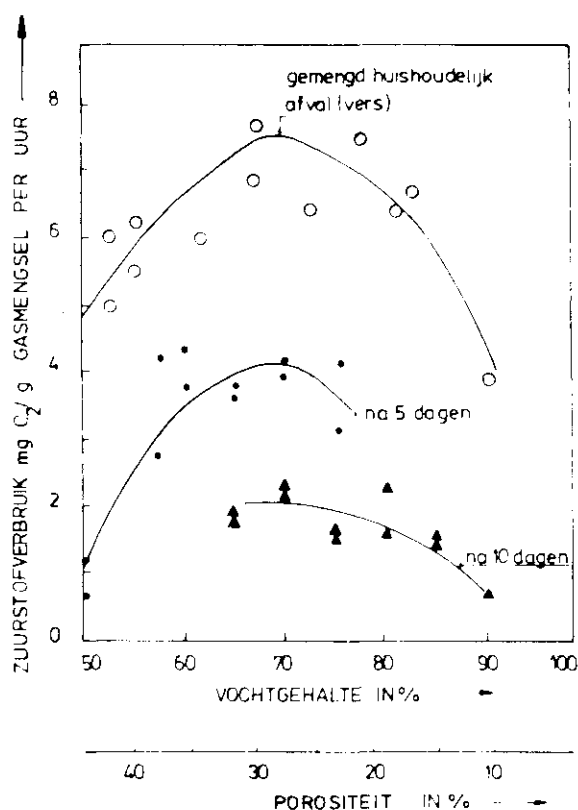
#### 4.1.6 *porositeit*

Met de porositeit van een te composteren materiaal wordt bedoeld de holle, alleen met lucht gevulde, ruimten tussen de vaste bestanddelen. De porositeit wordt uitgedrukt in percentages van het totaal volume. De porositeit is in een composteringsmengsel van belang om de hoeveelheid en doorstroming van lucht door het mengsel te bepalen. Dit hangt samen met het feit dat de optimale vochtigheidsgraad voor een bepaald materiaal is te relateren aan het handhaven van een minimum porositeit. Op basis van de beschikbare gegevens voor slibcompostering kan worden gesteld dat slib of een compostmengsel daarvan een meetbare porositeit heeft bij een d.s.-gehalte van 30-40%.

Naarmate de compost droger wordt zal deze porositeit toenemen. Ontwaterd slib bestaat veelal uit minder dan 30% d.s. waardoor de porositeit van bijvoorbeeld slibkoeken vrijwel nihil is. Om toch een mate van porositeit te verkrijgen worden aan het te composteren materiaal toeslagstoffen toegevoegd. Een dergelijke toeslagstof is bijvoorbeeld houtschors of houtsnippers.

Circa 95% van het maximale zuurstofverbruik wordt verkregen bij een porositeit van 20-35% (zie fig. 6). Als minimale porositeit wordt in de literatuur<sup>35</sup> circa 30% aanbevolen.

Bij compostering met behulp van mechanische (d.i. geforceerde) menging is de porositeit een minder kritische factor. Aangezien de te composteren massa regelmatig gekeerd wordt, is een voldoende lucht- en zuurstoftoetreding verzekerd. De frequentie en intensiteit van het omzetten is afhankelijk van de te bereiken porositeit en van het stadium waarin het composteringsproces zich bevindt. Vanaf het moment dat de activiteit van de micro-organismen afneemt (als gevolg van de vermindering van de hoeveelheid af te breken organische stof), neemt ook de zuurstof/luchtbehoefte af, zodat de porositeit minder groot kan zijn dan in het begin van het composteringsproces.



Figuur 6. Invloed van vochtgehalte en porositeit op het zuurstofverbruik van gemengd huishoudelijk afval<sup>34</sup>

#### 4.1.7 Toeslagstoffen

Aan het te composteren zuiveringsslib worden toeslagstoffen toegevoegd. Als hoofdreden daarvoor wordt genoemd het verhogen van de C/N-verhouding van het te composteren mengsel tot circa 30. In mindere mate zou de toeslagstof bedoeld zijn om de porositeit van de slibmassa te verhogen.

Uit, in de literatuur genoemde experimenten met betrekking tot composteren, blijkt echter dat er geen duidelijke relatie gelegd kan worden tussen C/N-verhouding en toeslagstoffen. Er zijn verschillende argumenten aan te voeren om op zijn minst de verhoging van de C/N-verhouding door toeslagstoffen en de invloed daarvan op het composteringsproces in twijfel te trekken.

Wanneer bijvoorbeeld houtsnippers als toeslagstof worden gebruikt, kunnen deze, na een eerste maal te hebben deelgenomen aan een composteringscyclus, worden teruggewonnen. De houtsnippers (met name de cellulose en lignine) zijn zo slecht afbreekbaar, dat ze meerdere malen kunnen worden gebruikt<sup>57</sup>. Indien het hout werkelijk zou deelnemen aan het metabolisme van de micro-organismen, dan zouden de houtsnippers in veel sterkere mate worden afgebroken tijdens het composteringsproces.

Een aantal experimenten<sup>55,56</sup> is bekend, waarbij als toeslagstof uitsluitend reeds gevormde compost wordt gebruikt.

Afhankelijk van de mengverhouding zijn bevredigende resultaten te behalen.

Ook wordt geëxperimenteerd<sup>60</sup> met inerte toeslagstoffen, zoals kunststoffen. De eerste resultaten kunnen als veelbelovend worden betiteld.

Op grond van deze experimenten wordt verondersteld, dat de primaire functie van de toeslagstof is het verhogen van de porositeit van het te composteren mengsel en het verlagen van het vochtgehalte.

#### 4.1.8 *stabilisatie van compost*

Volledige stabilisatie van compost betekent de totale oxydatie van organisch materiaal en het omzetten in een minder afbreekbare, meer stabiele vorm. Hierbij rijst de vraag hoever het materiaal gestabiliseerd moet worden.

In feite is pas een toestand van stabilisatie bereikt wanneer al het organische materiaal is geoxydeerd tot CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. In dat geval kan echter niet meer van compost worden gesproken.

Een definitie van stabilisatie kan ook op een meer praktische manier benaderd worden. Ervan uitgaande dat het composteringsproces in hoge mate wordt beheerst door zuurstof en kan worden aangemerkt als een aëroob proces, kan worden gesteld dat:

"Het te composteren materiaal voldoende is gestabiliseerd indien het zuurstofverbruik is afgenomen tot een punt waarbij noch een toestand van anaërobie noch stank wordt opgewekt, méér dan bij opslag of gebruik van het gevormde produkt."

Een aantal benaderingen kan worden toegepast om de mate van stabilisatie te bepalen en de toestand van het composteringsproces te beoordelen. De meest toegepaste benaderingen zijn beoordelingen op basis van:

- temperatuurveranderingen;
- sensorisch en visuele waarnemingen;
- ervaring.

Met uitzondering van de temperatuurwaarnemingen zijn bovenstaande benaderingen slecht meetbaar. Een meer objectieve benadering is mogelijk door andere fysisch-chemische grootheden te meten, zoals:

- zuurstofopname;
- chemisch zuurstofverbruik;
- verhouding tussen aanwezig nitraat en ammonia.

Daarnaast kunnen de organische bestanddelen van de compost worden vastgesteld, zoals:

- vluchtige bestanddelen;
- bepaling gloeirest.

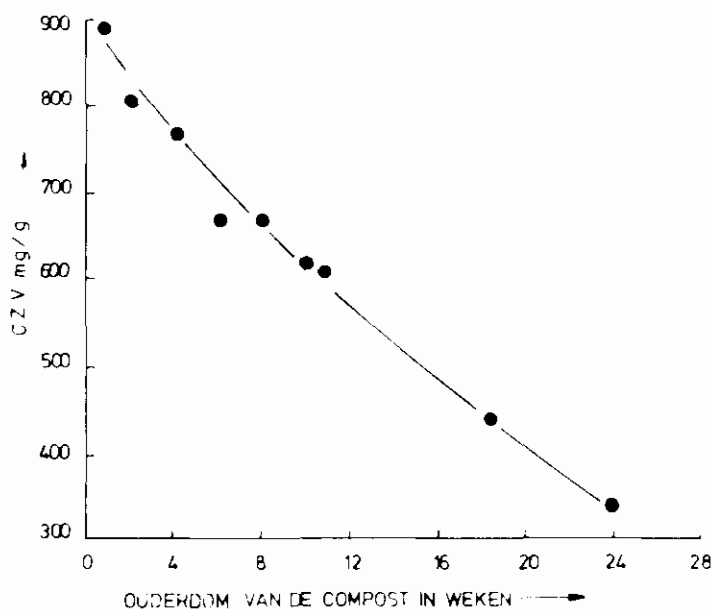
Uit de literatuur<sup>48,42</sup> zijn weliswaar meerdere methoden bekend om de stabiliteit van compost te bepalen, maar er zijn niet voldoende resultaten bekend om als referentie te dienen.



Voor een zogenaamd batch-proces (zie hoofdstuk 4.3) is temperatuurafname een goede indicatie dat het composteringsproces het eindstadium heeft bereikt mits is aangetoond dat geen temperaturdaling is ontstaan als gevolg van gebrek aan zuurstof, te laag vochtgehalte of gebrek aan vrije luchtruimte.

Deze benadering is gebaseerd op het feit dat de warmteontwikkeling evenredig is met de reactiesnelheid van de organische oxydatie. Deze neemt af naarmate de afbreekbare grondstof is afgebroken.

Het chemisch zuurstofverbruik van compostmonsters, genomen tijdens windrow-compostering (zie 4.3) van afvalstoffen is weergegeven in fig. 7<sup>41</sup>.



Figuur 7. Invloed ouderdom compost op de CZV bij Windrow-compostering

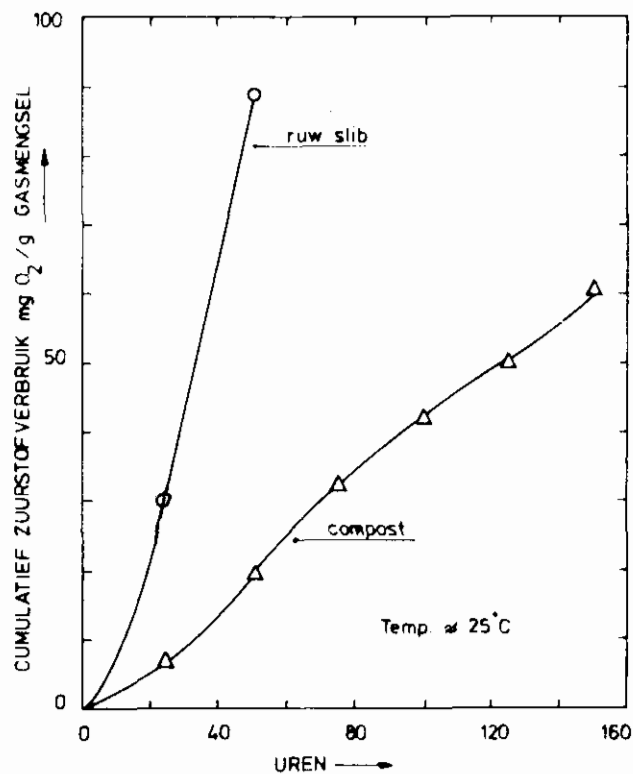
De compost werd stabiel verondersteld en voor gebruik gereed na circa 8 weken hetgeen overeenkomt met een CZV van  $< 700 \text{ mg.l}^{-1}$ . Het CZV was vòòr composteren ca.  $900 \text{ mg.l}^{-1}$ .

Uit het bovenstaande blijkt dat vaststelling van de organische bestanddelen een methode kan zijn om de stabiliteit van compost te bepalen, mits het aanvangsmateriaal geen grote verschillen vertoont in samenstelling.

De zuurstofopname van gestabiliseerde compost is aanzienlijk minder dan het zuurstofopnemend vermogen van het oorspronkelijke materiaal. Chrometzka<sup>6</sup> geeft aan dat onder optimale condities het zuurstofopnemend vermogen van te composteren materiaal ca. 30 x groter is dan van rijpe compost.

Het zuurstofverbruik zou een fundamentele parameter kunnen zijn om de stabiliteit van compost vast te stellen aangezien deze evenredig is met de afbraak en ontbinding van organisch materiaal. In de metingen van Chrometzka komen echter enkele waarnemingen voor waarbij het zuurstofverbruik dusdanig is dat verwacht mag worden dat stankhinder kan optreden.

Derhalve heeft deze parameter geen wijdverspreide toepassing gevonden als stabiliteitsparameter voor compost. Het zuurstofverbruik van ruw (primair) slib en de daaruit vervaardigde compost is weergegeven in fig. 8<sup>47</sup>.



Figuur 8. Cumulatief zuurstofverbruik voor ruw slib en compost

De organische bestanddelen van compost zijn sterk afhankelijk van de organische karakteristieken van de voedingsbodem. Derhalve kunnen organische bestanddelen een mate van stabiliteit vertonen bij een bepaald substraat, maar dit criterium kan niet worden gebruikt om composteringsprodukten met verschillende voedingsbodems met elkaar te vergelijken.

Afzonderlijke chemische componenten in compost zijn dikwijls karakteristiek voor de stabiliteit van compost.

Ammonia zal in de beginfase van een composteringsproces aanwezig zijn als organische stikstof vrijkomt. De ammoniacentratie wordt evenwel gereduceerd bij vervluchtiging of geoxideerd tot de nitraatvorm. Derhalve kan worden gesteld dat de verhouding tussen nitraat en ammonia als indicatie kan worden beschouwd voor de stabiliteitstoestand van compost.

Hoewel de ervaringen met de beoordeling van de stabiliteit op basis van de bepaling van fysisch-chemische grootheden beperkt is, lijken met name het temperatuurverloop, de zuurstofopname en het chemisch zuurstofverbruik perspectief te bieden.

## 4.2 Kwaliteitsaspecten

### 4.2.1 *Landbouwkundige waarde*

Bij toepassing van slibcompost spelen ten aanzien van de landbouwkundige waarde meerdere aspecten een rol:

- compost als structuurverbeteraar;
- compost als meststof;
- compost als stimulans voor het bodemleven.

Een goede structuur van de bodem bevordert een gunstige verhouding tussen lucht, water en bodemdeeltjes in de grond.

Indien compost wordt toegepast op een schrale zandgrond neemt het vochthoudend vermogen van de bodem toe, aangezien de organische stof in staat is aanzienlijke hoeveelheden vocht te binden. Dit geschiedt op een zodanige manier dat het bodemvocht beschikbaar blijft voor de planten. Tevens worden de zandkorrels door de organische stof aaneengekit, zodat een rulle bodemstructuur ontstaat.

Op zware (klei-) gronden bevordert compost een open structuur van de bodem, zodat de bewerkbaarheid toeneemt.

Als gevolg van de genoemde veranderingen in de bodemstructuur wordt de porositeit van het bodemprofiel verhoogd, waardoor de grond beter doorwortelbaar wordt. Tevens neemt het vochthoudend vermogen toe zodat de groeiomstandigheden voor de plant aanmerkelijk verbeteren.

Hoewel de toepassing van slibcompost in eerste instantie gericht is op de structuurverbeterende werking, kan aan het produkt ook enige bemestende waarde worden toegekend. Het gehalte aan meststoffen en de beschikbaarheid voor de plant ervan, hangt enerzijds af van de samenstelling van het uitgangsprодукt slib en anderzijds van de aard van de eventuele toeslagstoffen. Eveneens speelt het al dan niet terugwinnen van de toeslagstoffen een rol in de bemestende waarde van het eindprodukt, aangezien het al dan niet terugwinnen direct consequenties heeft voor de concentratie van de meststoffen in het eindprodukt.

De hoeveelheden meststoffen, welke gemiddeld in nat rioolslib onder Nederlandse omstandigheden aanwezig zijn, staan weergegeven in tabel 3 van hoofdstuk 3.

Uit een vergelijking van analyses van zuiveringsslib en de daaruit bereide compost<sup>5,9</sup> blijkt dat van de oorspronkelijke stikstofhoeveelheid slechts ongeveer een derde deel in het eindprodukt terecht komt.

Dit grote verlies is hoofdzakelijk toe te schrijven aan het feit dat de stikstof gemakkelijk uitspoelt. Fosfaat, kali en magnesium zijn daarentegen minder gevoelig voor uitspoeling (vooral door het hoge organische-stofgehalte in het slib) zodat ten aanzien van deze meststoffen een geringere afname plaatsvindt.

De invloed van de toeslagstoffen op de bemestende waarde van het eindprodukt is meerledig. In de eerste plaats is de samenstelling van belang. Toepassing van bijvoorbeeld boomschors betekent een aanzienlijke verrijking van de compost met kali en magnesium. Het gebruik van koolstofrijke toeslagstoffen resulteert in een aanzienlijke stikstofvastlegging als gevolg van het streven naar de verlaging van het C/N-quotient.

Naast de samenstelling van de toeslagstoffen is de mogelijkheid om ze uit de ruwe compost terug te winnen van belang. Dit aspect bepaalt uiteindelijk de verhouding tussen slib en toeslagstof in het gereede produkt. In de praktijk lopen deze mengverhoudingen sterk uiteen: in bepaalde procédés wordt ruwe compost als toeslagstof gebruikt, waarbij nog slechts een zeer geringe hoeveelheid "extern" materiaal benodigd is; er zijn echter ook composteringsprocessen waarin de verhouding tussen slib en nieuwe toeslagstof 1: 3 à 4 bedraagt<sup>49</sup>.

Bovengenoemde factoren wijzen erop dat de bemestende waarde van het gereede produkt sterk afhankelijk is van procestechnologische omstandigheden. Tevens dient nog het hoge gehalte aan organische stof vermeld te worden, hetgeen een vertragende werking heeft op het beschikbaar komen van de meststoffen. De werking als meststof kan daarom gedurende meerdere jaren na toediening optreden.

Door de structuurverbeterende werking van compost en het, zij het op beperkte schaal, leveren van voedingsstoffen, worden de condities voor het bodemleven bevorderd. Een goed bodemleven betekent op haar beurt weer een positieve bijdrage aan de groeiomstandigheden voor de vegetatie.

#### 4.2.2 *zeefkwaliteit*

In het proces van compostering van huisvuil speelt het begrip "zeefkwaliteit" een belangrijke rol, vooral in het zgn. Van Maanen-systeem. Het uitgangspunt hierbij is namelijk het opstarten van het composteringsproces direct nadat het huisvuil op de verwerkingsplaats is aangevoerd. In tegenstelling tot andere composteringsystemen wordt vooraf geen scheiding van de diverse huisvuilfracties toegepast, maar pas nadat de compostering voltooid is vindt een sortering plaats.

Het gevolg van deze werkwijze is dat de ruwe compost nog verontreinigd is met grote hoeveelheden niet-composteerbare bestanddelen. Ook bij andere huisvuilcomposteringsprocessen is, ondanks een sortering vooraf, nog sprake van een aanzienlijke verontreiniging van de ruwe compost.

In alle gevallen waarin huisvuil tot compost verwerkt wordt, bestaat als gevolg van deze verontreinigingen de noodzaak om de ruwe compost door middel van zeven en andere scheidingstechnieken te ontdoen van ongewenste bestanddelen.

De kwaliteit van het eindprodukt is aldus sterk afhankelijk van de mate van scheiding van de waardevolle compostbestanddelen en de in ruwe compost aanwezige verontreinigingen. De toepassingsmogelijkheden van de compost worden beïnvloed door de mate van zuiverheid, welke tijdens het scheidingsproces bereikt is.

Bij het composteren van rioolslib is er geen sprake van grove bestanddelen in het uitgangsprодукt. Weliswaar kunnen als gevolg van het ontwateringsproces brokken en kluiten in het slib voorkomen, de structuur hiervan is echter zodanig dat zij, als gevolg van het composteringsproces, gemakkelijk uiteen vallen in een rul produkt.

Indien het composteringsproces goed en gelijkmatig in de totale hoeveelheid slib plaatsvindt, ontstaat een produkt dat wat betreft de "korrelgrootte" en structuur niet meer verkleind of gezeefd behoeft te worden.

De reden dat een zeefbewerking van de ruwe compost meestal wel vereist is, is gelegen in het feit dat veelal toeslagstoffen in het bereidingsproces worden toegepast. Deze toeslagstoffen hebben in hoofdzaak tot taak een goede porositeit en een juist vochtgehalte van het te verwerken slib te bewerkstelligen, zodat voldaan wordt aan de eis dat het composteringsproces in de totale slibhoeveelheid gelijkmatig en volledig verloopt.

De randvoorwaarden voor de nabewerking (i.c. het zeven) van de ruwe compost worden enerzijds gevormd door de aard en hoedanigheid van de toeslagstoffen en anderzijds door de eisen die worden gesteld ten aanzien van het terugwinnen van (een deel van) de toeslagstoffen. Wordt met relatief grove toeslagstoffen gewerkt die zich in het composteringsproces vrij inert gedragen, dan is het noodzakelijk om deze grove delen uit de ruwe compost te zeven ter verkrijging van een goed produkt.

Stelt men zodanige voorwaarden aan het gereede produkt dat de restanten van de toeslagstoffen qua samenstelling niet in het produkt passen, dan kan een scheidingsproces noodzakelijk zijn, ondanks het feit dat de toeslagstof qua afmeting geen probleem vormt.

Tenslotte kan het om economische redenen, met name vanwege de kostprijs van de toeslagstoffen, aantrekkelijk zijn om zoveel mogelijk van de oorspronkelijke toevoeging terug te winnen. Dit uitgezeefde deel kan dan in een volgende produktiegang wederom worden toegepast.

De zeefkwaliteit van het gereede produkt wordt dus niet alleen door het uitgangsprодукt rioolslib bepaald, maar in belangrijke mate ook door de keuze van de toeslagstoffen, welke voor het composteringsproces noodzakelijk zijn.

#### 4.2.3 *verontreinigingen*

De toepassingsmogelijkheden van slibcompost worden niet alleen bepaald door de landbouwkundige waarde van het produkt, echter ook de mate van verontreiniging speelt daarbij een belangrijke rol.

De verontreinigingen kunnen voor een deel afkomstig zijn uit het slib, voor een ander deel kan de toeslagstof als leverancier gelden. Wat het slib betreft, is in hoofdstuk 3, tabel 4, een overzicht gegeven van de aanwezige zware metalen en in tabel 5 van hetzelfde hoofdstuk zijn de gehalten aan toxische milieuvreemde stoffen vermeld.

Bij Amerikaanse composteringsproeven op praktijkschaal<sup>43</sup> is gebleken dat de oorspronkelijk aanwezige zware metalen nagenoeg geheel in het eindprodukt worden teruggevonden. Dit geldt eveneens voor de toxische milieuvreemde stoffen, voor zover deze stoffen een persistent karakter bezitten.

Aangezien als gevolg van het composteringsproces een deel van de organische stof als vluchtige stof verdwijnt, zal de concentratie van de diverse verontreinigingen in de slib-fractie van het compostmengsel toenemen.

Een combinatie van een bepaalde hoeveelheid slib met een zekere hoeveelheid toeslagstoffen resulteert in een compostprodukt met een te berekenen gehalte aan zware metalen en milieuvreemde contaminanten. Om een indruk te verkrijgen van de belasting van de bodem, waarop de compost wordt toegepast, is het noodzakelijk nog een ander aspect te introduceren, te weten de mengverhouding tussen bodem en compost. Deze mengverhouding wordt door een aantal factoren bepaald, namelijk de compostdosering per gift, de frequentie en het totale aantal giften op een perceel en de dikte en de oorspronkelijke samenstelling van de bouwvoor, waarmee de compost gemengd wordt. Het uiteindelijke gehalte in de bodem wordt tenslotte mede bepaald door de opname door gewassen in de beschouwde periode en de omvang voor uitspoeling c.q. afbraak van de contaminanten.

#### 4.2.4 *pathogeniteit*

Het huishoudelijk afvalwater in Nederland bevat gemiddeld tussen de ca.  $10^6$  en  $10^8$  E. coli per 100 ml. Door zuivering van het afvalwater kan dit aantal met 90-95% worden teruggebracht.

Dit betekent dat pathogenen in slib en effluent van een zuiveringsinrichting kunnen worden aangetroffen (zie tabel 8).

Hierbij wordt opgemerkt dat, afhankelijk van de epidemiologische situatie ruw afvalwater  $1,5 \times 10^4$  Salmonellae/ml bevat en effluent  $10^3$ /ml, ofwel een reductie van 93%. Volgens Huisman<sup>33</sup> wordt het aantreffen van pathogenen in afvalwater in belangrijke mate bepaald door de epidemiologische situatie in land of regio. Deze wordt op haar beurt weer bepaald door:

- epidemische situatie (plotseling optredende ziekte, v.b. cholera);
- endemische situatie (streekgebonden ziekte, v.b. malaria, kinderverlamming).

Naast deze factoren spelen verder de effectiviteit van zuiverings- en gistingprocessen ten aanzien van de eliminatie van (potentiële) ziekteverwekkers en de overlevingskansen van deze micro-organismen tijdens en na het zuiveringsproces een rol.

	aantal bacteriën uit de Coli-groep	
	per ml.	%
ruw afvalwater	$3 \times 10^5$	100
effluent	$6 \times 10^3$	2
vers slib	$5 \times 10^6$	100
uitgegist slib	$6 \times 10^4$	1,3
uitgegist slib op droogveld na:		
- 5 maanden	$5 \times 10^3$	-
- 12 maanden	$1,5 \times 10^2$	-

Tabel 8.. Reductie in bacteriegetal (E.Coli) door rioolwaterzuivering<sup>33</sup>

Teneinde het risico te verkleinen dat pathogenen, via een slibresidu in de vorm van compost, mens en/of dier zouden kunnen schaden, kunnen maatregelen worden getroffen. Vanwege de te stimuleren toepassing van slib als bodemverbeteringsmiddel en de opslag van verwerkt en gezuiverd slib is door de EPA een indeling gemaakt van slibverwerkingsprocessen<sup>8</sup> (in opdracht van STORA is een onderzoek naar de mogelijkheden voor desinfectie van zuiverings-slib verricht<sup>17</sup>).

Volgens deze indeling kan onderscheid worden gemaakt in slibverwerkingsprocessen waarbij pathogenen duidelijk worden verwijderd of vernietigd en processen waarbij een nabewerking om de pathogeniteit te verminderen, noodzakelijk is. Voor nadere gegevens omtrent deze materie wordt verwezen naar het betreffende EPA-rapport<sup>9</sup>.

Om de pathogeniteit te verminderen kunnen verschillende methoden en technieken worden toegepast. In dit verband kunnen worden genoemd:

- pasteurisatie;
- ioniserende straling;
- chemische desinfectie;
- verhitting.

Pasteurisatie is de meest bekende en toegepaste vorm van vernietiging van pathogenen.

Ioniserende straling wordt slechts op kleine schaal toegepast. Behalve röntgenstraling (x-straling) wordt eveneens  $\beta$  -,  $\gamma$  - en electronenstraling toegepast. Door toepassen van ioniserende straling wordt de celkern beschadigd waardoor de cel afsterft. Deze afsterving geschiedt exponentieel in verhouding met de stralingsdosis.

Naast de vernietiging van pathogenen kunnen ook voor de bodem nuttige bacteriën verloren gaan zodat de kwaliteit van de compost afneemt.

Toepassen van ioniserende straling vergt hoge investeringskosten en uitgebreide veiligheidsmaatregelen voor het bedienend personeel; reden waarom deze methode alleen in speciale gevallen wordt toegepast.

Op kleine schaal is ioniserende straling toegepast om de pathogeniteit van compost te verminderen<sup>53,17</sup>.

Hieruit is gebleken dat behandeling met  $\gamma$ -straling veelbelovende perspectieven biedt voor droog of gecomposteerd slib.

Chemische desinfectie van slib wordt niet op uitgebreide schaal toegepast. Om de houdbaarheid te vergroten worden wel chloor en kalk toegevoegd, waarvan kalk het meest.

Zowel chloor als kalk verminderen de microbiologische populatie. De gevolgen voor de pathogeniteit zijn echter beperkt<sup>28</sup>. Vanwege de te verwachten onvolledige destructie van pathogenen door middel van ioniserende straling of chemische desinfectie, lijkt pasteurisatie van slib door verhitting de aangewezen weg om pathogenen te vernietigen.

#### 4.2.5 *desinfectie door pasteurisatie*

In deze paragraaf wordt aandacht geschonken aan pasteurisatie tijdens composteren en aan de verschillende pathogeniteitsniveaus in het eindprodukt.

Opgemerkt wordt dat naast thermische inactivering ook pathogenen in compost vernietigd worden door antibiotica, antagonisme van micro-organismen en remmende substanties welke door andere micro-organismen worden afgescheiden. Daarnaast speelt ook de temperatuur een grote rol.

Sterilisatie is een proces waarbij alle microbiële leven wordt vernietigd inclusief sporen en protozoë-cysten. Onderscheid kan worden gemaakt tussen natte en droge sterilisatie.

Pasteurisatie houdt in dat gedurende een bepaalde tijd een bepaalde temperatuur wordt aangehouden om pathogenen te vernietigen.

In het algemeen kan worden aangenomen dat niet-spore-vormende bacteriën en de vegetatieve cellen van sporevormende bacteriën in slib vernietigd worden in 20-30 minuten bij temperaturen van 60-70° C (natte pasteurisatie).

Uit gegevens ontleend aan Roediger<sup>53</sup> wordt de indruk verkregen dat door pasteurisatie bij 70° C gedurende 30 minuten pathogenen in slib worden vernietigd (zie tabel 9).

Ook door Gotaas zijn tijd-temperatuur relaties vastgesteld. Deze zijn weergegeven in tabel 12<sup>30</sup>.

Volgens literatuur<sup>62</sup> blijkt dat bij een temperatuur van 75° C gedurende 1 uur enteropathogenen worden vernietigd; de indicator-organismen worden teruggebracht tot 1000 per 100 ml. water.

Bij 70° C gedurende 1 uur werden eveneens pathogenen vernietigd doch hier bleven de indicator-organismen (coliformconcentratie) in enkele gevallen boven de 1000 per 100 ml. water.

Uit de tabellen 9 en 10 blijkt dat een hoge temperatuur gedurende een korte tijd of een lagere temperatuur gedurende langere tijd hetzelfde effect hebben.

Vermindering van de activiteit van pathogenen door verhitting is voor verschillende pathogenen weergegeven in de figuren 9 tot en met 12<sup>72,50</sup>. De gegevens in de tabellen 9 en 10 worden ondersteund door deze figuren.

Hieruit blijkt dat de tijdsduur van de inactivatie evenredig is met de logaritme van het aantal aanwezige bacteriën en omgekeerd evenredig met de logaritme van de toegepaste temperatuur.

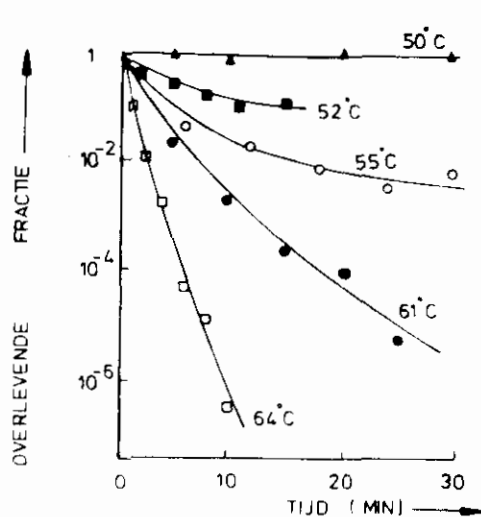


micro-organismen	expositieduur in minuten voor destructie bij				
	50° C	55° C	60° C	65° C	70° C
Cysten van <i>Entamoeba histolytica</i>	5				
Eieren van <i>Ascaris lumbricoides</i>	60	7			
<i>Brucella abortus</i>		60		3	
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>		45			4
<i>Salmonella typhi</i>			30		4
<i>Escherichiacoli</i>			60		5
<i>Micrococcus pyogenus</i> var. <i>aureus</i>					20
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var.					20
Virussen					25

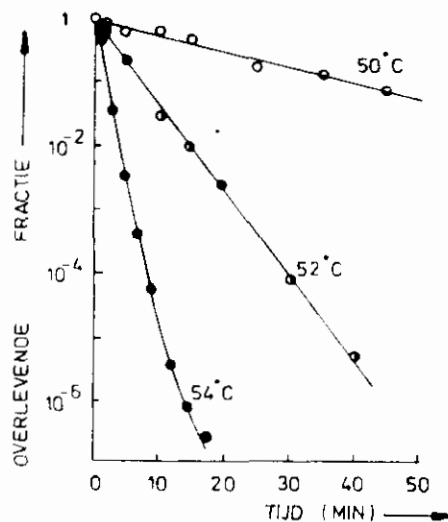
Tabel 9. Temperatuur en tijd voor vernietiging van pathogenen in slib<sup>53</sup>

micro-organismen	destructie tijd-temperatuur			
	temperatuur (° C)	tijd (min)	temperatuur (° C)	tijd (min)
<i>Salmonella typhosa</i>	55-60	30	60	20
<i>Salmonella</i> sp.	55	60	60	15-20
<i>Shigella</i> sp.	55	60		
<i>Ent. histolytica</i> cyst	45	*	55	*
<i>Taenia</i>	55	*		
<i>Trichinella spiralis</i> larvae	55	snel	60	direct
<i>Brucella abortus</i> , <i>Br. suis</i>	62,5	3	55	60
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. <i>aureus</i>	50	10		
<i>Streptococcus pyogenes</i>	54	10		
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. <i>hominis</i>	66	15-20	67	direct
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	55	45		
<i>Necator americanus</i>	45	50		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	50	60		
<i>Escherichia coli</i>	55	60	60	15-20

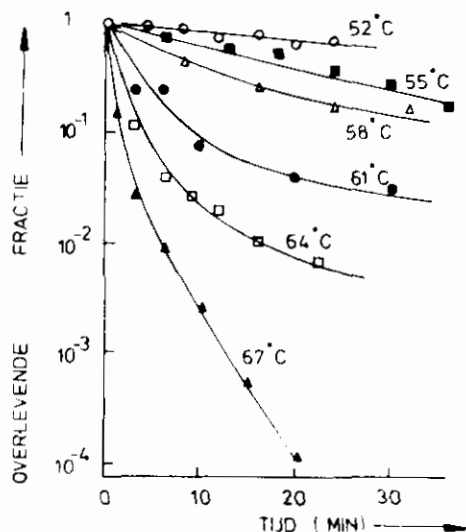
Tabel 10. Temperatuur-tijd relaties voor vernietiging van pathogenen<sup>30</sup>



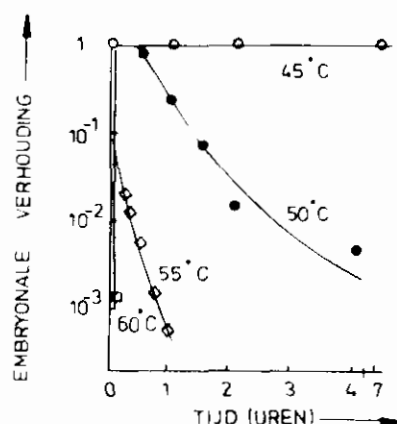
Figuur 9. Thermische inactivatie van Coliformen



Figuur 10. Thermische inactivatie van Salmonella Ent.



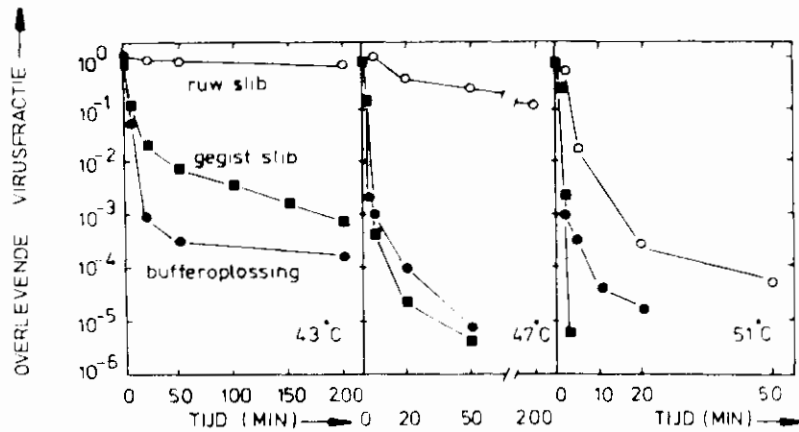
Figuur 11. Thermische inactivatie van fecale Streptococci



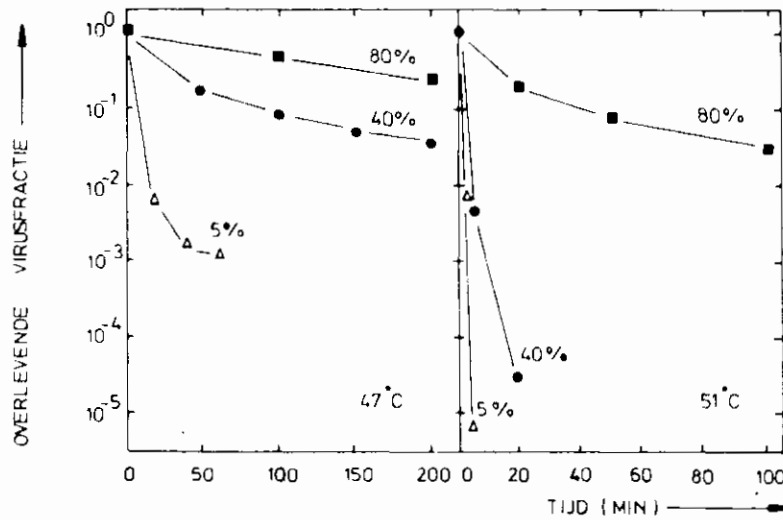
Figuur 12. Thermische inactivatie van Ascaris ova

Verminderen van de activiteit van virussen is meer gecompliceerd dan inactivatie van andere micro-organismen. Door Ward<sup>70</sup> zijn temperatuur-tijd relaties vastgesteld voor poliovirus in ruw en gegist slib en een met fosfaat gebufferde zoutoplossing. De waarnemingen zijn weergegeven in de figuren 13 t/m 15. Hieruit blijkt dat ruw slib een zekere bescherming biedt aan het virale deeltje. Deze bescherming is duidelijk minder in gegist slib. Door middel van een serie experimenten werd door Ward vastgesteld dat ruw slib een beschermende substantie bevat welke door vergisting verdwijnt.

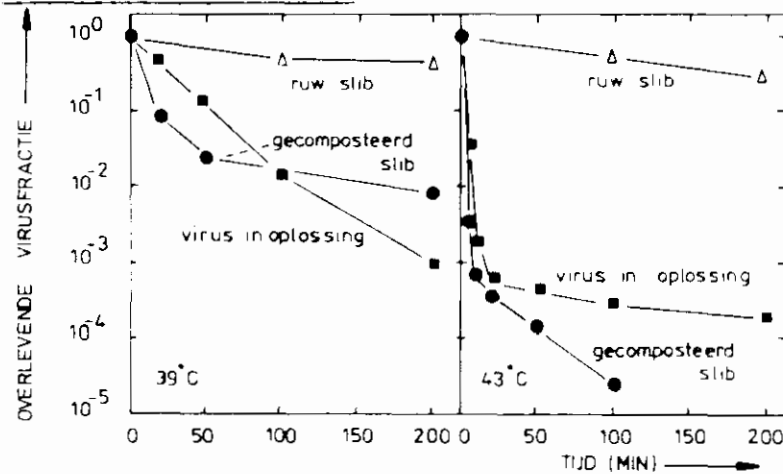
Virale activiteit blijkt eveneens afhankelijk van de zuurgraad, namelijk toenemende activiteit bij stijging van de pH. Voor een meer uitgebreide beschrijving van de experimenten van Ward wordt verwezen naar de literatuur<sup>70,71</sup>.



Figuur 13. Thermische inactivatie van poliovirus in slib en bufferoplossing



Figuur 14. Thermische inactivatie van poliovirus in ruw slib in relatie met vaste bestanddelen



Figuur 15. Thermische inactivatie van poliovirus in ruw slib, gecomponeerd slib en poliovirus in oplossing

Uitgaande van bekende tijd-temperatuurrelaties voor verschillende pathogenen mag worden verondersteld dat thermische inactivatie van darm-pathogenen plaats vindt tijdens het composteringproces. Temperaturen van 55°C - 60°C gedurende 2 dagen zullen voldoende zijn om de diverse pathogenen, zoals virussen, bacteriën, protozoën (inclusief cysten), te vernietigen. Endosporen tengevolge van sporevormende bacteriën worden niet geïnactiveerd onder deze condities.

Composteren levert een aanzienlijke reductie op van pathogene organismen. Desinfectie is redelijk tot volledig al naarmate het te composteren materiaal aan de genoemde temperaturen wordt blootgesteld.

#### 4.3 Slibcomposteringssystemen

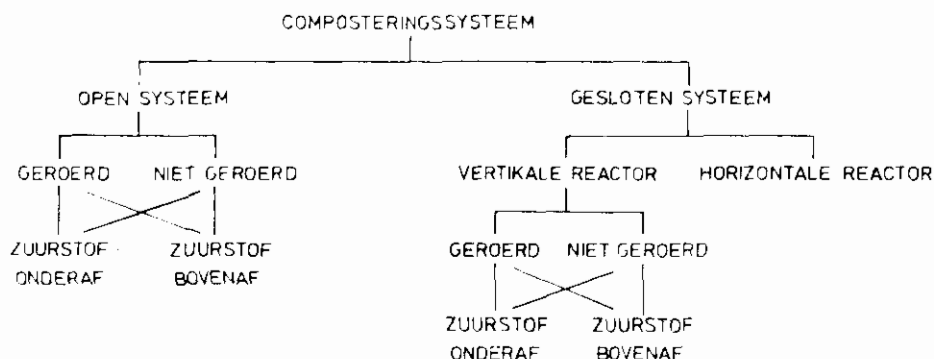
##### 4.3.1 *algemeen*

Composteringssystemen kunnen worden onderscheiden in systemen waarbij het te composteren materiaal wordt verwerkt in een afgesloten ruimte of in de buitenlucht.

Men spreekt van respectievelijk gesloten en open systemen; naast de indeling naar open of gesloten systemen kan een verdere indeling worden bereikt door onderscheid te maken naar de procestechnologische aspecten. Voorbeelden hiervan zijn:

- behandeling van het materiaal (statische opslag, omzetten, roeren);
- toeslagstof (aard en samenstelling, menging);
- vorm van beluchting en zuurstoftoevoer.

Een globale indeling van de composteringssystemen is weergegeven in figuur 16.



Figuur 16. Schema composteringssystemen

De naamgeving van de diverse systemen is in veel gevallen afgeleid van de plaats waar een dergelijk systeem is toegepast of van de naam van degene die het desbetreffende systeem heeft ontwikkeld. De in dit verband genoemde namen zullen, naast de definitie zoals eerder omschreven, worden vermeld.

#### 4.3.2 *open systemen*

De open systemen kunnen worden onderscheiden in systemen waarbij het te composteren materiaal voortdurend wordt geroerd of omgezet en systemen waarbij het materiaal statisch wordt opgeslagen en belucht. Bij een systeem waarbij het te composteren materiaal wordt geroerd, wordt het mengsel periodiek in beweging gehouden tijdens het composteren.

Dit houdt in dat het materiaal regelmatig wordt gekeerd, of op een andere wijze wordt omgezet. Het roeren moet niet worden opgevat als synoniem voor mengen. Als een systeem goed is gemengd betekent dit dat de grondstoffen (slib en toeslagstoffen) gelijkmatig zijn verdeeld over het te composteren volume; dit wil zeggen dat in een compleet gemengd systeem geen concentratiegradiënten bestaan over het volume.

##### *open systeem, mechanisch geroerd (windrow)*

In dit systeem wordt het te composteren materiaal opgehoopt en in lange rijen geformeerd. Een dergelijke rij wordt een windrow genoemd. In dwarsdoorsnede varieert het opgehoopte materiaal van nagenoeg rechthoekig tot trapeziumvormig en driehoekig. De breedte varieert daarbij van circa 2 tot 6 m en de hoogte van circa 1 tot 2,5 m.

Periodiek wordt het te composteren materiaal gekeerd (of omgezet) met een frequentie, variërend van 1x per 7 dagen tot 1x daags. De beluchting en de zuurstoftoevoer vinden op natuurlijke wijze plaats tijdens het omzetten van het materiaal.

De frequentie van het omzetten is mede afhankelijk van de (weers)omstandigheden tijdens het composteren. Het omzetten kan worden uitgevoerd met behulp van bijvoorbeeld een laadschop doch kan ook worden gerealiseerd met mechanische roerders of mengers.

Het uitgangsmateriaal kan op verschillende manieren worden geformeerd tot een windrow, nl.:

- ophopen van de toeslagstof waarna het te composteren materiaal daar overheen wordt verspreid; vervolgens worden toeslagstoffen en te composteren materiaal met elkaar gemengd;
- vooraf mengen van toeslagmaterialen en te composteren materiaal waarna ophoping van het mengsel kan plaats vinden.

Het voordeel van de zogenaamde windrow-compostering is dat bij nat organisch materiaal op relatief eenvoudige wijze droge compost of een ander toeslagmateriaal kan worden gevoegd ter verbetering van de porositeit en het vochtgehalte, zodat het composteringsproces snel op gang komt.

Op verschillende plaatsen is met succes compostering volgens het windrowsysteem toegepast met als uitgangsmateriaal uitgegist slib<sup>26,24,25</sup>. Uit Amerikaanse proeven is gebleken dat met toepassing van niet uitgegist slib (primair- en actiefslib) windrowcompostering minder bevredigend werkt. Behalve een slechte compostering van het materiaal in het midden van de windrow (gevolg van slecht omzetten) bleken tijdens het composteren stankproblemen te ontstaan.

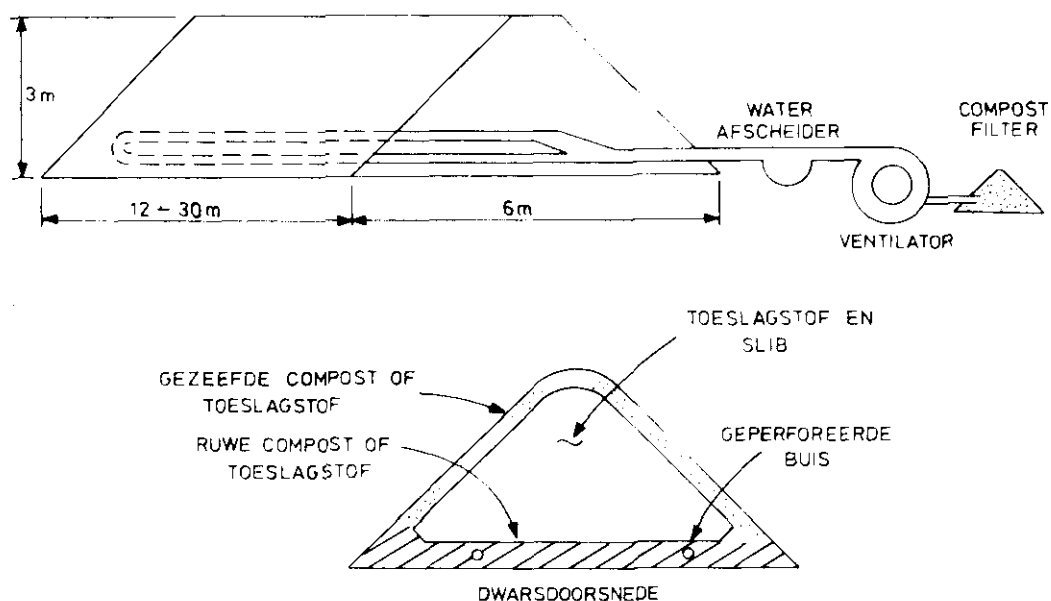
Bij controle van het eindprodukt bleken bovendien Salmonellae en E-coli in aanzienlijke populaties aanwezig, waardoor het hygiënisch onbetrouwbaar werd geacht.

Indien echter een goede porositeit en omzetsfrequentie gerealiseerd kunnen worden, zullen de genoemde problemen tot een minimum beperkt blijven.

De methode wordt sinds 1972 toegepast door het Los Angeles County Sanitation District. Uitgangsmateriaal is daar anaëroob uitgegist slib en gecentrifugeerd primair slib. Gecomposteerd slib wordt met het ontwaterde slib gemengd in een verhouding van 3:1. Afhankelijk van de weersomstandigheden bedraagt de composteringstijd 3 tot 4 weken. De gevormde compost bevat 60-70% droge stof.

*open systeem, niet geroerd (aerated static pile)*

Deze methode wordt veelal genoemd naar de plaats waar zij is ontwikkeld, namelijk Beltsville in de Verenigde Staten van Amerika. Bij dit eveneens opencomposteringssysteem wordt het te composteren materiaal, slib met toeslagstof, opgehoopt op rijen. In tegenstelling tot het windrowsysteem echter, wordt het materiaal niet omgezet gedurende het composteringsproces en wordt geforceerde ventilatie toegepast om aërobe condities binnen het te composteren materiaal te handhaven. Het systeem is ontwikkeld voor het composteren van niet uitgegist slib. In figuur 17 is een schematische voorstelling van de aerated static pile weergegeven.



Figuur 17. Compostering volgens open systeem, niet geroerd, geforceerd belucht (Beltsville).

Het systeem is operationeel in Beltsville, Bangor, Maine en Durham<sup>26,24,25,27,78</sup>.

In Beltsville zijn verschillende uitgangsmaterialen experimenteel gecomposteerd. Deze uitgangsmaterialen waren:

- mengsel van niet uitgegist primair en secundair slib;
- 75% niet uitgegist slib en 25% anaëroob uitgegist slib;
- anaëroob uitgegist slib.

De resultaten van deze composteringen zijn vastgelegd en gerapporteerd door Epstein et al<sup>24</sup>. Met betrekking tot de pathogeniteit is een onderzoek verricht en gerapporteerd door Burge<sup>5</sup>.

Geconcludeerd werd dat:

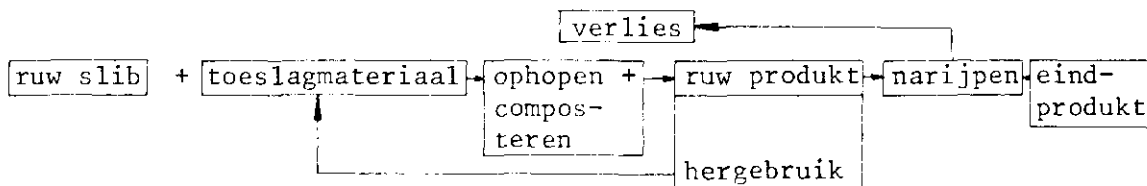
- zowel uitgegist als niet uitgegist slib kan worden gecomposteerd in een beluchte ophoping zonder dat daarbij stankhinder ontstaat;
- destructie van totaal coliformen, faecale coliformen, Salmonellae en virussen groter is dan bij windrowcompostering.

Voordat het te composteren slib wordt aangevoerd worden eerst de toeslagstoffen geformeerd in beddingen van circa 2,5-3,0 m breedte en 0,3 tot 0,6 m diepte. Hierover wordt het te composteren slib gestort, gelijkmatig verdeeld en homogeen gemengd met de toeslagstof met behulp van een mechanische menger.

Onder het te composteren materiaal zijn geperforeerde (drainage) buizen of slangen aangebracht waarop een ventilator is aangesloten. Deze zuigt de lucht door het te composteren materiaal aan en loost deze rechtstreeks of via een compostfilter in de buitenlucht. De ventilator wordt gestuurd door een tijdklok welke de installatie enige malen per uur inschakelt, waarbij de draaitijd telkens enkele minuten bedraagt.

De composteringstijd bedraagt ca. 21 dagen. Na deze 21 dagen wordt de compost afgevoerd naar een andere plaats voor narijping gedurende circa 30 dagen en opgeslagen in afwachting van zeven of hergebruik als toeslagstof in het composteringsproces.

Teneinde een indruk te geven van de verschillende bijdragen van ruw slib en toeslagmateriaal bij het composteringsproces is een en ander schematisch weergegeven in figuur 18 en tabel 11.



Figuur 18. Schema materiaalbalans voor open systeem, niet geroerd

	ruw slib	toeslag- materiaal	meng- sel	ver- lies	recy- cling	eind- pro- dukt
totaal gewicht	57,1%	42,9%	100%	41,0%	42,9%	16,1%
totaal orga- nisch mat.	13,1%	25,8%	38,9%	3,4%	25,8%	9,7%
vluchtige be- standdelen	7,2%	10,2%	17,4%	3,4%	10,2%	3,8%
vast bestandd.	5,9%	15,6%	21,5%	-	15,6%	5,9%
water	44,0%	17,0%	61,0%	37,5%	17,0%	6,5%

Tabel 11. Materiaalbalans voor open systeem, niet geroerd<sup>32</sup>

De uitgangspunten hierbij zijn:

- gewicht te composteren mengsel = 100%
- organisch materiaal = vastmateriaal + vluchtig materiaal
- ruw slib + toeslagmateriaal → composteringsverlies + recycling + eindprodukt.

Bij het opstellen van deze materiaalbalans is uitgegaan van gegevens ontleend aan het Beltsville experiment<sup>59</sup>. De in de tabel gegeven verliezen hebben alleen betrekking op het composteringsproces. Volgens de Beltsville gegevens wordt het totale verlies van de toeslagstof tijdens composteren en narijpen geschat op circa 10% van de oorspronkelijk toegevoegde hoeveelheid.

Tijdens het zeven van het nagerijpte eindprodukt verdwijnt nog eens circa 20% van de oorspronkelijk toegevoegde hoeveelheid toeslagstof in het eindprodukt. Het oorspronkelijke slibvolume neemt circa 15% af tijdens composteren en narijpen.

Het zeven van het eindprodukt heeft als doel:

- het terugwinnen van toeslagmateriaal;
- een eindprodukt van kleine afmetingen te verkrijgen;
- de C/N-verhouding te verlagen.

Het zeven gebeurt onder alle weersomstandigheden behoudens bij temperaturen beneden het vriespunt en bij hevige regenval.

Ervaringen hebben uitgewezen dat hergebruik van afvoerlucht van een "andere" composteringshoop, welke is verwarmd tengevolge van het composteren, de aanvangsfase van een composteringsproces kan versnellen. Aangezien de afvoerlucht zeer vochtig is en daardoor hoge vochtgehalten in het te composteren materiaal ontstaan, is hergebruik alleen zinvol gedurende de aanvangsfase.

Het gebruik van toeslagstoffen welke tijdens opslag zijn blootgesteld aan de weersinvloeden kan praktische bezwaren opleveren in verband met het vochtgehalte. Vooral bij vorst kan met vocht verzadigd toeslagmateriaal remmend werken op het composteringsproces.



### 4.3.3 gesloten systemen

De gesloten composteringssystemen worden gekenmerkt door het toepassen van een reactorvat of-toren.

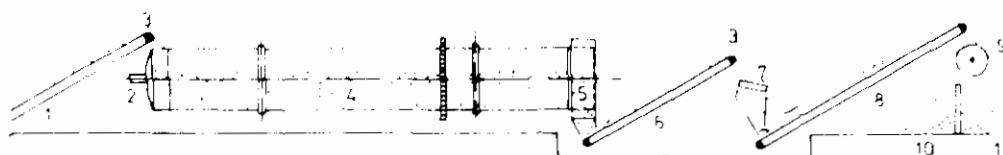
Op grond van de inrichting en de stand van de reactor kan een onderscheid in de diverse systemen gemaakt worden. De reactoren kunnen namelijk eencellig (geen scheidingswanden in de reactor aanwezig) zijn, terwijl ook meercellige systemen (gecompartimenteerde reactoren) worden toegepast; in de meeste gevallen is sprake van een verticale opstelling van de installatie, incidenteel worden ook horizontaal geplaatste systemen toegepast. Van de meest toegepaste systemen zullen de belangrijkste kenmerken nader toegelicht worden.

#### horizontale roterende reactor (systeem DANO)

Dit systeem, dat bekend staat onder de naam van de producent (DANO), bestaat uit een horizontaal geplaatste langwerpige trommel, die roteert om zijn eigen as, waardoor de inhoud continu in beweging is. In figuur 19 is de horizontale reactor schematisch weergegeven.

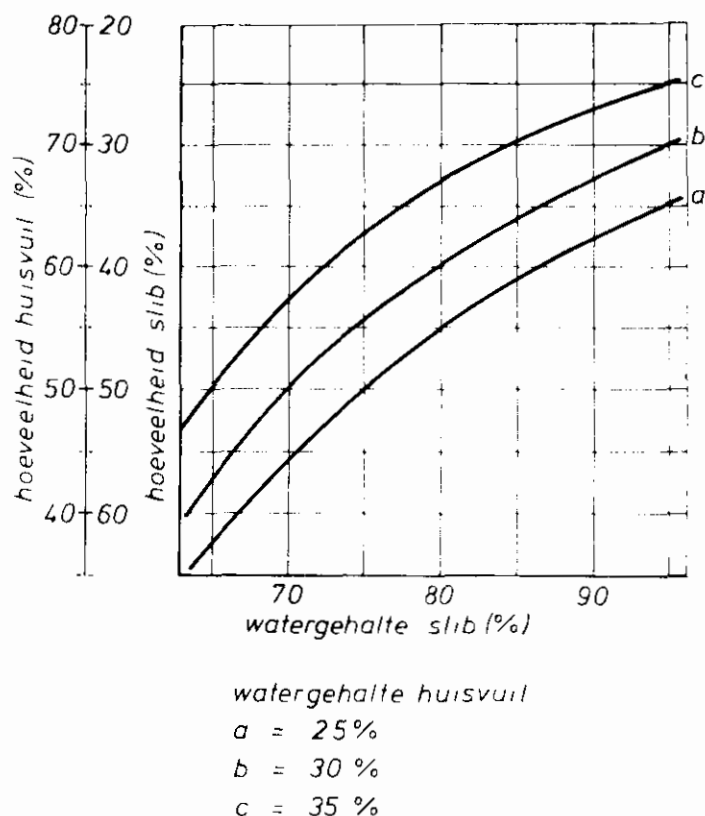
Als gevolg van het intensieve meng- en roerproces, waarbij de vocht- en zuurstofvoorziening nauwkeurig geregeld kunnen worden, komt het composteringsproces snel op gang. Binnen enkele dagen is het te composteren materiaal reeds zodanig gefermenteerd, dat verdere narijping buiten de trommel kan plaatsvinden, zonder dat stankoverlast voor de omgeving wordt veroorzaakt.

Het DANO-principe wordt hoofdzakelijk toegepast bij de verwerking van huisvuil tot compost, in Nederland met name door de gemeenten Haarlemmermeer en Soest-Baarn. In het buitenland (Denemarken, West-Duitsland en Engeland) wordt met dit systeem een gecombineerde compostering uitgevoerd van huisvuil met zuiveringsslib. De mengverhouding van deze beide componenten is hoofdzakelijk afhankelijk van het watergehalte van het slib en het huisvuil. Dit aspect is in figuur 20 grafisch weergegeven<sup>19</sup>. Hieruit blijkt dat het drogestofgehalte van het slib minimaal 25 à 30% moet bedragen om equivalente hoeveelheden slib en huisvuil te kunnen verwerken.



- |   |                            |    |                    |
|---|----------------------------|----|--------------------|
| 1 | TRANSPORTBAND 1 (hoesband) | 7  | DUBBELE SCHUDZEEF  |
| 2 | INVOER WATER EN LUCHT      | 8  | TRANSPORTBAND 3    |
| 3 | MAGNEET                    | 9  | SECATOR            |
| 4 | BIO-STABILISATOR           | 10 | GLAS, SINTELS, etc |
| 5 | GROFZEEF                   | 11 | COMPOST            |
| 6 | TRANSPORTBAND 2            |    |                    |

Figuur 19. Horizontale roterende reactor (systeem DANO)



Figuur 20. Mengverhouding slib/huisvuil en het slibwatergehalte

De hoofdoorzaak dat het gecombineerd composteren van slib en huisvuil in een DANO-installatie in Nederland niet wordt toegepast is de overbelasting met huisvuil waarmee deze verwerkingsbedrijven te kampen hebben. In Gent (België), waar het DANO-systeem voor huisvuilverwerking op zeer grote schaal wordt toegepast is men ervan overtuigd dat het gecombineerd verwerken van slib en huisvuil technisch goed realiseerbaar is, maar men vreest dat bij de verwerking van slib de afzet van het gereede produkt in gevaar komt. In de huidige situatie (alleen huisvuilverwerking) verloopt de afzet van compost probleemloos, maar bij toepassing van slib worden, met het oog op de toename van de concentraties aan zware metalen, afzetmoeilijkheden verwacht.

Opvallend bij de beschouwing van de buitenlandse ervaringen met het gecombineerd composteren van slib en huisvuil is dat in alle gevallen een gesloten reactorsysteem wordt toegepast. In Nederland zijn op beperkte schaal experimenten uitgevoerd met het integraal composteren van zuiveringsslib en huisvuil, onder andere te Soest-Baarn, Arnhem en Mierlo (VAM).

Laatstgenoemde experimenten hadden tot doel vast te stellen met welk materiaal en bij welke mengverhoudingen tijdens het composteringproces temperaturen ontstaan, welke voldoende zijn om te pasteuriseren<sup>6,7</sup>. Uit de proeven is geconcludeerd dat bij volumeverhoudingen van vers verkleind huisvuil en slib van 1:1/3 à 1 en bij volumeverhoudingen van onverkleind vers huisvuil en slib van 1:1/2 à 1, het gewenste pasteurisatie-effect wordt bereikt.

Uit de analyses van de uitgangsmaterialen en eindprodukten is gebleken dat, evenals bij andere composteringssystemen, veel van de oorspronkelijk aanwezige stikstof verloren is gegaan. Tevens kwam naar voren dat mengsels van huisvuil en slib meer  $P_2O_5$  en minder  $K_2O$  bevatten dan huisvuilcompost zonder slib.

De experimenten zijn niet voortgezet vanwege capaciteitsproblemen, een dermate hoog gehalte aan zware metalen dat geen aanvaardbaar produkt te bereiden is en vanwege afzetmoeilijkheden (VAM Mierlo).

#### *verticale ééncellige reactor (systeem Kneer)*

Bij dit composteringssysteem is een onderscheid te maken in installaties waarin de inhoud geroerd kan worden en reactoren waarin de inhoud opeengestapeld wordt. Ten aanzien van de laatste methodiek is in West-Duitsland en Zweden een ruime ervaring opgedaan.

Deze bioreactor, bekend onder de naam van de ontwikkelaar ervan, Kneer, is op circa 20 plaatsen in gebruik. De installatie bestaat uit een cilindervormig vat, dat van bovenaf gevuld wordt met een mengsel van tot 25% droge stof ontwaterd slib en toeslagstoffen.

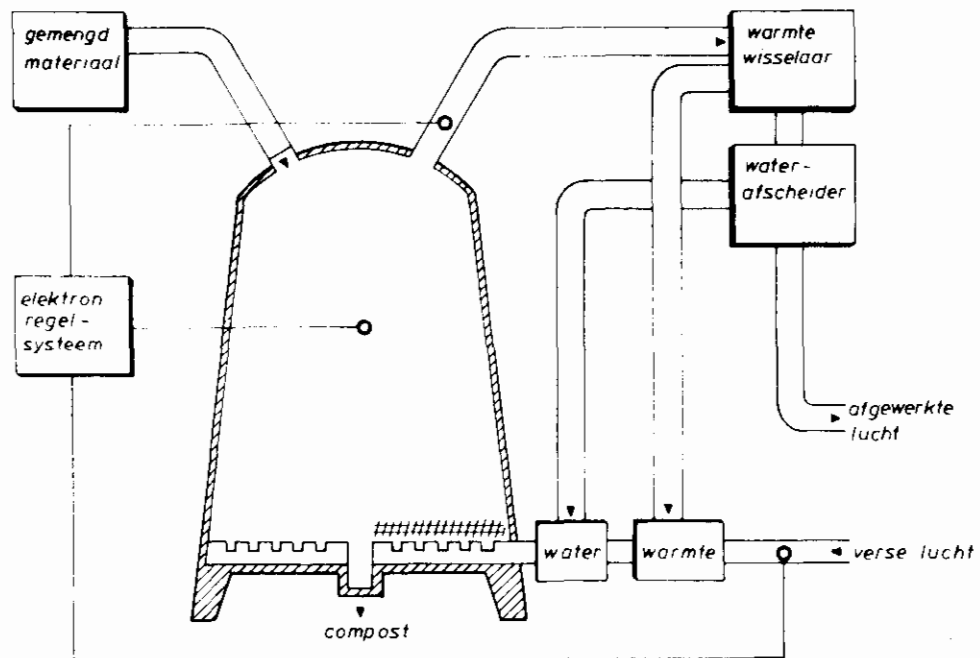
Deze toeslagstoffen kunnen uit ruwe compost en zaagsel of boomschors bestaan. De te kiezen mengverhouding is dikwijls een zaak van ervaring van het bedienend personeel.

De voor het composteringproces benodigde lucht wordt meestal van onderaf door het mengsel geblazen. In figuur 21 is het principe van de bio-reactor schematisch weergegeven<sup>33</sup>.

De in figuur 21 geschetste warmtewisselaar is niet in alle installaties ingebouwd; soms kan de afgewerkte lucht vrij aan de bovenzijde van de cylinder ontwijken.

De zuurstofvoorziening voor de te composteren massa is een kwetsbaar punt in het systeem Kneer. Door de relatief grote stapelhoogte van het materiaal kan in het slibmengsel zuurstofgebrek ontstaan, waardoor het proces plaatselijk van aëroob in anaëroob kan omslaan, hetgeen stank tot gevolg heeft. Indien de beluchting wel goed functioneert, is het composteringproces na ongeveer 28 dagen zover gevorderd, dat het materiaal via een schroeftransporteur aan de onderzijde gelost kan worden. De narijping kan dan plaats vinden in de openlucht, waarbij geen stankhinder ontstaat.

Na het lossen van de ruwe compost kan aan de bovenzijde van de reactor een gelijk volume aan slibtoeslagstofmengsel toegevoegd worden. Er is dus sprake van een continu proces.



Figuur 21. Processchema bioreactor (systeem Kneer)

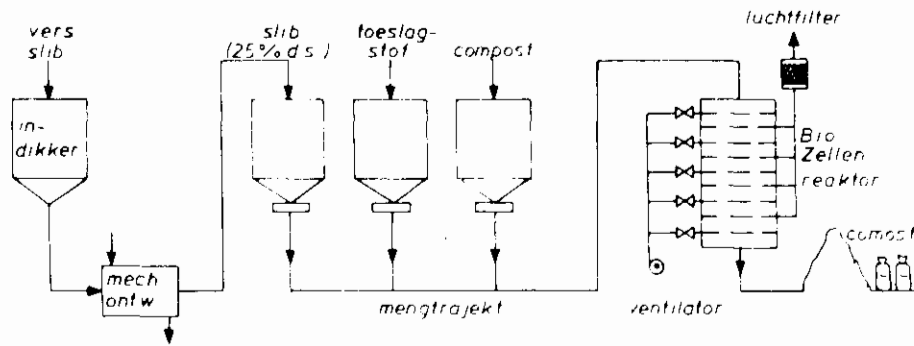
De temperatuur in de composterende massa wordt voortdurend gemeten en geregistreerd.

Aan de hand van het temperatuurverloop kan de beluchting geregeld worden, waardoor het proces enigszins te beïnvloeden is. Deze regelmogelijkheid is echter beperkt, daar in één reactor, als gevolg van het continue proces, diverse composteringsfasen tegelijk voorkomen. De genoemde beperking maakt het systeem gevoelig voor storingen in het procesverloop.

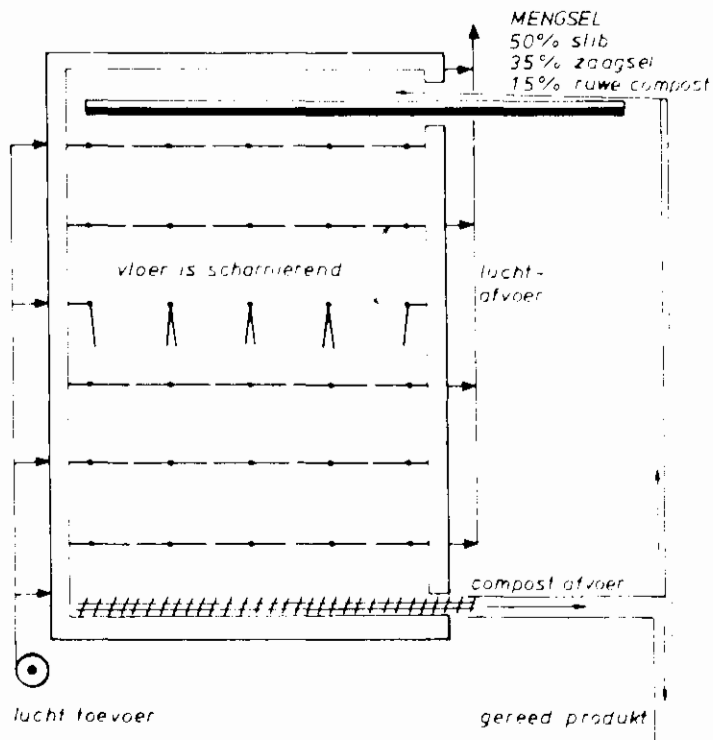
*verticale reactor, horizontaal gecompartmenteerd (systeem Schnorr)*

Deze composteringsreactor, bekend onder de naam biocelreactor (systeem Schnorr), bestaat eveneens uit een verticaal opgesteld systeem. In tegenstelling tot de bioreactor is hier sprake van een rechthoekige toren, welke door middel van tussenvloeren in een aantal etages is verdeeld. In figuur 22 is de gehele installatie schematisch weergegeven<sup>6,8</sup>. Het vers slib uit de indikker wordt mechanisch ontwaterd tot circa 22 à 25% droge stof en vervolgens in een silo opgeslagen. In twee andere silo's worden respectievelijk de toeslagstof (meestal zaagsel of boomschors) en compost opgeslagen. De drie componenten kunnen door middel van een kettingtransporteur gemengd worden en worden vervolgens naar de bovenzijde van de reactor getransporteerd (zie figuur 23).

De mengverhouding van slib, zaagsel en compost bedraagt globaal 10:7:3.



Figuur 22. Processchema biocelreactor (systeem Schnorr)



Figuur 23. Biocelreactor (systeem Schnorr)

De reactor bestaat uit een dubbelwandige constructie met steenwolisolatie ter voorkoming van warmteverlies. In deze ombouw zijn, op onderlinge afstand van circa 1,25 m 6 à 10 etages aangebracht, die bestaan uit aluminium kleppen, die scharnierend zijn gemonteerd. Deze kleppenconstructie kan per etage afzonderlijk bediend worden door middel van een hydraulische installatie.

De beluchting vindt geforceerd plaats door middel van een ventilator, waarbij de installatie zodanig is ingericht dat de luchttoevoer van elke etage afzonderlijk te regelen is. De toe- en afvoer is zo aangebracht dat de luchtstroom de etage in lengterichting passeert, waarbij de toevoer zo laag mogelijk en de afvoer zo hoog mogelijk in de betreffende etage is gesitueerd.

Het mengsel van slib en toeslagstoffen dat naar het hoogste punt van de installatie is getransporteerd, wordt door middel van een verdeelwerk in de lengterichting in de bovenste etage verspreid. In deze bovenste etage verblijft het te composteren materiaal 2 à 3 dagen.

Na deze periode wordt de scharnierende vloer van de bovenste etage geopend, zodat het materiaal een etage lager beland. Als gevolg van het vallen wordt de massa gemengd; vervolgens kan op de volgende etage het composteringsproces voortgaan, terwijl de bovenste etage opnieuw gevuld kan worden.

Het gevolg van het mengen, de geforceerde beluchting en de isolatie van de reactor is het zeer vlug bereiken van de optimale composterings temperatuur van 65 à 75<sup>o</sup> C. Reeds in de derde etage (van bovenaf gezien) kan dit stadium bereikt worden.

Wanneer het materiaal tenslotte de onderste verdieping bereikt, is het composteringsproces zover gevorderd dat compost gevormd is, die geen narijping meer vereist. Door middel van een schroeftransporteur kan het gereede produkt uit de reactor verwijderd worden; een deel verdwijnt naar buiten, geschikt om direct af te voeren en te verwerken, een ander deel wordt naar de opslagsilo geleid om bij een volgende procesgang dienst te doen als toeslagstof.

Een belangrijk voordeel van dit composteringsprincipe is het verkrijgen van een homogeen, gerijpt en hygiënisch betrouwbaar produkt als gevolg van de intensieve beluchting en menging van de componenten. Het produkt is rul en stankvrij en zelfs bij een opslag van enkele meters hoogte treedt nauwelijks een temperatuurstijging op.

De ingewikkelde mechanische voorzieningen kunnen daarentegen als een nadeel worden beschouwd, zowel uit oogpunt van investeringskosten als uit oogpunt van onderhoud.

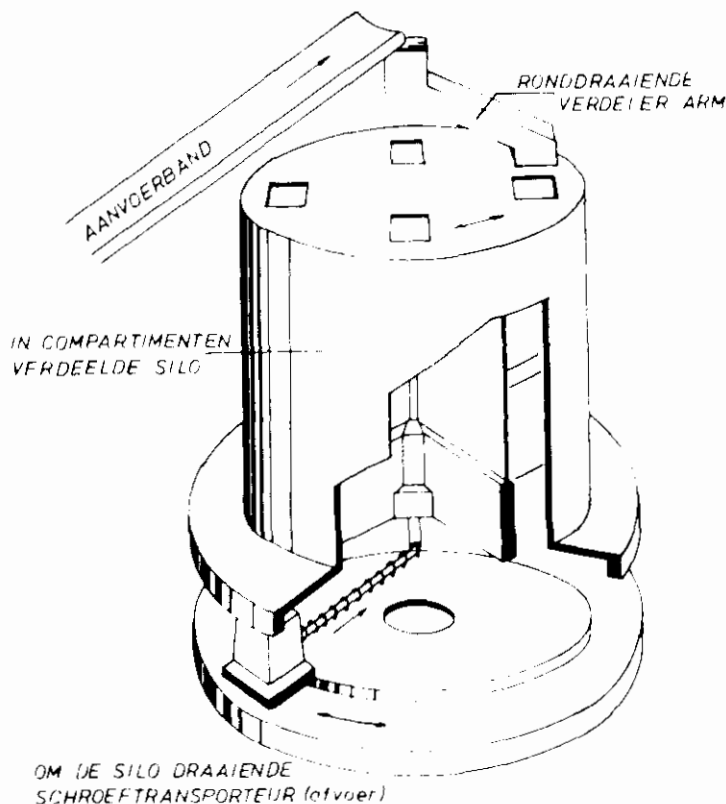
Thans onderzoekt men de mogelijkheid om de investeringskosten te reduceren door slechts twee etages boven elkaar te installeren. Het compostmengsel dat uit de onderste etage vrijkomt kan dan via een eenvoudige baktransporteur weer in de bovenste cel gebracht worden, zodat toch het vereiste aantal cellen doorlopen kan worden.

Tevens wordt overwogen de toevoerlucht met warmte van de afvoerlucht voor te verwarmen, zodat de composterings bij een gemiddeld hogere temperatuur kan plaatsvinden.

De totale procestijd zou hiermee aanzienlijk verkort kunnen worden.

verticale reactor, verticaal gecompartmenteerd (systeem Triga)

Dit composteringssysteem, dat op bescheiden schaal in Frankrijk wordt toegepast, is bekend onder de naam Triga. Evenals bij de vorige systemen is ook hier sprake van een verticaal geplaatste reactor. In tegenstelling tot de biocelreactor zijn in deze installatie, in plaats van horizontale etages, verticale scheidingswanden gemonteerd, waardoor het cilindervormige vat in vier gelijke compartimenten wordt verdeeld. In figuur 24 is de opbouw van de Triga-reactor schematisch weergegeven.



Figuur 24. Composteringsinstallatie (systeem Triga)

Boven de installatie is een verdeelwerk aangebracht dat draaibaar is, zodat hiermede de vier compartimenten afzonderlijk gevuld kunnen worden. De te composteren massa wordt door een aanvoerband vanuit een menginstallatie in het verdeelwerk getransporteerd. De geforceerde beluchting vindt eveneens vanaf de bovenzijde plaats.

In de compartimenten vindt geen verdere menging meer plaats, zodat het systeem in dit opzicht is te vergelijken met de bioreactor (systeem Kneer).

Het gerede produkt wordt aan de onderzijde gelost door middel van een schroeftransporteur. Aangezien dit onderdeel draaibaar onder de gehele reactor is, kunnen met één transporteur alle vier de compartimenten gelost worden.

Het systeem is in principe te vergelijken met de bioreactor, namelijk een verticale reactor, zonder menging of roering in het systeem zelf. Een verschil ten opzichte van de bioreactor is de compartimentering, hetgeen als een duidelijk voordeel aangemerkt kan worden. Door deze opzet is bij een storing in het composteringsproces in een der compartimenten niet het totale produktieverloop verstoord. In de drie andere compartimenten kan de compostering dan normaal doorgang vinden.

#### 4.4 Praktijkervaring

##### 4.4.1 *inleiding*

Het bedrijfsmatig composteren van zuiveringsslib wordt in Nederland nog niet toegepast, behoudens een tweetal uitzonderingen. Het betreft in beide gevallen een open composteringsproces, te weten een windrow-compostering en een produktieproces volgens de aerated static pile-methode (Beltsville). Aangezien beide projecten pas in 1981 gestart zijn en er dientengevolge nog relatief weinig gegevens bekend zijn, worden, waar nodig, buitenlandse ervaringen vermeld ter completering van het beeld.

Gesloten systemen zijn in Nederland niet op grote schaal toegepast, met uitzondering van een proefproject met de DANO- $\gamma$  stabilisator van het compost- en rioolwaterzuiveringsbedrijf Soest-Baarn. Het betrof hier een voorfermentatie van uitgegist slib met houtsnippers als toeslagstof. Het verdere composteringsproces werd voortgezet met de windrow-methode. De voorlopige conclusie is dat deze wijze van slibverwerking goede mogelijkheden biedt. Er zijn nog onvoldoende gegevens bekend om deze methode in het kader van de praktijkervaringen nader toe te lichten.

Met andere gesloten systemen is in het buitenland al ruime ervaring opgedaan. Bij de beschrijving van praktijkervaringen is gekozen voor de biocelreactor (systeem Schnorr), aangezien met deze methode zeer goede resultaten te behalen zijn, waarbij minimale milieueffecten optreden. De investeringskosten van een dergelijk systeem zijn echter hoog. Om de verschillen tussen open en gesloten systeem duidelijk tot uitdrukking te laten komen, is dit systeem toch in dit rapport opgenomen.

Bij de beschrijvingen van de diverse systemen zullen de volgende aspecten aan de orde komen:

- werkwijze;
- benodigde voorzieningen;
- gehanteerde parameters;
- milieueffecten en kwaliteitsaspecten;
- kostenfactoren en kostenindicatie.



De gedetailleerdheid van de beschrijving van de diverse aspecten is afhankelijk van de beschikbare gegevens. In die gevallen, waarin praktijkinformatie ontbrak, is zoveel mogelijk teruggevallen op (buitenlandse) literatuurgegevens.

#### 4.4.2 *windrow-compostering*

##### *werkwijze en voorzieningen*

Het Waterschap de Dommel, begeleid door de Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant, past in Mierlo windrow-compostering toe<sup>43</sup>. Het uitgangsmateriaal is ongestabiliseerd slib, afkomstig van de rwzi Eindhoven, dat met een persleiding naar Mierlo wordt getransporteerd. Het natte slib wordt op de verwerkingsplaats door middel van zeefbandpersen ontwaterd tot een drogestofgehalte van 23 à 25%. Het slib is vooraf met behulp van polymeren chemisch geconditioneerd. Als gevolg van deze ontwateringswijze verloopt de rijping en verdere droging van het slib slechts zeer langzaam; bijmengingen met allerlei toeslagstoffen geven slechts povere resultaten.

Om het ontwaterde slib toch in een stapelbare vorm te brengen wordt windrow-compostering toegepast. Hiertoe worden slib en houtkrullen gemengd in een volumeverhouding van circa 1:2. Dit mengproces wordt op een weinig intensieve wijze uitgevoerd in een daarvoor geconstrueerde installatie, die door middel van een wiellaadschop voorzien wordt van de te mengen grondstoffen (zie figuur 25).

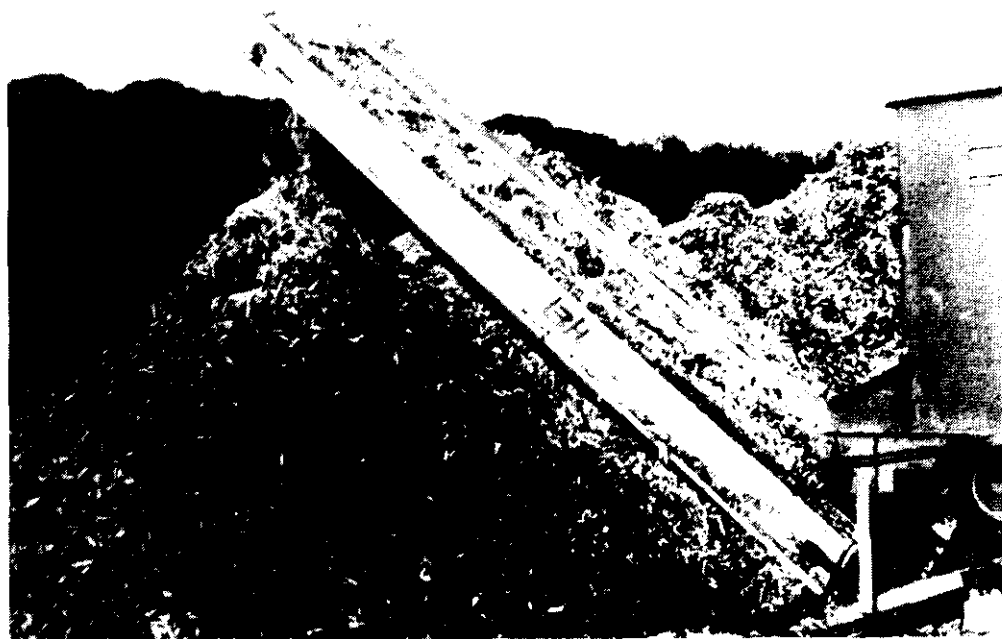


Fig. 25. Mengen van slib met toeslagmateriaal

Het slib-houtmengsel wordt vervolgens op een windrow geformeerd met een breedte aan de basis van circa 4 m en een hoogte in het midden van 2 à 3 m. De lengte van een windrow wordt bepaald door de hoeveelheid slib die in één week verwerkt moet worden. De op deze wijze gevormde windrow wordt met intervallen van 5 à 7 dagen omgezet en opnieuw geformeerd; dit proces wordt circa 1 maand voortgezet.

In de praktijk is gebleken dat bij de genoemde mengverhoudingen en bij de beschreven procesgang, het composteringsproces snel op gang komt; binnen enkele dagen wordt de optimale composteringstemperatuur bereikt. Het vochtgehalte en de porositeit zijn zodanig dat er voldoende toevoer van zuurstof en afvoer van vocht plaats kan vinden. Het proces blijkt op zich weinig gevoelig te zijn voor meteorologische invloeden. Deze kunnen wel van invloed zijn op de verdere verwerking (afzeven).

Na verloop van circa een maand is het composteringsproces zover gevorderd, dat verder omzetten van de compost niet meer noodzakelijk is. Na een narijningsperiode van circa 4 weken (ook op een windrow) is de compost gereed voor nabewerking of afvoer. Men kan ook eerst de nabewerking uitvoeren en daarna de compost laten narijpen.

De nabewerking bestaat uit het afzeven van een belangrijk deel van de toeslagmaterialen. Een voorwaarde voor een goed zeefresultaat is een minimaal drogestofgehalte van de ruwe compost van 60 à 70%. Om dit drogestofgehalte te bereiken is men wel afhankelijk van de weersomstandigheden. Een overkapping of een geforceerde beluchting van de compost in de narijningsfase zou deze afhankelijkheid aanzienlijk kunnen verkleinen. De zeefinstallatie, die onder een helling staat opgesteld, bestaat uit een zeefdoek samengesteld uit segmenten. De segmenten worden door een excentriek voortdurend in een afwisselend gespannen en ontspannen toestand gebracht, waardoor de te zeven massa wordt opgeworpen. De fijne compostdelen vallen hierbij door het doek heen; de maaswijdte van het doek is echter zodanig dat de grovere houtkrullen tegengehouden worden en, als gevolg van de hellende opstelling van de zeefinstallatie, afgevoerd worden (zie fig. 26). Op deze wijze kan circa 60 à 70% van de oorspronkelijke hoeveelheid toeslagstoffen teruggewonnen worden.

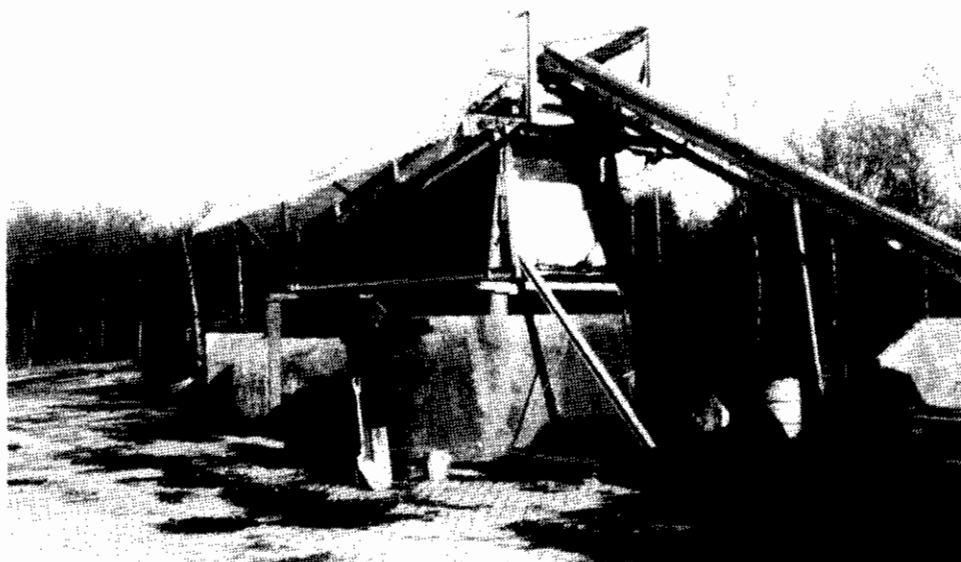


Fig. 26. Zeefinstallatie Mierlo

Het resultaat van de zeefbewerking is echter sterk afhankelijk van het drogestofgehalte van de compost, zodat hieraan grote zorg besteed dient te worden.

#### *gehandeerde parameters*

Het verloop van het composterings- en rijpingsproces wordt gevolgd aan de hand van het temperatuurverloop in de windrow en het vochtgehalte van de compost. Het temperatuurverloop is van belang bij de beoordeling van het totale proces, namelijk om vast te stellen of een voldoende hoge temperatuur gedurende een minimum tijdsduur bereikt wordt. Tevens is de temperatuur van belang om het einde van een cyclus te bepalen.

Het vochtgehalte is van essentieel belang om het moment vast te stellen waarop de ruwe compost gezeefd kan worden. Het vaststellen van het vochtgehalte is over het algemeen een ervaringskwestie van de bedrijfsleider. In twijfelgevallen kunnen eventueel monsters op eenvoudige wijze onderzocht worden.

#### *milieueffecten en kwaliteitsaspecten*

De invloed van deze vorm van slibverwerking op het milieu is afhankelijk van de al dan niet getroffen voorzieningen. De nadelige verschijnselen die op kunnen treden zijn verontreiniging van bodem en grondwater, stankoverlast en geluidshinder.

Tijdens het composteringsproces treedt een verdere ontwatering van het slib op. Aangezien het proces met relatief hoge temperaturen gepaard gaat, bestaat er nauwelijks gevaar voor percolatie van het water naar de bodem: het vocht verdwijnt door verdamping. Daarentegen is het wel mogelijk dat als gevolg van grote neerslaghoeveelheden tijdens de laatste fase van de compostering (wanneer de temperatuur al aanzienlijk gedaald is) percolaat in de bodem dringt. Om dit te voorkomen is een vorm van bodembescherming gewenst. Een gesloten verharding van het werkterrein verdient de voorkeur, omdat hiermee tevens een goede werkvloer wordt gerealiseerd.

Gebleken is dat bij het omzetten van de windrow incidenteel stank kan ontstaan tijdens daarvoor gunstige weersomstandigheden. De kans op stank is het grootst wanneer het composteringsproces zich in het beginstadium bevindt (hydrolyse en fermentatie). Het omzetten van de te composteren massa is bij de windrow-methode echter absoluut noodzakelijk; om de eventuele stankoverlast zoveel mogelijk te beperken, dient zoveel mogelijk met de weersomstandigheden rekening gehouden te worden.

De kwaliteit van het eindprodukt is uiteraard afhankelijk van de aard en kwaliteit van het verwerkte slib. Tijdens het composteringsproces vindt als gevolg van de afbraak van organisch materiaal een relatieve verhoging van het verontreinigingsniveau plaats. Uitspoeling of vervluchtiging van zware metalen en toxische milieuvreemde stoffen vindt niet, of slechts in geringe mate, plaats.

Een verdunningseffect wat betreft de verontreinigingen kan plaats vinden als gevolg van het achterblijven in het gerede produkt van een deel van de (schone) toeslagmaterialen. De invloed van de conditioneringsmiddelen (polymeren), of afbraakprodukten hiervan, op de kwaliteit van de eindprodukten is momenteel bij diverse instanties in onderzoek. Hiervan waren ten tijde van deze studie geen resultaten beschikbaar.

Bij een goede bedrijfsvoering wordt een dusdanige temperatuur bereikt dat het gevormde produkt uit het oogpunt van pathogeniteit volkomen aanvaardbaar is. De landbouwkundige waarde van compost is in 4.2 uitvoerig beschreven.

#### *kosten*

Op de verwerkingsplaats Mierlo wordt circa 200 m<sup>3</sup> ontwaterd slib (drogestofgehalte 23 à 25%) per week verwerkt. Deze hoeveelheid is onvoldoende om voor het machinepark een bezetting van 40 uur per week te realiseren, zodat gebruik gemaakt wordt van de diensten van een loonwerker, op basis van uurtarieven. Het is daarom in dit stadium nog niet mogelijk de kosten te bepalen, welke verbonden zijn aan een optimale bedrijfsvoering bij een maximale benutting van de capaciteit van machines en personeel. Het is wel mogelijk de verschillende kostenfactoren en een globale indicatie van de totaal-kosten van windrow-compostering te schetsen.

De belangrijkste kostenfactoren zijn:

inrichting bedrijfsterrein	- grondaankoop - verharding/bodembescherming - afwatering - overige infrastructuur
materieel	- laadschop - mobiele kraan - menginstallatie - zeefinstallatie
toeslagstof	- houtsnippers/krullen
kwaliteitscontrole	- van de uitgangsmaterialen - tijdens het produktieproces - van het eindprodukt.

Uit de tot nu toe opgedane ervaringen kan worden afgeleid dat de totaal-kosten voor slibverwerking, zoals te Mierlo plaatsvindt, circa f 250,-- à f 300,-- per ton slib (op drogestofbasis) bedragen. Deze kosten zijn exclusief de mechanische ontwatering en conditionering van het slib.

#### 4.4.3 *aerated static pile*

Indien compostering van zuiveringsslib volgens de windrow-methode wordt uitgevoerd kan een belangrijk milieuhygiënisch probleem optreden, namelijk stankhinder. Dit geldt met name bij de verwerking van niet uitgegist primair slib en actiefslib; de overlast in de vorm van stank treedt dan vooral op bij het omzetten van de windrow.

Om aan het genoemde bezwaar tegemoet te komen is in Beltsville (V.S.) onderzoek verricht naar een open composteringssysteem voor de verwerking van ongestabiliseerde slibsoorten, waarbij geen stankoverlast ontstaat. Dit onderzoek heeft geleid tot het systeem dat nu bekend staat onder de naam "aerated static pile".

Aangezien dit systeem in Nederland nog pas op zeer beperkte schaal wordt uitgevoerd door Rutte Recycling b.v. te Amsterdam, is voor de praktijkervaring in eerste instantie gebruik gemaakt van Amerikaanse gegevens (Beltsville)<sup>5,9</sup>. Aanvullend zal informatie verstrekt worden betreffende de resultaten en ervaringen in Nederland.

#### *Werkwijze en voorwaarden*

In 4.3.2 is reeds vermeld dat in Beltsville onderzoek is verricht naar de mogelijkheden voor compostering van diverse slibsoorten, zowel uitgegist als niet uitgegist slib. Bedrijfsmatig wordt niet uitgegist slib verwerkt met een drogestofgehalte van circa 23%.

Alvorens tot pilevorming over te gaan, wordt het te composteren materiaal gemengd met toeslagstoffen, hoofdzakelijk houtsnippers, in een volumeverhouding van 1:2. Op de geasfalteerde werkvloer worden de geperforeerde buizen uitgelegd en via een waterafscheider aangesloten op een ventilator. Over deze buizen heen wordt een laag houtsnippers gestort met een dikte van circa 0,30 m.

Op het gevormde bed wordt het te composteren mengsel gestort en tot een pile geformeerd, zoals in figuur 17 staat aangegeven. De buitenzijde van de pile wordt afgedekt met een laag compost ter dikte van 0,30 à 0,50 m. Deze compost is afkomstig van een voorafgaande productiegang, zodat hiervoor geen extern materiaal aangevoerd behoeft te worden. Uit oogpunt van ruimtebesparing wordt dikwijls, in plaats van allemaal vrij van elkaar liggende piles, de zogenaamde aerated extended pile methode toegepast. Dit betekent dat elke nieuw te vormen pile tegen de voorgaande wordt geformeerd (zie fig. 27).

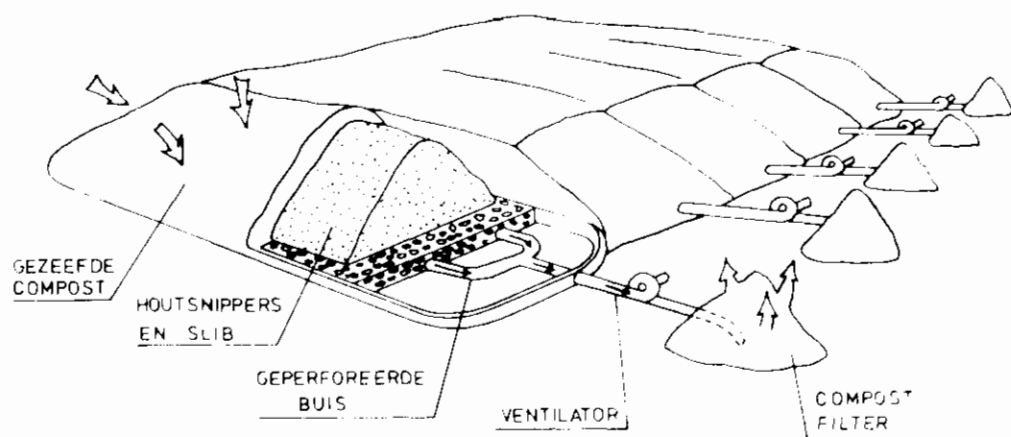


Fig. 27. Aerated extended pile

Het gevolg van het toepassen van deze methode is niet alleen een aanzienlijke reductie van de vereiste oppervlakte, maar ook een vermindering van nadelige weersinvloeden zoals regen en koude.

De beluchting van de compostpile wordt geforceerd uitgevoerd met een ventilator, die de lucht van buitenaf, door de te composteren massa heen, aanzuigt. De capaciteit van de ventilator is sterk afhankelijk van de afmetingen van de pile, in de Beltsville-opstelling worden ventilatoren toegepast met een vermogen van 0,25 kW en een debiet van circa 0,15 m<sup>3</sup>/s. Door middel van een tijdklok wordt deze ventilator 3 maal per uur gedurende telkens 8 minuten ingeschakeld en is daarna 12 minuten buiten bedrijf.

De aangezogen lucht wordt geloosd in de buitenlucht na filtratie in een hoeveelheid compost; als gevolg van deze compostfiltratie is de afgewerkte lucht vrij van stank.

Na een periode van ongeveer 3 weken wordt de pile ontmanteld en geruimd en wordt de ruwe compost elders op het terrein opgeslagen om na te rijpen. Deze narijpsperiode neemt circa 30 dagen in beslag, waarna de compost gezeefd kan worden.

Het doel van de zeefbewerking is meerledig. Allereerst wordt hiermee beoogd een groot deel van de oorspronkelijke toeslagmaterialen terug te winnen. Bij toepassing van een roterende zeefinstallatie, is afhankelijk van het drogestofgehalte van de compost, circa 50 à 70% van de aan het begin toegevoegde hoeveelheid houtsnippers uit te zeven. Tevens worden door het zeven de grovere bestanddelen uit de compost verwijderd, zodat een homogeen produkt ontstaat. Tenslotte treedt als gevolg van de zeefbewerking een verlaging van de C/N-verhouding van het mengsel op, aangezien de toeslagstof zeer rijk aan koolstof is.

Het zeven, dat uitsluitend plaatsvindt bij temperaturen boven het vriespunt en onder droge weersomstandigheden, wordt uitgevoerd indien er behoefte aan compost is of indien er ruimtegebrek of een tekort aan toeslagmateriaal bestaat.

Het gerede produkt wordt zowel in grote hoeveelheden (bulk) als in kleine verpakkingen afgezet.

#### *parameters*

De belangrijkste procesparameter bij slibcompostering volgens het Beltsville-principe is het temperatuurverloop. Indien blijkt dat er onvoldoende hoge temperaturen bereikt worden als gevolg van een te geringe zuurstofaanvoer of te weinig beluchting, kan de draaitijd van de ventilator verlengd worden.

Externe factoren, zoals weersinvloeden, blijken van weinig invloed op het proces, aangezien de afdekking van de pile een isolerende en vochtbergende functie heeft. In Beltsville bleek dat zelfs na zeer hevige regenval een vochtindringing in de afdekking van minder dan 20 cm optrad.

Evenals bij de windrow-compostering is het vochtgehalte van de ruwe compost van belang om te beoordelen of afzeven van de toeslagstof mogelijk is. Indien de compost nog onvoldoende droog is, bestaat een grote kans op verstopping van de zeefinstallatie.

#### *milieueffecten en kwaliteitsaspecten*

Aangezien in Beltsville op een verharde (geasfalteerde) ondergrond wordt gewerkt, waarvan het afstromende water kan worden opgevangen, bestaat er geen gevaar voor verontreiniging van de bodem of het grondwater. Het verzamelde water kan op de riolering geloosd worden en vervolgens in een rwzi gezuiverd worden.

Als gevolg van het statische karakter van de opstelling en vanwege het feit dat de aangezogen lucht voor lozing in een compostfilter gereinigd wordt, treedt er tijdens het composteringsproces geen stankoverlast op. Ook tijdens het narijpen zijn als gevolg van de reeds ver gevorderde stabilisatie van de organische stof geen stankemissies te verwachten. Uitsluitend in het relatief korte tijdsbestek van het mengen van het slib met de toeslagstoffen kan een ontwikkeling van ongewenste geuren ontstaan, aangezien niet uitgegist slib verwerkt wordt. Door een snelle werkwijze kan de overlast tot een minimum beperkt worden.

Evenals bij alle andere slibcomposteringssystemen geldt ook hier: hoe beter het uitgangsprodukt, des te hoogwaardiger is de bereide compost. Van de oorspronkelijk aanwezige stikstof verdwijnt meer dan de helft door vervluchtiging; de overige plantenvoedende hoofdelementen nemen nauwelijks in hoeveelheid af. Zware metalen en andere persistente verontreinigingen nemen in concentratie toe als gevolg van de afbraak van een deel van de organische stof. Bij het zeven van de ruwe compost blijft echter een deel van toeslagstof achter, zodat in het eindprodukt, in vergelijking met het slib, uiteindelijk een verlaging van de concentraties aan verontreinigende stoffen optreedt.

Tijdens een volledig en juist verlopen composteringsproces worden voldoende hoge temperaturen bereikt om van een hygiënisch redelijk betrouwbaar resultaat verzekerd te zijn. In tabel 12 worden de kwaliteitsaspecten cijfermatig toegelicht door slib met gezeefde compost te vergelijken.

bestanddeel		slib	compost
stikstof	(gew.%)	2,5	0,9
fosfaat	"	2,7	2,3
kali	"	0,6	0,2
kalk	"	2,9	2,6
magnesium	"	1,0	0,3
zink	(ppm)	2000	1000
cadmium	"	19	9
koper	"	600	250
lood	"	540	320
totaal coli	(per 100 g)	$23 \cdot 10^9$	$97 \cdot 10^3$
fec. coli	"	$24 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^3$
salmonella	"	6000	0

Tabel 12. Gemiddelde samenstelling van slib en compost (Beltsville)

## *kosten*

Te Beltsville wordt, naast het bedrijfsmatig composteren van slib, research naar slibverwerkingsmogelijkheden verricht. Aangezien voor beide activiteiten van dezelfde voorzieningen gebruik gemaakt wordt en omdat slechts relatief kleine slibhoeveelheden verwerkt worden (circa 50 ton ontwaterd slib per dag) is het moeilijk de werkelijke kosten, verbonden aan de verwerking van 1 ton slib op drogestofbasis, te bepalen.

Wel kunnen de diverse kostenfactoren genoemd worden:

inrichting bedrijfsterrein	- grondaankoop (1,4 ha/100.000 i.e.) - verharding - afwatering - overige infrastructuur
materieel	- laadschop - eventueel een menginstallatie - ventilatoren + geperforeerde buizen - zeefinstallatie
toeslagstof	- houtsnippers/krullen
kwaliteitscontrole	- van de uitgangsmaterialen - tijdens het produktieproces - van het eindprodukt

Al zijn uit de Beltsville-ervaringen geen exacte kostprijzen af te leiden, op grond van de ervaringen heeft men becijferd dat bij de verwerking van het slib van een rwzi van ongeveer 500.000 i.e. de kosten per ton slib op drogestofbasis circa f 200,- à f 225,- zullen bedragen. Aangezien bij de bepaling van deze bedragen uitgegaan is van extrapolatie van beschikbare gegevens (welke berusten op aanzienlijk kleinere hoeveelheden te verwerken slib) is enig voorbehoud op zijn plaats.

## *nederlandse ervaringen*

In de inleiding van deze paragraaf is reeds naar voren gekomen dat de ervaringen met de aerated static pile in Nederland nog zeer beperkt zijn.

Door Rutte Recycling worden momenteel op semi-praktijkschaal proeven uitgevoerd naar de verwerkingsmogelijkheden van ongestabiliseerde slibsoorten met behulp van een aerated static pile<sup>66</sup>.

Het slib is afkomstig van diverse regionale, stedelijke en industriële rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Indien noodzakelijk wordt met behulp van toeslagstoffen de C/N-verhouding op het juiste niveau gebracht. Als koolstofbron wordt onder meer afval van de levensmiddelen- en agrarische industrie toegepast. Om in de te composteren massa de porositeit te verhogen, worden houtsnippers ter grootte van 5 à 7 cm toegevoegd. Mogelijk wordt in de toekomst een inerte toeslagstof (b.v. versneden autobanden) ter verhoging van de porositeit aangewend.



De mengverhouding tussen toeslagmateriaal en te composteren materiaal is afhankelijk van de uitgangsprодукten en varieert van 1:1 tot 2:1, waarbij de porositeit maatgevend is.

De afmetingen van de hoop bedragen 2,5 m (hoogte) en circa 3m (breedte aan de basis). De maximale hoogte wordt min of meer bepaald door het afnemen van de porositeit tengevolge van samendrukking van het materiaal door het eigen gewicht.

Gedurende het composteringsproces worden regelmatig de temperatuur, het vochtgehalte en de weerstand over de ventilator gemeten. Deze weerstand is een maat voor de porositeit van de hoop.

Na circa 4 weken blijkt uit de temperatuurmeting dat het proces ten einde loopt. Het gevormde produkt moet dan nog ongeveer een maand narijpen, waarbij geforceerde beluchting wordt toegepast teneinde de droging van de compost te bevorderen. Het drogestofgehalte wordt hierdoor van 60% verhoogd tot circa 85%, hetgeen een toestand is, waarbij compost en toeslagstoffen door middel van zeefbewerking goed te scheiden zijn.

Het eindprodukt wordt beoordeeld op C/N-verhouding, pH, aanwezige stikstof en de concentratie van een aantal zware metalen.

De eerste ervaringen in Nederland met deze vorm van compostering kunnen als bemoedigend worden aangemerkt. In tegenstelling tot de Amerikaanse ervaringen blijken echter slechte weersomstandigheden, vooral neerslag, wel van invloed op het procesverloop. Om meteorologische invloeden tot een minimum te beperken wordt overwogen de pile met een geperforeerde folie af te dekken, zodat het meeste hemelwater kan afstromen, terwijl luchttoetreding toch gewaarborgd is.

Bij een goede bedrijfsvoering kan circa 10 m<sup>3</sup> ontwaterd slib per vierkante meter bedrijfsterrein verwerkt worden. De kosten van de compostering bedragen dan f 250,- à f 300,- per ton slib op drogestofbasis, ofwel f 70,- à f 80,- per m<sup>3</sup> ontwaterd slib.

In juni 1981 is ook door het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland een proef opgezet om zuiveringsslib te composteren<sup>31</sup>.

Hierbij is gebruik gemaakt van de aerated static pilemethode, waarbij aëroob gestabiliseerd slib is gecomposteerd met houtsnippers als toeslagmateriaal. Het slib is afkomstig van de rwzi Wervershoof, een oxydatiesloot waar simultaan wordt gedefosfateerd. Het slib is in een lagune ontwaterd tot 20% droge stof, maar als gevolg van het bijmengen van zand bij het ruimen van de lagune bedroeg het drogestofgehalte van het slib bij aanvang van de compostering circa 35%.

Als werkvloer is een 30 cm dikke laag grove houtsnippers toegepast, welke over de beluchtingsbuizen zijn gestort. Als toeslagmateriaal is gebruik gemaakt van fijne houtsnippers (circa 2 cm), die met behulp van een shovel met het slib gemengd zijn in een volumeverhouding van 1:1 (50 m<sup>3</sup> slib en 50 m<sup>3</sup> houtsnippers).

De te composteren massa (afmetingen 15 x 5 x 2 m) is door middel van een ventilator en een buizensysteem belucht, waarbij de lucht, in tegenstelling tot Beltsville, is doorgeblazen in plaats van afgezogen. De ventilator draaide 30 minuten per 2 uur. Men overweegt om in een later stadium afwisselend te blazen en te zuigen, waardoor mogelijk de temperatuursgradiënt in de hoop kan worden geminimaliseerd.

Tijdens de proef is een uitgebreid bemonsterings- en analyseprogramma uitgevoerd, waarvan de exacte resultaten te zijner tijd gepubliceerd zullen worden. De waarnemingen omvatten onder meer de volgende onderdelen: drogestofgehalte, gloeiverlies, zware metalen en nutriënten, Salmonella, E.coli en totaal coli, C/N-verhouding en temperatuur. De temperatuur is op diverse plaatsen in de hoop regelmatig gemeten; hierbij bleek dat na ongeveer 5 dagen reeds een temperatuur van 60°C bereikt werd. In de daarop volgende 6 weken bleef de temperatuur nagenoeg constant op dit niveau. Na circa 8 weken is de beluchting stopgezet en volgde een periode van 6 weken narijping. De ruwe compost is voor een groot deel verwerkt als toeslagmateriaal bij een tweede proef, waarvan nog geen resultaten bekend zijn. In deze tweede proef is, naast recycled compost, ook tarwestro als toeslagmateriaal verwerkt.

Ten aanzien van de hygiënische aspecten kan nog opgemerkt worden dat Salmonella-kiemen reeds in de eerste fase van de compostering niet meer aantoonbaar waren. De eliminatie van coli-bacteriën verliep veel trager maar er was wel een duidelijke afname merkbaar.

Als voorlopige conclusie kan gesteld worden dat met de gevolgde werkwijze een redelijk resultaat is te behalen. Vervolgonderzoek met betrekking tot de optimale mengverhouding en beluchtingsmethodiek is echter noodzakelijk.

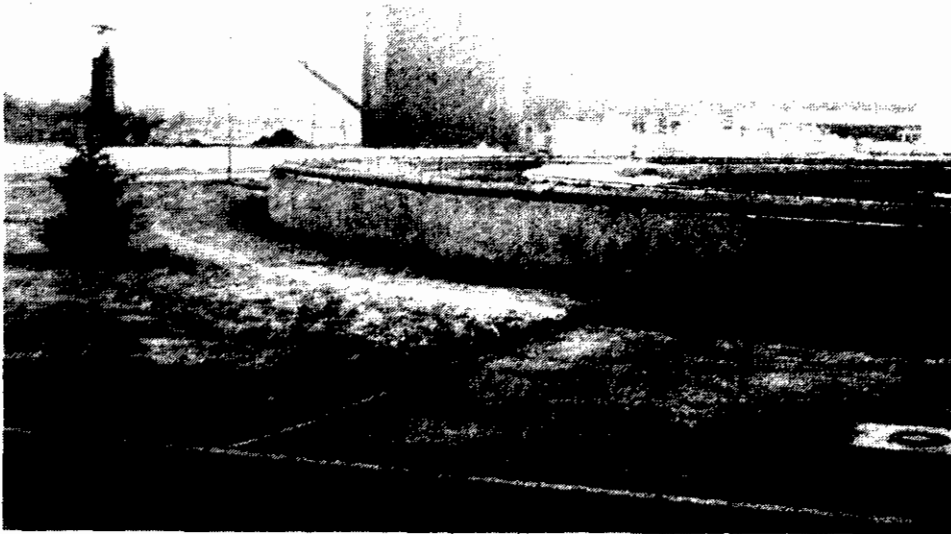
#### 4.4.4 *biocelreactor*

De ervaringen in Nederland met slibcompostering in open systemen zijn, zoals uit 4.4.2 en 4.4.3 blijkt, beperkt, maar het verwerken van zuiveringsslib in een gesloten reactor is in Nederland nog nergens bedrijfsmatig uitgevoerd.

Aangezien deze laatste slibverwerkingsmethode, afgezien van de hoge investeringskosten, zeer goede resultaten levert, wordt bij de praktijkervaringen ook aan een dergelijk systeem aandacht besteed. De biocelreactor (systeem Schnorr) is in de Duitse Bondsrepubliek door de firma Dambach op drie locaties gebouwd. Deze beschrijving is gebaseerd op de gegevens van en de ervaringen met de biocelreactor te Gaggenau (Baden-Württemberg)<sup>68</sup>.

##### *werkwijze en voorzieningen*

De biocelreactor is op het terrein van de rwzi geplaatst, zodat het slib niet vervoerd hoeft te worden. (fig. 28).



Figuur 28. Overzicht RWZI met biocelreactor op de achtergrond

Het niet uitgegiste slib wordt met behulp van polymeren geconditioneerd en mechanisch ontwaterd tot een drogestofgehalte van 22 à 25% en vervolgens in een silo opgeslagen in afwachting van verdere verwerking. Om een snelle start van het composteringsproces te realiseren is een minimaal drogestofgehalte van 22% vereist. Indien men uitgegiste slib wenst te verwerken, geldt bovendien als aanvullende eis dat het slib voor minimaal 50 volume % uit organische stof moet bestaan.

Het slib wordt met toeslagstoffen gemengd, waarbij per werkgang zoveel materiaal wordt verwerkt dat juist één cel van de reactor gevuld kan worden.

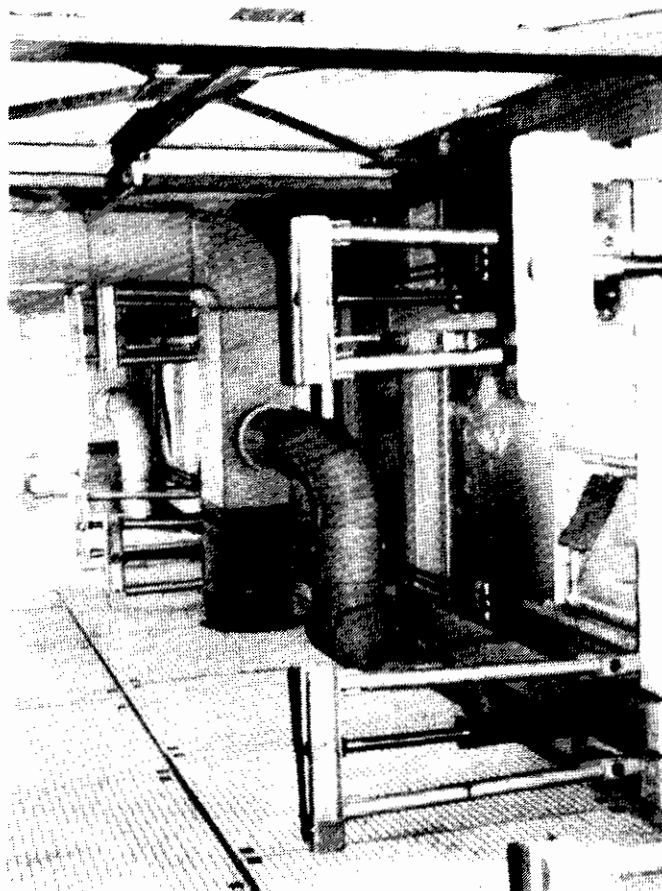
Hoeveelheden per cel:

24,3 m <sup>3</sup>	ontwaterd slib (23% d.s.)
17,0 m <sup>3</sup>	boomschors/zaagsel
7,3 m <sup>3</sup>	recycled compost
<u>48,6 m<sup>3</sup></u>	te composteren materiaal.

De oorspronkelijke hoeveelheid te composteren materiaal van 48 m<sup>3</sup> per cel wordt, als gevolg van verdichting (ongeveer 15%)<sup>3</sup> en afvoer van waterdamp en CO<sub>2</sub>-gas (circa 20%), gereduceerd tot 31 m<sup>3</sup> zerede compost.

Het slib-toeslagstoffenmengsel wordt in de bovenste cel gedeponeed. Als gevolg van de optimale zuurstof- en vochtvoorziening komt reeds binnen enkele dagen een uitgebreide microbiologische flora tot ontwikkeling.

Met intervallen van 2 à 3 dagen worden de celvloeren geopend, zodat de te composteren massa telkens een etage lager beland (zie fig. 29).



Figuur 29. Bewegings- en beluchtingsmechanisme biocelreactor

Als gevolg van het herhaald omzetten van het materiaal worden de componenten intensief gemengd en eventuele korsten of koeken worden gebroken.

De cellen worden mechanisch belucht aan de ene zijde, terwijl aan de andere kant de afgewerkte lucht en waterdamp worden weggezogen. Het gevolg van deze intensieve beluchting en van het regelmatig omzetten is dat er geen anaërobe zones ontstaan. De cellen zijn goed geïsoleerd, waardoor er relatief weinig warmte ontwijkt, hetgeen een snelle start van het composteringsproces ten goede komt.

Na het doorlopen van de totale cyclus is een slibcompost ontstaan, die geen enkele nabewerking meer vereist. Het produkt is vrij van stank en ziektekiemen, het bezit een fijne, rulle structuur en behoeft niet gezeefd of vermalen te worden.

De in bedrijf zijnde installatie bestaat uit 10 cellen (etages). Ervaringen hebben aangetoond dat het proces zo snel en volledig verloopt, dat met 6 à 8 cellen volstaan kan worden. In het verleden zijn experimenten uitgevoerd om in een biocelreactor vermalen huisvuil samen met zuiveringsslib te verwerken, hetgeen geen bevredigend resultaat leverde.

Het bleek namelijk dat het huisvuil zo sterk compacteerde, dat het te composteren materiaal bij het openen van de beweegbare celvloeren bleef hangen.

Om toch huisvuil in een biocelreactor te kunnen composteren zijn ingrijpende veranderingen van de installatie noodzakelijk.

#### *parameters*

Het drogestofgehalte van het slib en de toeslagstoffen is maatgevend bij het bepalen van de toe te passen mengverhouding. Deze bepaling is een ervaringskwestie van het bedienend personeel. Het vochtgehalte van het mengsel moet circa 63 à 68% van het totale gewicht bedragen. Mocht in de loop van de composteringscyclus blijken dat zich toch storingen voordoen in het proces, dan kan het materiaal na het verlaten van de onderste etage weer bovenin de reactor ingevoerd worden, zodat nogmaals de cyclus doorlopen wordt. Eventueel kunnen dan nog materialen bijgevoegd worden om de samenstelling van het mengsel te wijzigen.

Tijdens het composteringsproces wordt regelmatig de temperatuur per cel gemeten. Indien uit deze registratie blijkt dat het proces niet naar wens verloopt, kan de beluchting per cel bijgestuurd worden.

#### *milieueffecten en kwaliteitsaspecten*

Het gehele proces wordt in een gesloten systeem uitgevoerd, zodat milieueffecten tot een minimum beperkt kunnen worden. Indien er als gevolg van de afvoer van de afgewerkte lucht stankoverlast zou ontstaan, hetgeen zeer onwaarschijnlijk is omdat het proces als gevolg van het intensieve omzetten en beluchten volledig aëroob verloopt, kan de lucht in een (compost-)filter gereinigd worden alvorens er afvoer in de vrije atmosfeer plaatsvindt.

Tijdens de opslag van het gereede produkt bestaat evenmin stankgevaar, aangezien de compost reeds zo stabiel is dat er geen anaërobie ontstaat.

De slibcompost uit de biocelreactor van Caggenau is een visueel aantrekkelijk, goed transporteerbaar en strooibaar produkt. Aangezien het slib afkomstig is van een rwzi, waar bijna uitsluitend huishoudelijk afvalwater verwerkt wordt en als gevolg van de goede kwaliteit van de toeslagstoffen, is de compost toepasbaar in de landbouw, zelfs volgens de strenge richtlijn, zoals die in Baden-Württemberg wordt gehanteerd.

Ter plaatse genomen monsters zijn geanalyseerd. De resultaten daarvan zijn weergegeven in tabel 13. Aangezien van het uitgangsprодукт geen monsters beschikbaar waren, is het niet mogelijk om de veranderingen van de C/N-factor of de relatieve stikstofverrijking te bepalen. Ook in dit geval zijn de gebruiksmogelijkheden van de compost afhankelijk van de kwaliteit en samenstelling van de uitgangsprодукten.

component	hoeveelheid (droge stof)
organische stof (gew. %)	62,9
koolzure kalk (gew. %)	1,9
afslibbare delen (gew. %)	18,0
grof zand (gew. %)	14,0
stikstof-totaal (gew. %)	2,54
fosfaat-totaal (gew. %)	2,32
kali-totaal (gew. %)	0,19
zink (ppm)	1340
koper (ppm)	312
lood (ppm)	163
chromium (ppm)	79
nikkel (ppm)	30
cadmium (ppm)	3,9
kwik (ppm)	2,5

Tabel 13. Samenstelling van compost uit biocelreactor Gaggenau

#### *kosten*

De kosten van het composteringsproces bestaan uit een vast aandeel (investering in gebouw en installatie) en een variabel deel (onderhoud, bediening, energie en toeslagstoffen).

De investeringskosten voor een biocelreactor met een slibverwerkingscapaciteit van 26.000 i.e. bedragen ongeveer f 2.300.000,--, inclusief grondverwerving ( $\frac{1}{4}$  hectare). De gebouwen moeten in 20 jaar afgeschreven worden, terwijl voor de mechanisch-elektrische installatie een periode van 15 jaar kan worden gehanteerd.

Dit betekent dat, bij een installatie van 26.000 i.e., de vaste kosten voor de slibcompostering circa f 400,-- per ton slib op drogestofbasis bedragen.

De variabele kosten zijn afhankelijk van de prijzen voor toeslagstoffen, energie en personeel en bedragen op het prijspeil van 1981 ongeveer f 150,-- per ton droge stof. De totaal kosten komen hiermede op f 550,- per ton slib op drogestofbasis, inclusief slibconditionering en ontwatering. Het bedrag dat bij de afzet van de compost eventueel ontvangen wordt, kan op de kostprijs in mindering worden gebracht.

5 ZWARTEGRONDBEREIDING

5.1 Bodemkundige omschrijving zwarte grond.

5.1.1 *algemene bodemkundige beschouwing*<sup>4, 3</sup>

Voordat er een handleiding kan worden gegeven voor de bereiding van zwarte grond uit zuiveringsslib, is het noodzakelijk eerst te omschrijven welke betekenis de term "zwarte grond" in bodemkundige zin heeft.

In de bodemkunde is de term bouwvoor of teelaardelaag een algemeen bekend begrip. Het is de bovenste, door humusvorming donker gekleurde laag van het bodemprofiel.

De teelaardelaag heeft uit bodemfysisch en bodemchemisch oogpunt gunstige eigenschappen om als groeimilieu voor het gewas te dienen. Er van uitgaande dat de granulaire samenstelling (b.v. het lutumgehalte) van teelaarde en directe ondergrond vrijwel gelijk is, dan zijn de gunstige groeivoorwaarden in de bovenlaag vooral het gevolg van het hogere organisch-stofgehalte. De gunstige effecten hiervan voor de plantengroei zijn:

- het vasthouden van vocht
- het vasthouden van bepaalde voedingsstoffen door adsorptie
- het in omloop houden van voedingsstoffen door desorptie
- levering van voedingsstoffen aan de plant
- voeding voor het bodemleven
- het verkrijgen van een goede structuur, hetgeen een voorwaarde is voor een goede vocht- en luchthuishouding.

Voorals in gronden die van nature arm en weinig vochthoudend zijn, zoals zandgronden, is de mogelijkheid voor plantengroei vrijwel geheel afhankelijk van de aanwezigheid van een teelaardelaag. De beworteling beperkt zich op een zandgrond hoofdzakelijk tot de humeuze bovenlaag; een bepaalde minimumdikte van deze laag is een belangrijke randvoorwaarde voor de begroeiingsmogelijkheid, vooral in verband met de vochtvoorziening.

Op kleirijke gronden, die van nature voedselrijker en beter vochthoudend zijn dan zandgronden, is de beworteling ook in de ondergrond vaak nog goed ontwikkeld. Toch is ook daar de aanwezigheid van een humeuze bouwvoor een belangrijke voorwaarde voor de gewasgroei en - productie.

De hierboven beschreven teelaardelaag is op onze cultuurgronden geleidelijk ontstaan door langdurige toelevering van organisch materiaal, door o.a. organische bemesting en toelevering van dood organisch materiaal als plantenwortels en andere plantendelen. Het organisch materiaal wordt door micro-organismen afgebroken tot stabielere vormen. Zo is de humus in de bouwvoor te beschouwen als organische stof die zo ver is afgebroken dat ze in min of meer stabiele toestand is gekomen. Geheel stabiel is de humus echter ook niet; na kortere of langere tijd kan dit produkt ook weer verder worden afgebroken.

In de cultuurtechniek staat men vaak voor de opgave om op terreinen die nog niet of weinig geschikt zijn voor plantengroei in één keer een bovenlaag aan te brengen die een geschikt groeimilieu vormt voor een in te planten of in te zaaien gewas. Hiervoor moet een grondmengsel worden gebruikt met voldoende vochtbindende en plantenvoedende elementen. Naar analogie met de hierboven beschreven donker gekleurde teelaardelaag spreken we van het aanbrengen van een zwarte laag en voor het grondmengsel wordt de verzamelnaam "zwarte grond" gebruikt.

De nadruk ligt hierbij op de aanduiding "zwart" omdat de grond bij voorkeur organische stof moet bevatten, gezien de hierboven beschreven gunstige eigenschappen voor de plantengroei. Bovendien moet de organische stof stabiel zijn, of in ieder geval moet de grond zoveel organisch materiaal bevatten dat na verdere afbraak en vertering een bepaald minimum gehalte aan stabiele organische stof of humus resteert.

Meestal worden voor zwarte grond humeus zand, veen of mengsels hiervan met klei toegepast. In sommige gevallen, afhankelijk van de ondergrond en toekomstige bestemming, is een verrijking met weinig humeus kleilig materiaal ook wel voldoende; "zwarte grond" hoeft dus niet altijd zwart te zijn. Dergelijke grondverbeteringen vinden echter vrijwel altijd plaats op steriele kunstmatig aangelegde zandterreinen, zoals de zandopspuitingen voor bestemmingsplannen. Op een dergelijke ondergrond is organische stof in de aan te brengen bovenlaag onmisbaar.

#### 5.1.2 *omschrijving van zwarte grond*

Na deze algemene bodemkundige beschouwing kan zwarte grond het beste worden gedefinieerd als "een grondmengsel dat dient tot verbetering van het groeimilieu op voor de plantengroei niet of weinig geschikte gronden".

Hiertoe dient zwarte grond aan een aantal basisvoorwaarden te voldoen:

Het grondmengsel moet voldoende *vocht kunnen vasthouden* om in droge perioden de plant tegen verdroging te beschermen. Op basis hiervan zijn er bepaalde minimum-eisen te stellen aan het gehalte aan stabiele organische stof in de aan te leggen zwarte laag. Dit is o.a. afhankelijk van andere toeslagstoffen (b.v. klei), de hoogte van zwarte laag boven het grondwater, de aard van de ondergrond, de laagdikte en de aard van de toekomstige begroeiing.

Het grondmengsel moet een voldoende hoog *basis-bemestingsniveau* hebben. Dit is afhankelijk van de bestemming. Het is overigens niet altijd noodzakelijk dat de aangevoerde zwarte grond de meststoffen al bevat. Ook kan ter plaatse een voorraadbemesting worden doorgewerkt, afhankelijk van de toekomstige begroeiing.

Het grondmengsel moet *bodempysisch* geschikt zijn voor de plantengroei, dat wil zeggen dat de vocht- en luchthuishouding moeten voldoen aan de eisen die de plant stelt. Dit houdt o.a. in dat ongerijpte componenten die in het mengsel worden verwerkt eerst voldoende moeten zijn gerijpt voor het produkt op de bestemming wordt verwerkt.



Het moge duidelijk zijn dat een vast recept voor de samenstelling van zwarte grond niet is te geven. Afhankelijk van de bestemming kunnen echter minimumeisen aan het organisch-stofgehalte worden gesteld.

## 5.2 Procestechnologische aspecten

### 5.2.1 *rijping*

Het basismateriaal voor de zwartegrondbereiding is gedeeltelijk ontwaterd slib dat nog weinig of in het geheel niet gerijpt is. Om echter een goed produkt zwarte grond te kunnen bereiden, is een goede rijpingstoestand van het slib een eerste vereiste.

Bij het rijpingsproces is een fysische en een chemische rijping te onderscheiden.

De *fysische rijping* is het proces waarbij water aan het slib wordt onttrokken, zodat er ruimte komt voor luchttoetreding.

De rijping begint al meteen bij de ontwatering van het slib. Bij de natuurlijke ontwatering in lagunes of op droogbedden verdwijnt eerst het vrije water, door afvoer via het oppervlak of door wegzijging naar de ondergrond. De techniek van de inrichting bepaalt in sterke mate de mogelijkheid van de afvoer. Het belangrijkste deel van de wateronttrekking vindt echter plaats door verdamping. Het gebonden water in het slib kan alleen op deze wijze verdwijnen.

Wanneer de lagunes bij de zuiveringsinrichting worden geruimd, is het slib nog te nat voor het eindprodukt zwarte grond. De bereiding op de zwartegrondbedrijven houdt dan ook in dat maatregelen nodig zijn voor verdere rijping.

Bij de kunstmatige slibontwatering door b.v. filterpersen, zeefbandpersen of centrifuges wordt het slib eerst geconditioneerd met een polyelektrolyt of door toevoeging van ijzerchloride en kalk aan het slib. Dergelijke slibsoorten laten zich moeilijk verder ontwateren en rijpen zeer langzaam.

Naast de ontwatering vindt een *chemische rijping* plaats. Hierbij wordt organisch materiaal afgebroken waarbij in hoofdzaak twee processen zijn te onderscheiden:

- afbraak van slijmachtige en colloïdale stoffen, die veel water vasthouden en de slibdeeltjes sterk aaneenkitten. Hierdoor ontstaat een betere structuur en verbeteren de fysische eigenschappen;
- afbraak van (verse) organische stof. Hierdoor wordt het C/N-quotiënt verlaagd en neemt de zuurstofbehoefte van het slib af.

Bij verwerking van ongerijpt slib in grond is de zuurstofbehoefte nog zo groot dat zuurstofgebrek voor de plant kan ontstaan. Bovendien kan stikstofgebrek optreden doordat nitraat tot vrije stikstof wordt gereduceerd en gasvormig ontwijkt. Ook als gevolg van een zeer hoog C/N-quotiënt kan stikstofgebrek voor de plant ontstaan, aangezien stikstof aan de grond wordt onttrokken.



Natuurlijk ontwaterd slib levert na rijping een rul en veraard produkt met gunstige fysische eigenschappen. De technieken voor beïnvloeding en versnelling van het rijpingsproces worden eveneens in hoofdstuk 5.5 besproken.

Kalkslib, dat op kunstmatige wijze is ontwaterd door filterpersen, heeft ongunstige eigenschappen ten aanzien van de rijping. De wateronttrekking verloopt zeer traag, aangezien:

- het materiaal sterk is samengeperst;
- het slib zich door de toevoeging van chemicaliën in een amorf, gepeptiseerde (= uitgevlokte) toestand bevindt, waaruit de wateronttrekking zeer moeilijk verloopt. Het drogestofgehalte van dit slib is circa 30%, maar de consistentie is veel ongunstiger dan b.v. van steekvast laguneslib met circa 25% droge stof;
- bij droging ontstaat een harde korst als afsluitende laag over het slib, onder invloed van de aanwezige kalkverbindingen. Verdere wateronttrekking wordt daardoor afgeremd.

Rijping van dit kalkslib is alleen redelijk mogelijk als het materiaal meteen met grond wordt vermengd en het mengsel regelmatig wordt omgezet.

De pH van het verse kalkslib is erg hoog; de pH-KCl bedraagt circa 12. Binnen niet al te lange tijd daalt de pH onder natuurlijke omstandigheden tot 7 à 8.

Met polymeren geconditioneerd slib, dat met een zeefbandpers of centrifuge ontwaterd is, laat zich eveneens zeer moeilijk rijpen. Het is een pasteus materiaal, dat ten behoeve van de rijping ook zo snel mogelijk met grond moet worden gemengd. Aangezien dit mengen technisch gezien met grote problemen gepaard gaat, dienen andere oplossingen gezocht te worden voor de verwerking van dit slib.

### 5.2.3 *toeslagstoffen*

Indien het slib voldoende gerijpt is, zijn de fysische eigenschappen van het materiaal zodanig dat plantengroei en bodemleven mogelijk zijn. De structuur van het gerijpte materiaal maakt ook een "verankering" van de beplanting mogelijk, zodat toevoegen van extra minerale delen niet noodzakelijk is.

Een goede rijpingstoestand van het slib is echter een eerste vereiste. Zoals in 5.2.2 al is aangegeven, is het met name voor de chemisch geconditioneerde slibsoorten noodzakelijk om toeslagstoffen toe te voegen. De toeslagstof is in deze gevallen dus alleen op procestechnologische gronden vereist.

Een gevolg van het toedienen van toeslagstoffen is een verdunning van de in het uitgangsmateriaal aanwezige verontreinigingen. Afhankelijk van de aard van het slib en van de bestemming van het eindprodukt, kan een aanvulling met meststoffen en kalk noodzakelijk zijn. Op deze facetten wordt in hoofdstuk 5.3. (kwaliteitsaspecten) nader ingegaan.

## 5.3 Kwaliteitsaspecten

### 5.3.1 *bemestende waarde*

In tabel 3 zijn de gehalten aan bemestende stoffen in nat zuiverings-slib vermeld. Hieruit blijkt dat de gehalten aan stikstof, fosfaat en kalk vrij hoog zijn; kali daarentegen is slechts in zeer geringe hoeveelheden aanwezig.

De feitelijke bemestende waarde van de zwarte grond hangt af van de hoeveelheid van de in het eindprodukt aanwezige meststoffen en de beschikbaarheid voor de plant van deze stoffen. Met name ten aanzien van *stikstof* en *fosfaat* is onderzoek verricht naar de aanwezigheid en beschikbaarheid van deze meststoffen in grond-slibmengsels<sup>13,15</sup>.

Uit literatuurgegevens<sup>15</sup> blijkt dat uitgerijpt slib nog circa 2% *stikstof* bevat, betrokken op de droge stof. De rest van de oorspronkelijk aanwezige N is tijdens het ontwaterings- en rijpingsproces als gevolg van vervluchtiging en uitspoeling verdwenen.

Indien het gerijpte slib met zand gemengd wordt in een gewichtsverhouding van 1 deel slib op 7 delen zand (hetgeen in praktijk bij zwarte-grondbereiding regelmatig wordt toegepast), dan blijkt dat in het eerste jaar circa 8% van de stikstof beschikbaar is voor de plant<sup>13</sup>. De genoemde mengverhouding en beschikbaarheid tezamen resulteren tenslotte in circa 0,02% werkzame stikstof in het totale zwartegrondmengsel. Ten opzichte van een bouwvoor van 20 cm betekent dit een stikstofgift van 400 kg N per hectare.

De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat in eerste instantie bij de verwerking van de zwarte grond geen aanvullende stikstofgift vereist is, hoewel door grote hoeveelheden neerslag een deel van de stikstof door uitspoeling verloren kan gaan.

De voorgaande beschouwing heeft betrekking op het eerste jaar na de verwerking van de zwarte grond. Ook in de opvolgende jaren zal er mineralisatie van stikstof plaatsvinden; een belangrijk deel hiervan kan als gevolg van de neerslagoverschotten in het winterhalfjaar door uitspoeling voor de plant verloren gaan. Teneinde optimale groeiomstandigheden te verkrijgen kan een onderhoudsbemesting met stikstof daarom al spoedig gewenst zijn.

Bij de mechanisch-biologische zuivering van afvalwater komt van het *fosfaat* ongeveer 25% in het slib terecht. Dit resulteert in een  $P_2O_5$ -gehalte van ongeveer 3% op drogestofbasis van het slib. Bij toepassing van defosfatering (derde trap) kan wel 90% van de totale fosfaathoeveelheid uit het afvalwater verwijderd worden. In dat geval kan het  $P_2O_5$ -gehalte in de droge stof van het slib oplopen tot circa 11%. Uit de gegevens van de slibenquête 1979 blijkt dat het fosfaatgehalte in het rioolslib in Nederland 5,1% bedraagt. Dit komt overeen met circa 2,2% P op drogestofbasis.

Volgens Amerikaanse gegevens<sup>16</sup> komt het fosfaat in afvalwater voor 50% voor als orthofosfaat, 30% als tripolyfosfaat, 10% als pyrofosfaat en 10% als organisch fosfaat.

Op grond daarvan zou een goede opneembaarheid voor het gewas verondersteld mogen worden, voor zover geen vastlegging plaatsvindt in moeilijk oplosbare verbindingen. Dit zou kunnen gebeuren door zware metalen en met name door ijzer- en aluminiumzouten, die voor defosfatering gebruikt worden.

Voor het laatste wordt ook wel kalk gebruikt, die eveneens de opneembaarheid van fosfaat voor het gewas kan verminderen.

Zoals eerder vermeld bevat het rioolslib in Nederland gemiddeld 5,1%  $P_2O_5$ . Bij een verdunning van 1:7 van slib en zand ten behoeve van zwartegrondbereiding bedraagt het fosfaataandeel in de zwarte grond circa 0,64%. Uit vergelijkende proeven met superfosfaat blijkt dat circa 10% van de in het slib aanwezige fosfaten voor de plant beschikbaar zijn. In een bouwvoor van 20 cm betekent dit een fosfaatgift van circa 1200 kg per hectare.

Uit nauwkeurige proefnemingen<sup>14</sup> blijkt echter dat bij vermenging met grond de feitelijke beschikbaarheid van het fosfaat aanzienlijk geringer is, aangezien een groot deel van het beschikbare fosfaat door het bindingsmechanisme van de grond weer wordt vastgelegd, voordat de plant in staat is het fosfaat op te nemen. Er is echter voor het eerste jaar beslist voldoende fosfaat beschikbaar, terwijl het overige fosfaat zodanig wordt vastgelegd dat het niet uitspoelt en in latere jaren onder invloed van het bodemleven voor de plant beschikbaar komt. Ten aanzien van fosfaat kan dus in de bereide zwarte grond gesproken worden van een voorraadbemesting. Na verloop van enige jaren kan door bodemonderzoek worden vastgesteld wanneer de normale onderhoudsbemesting met fosfaat moet aanvangen.

De hoeveelheid *kalium*, in de vorm van  $K_2O$ , bedraagt circa 0,5% van de totale drogestofhoeveelheid van het slib. Aangezien deze kali praktisch voor 100% voor de plant beschikbaar is, zal er in het eerste jaar nog geen kaligebrek optreden, maar ten behoeve van de voorraadbemesting is het noodzakelijk kali toe te voegen aan het grondmengsel. Deze aanvullende  $K_2O$  wordt gedeeltelijk vastgelegd door de organische stof. Die kali die niet door het humuscomplex wordt gebonden is aan uitspoeling onderhevig. Een aanvullende kaliumgift kan daarom al spoedig noodzakelijk zijn afhankelijk van het organische stofgehalte.

*Magnesium* is een belangrijk plantenvoedend element, hoewel de plant er in het algemeen veel minder van nodig heeft dan van bijvoorbeeld kalium. Gezien de concentratie van magnesium in slib (nagenoeg gelijk aan kalium), is in de zwarte grond de eerste jaren geen magnesiumgebrek te verwachten.

Het relatief hoge *kalkgehalte* in het slib (7,9%) resulteert bij een verdunning van 1:7 in een voorraadbemesting van bijna 20 ton  $CaO$  per hectare bij een bouwvoor van 20 cm. Indien de toeslagstof zand in de zwarte grond daarbij ook nog kalkhoudend is, zal de eerste jaren beslist geen kalkgebrek optreden. Als gevolg van voldoende kalk heerst in de zwarte grond een hoge pH (= lage zuurgraad), waardoor de mobiliteit van de aanwezige zware metalen gering is.

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat bij zwartegrondbereiding uit rioolslib het toevoegen van kalium noodzakelijk kan zijn. De overige plantenvoedende hoofdelementen zijn in het algemeen in voldoende mate in het uitgangsprодукт slib aanwezig.

### 5.3.2 *pathogeniteit*

In zuiveringsslib komen pathogene organismen voor die ziekten kunnen veroorzaken bij mensen, dieren en planten.

De pathogenen kunnen verdeeld worden in de volgende vier groepen: bacteriën, virussen, protozoën en parasitaire wormen.

In vergelijking met vers slib neemt het aantal pathogenen in de regel af door verdergaande slibbehandeling. Thermische slibconditionering, pasteurisatie, anaërobe slibgisting en het drogen van slib op droogbedden kunnen het aantal pathogenen aanzienlijk reduceren.

Toch blijken veel organismen deze processen te overleven. Wormeieren ondervinden b.v. door slibgisting een vertraging in hun ontwikkeling en een deel van de eieren sterft af, maar een beperkt deel behoudt zijn infectueus karakter. Ook is uit onderzoek gebleken dat pasteurisatie geen volledige vernietiging van alle Salmonellakiemen en wormeieren geeft. Kampelmacher en Van Noorle Jansen<sup>36</sup> vonden dat door het bemesten van een weiland met uitgegist slib een aanzienlijke contaminatie van het gras en de grond met ziekteverwekkende kiemen kan ontstaan. Deze bleven weken tot maanden leven en werden regelmatig door het grazende vee opgenomen. Het aantal klinisch gezonde Salmonelladragers nam hierdoor toe. Als regel gaf dit geen aanleiding tot het ontstaan van ziekteverschijnselen. Ten aanzien van virus-infecties<sup>69</sup> kan worden opgemerkt dat de besmetting via rioolslib te verwaarlozen is in vergelijking met andere infectiebronnen.

Bij de besmetting van mens en dier is met name de zgn. M.I.D.-50 waarde<sup>33</sup> van belang. Deze term staat voor Minimaal Infectueuze Dosis, vereist om 50% van de personen c.q. dieren te besmetten.

In tabel 14 is voor een aantal pathogenen deze M.I.D.-50 waarde voor de mens weergegeven.

pathogenen	M. I. D. -50
cholera	$10^9$
E-coli	$10^4-10^5$
salmonella	$10^5-10^9$
typhus	$10^2-10^3$
spoelwormeieren	1-10
lintwormeieren	1-10

Tabel 14. M. I. D. -50 waarde voor de mens van een aantal pathogenen<sup>33</sup>

Gezien deze hoge drempelwaarden is het gevaar voor besmetting van mens en dier door het contact met zwarte grond, zelfs bij pica (dit is het in de mond nemen van grond, vooral door kinderen), zeer gering, hoewel bij kinderen, gezien het geringe lichaamsgewicht, de M.I.D. kleiner is dan vermeld staat in tabel 14.

### 5.3.3 verontreinigingen

De verontreinigingen in het slib zijn in twee categorieën te verdelen, te weten de *zware metalen* en de *toxische milieuvreemde stoffen*. Een overzicht van de gehalten van deze verontreinigingen in slib is weergegeven in de tabellen 4 en 5 van hoofdstuk 3.

Wat betreft het voorkomen van *zware metalen* in slib blijkt uit tabel 4 dat de gehalten onder de toelaatbare grens blijven, zoals die is gesteld door de Unie van Waterschappen.

De basis van deze richtlijn is het toedienen van slib op bouwland en grasland in hoeveelheden van respectievelijk 2 en 1 ton droge stof per jaar, gedurende maximaal 100 jaar. Hierbij is rekening gehouden met een gemiddeld "van nature" aanwezig gehalte aan zware metalen in de bodem, de toevoeging door de toepassing van slib gedurende 100 jaar en de onttrekking door gewassen.

Bij zwartegrondbereiding doet zich echter een geheel andere situatie voor aangezien het hierbij gaat om een toediening van een hoeveelheid slib (en daarmee zware metalen) ineens, in tegenstelling tot de hierboven beschreven geleidelijke toediening. Het gevolg hiervan is dat er na de zwartegrondbereiding geen verdunningseffect meer optreedt ten aanzien van de verontreinigingen.

De kwaliteit van de geproduceerde zwarte grond moet in een bepaalde relatie staan met wat "van nature" in de diverse bodems voorkomt. Daarnaast moet rekening gehouden worden met de beschikbaarheid en mobiliteit van de metalen in de grond.

Met betrekking tot de natuurlijke gehalten van met name zware metalen in de bodem in Nederland is relatief weinig bekend. De beperkte gegevens die er zijn, zijn vaak weinig systematisch behandeld en bovendien weinig specifiek voor bepaalde bodemtypen. In tabel 15 wordt hiervan een summier overzicht gegeven.

element	bron		
	Allaway <sup>2</sup> mg/kg	De Haan <sup>11</sup> mg/kg	Kloke <sup>32</sup> mg/kg
zink	50	50	10-50
koper	20	10	5-20
lood	10	25	0,1-20
chrom	100	50	10-50
nikkel	40	10	10-50
cadmium	0,06	0,3	0,1-1
kwik	-	0,1	0,1-1
arseen	6	-	2-20

Tabel 15. Natuurlijke gehalten aan zware metalen in de bodem

De gegevens uit tabel 15 dienen als indicatief te worden beschouwd. Het bodemtype en dus de geologische herkomst spelen uiteraard een rol van betekenis bij de "natuurlijke" samenstelling van de bodem. In opdracht van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne wordt door het Rijkstinstituut voor Natuurbeheer in Arnhem een onderzoek ingesteld om voor een groot aantal elementen de gehalten in daartoe geselecteerde natuurterreinen op systematische wijze te bepalen. De resultaten uit dit onderzoek zijn echter nog niet beschikbaar.

Het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren heeft een onderzoek<sup>18</sup> uitgevoerd naar het voorkomen van een vijftal zware metalen in Nederlandse landbouwgronden. Hierbij is een onderscheid gemaakt naar grondsoort. De aangetroffen gehalten zijn tevens vergeleken met de gehalten zoals ze in de totale aardkorst voorkomen (zie tabel 16).

element	klei	zand	veen	aardkorst
cadmium	0,5	0,3	0,9	0,15
koper	23	11	28	70
kwik	0,2	0,2	0,2	0,5
lood	43	31	71	16
zink	117	44	101	132

Tabel 16. Gehalten in mg/kg aan zware metalen in Nederlandse landbouwgronden<sup>18</sup>

Uit de literatuur<sup>37</sup> zijn Duitse bodemnormen bekend, volgens welke nog verantwoorde plantaardige produktie mogelijk is. Deze door prof. Kloke opgestelde normen zijn voor een aantal elementen weergegeven in tabel 17.

element	Kloke-norm (mg/kg droge grond)
zink	300
koper	100
lood	100
nikkel	50
chroom	100
cadmium	3
kwik	2

Tabel 17. Gehalte aan zware metalen in de bodem<sup>37</sup>

De in tabel 17 vermelde gehalten hebben betrekking op de totale concentratie aan zware metalen in de bodem. Het is in het algemeen zo, dat alleen het in water oplosbare deel van deze micro-elementen voor het gewas beschikbaar is, of, indien het gewas niet tot opname in staat is (winterperiode), aan uitspoeling onderhevig is.



Uit onderzoek<sup>12</sup> op het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren blijkt, dat jaarlijks slechts een klein deel (enkele tiende tot honderdste procenten) van de in de grond aanwezige zware metalen door het gewas wordt opgenomen of uitspoelt. Per element wordt de grootte van dit beschikbare deel vooral bepaald door de pH en de hoeveelheid en aard van de mobiele organische stof in de bodemoplossing. De zuurgraad heeft invloed op vrijwel alle in de grond voorkomende evenwichten en vooral op de oplosbaarheid van de metalen. Onder bepaalde omstandigheden kunnen humuszuren met de daaraan gebonden metalen in oplossing gaan. Dit is met name van belang voor koper, dat gebonden aan de organische stof in de grond voorkomt.

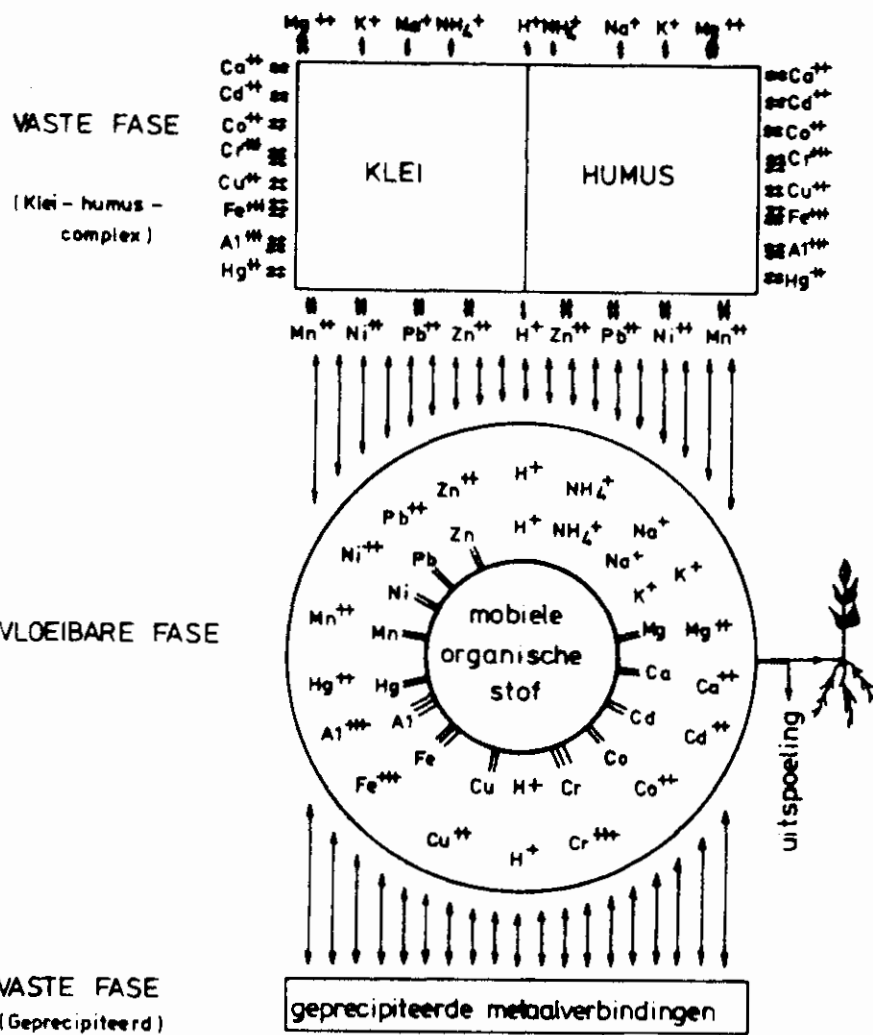
Mobiele organische stof komt normaal vooral in de vorm van in water oplosbare fulvozuren in de bodemoplossing voor, met name in zand- en veengronden. De mogelijkheid om met fulvozuren stabiele complexen te vormen is sterk afhankelijk van het element. Behalve de biologisch stabiele fulvozuren kunnen als gevolg van afbraak van organische bestanddelen in de bodemoplossing organische zuren voorkomen. Ook deze afbraakprodukten kunnen met metalen complexen vormen en als zodanig voor deze metalen als drager fungeren.

Het voorspellen van de effecten voor gewas en milieu van op elkaar inwerkende complexe systemen als grond en zuiveringsslib is een moeilijke zaak. In figuur 30 is het voorkomen van metalen in de grond schematisch weergegeven.

In de vloeibare fase streven de vrije metaalionen naar een evenwicht met elkaar en met hun gecomplexeerde soortgenoten in de bodemoplossing en de geadsorbeerde en geprecipiteerde ionen in vaste fase. Alle metalen zijn in de verschillende situaties slechts in enkelvoud weergegeven, maar in werkelijkheid kunnen ze in zeer verschillende concentraties voorkomen.

Uit het voorgaande moge het duidelijk zijn dat het gedrag van de metalen in bodem een letterlijk en figuurlijk complexe zaak is. Vanwege deze onzekerheden wordt dikwijls, in navolging van de Duitse bodemnormen, uit gegaan van de totale gehalten aan zware metalen in de bodem. De mobiliteit van de diverse elementen kan in de loop van de tijd zo sterk veranderen als gevolg van processen in de bodem, dat een eventueel lage mobiliteit op het moment van verwerking van de zwarte grond niet als maatgevend kan worden beschouwd.

De invloed van *toxische milieuvreemde* stoffen in de zwarte grond is nog moeilijker te schatten dan de invloed van de zware metalen. Er is nog slechts weinig onderzoek verricht naar de opname door planten van deze milieuvreemde stoffen. Nagenoeg alle pesticiden zijn relatief apolaire moleculen, welke sterk gebonden zijn aan de organische stof in de bodem, en als gevolg hiervan niet of nauwelijks uitspoelen<sup>59</sup>. Ten aanzien van PCB's is gebleken dat deze stoffen, hoewel geadsorbeerd aan het worteloppervlak van planten niet door de plant zelf worden opgenomen.



Figuur 30. Het voorkomen van metalen in de grond (schematisch)

Niet alleen de uitspoeling van toxische milieuvreemde stoffen verloopt zeer traag, ook de afbraak in de bodem, vindt slechts in zeer geringe mate plaats vanwege de persistentie van deze stoffen. Bovendien is dikwijls onvoldoende zuurstof aanwezig om een volledige afbraak mogelijk te maken. Wettelijke normen en richtlijnen ten aanzien van deze stoffen in zuiveringsslib waren ten tijde van deze studie niet aanwezig; in het algemeen kan gesteld worden dat schadelijke stoffen die van nature niet in de bodem voorkomen en een persistent karakter vertonen feitelijk niet in zwarte grond thuishoren.

5.4 Afzetmogelijkheden

De toepassingsmogelijkheden van uit zuiveringsslib bereide zwarte grond worden enerzijds bepaald door de samenstelling en anderzijds door de commerciële positie (prijs) van het produkt.

De kwaliteitsaspecten en de samenstelling van het gereede produkt zijn in paragraaf 5.3 uitvoerig besproken.

Hieruit blijkt dat de samenstelling van het slib en de aard en de hoeveelheden van de toeslagstoffen de kwaliteit van het eindprodukt bepalen.

Aangezien menging van de diverse componenten in vrijwel elke verhouding mogelijk is, is het technisch gezien mogelijk om zwarte grond van elke gewenste kwaliteit en samenstelling te produceren.

Mogen er technisch gezien nauwelijks beperkingen zijn, op het commerciële vlak zijn er wel beperkende factoren aanwezig. De commerciële mogelijkheden worden zowel bepaald door de vraag- en aanbod-verhouding van natuurlijke zwarte grond in een bepaalde regio en de daaruit voortvloeiende kostprijs, als ook door de kostprijs van de te bereiden zwarte grond.

De kwestie van vraag en aanbod van natuurlijke zwarte grond en de hiermee verbonden marktwaarde van het artikel is sterk regio-gebonden. De bodemgesteldheid van het gebied speelt een rol ten aanzien van de van nature aanwezige hoeveelheid en kwaliteit van de zwarte grond. Verder bepaalt de bevolkingsdichtheid en een eventuele bevolkingsgroei het tempo van stadsuitbreiding en de daarmee samenhangende voorzieningen. Daarbij hangt het van de ligging en de bodemgesteldheid van het gebied af, of aanvoer van een teelaardelaag noodzakelijk is om de genoemde voorzieningen bodemkundig te realiseren.

De kostprijs van de te bereiden zwarte grond is eveneens van een aantal factoren afhankelijk. In de eerste plaats is de prijs van de benodigde toeslagstoffen van invloed op de kostprijs van het gereede produkt. De kosten van het bereidingsproces en de transportkosten vormen een tweede factor. De proceskosten worden bepaald door de aard en kwaliteit van de uitgangsprодукten en door de toegepaste werkwijze. De transportkosten worden voornamelijk bepaald door de afstand tussen de bereidings- en de verwerkingsplaats.

Tenslotte speelt de prijs van het te verwerken zuiveringsslib een belangrijke rol. De kostprijs van deze grondstof kan een netatief bedrag zijn: de slibproducent betaalt in dit geval voor de afzet van het slib.

De volgende, vaak met elkaar verweven, afzetgebieden worden voor zwarte grond onderscheiden:

#### *nieuwbouwwijken*

Een zeer grote behoefte aan zwarte grond bestaat dikwijls in uitbreidingsplannen van gemeenten. Vooral in gebieden waar als gevolg van onvoldoende ontwatering of draagkracht een ophoging van het oorspronkelijke maaiveld vereist is, is het aanbrengen van een laag zwarte grond als groeimedium voor de beplanting noodzakelijk. De ophoging bestaat namelijk meestal uit zand, dat vrijwel geen meststoffen en organische stof bevat en dientengevolge gebrek heeft aan plantenvoedende en vochtbindende elementen.

De dikte van de aan te brengen laag hangt af van het onderliggende bodemprofiel, de grondwaterhuishouding en de vegetatie die men wil aanbrengen.

### *afvalstortplaatsen*

Bij de inrichting en afwerking van afvalstortplaatsen is een aanzienlijke hoeveelheid afdekgrond vereist. Zowel de diverse lagen afval als - uiteindelijk - de totale stortplaats moeten met grond worden afgedekt. Hiermee wordt enerzijds hinder voor de omgeving vermeden (stank, ongedierte, vogels), terwijl anderzijds het afgewerkte stort kan worden beplant.

In de behoefte aan afdekgrond kan voor een deel voorzien worden door vooraf op de stortplaats grond te ontgraven en in depot te zetten. Men is hierbij afhankelijk van het bodemprofiel en de heersende grondwaterstanden. De rest van de benodigde grond moet van elders worden aangevoerd; zwarte grond, uit zuiveringsslib bereid, kan een voor dit doel geschikt produkt zijn.

### *recreatieobjecten*

Ook bij de realisering van recreatieobjecten kan zwarte grond een belangrijk onderdeel zijn. Te denken valt hierbij aan sport- en speelvelden en ligweiden bij zwembaden. Indien deze objecten worden aangelegd op gronden die van nature arm en droogtegevoelig zijn, is een verrijking met zwarte grond noodzakelijk, waarvoor bij voorkeur humushoudende, zandige grondmengsels worden toegepast, zodat het vochtbindend vermogen vergroot wordt. Zwarte grond, uit slib bereid, kan hiervoor dienen.

### *plantsoenen en parken*

Op het gebied van plantsoenen en parken in bestaande woongebieden kan ter verbetering van de groeiomstandigheden van de beplanting een behoefte bestaan aan een juist substraat. Uitwisseling van de bestaande bovenlaag tegen zwarte grond kan in deze behoefte voorzien, zodat het stedelijk groen een redelijke kans krijgt om tot ontwikkeling te komen.

### *bomengrond*

Een bijzondere toepassing op het gebied van het stedelijk groen is het gebruik van zwarte grond als bomengrond. Ook in dit geval is sprake van uitwisseling van een arme, schrale grond tegen een produkt met een redelijke hoeveelheid meststoffen en organische stof. Deze uitwisseling vindt zowel plaats bij bestaande beplanting als ook bij het verplaatsen van (grote) bomen.

Door in het plantgat de groeiomstandigheden zo optimaal mogelijk te maken, wordt de kans op een succesvolle verplaatsing van de boom vergroot. Afhankelijk van de specifieke eisen van een bepaalde boomsoort kan de samenstelling van de zwarte grond worden aangepast. Een sprekend voorbeeld van deze specifieke samenstelling is de onder andere uit zuiveringsslib bereide zwarte grond voor de Floriade in Amsterdam. Als gevolg van de zeer uiteenlopende soorten vegetatie is hier op één object met grond van diverse samenstelling gewerkt, teneinde voor elke soort de optimale groeiconditities te scheppen.

### *bosbouw*

Ook in de bosbouw, waar naar een zo groot mogelijke houtproduktie wordt gestreefd, biedt het toepassen van zwarte grond wellicht mogelijkheden, met name in de loofhoutsector. Met behulp van specifieke samenstellingen van de zwarte grond ten aanzien van bemesting en structuur kunnen optimale groeisnelheden van de aanplant worden bereikt. Het rendement van de bosbouw kan hierdoor worden verhoogd.

## *kwekerijen*

Naast toepassing van **zwarte grond** in min of meer permanente cultures, is de toepassing van dit **produkt** mogelijk op kwekerijen, met name in de sierteelt. In Amerika<sup>9</sup> wordt het gebruik van zwarte grond bij de teelt van consumptiegewassen ontraden.

## *wegenbouw*

Tenslotte kan bij de **toepassingsmogelijkheden** van zwarte grond uit slib bereid het gebruik in de **wegenbouw** vermeld worden. Bij aanleg van nieuwe (autosnel-) wegen is het gebruikelijk over de totale breedte van verharding en bermen een zandlichaam aan te brengen. Op de bermen dienen dan maatregelen genomen te worden om het verstuiven van het zand tegen te gaan, maatregelen bijvoorbeeld in de vorm van een begroeiing, meestal gras. Het zand uit het cunet biedt onvoldoende garantie voor een snelle opkomst en groei van het gras, zodat het aanbrengen van een laag zwarte grond gewenst is. Deze laag kan dan bovendien dienen als substraat voor eventueel aan te brengen opgaande beplanting.

Uit de voorgaande beschouwing blijkt dat er voor zwarte grond, uit zuiveringsslib bereid, ruime toepassingsmogelijkheden zijn. De omstandigheden kunnen echter per regio sterk verschillen, zowel wat betreft de totale vraag naar zwarte grond als wat betreft de concurrentiepositie van zuiveringsslib als uitgangspdukt. Een nauwkeurige analyse van deze lokale omstandigheden is dan ook noodzakelijk.

## 5.5 Bereidingsprocessen

### 5.5.1 *algemeen*

De bereiding van **zwarte grond** uit zuiveringsslib in Nederland wordt in het algemeen niet door de slibproducent zelf uitgevoerd. Het slib wordt meestal door een plaatselijke aannemer op de zuiveringsinrichting afgehaald en elders verwerkt. Aangezien de transportkosten afhankelijk zijn van de te overbruggen afstand, moet de afstand tussen de plaats van slibproductie en de lokatie van de zwartegrondbereiding, zo beperkt mogelijk zijn. Daarbij speelt ook het drogestofgehalte van het te verwerken slib een belangrijke rol.

In de bereidingsprocessen van **zwarte grond** is een onderscheid te maken op basis van de ontwateringstoestand van het slib op het moment van menging met de minerale toeslagstoffen (meestal zand). In de praktijk betekent dit dat ofwel vloeibaar slib (circa 5% droge stof), ofwel steekvast slib (minimaal 25% droge stof) wordt gemengd met zand.

### 5.5.2 *zwarte grond uit steekvast slib bereid*

Het uitgangspunt van dit systeem is dat het slib niet met de toeslagstof zand wordt gemengd, voordat een bepaald drogestofgehalte en een zekere mate van rijping bereikt is. Voldoet het aangevoerde slib niet aan deze criteria, dan zijn nog voorbereidende handelingen vereist, alvorens de eigenlijke zwartegrondbereiding kan plaatsvinden. Met betrekking tot deze vorm van zwartegrondbereiding is veel ervaring opgedaan door Rutte Recycling b.v. te Amsterdam<sup>6,5</sup>. De beschrijving van het productieproces van **zwarte grond** uit steekvast slib is dan ook hoofdzakelijk geënt op de door dit bedrijf ontwikkelde procestechieken.

Zoals eerder vermeld kan de uitgangstoestand van het te verwerken slib sterk verschillen. Is er sprake van vloeibaar slib, dan vindt eerst een ontwatering tot circa 25% droge stof plaats op droogbedden. Tijdens dit droogproces vindt ook een initiële rijping van het slib plaats.

Deze droogbedden worden vervolgens geruimd en het ontwaterde slib wordt op hopen gezet zodat er een proces van narijping plaats kan vinden. Afhankelijk van de kwaliteit van het slib en de eisen ten aanzien van het eindprodukt, kan bij het ruimen van de droogbedden ander organisch materiaal met het slib gemengd worden. Indien het aangevoerde slib reeds voldoende ontwaterd is bij aankomst op de verwerkingsplaats, kan toch nog een behandeling van het materiaal nodig zijn om het vereiste rijpingsniveau te bereiken. De toe te passen behandeling is sterk afhankelijk van de voorgeschiedenis van het slib, met name de wijze van ontwateren.

Bij zwartegrondbereiding uit met kalk geconditioneerd slib is, in tegenstelling met het voorgaande, een onmiddellijke menging met toeslagstoffen gewenst. Laat men het slib zonder toeslagstoffen rijpen, dan ontstaan er harde brokken (verstening), waardoor het rijpingsproces tot stilstand komt.

Door in het materiaal op verschillende diepten het zuurstofgehalte van de lucht in de poriën te meten, wordt een indruk verkregen van de zuurstofbehoefte van het materiaal. Deze zuurstofbehoefte is een indicatie voor de rijpingstoestand.

Indien het slib dan, eventueel na de genoemde voorbehandelingen, het juiste drogestofgehalte en de vereiste rijpingsgraad bereikt heeft kan het eigenlijke proces van zwartegrondbereiding plaats vinden. Hiertoe worden slib en zand in een menginstallatie in de juiste verhouding gemengd. Deze installatie is zo ingericht dat elke mengverhouding mogelijk is. De gewenste samenstelling van het eindprodukt hangt af van de bestemming van de zwarte grond.

Indien de bemestende waarde van het mengprodukt niet voldoet aan de eisen, die door de bestemming gesteld worden, kan in de menginstallatie een aanvullende (kunst)mestgift toegediend worden. Op deze wijze kan de samenstelling van het eindprodukt zeer nauwkeurig geregeld worden, mits het produktieproces vergezeld gaat van een goede kwaliteitscontrole. Deze controle moet enerzijds bestaan uit een nauwkeurige analyse van de uitgangsportukten, terwijl anderzijds ook de samenstelling van het gereede produkt per partij gecontroleerd dient te worden.

Indien geen menginstallatie beschikbaar is, kan het mengen ook plaatsvinden met behulp van draglines, hydraulische graafmachines of laadschoppen. Hierbij is de dosering minder nauwkeurig te regelen, terwijl de homogeniteit van het eindprodukt niet optimaal is.

In paragraaf 5.3 is reeds beschreven welke criteria gehanteerd kunnen worden ten aanzien van de belasting van de grond met zware metalen. Het zal in dit verband duidelijk zijn dat het verontreinigingsniveau van het uitgangsportuk slib binnen zekere grenzen moet blijven, aangezien men anders tot een dermate sterke verdunning moet overgaan, dat de organische-stoffractie en de bemestende waarde van het eindprodukt nagenoeg nihil worden.

Om een produkt te kunnen bereiden met een aanvaardbare belasting aan zware metalen en tegen een redelijke kostprijs, is dus zo goed mogelijk uitgangsmateriaal van belang. Wat het slib betreft, impliceert dit een verregaande sanering aan de bron; wat de toeslagstoffen betreft dient gekozen te worden voor materialen met geen of nauwelijks verontreinigen.

In principe is vrijwel elke slibsoort en - kwaliteit te verwerken tot zwarte grond. Bij slechte fysische eigenschappen (moeilijk te ontwateren, problematische rijping) zijn echter extra bewerkingen vereist, waardoor de kostprijs van het produkt aanzienlijk verhoogd kan worden.

### 5.5.3 *zwarte grond uit nat slib bereid*

Het kenmerk van deze methode van zwartegrondbereiding is het mengen van natslib met zand, waarbij de verdere ontwatering van het slib plaatsvindt in het slib-zandmengsel.

Het mengproces kan op verschillende manieren worden uitgevoerd, al naar gelang de beschikbare materialen en machines.

Een methode is het mengen van nat slib en toeslagstoffen door middel van een frees. Dit principe is afgeleid van een in Duitsland ontwikkeld systeem voor het mengen van drijfmest en grond.

In opdracht van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne wordt sedert medio 1981 door het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG) te Wageningen een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van deze vorm van zwartegrondbereiding. Het onderzoek is gericht op de ontwikkeling van een bruikbare machine, de werkmethode, de verhouding tussen slib en toeslagstoffen, de milieueffecten van een dergelijk proces en de verwerkbaarheid en toepasbaarheid van het bereide produkt<sup>4</sup>.

Om de genoemde gegevens te verzamelen worden zowel proeven op laboratorium- als op praktijkschaal uitgevoerd. Gezien het stadium van de proef, zijn nog geen resultaten beschikbaar, die hier vermeld kunnen worden.

Het mengen van nat slib met toeslagstoffen zou ook in een daarvoor ingerichte menginstallatie kunnen worden uitgevoerd. Ook een menging met behulp van grondverzetmachines is denkbaar, maar, voor zover bekend, worden deze systemen (nog) nergens op praktijkschaal toegepast.

## 5.6 Praktijkervaringen

### 5.6.1 *inleiding*

In aansluiting op de in 5.5 globaal beschreven bereidingsprocessen, zal een aantal specifieke gevallen, al dan niet uitgebreid in de praktijk getoetst, nader beschreven worden. Hierbij komen de volgende aspecten aan de orde:

- principe;
- werkwijze en benodigde voorzieningen;
- gehanteerde parameters;
- kwaliteitsaspecten;
- milieueffecten;
- kostenfactoren en kostenindicatie.

De gedetailleerdheid van de beschrijving van bovengenoemde aspecten is afhankelijk van de beschikbare gegevens. Aangezien zwartegrondbereiding, zowel binnen als buiten Nederland, een in hoofdzaak praktische aangelegenheid is, waarbij de wetenschappelijke ondergrond en begeleiding tot voor kort ontbraken, zijn er nog slechts weinig exacte gegevens bekend.

#### 5.6.2 *zwartegrondbereiding uit natuurlijk ontwaterd slib*

##### *principe en werkwijze*

De natuurlijke ontwateringsvormen van slib stonden de laatste decennia in Nederland in geringe belangstelling. Het klimaat is er niet ideaal voor, terwijl betrekkelijk grote terreinoppervlakken vereist zijn. Ook de hoge grondprijzen en de vaak beperkte beschikbare ruimte droegen niet bij tot de aantrekkelijkheid van deze vorm van slibontwatering. Als gevolg echter van de eenvoud van het systeem en de relatief lage energie-behoefte, lijken de kansen voor de natuurlijke ontwatering de laatste jaren weer toe te nemen. Aangezien deze vorm van slibverwerking zich in de open lucht afspeelt, zijn met het oog op stankoverlast uitsluitend gestabiliseerde slibsoorten verwerkbaar. Uitgegist slib, afkomstig van oxydatiebedden, leent zich het beste voor natuurlijke ontwatering. Uitgegist slib uit actief-slibinstallaties is, zij het wat minder, ook geschikt. Carrousel-slib is ook op deze wijze te ontwateren, maar als gevolg van de, in vergelijking met uitgediste slibben, lage ontwateringssnelheid, is relatief veel ruimte vereist.

Het drogingsproces kan door de volgende balans worden gekarakteriseerd<sup>7</sup>:

$$D = E + R + F - P$$

Waarin:

- D = drogingscapaciteit
- E = verdamping
- R = oppervlakte-afvoer (run-off)
- F = infiltratie
- P = neerslag

Deze factoren zijn deels afhankelijk van de opzet van de ontwateringsinrichting, terwijl ook klimatologische en beheerstechnische aspecten van belang zijn.

Gezien de grote oppervlakte zijn de klimatologische omstandigheden moeilijk te beheersen, de opzet en het beheer daarentegen zijn wel controleerbare factoren. Hierbij is een drietal systemen te onderscheiden, namelijk het droogbed, de lagune en het veredelde droogbed.

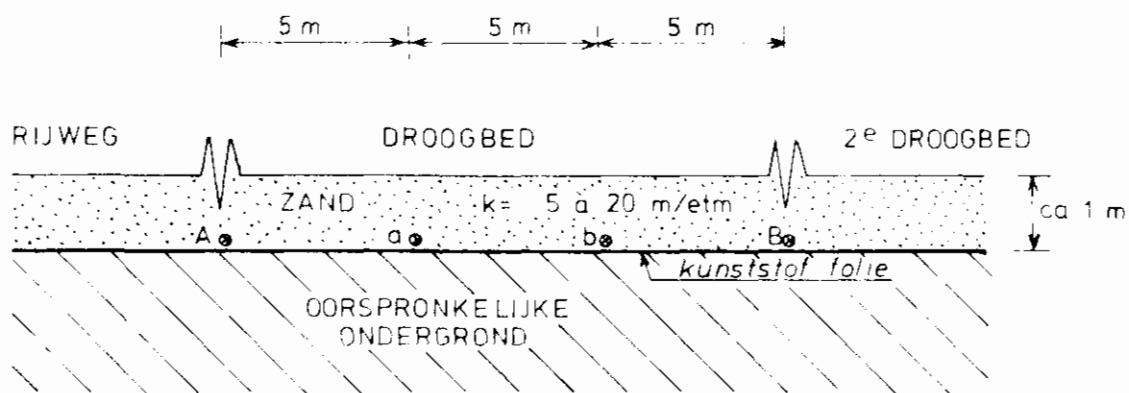


Een droogbed is een omdijkt, eventueel gedraineerd, terrein dat gevuld kan worden met een laag vloeibaar slib met een dikte van 0,30 à 0,50 m. Op het moment dat het vloeibare slib ontwaterd is tot een steekvaste massa, wordt het bed geruimd, en kan een volgende charge opgebracht worden.

In een lagune wordt een grotere vulhoogte toegepast, namelijk 1 à 1,5 m. Het vullen geschiedt doorgaans laagsgewijs, waarbij het bovenstaande water door decanteeraflaten kan worden verwijderd. Na een lange verblijftijd ( 2 à 5 jaar) is het slib gedroogd tot een drogestofgehalte van 10 tot 25%, afhankelijk van de inrichting en het beheer van de lagune.

Aangezien de bovenstaande natuurlijke droogprocessen in het algemeen traag verlopen, is gezocht naar mogelijke verbeteringen van de bestaande principes. Door Rutte Recycling b.v. is het veredelde droogbed ontwikkeld dat berust op het principe van het laagsgewijs aanbrengen van vloeibaar slib op een bol of hellend oppervlak, zodat de oppervlakte-afvoer versneld kan plaatsvinden.

De opbouw van het veredelde droogbed is in figuur 31 schematisch weergegeven<sup>65</sup>.



Figuur 31. Schema veredeld droogbed

Op het oorspronkelijke maaiveld of op het ontgravingsniveau wordt, ter bescherming van de onderliggende bodem en het grondwater, een kunststof folie aangebracht. Het aanbrengen van een dergelijke constructie vereist, vooral op zettingsgevoelige gronden, een goede begeleiding en controle.

Op de ondoorlatende folie is een drainerend zandpakket aangebracht, bestaande uit zeer goed doorlatend materiaal ( k minimaal 5m/etm). Dit zandbed is voorzien van een buisdrainage-systeem, waarin de drainafstanden 5 m bedragen. Met behulp van een greppelfrees zijn in het zand greppeltjes aangebracht op een onderlinge afstand van 15 m, zodanig dat deze greppels precies boven een drain liggen. De greppels hebben een bergende functie.

Het afstromende en infiltrerende water wordt door de drains afgevoerd. Indien de kwaliteit hier aanleiding toe geeft, kan het drainwater opgevangen worden en naar een zuiveringsinrichting afgevoerd worden.

De breedte van het veredeld droogbed bedraagt dus 15 m, de lengte is afhankelijk van de terreinomstandigheden en de gewenste bedrijfsvoering. Elk droogbed is in lengterichting aan een zijde ontsloten door een bedrijfsweg. Afhankelijk van de toe te passen transportmiddelen kan een of andere vorm van verharding van de bedrijfswegen vereist zijn.

Voordat met de verspreiding van het vloeibaar slib op het droogbed wordt aangevangen, kan, afhankelijk van de aard van het slib en de bestemming van het gereede produkt, een onderlaag van hulpprodukten worden aangebracht (bijv. champignonmest of ander landbouwafval).

Door het aanbrengen van deze onderlaag wordt het ontwateringsproces bevorderd, terwijl tevens een verlaging van de concentraties aan zware metalen wordt gerealiseerd als gevolg van het verdunningseffect.

Het opbrengen van het vloeibaar slib vindt door middel van een tankauto plaats, die rijdend langs het droogbed het slib verspreidt (zie fig. 32). Per werkgang wordt een laagje van 1 à 2 cm nat slib aangebracht, hetgeen gemiddeld 1 maal per dag kan plaatsvinden. Aangezien telkens het grootste deel van het slib midden op het droogbed terechtkomt, ontstaat een bol oppervlak, hetgeen een positieve invloed heeft op de oppervlakte-afvoer (run-off).



Figuur 32. Het vullen van een veredeld droogbed met hulpprodukten

Gedurende 8 maanden vindt regelmatig een slibdosering plaats, zodat op jaarbasis  $2,5 \text{ m}^3$  slib, met een drogestofgehalte van circa 4 à 5%, per vierkante meter droogbed verwerkt kan worden. Na 8 maanden resteert dan een slibpakket van circa 50 cm met een drogestofgehalte van 20 à 25% (steekvast materiaal).

Door Rutte Recycling b.v. is onderzoek gedaan naar de grootte van de diverse factoren uit de vochtbalans. Hierbij is ervan uitgegaan dat per jaar een laagdikte van 2250 mm nat slib op een droogbed gebracht kan worden. Samen met een gemiddelde jaarlijkse neerslag van 750 mm betekent dit een belasting aan het droogbed met een waterschijf van 3000 mm. Uit metingen blijkt dat circa 450 mm per jaar door infiltratie wordt afgevoerd, terwijl door verdamping ongeveer 650 mm verdwijnt. Bij het ruimen van de droogbedden bedraagt het drogestofgehalte van het slib circa 15 à 20% zodat op deze wijze 400 à 500 mm water wordt afgevoerd. De balans tussen aan- en afvoer van water wordt in evenwicht gebracht door een oppervlakte-afvoer van 1400 à 1500 mm per jaar. Uit deze gegevens blijkt dat de oppervlakte-afvoer de belangrijkste factor in dit ontwateringsproces is.

Tijdens deze ontwatering vindt reeds een initiële rijping van het slib-hulpproduktmengsel plaats (zie fig. 33). Bij het ruimen van de bedden wordt het slib op een grove wijze gemengd met deze hulpprodukten, waarna het materiaal op een windrow verder kan rijpen.



Figuur 33. het rijpingsproces begint al op de droogbedden

Een probleem bij het (na-)rijpingsproces is het vaststellen van het punt, waarop het slib-hulpproduktmengsel stabiel genoeg is om tot zwarte grond verwerkt te worden. Onder "stabiel" wordt die toestand verstaan, waarbij het zuurstofgehalte zodanig is, zodat geen anaërobie ontstaat. In de praktijk wordt wel het criterium gehanteerd dat in een laagdikte van minimaal 30 cm op een diepte van 20 cm het zuurstofgehalte van de lucht in de poriën meer dan 10% moet bedragen. Ook kan het C/N-quotiënt een indicatie van de rijpingstoestand zijn. Uit praktijkervaringen blijkt, dat men tot verdere verwerking van het gerijpte slib kan overgaan, indien het C/N-quotiënt kleiner dan 9 à 10 bedraagt.

Indien de bovenlaag van de windrow zo zeer uitdroogt, dat een harde korst ontstaat, waardoor het toetreden van zuurstof tot de kern van de

opslag belemmerd wordt, kan het noodzakelijk zijn het slib om te zetten of te bevochtigen.

Na het rijpingsproces kan de menging met minerale en eventueel andere toeslagstoffen plaatsvinden. Hiervoor is een speciale mobiele installatie ontwikkeld, bestaande uit een systeem van voorraadbunkers en transportbanden.

De bunkers kunnen door middel van een wiellaadschop of kraan gevuld worden met de te mengen componenten en worden aan de onderzijde geleidigd met behulp van de transportbanden. Aangezien de snelheden van deze banden onafhankelijk regelbaar zijn is in theorie elke mengverhouding te realiseren (zie fig. 34).



Fig. 34. Mobiele menginstallatie

De menginstallatie is tevens voorzien van een doseerinstallatie voor kunstmeststoffen, waarmee eventueel ontbrekende plantenvoedende stoffen toegediend kunnen worden aan het slib-grondmengsel.

In deze menginstallatie wordt het grondmengsel tevens vermalen, zodat het gerede produkt geen kluiten of brokken meer bevat en qua afmetingen zeer homogeen is.

Indien een dergelijke geavanceerde menginstallatie ontbreekt, kan het mengen plaatsvinden met dragline, kraan of laadschop. De doseermogelijkheden zijn dan minder nauwkeurig, terwijl ook de homogeniteit van het eindprodukt minder kan zijn dan bij toepassing van de beschreven menginstallatie.

De zwarte grond is nu gereed voor transport of kan in afwachting daarvan opgeslagen worden.

### *parameters en kwaliteitsaspecten*

De belangrijkste parameters, die bij deze vorm van zwartegrondbereiding worden gehanteerd, zijn de samenstelling, zowel van de uitgangsmaterialen als van het gereede produkt, het drogestofgehalte en de rijpingstoestand.

Het te verwerken slib is voorzien van een analyserapport, waarin de gehalten aan organische stof, meststoffen en een aantal zware metalen zijn opgenomen. Deze analyse wordt in het algemeen door de slibleverancier ter beschikking gesteld. Ten aanzien van de gehalten aan zware metalen dient een bovengrens gesteld te worden, om te voorkomen dat men tot overmatige verdunning moet overgaan om een aanvaardbaar eindprodukt te verkrijgen. Ook de invloed van de kwaliteit van de toeslagstoffen op het gereede produkt is duidelijk: hoe beter de toeslagstoffen, des te hoogwaardiger is het eindprodukt.

Tijdens het droogproces wordt regelmatig het drogestofgehalte bepaald. Dit kan door monsternamen, maar ook door zintuiglijke waarneming geschieden (schatting). De tweede belangrijke parameter tijdens het produktieproces is de rijpingstoestand van de materialen.

Het zuurstofverbruik van het slib-grondmengsel is een betrouwbare indicatie voor de mate van rijping of stabilisatie. Het zuurstofverbruik van het materiaal kan worden vastgesteld door op verschillende diepten in het mengsel het zuurstofgehalte van de lucht in de poriën te meten, zodat een zuurstofprofiel kan worden samengesteld. De rijpingstoestand is met name van belang bij het vaststellen van het moment waarop menging van het slib met de minerale toeslagstoffen plaats kan vinden en om te bepalen of het produkt gereed is voor afzet en gebruik.

Voordat een partij zwarte grond naar een bestemming afgevoerd kan worden, is het gewenst de chemische samenstelling van het produkt te bepalen. De partij kan dan voorzien worden van een certificaat dat de gebruiker inzicht verstrekt in de bemestende waarde en het gehalte aan verontreinigingen van het produkt. Tabel 18 is een voorbeeld van een dergelijk certificaat.

component		hoeveelheid
droge stof	(%)	75,2
organische stof	(% d.s.)	6,5
stikstof	(% d.s.)	0,21
fosfaat	(% d.s.)	0,27
kalium	(% d.s.)	0,05
zink	(ppm d.s.)	150
lood	(ppm d.s.)	37
koper	(ppm d.s.)	34
cadmium	(ppm d.s.)	0,8

Tabel 18. Voorbeeld samenstelling zwarte grond (Rutte Recycling)

### *milieueffecten*

De milieueffecten van deze vorm van zwartegrondbereiding zijn zowel afhankelijk van de aard en de samenstelling van de uitgangsprogramten als van de inrichting en het beheer van de verwerkingsplaats.

Indien het aangevoerde slib onvoldoende gestabiliseerd is of indien er tijdens het verwerkingsproces anaërobe situaties ontstaan in het te verwerken materiaal, kan er overlast in de vorm van stank ontstaan.

Nadelige milieueffecten ten aanzien van de bodem en het grondwater kunnen ontstaan, wanneer het percolatiewater niet of onvoldoende opgevangen kan worden. Tevens moet er zorg voor worden gedragen dat het opgevangen percolaat op een afdoende wijze wordt gezuiverd, alvorens lozing op het oppervlaktewater plaatsvindt. Uit praktijkervaringen blijkt dat tijdens het totale ontwaterings- en bereidingsproces maximaal 10% van de oorspronkelijk aanwezige hoeveelheid zware metalen door uitspoeling verdwijnt. Als gevolg van de sterke binding aan de organische stof vindt er geen uitspoeling van PCB's en andere toxische milieuvreemde stoffen plaats tijdens de verwerking van het slib.

Een derde nadelig milieueffect dat op kan treden is geluidsoverlast als gevolg van de inzet van zware machines en transportmiddelen. Over het algemeen zal dit geen continue bron van overlast zijn, maar vooral optreden bij het vullen, respectievelijk ruimen van de droogbedden, bij het mengproces en tenslotte bij de afvoer van het gereede produkt.

### *kosten*

De kosten van de zwartegrondbereiding zijn van een groot aantal factoren afhankelijk. In deze beschouwing wordt volstaan met het aangeven van de belangrijkste factoren, terwijl voor de totaal-kosten slechts een indicatie kan worden gegeven<sup>65</sup>.

De belangrijkste kostenfactoren zijn:

	- terrein (circa 1,6 ha/100.000 i.e.)
	- bodembescherming
inrichting bedrijf	- drainage
	- waterzuivering
	- verhardingen en overige infrastructuur
machinepark	- tankauto
	- laadschop
	- menginstallatie
toeslagstoffen	- zand
	- organisch materiaal
	- aanvullende meststoffen
kwaliteitscontrole	- van de grondstoffen
	- tijdens het produktieproces
	- van het eindprodukt

De totale kosten, opgebouwd uit de genoemde factoren, zijn sterk afhankelijk van de omvang van de slibverwerking, de ligging en bodemgesteldheid van het terrein en de mate van efficiëncy. In een grote verwerk-<sup>3</sup>kingseenheid kan als kostenindicatie (prijsspeil 1981) circa f 10,-/m<sup>3</sup> vloeibaar slib genoemd worden. Dit komt overeen met f 200,- á f 250,- per ton slib op drogestofbasis. Hierin zijn nog niet de kosten verwerkt van het slibtransport vanaf de rwzi naar de verwerkingsplaats. Deze kostenfactor is zo sterk afhankelijk van de te overbruggen afstand en de efficiëncy van het transport, dat een algemene uitspraak hieromtrent onmogelijk is.

Deze prijzen zijn gebaseerd op een zwartegrondproduktie in de orde van grootte van 200.000 ton per jaar. Bij een geringere produktie zullen de kosten aanzienlijk meer kunnen bedragen. Per locatie zal daarom een nauwkeurige kostenanalyse noodzakelijk zijn. Indien men de kosten wil vergelijken met andere vormen van slibverwerking, is bovendien een verkenning van de afzetmarkt en de daaraan verbonden marktwaarde van de bereide zwarte grond, noodzakelijk.

### 5.6.3 *zwartegrondbereiding uit mechanisch ontwaterd slib principe en werkwijze*

Slib, dat op mechanische wijze ontwaterd wordt, heeft meestal een voorbewerking ondergaan, in de vorm van chemische, fysische of thermische conditionering. Het chemisch conditioneren bestaat uit het toevoegen van organische of anorganische verbindingen, die het uitvlokken van de vaste slibdelen bevorderen. Thermische conditionering kan zowel door middel van koude als warmte plaatsvinden. Ook dit proces heeft tot doel de verdere ontwatering van het slib te bevorderen. In tegenstelling tot de chemische en thermische conditionering, waarbij het slib zelf een duidelijke structuurverandering ondergaat, wordt bij fysische conditionering een inert materiaal toegevoegd om de ontwaterbaarheid te verbeteren. Het doel van fysische conditionering is niet alleen verbetering van de ontwaterbaarheid, maar ook het verbeteren van de verwerkbaarheid (zoals transport) van het eindprodukt. Voor verdere informatie wordt verwezen naar het STORA-rapport "Slibontwatering tot meer dan 40% droge stof"<sup>58</sup>.

De gevolgen van de meeste conditioneringsprocessen zijn ongunstig voor zwartegrondbereiding. Hoewel het slib in de meeste gevallen al een redelijk hoog drogestofgehalte bezit, hetgeen als gunstig aangemerkt kan worden, zijn de rijpingsmogelijkheden daarentegen vaak erg ongunstig. Dit geldt met name voor niet of slecht uitgegist slib. In deze gevallen zijn dikwijls extra handelingen vereist om het slib in een aanvaardbare rijpingstoestand te verkrijgen, alvorens verwerking tot zwarte grond kan plaatsvinden. De toe te passen werkwijze is veelal gebaseerd op praktijkervaringen en is sterk afhankelijk van de eigenschappen van de specifieke slibsoort en het beschikbare materieel.

Een voorbeeld van een moeilijk rijpende slibsoort is een slecht uitgegist slib dat door middel van polymeren is geconditioneerd ten behoeve van de ontwatering.

Om in dit slib het rijpingsproces in beweging te krijgen en te houden is het noodzakelijk het materiaal in een windrow te deponeren en het geheel meerdere malen om te zetten. Dit proces verloopt echter zeer moeizaam en is erg arbeidsintensief. Uit praktijkervaringen blijkt dat met polymeren geconditioneerd niet uitgegist slib wel goed te composteren is. De gerede compost is vervolgens door menging met minerale toeslagstoffen tot zwarte grond te verwerken.

In gevallen, waarin sprake is van met kalk geconditioneerd slib, is het raadzaam het slib direct te vermengen met toeslagstoffen (grond), zodat het mengsel poreus en enigszins vochtig blijft. Laat men deze menging achterwege, dan treedt een verstening van de toplaag van het slib op (korstvorming) waardoor het rijpingsproces tot stilstand komt.

Op het moment dat het mechanisch ontwaterde slib een voldoende hoog drogestofgehalte bezit en op een aanvaardbaar rijpingsniveau verkeert, kan de eigenlijke zwartegrondbereiding plaatsvinden, op de wijze zoals beschreven is in paragraaf 5.6.2.

#### *parameters*

De te hanteren parameters komen overeen met die, welke bij zwartegrondbereiding uit natuurlijk ontwaterd slib worden toegepast. Bij mechanisch ontwaterd slib is zoals gezegd de rijping van het slib een zeer belangrijke en slechts moeizaam te beïnvloeden parameter. Bij het productieproces zal hier dan ook ruime aandacht aan moeten worden geschonken.

#### *kwaliteitsaspecten en milieueffecten*

Ook wat betreft de kwaliteitsaspecten is deze vorm van zwartegrondbereiding vergelijkbaar met de in 5.6.2 beschreven methode, aangezien het eigenlijke bereidingsproces (het mengen van slib met toeslagstoffen) identiek is. De verschillen berusten in hoofdzaak op de noodzakelijke voorbereiding. Ten aanzien van de milieueffecten geldt eveneens een grote overeenkomst met de eerder beschreven methode. Omdat het slib reeds aanzienlijk ontwaterd wordt aangevoerd, zal het probleem van het percolatiewater minder spelen dan bij natuurlijke ontwatering op het zwartegrondbedrijf.

#### *kosten*

De kostenfactoren van de zwartegrondbereiding zijn, wat betreft het mengproces, vergelijkbaar met de in 5.6.2 genoemde posten. De kosten van de voorbereiding zijn zo zeer afhankelijk van de aard en consistentie van het slib, dat het onmogelijk is hierover een algemene uitspraak te doen. Voor een objectieve vergelijking van de beide bereidingsprocessen zullen ook de kosten van de mechanische ontwatering en de daaraan voorafgaande conditionering in de beschouwing betrokken moeten worden.



#### 5.6.4 *zwartegrondbereiding via het slibfreesprocédé*

Het slibfreesprocédé is afgeleid van een in Duitsland bestaande methode, waarbij drijfmest door middel van een frees met grond gemengd wordt. In opdracht van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne wordt door het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG) te Wageningen een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden om zuiveringsslib door middel van freesinjecteur met grond te mengen ten einde zwarte grond te bereiden<sup>4</sup>.

##### *principe*

Deze vorm van zwartegrondbereiding wijkt op een aantal principiële punten af van de eerder beschreven methoden (5.6.2 en 5.6.3). In dit bereidingsproces wordt namelijk niet-ontwaterd slib (drogestofgehalte 4 à 5%) direct gemengd met de minerale toeslagstoffen, waarna de ontwatering in het mengsel plaatsvindt. Tevens valt op dat het mengen niet in één produktiegang wordt uitgevoerd, maar de handeling wordt een groot aantal malen herhaald met relatief geringe slibdoseringen (op drogestofbasis).

De filosofie achter deze methode is, dat bij het direct mengen van nat slib met grond de ontwatering sneller verloopt dan op bijvoorbeeld droogbedden, aangezien er naar verwachting minder gevaar bestaat voor het ontstaan van slecht doorlatende lagen; bovendien zouden, als gevolg van het mengen met een relatief dik grondpakket, slechts zeer lage stroomsnelheden van het percolerende water optreden, zodat meer vaste bestanddelen in het slib-grondmengsel worden vastgehouden. De proeven op praktijkschaal zullen moeten aantonen of deze veronderstellingen reëel zijn.

##### *werkwijze en voorzieningen*

Het mengen van het niet-ontwaterde slib met de minerale toeslagstof (zand) wordt uitgevoerd met een landbouwfrees, die voorzien is van een slibinjecteur. Deze injecteur bestaat uit een pomp, waarmee het door te frezen slib wordt aangevoerd, en een voor de frees gemonteerde buis met sproeigaten. Door deze constructie is het mogelijk om slib en zand homogeen te mengen tot een diepte, gelijk aan de werkdiepte van de frees. In figuur 35 is de freesinjecteur afgebeeld.

Aangezien bij deze vorm van slibontwatering percolatie het belangrijkste aspect is, is het van belang een goede materiaalkeuze te maken, zowel voor het zand dat als toeslagstof dient als ook voor de ondergrond, die naast de functie van "werkvloer" een belangrijke drainerende taak heeft. Door dit onderliggende pakket moet immers het percolaat afgevoerd worden. Indien de ontwatering dit vereist, of indien men wil voorkomen dat het percolaat de diepere ondergrond of het grondwater bereikt, kan het genoemde pakket voorzien worden van een buisdrainagesysteem. Om ervan verzekerd te zijn, dat al het water door drains wordt afgevoerd en dat er geen water naar de ondergrond kan percoleren, is tevens een folie of andere vorm van bodembescherming vereist.

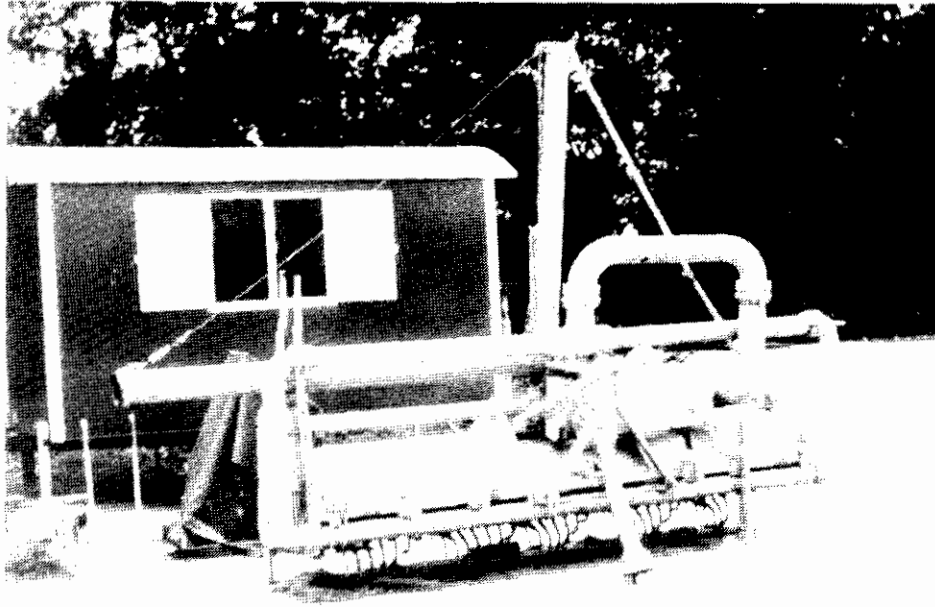


Fig. 35. Freesinjecteur

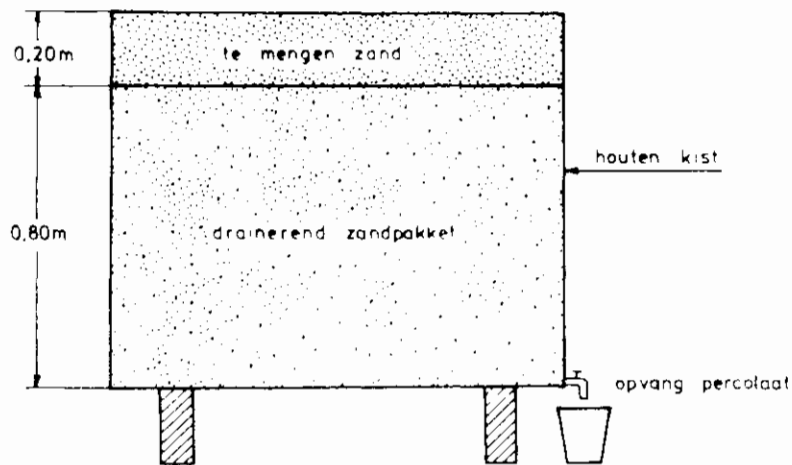
Het water dat hiermee opgevangen wordt kan, zonodig, naar een zuiveringsinrichting worden afgevoerd.

De hoeveelheid nat slib die per werkgang wordt verwerkt, het tijdsinterval tussen de werkgangen en het totaal aantal bewerkingen zijn factoren die sterk afhankelijk zijn van de uitgangsmaterialen, de klimatologische omstandigheden en de werkwijze. In het genoemde IMAG-onderzoek zullen deze aspecten zowel op laboratoriumschaal als op praktijkschaal worden onderzocht.

Wat betreft het laboratoriumonderzoek is een proefopstelling gemaakt, bestaande uit houten kisten, voorzien van een goed drainerend zandpakket. Hierboven bevindt zich een laag zand van ongeveer 20 cm dikte. Dit zand kan in een betonmolen worden gemengd met een bepaalde hoeveelheid slib en vervolgens kan in de kist de ontwatering van het slib plaatsvinden, waarbij het percolaat opgevangen kan worden. De slibdoseering en het aantal mengingen kunnen naar behoefte gevarieerd worden; ook de zandsoorten en de tijdsintervallen zijn variabele factoren. Aangezien de proeven in een overdekte ruimte worden uitgevoerd, is er geen invloed van neerslag. In figuur 36 is de proefopstelling weergegeven.

Het doel van deze laboratoriumproeven is na te gaan welke ontwateringssnelheden theoretisch haalbaar zijn. Tevens kan een indruk worden verkregen over de te realiseren mengverhouding en kan bepaald worden welke bestanddelen door middel van het percolatiewater worden afgevoerd.

De gegevens uit de proeven op laboratoriumschaal kunnen worden gebruikt bij de opzet van de praktijkproeven. Men heeft dan immers de beschikking over ontwateringssnelheden en mengverhoudingen welke onder optimale omstandigheden haalbaar zijn. Deze gegevens kunnen bij de praktijkproeven als bovengrens gehanteerd worden.



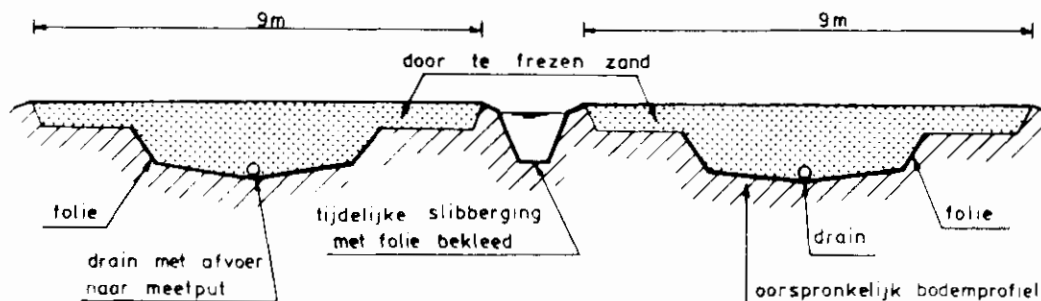
Figuur 36. Proefopstelling IMAG-onderzoek op laboratoriumschaal

Met de proeven op praktijkschaal is in de zomer van 1981 reeds een aanvang gemaakt. Op het terrein van een rwzi zijn twee proefvakken ingericht, bestaande uit een pakket kalk- en humusarm grof zand, gelegen op een ondergrond van goed doorlatend materiaal. Onder een deel van de proefvakken is een folie aangebracht, waarmee al het percolatiewater van het betreffende proefvakdeel opgevangen wordt. De hoeveelheid water wordt geregistreerd en proportioneel bemonsterd; de monsters worden periodiek geanalyseerd op onder andere pH, geleidingsvermogen, stikstof, fosfaat en een aantal zware metalen. Tevens wordt de hoeveelheid neerslag geregistreerd, aangezien een belangrijk deel van de neerslag in het percolaat terecht kan komen.

Een overzicht van de proefopzet is weergegeven in figuur 37. Hierop is te zien dat de beide proefvakken gescheiden zijn door een met folie beklede greppel, welke als tijdelijke slibberging fungeert. Voorafgaande aan een freeswerkgang wordt deze greppel volgepompt met vloeibaar slib. Tijdens het eigenlijke frezen wordt dit slib opgepompt uit de voorraadgreppel en in het zand geïnjecteerd en gemengd.

Het totale aantal slibinjecties hangt af van de grootte van de dosering en de dikte van het te mengen zandpakket. Bij een dosering van  $500 \text{ m}^3$  nat slib per hectare per keer zijn circa 30 injecties vereist om, op drogestofbasis, een mengverhouding van 1:7 tussen slib en zand te realiseren.

Tijdens de eerste proefserie (1981) is gebleken dat het berijden en frezen van een perceel niet altijd te combineren zijn.



Figuur 37. Dwarsdoorsnede proefvakken slibfrezen

Als gevolg van het berijden van het perceel met de zware frees-unit, kan een dermate groot structuurbederf van de bodem optreden, dat de doorlatendheid van het zand sterk afneemt. In het vervolgonderzoek zal gezocht worden naar een methode, waarbij het frezen en berijden te scheiden zijn. Hierbij wordt gedacht aan verharde zijpaden.

#### *parameters en kwaliteitsaspecten*

De belangrijkste parameters bij deze proefopzet voor zwartegrondbereiding zijn de aard en samenstelling van het slib en het zand, hoeveelheid en kwaliteit van het percolatiewater en de bewerkbaarheid van de percelen. Gezien het premature stadium van de proef zijn er nog geen resultaten of conclusies ten aanzien van de te hanteren parameters te geven. Ook is het nog niet duidelijk op welke wijze de diverse parameters te beïnvloeden zijn door bijvoorbeeld een verandering van de werkwijze.

De kwaliteit van het eindproduct is bij zwartegrondbereiding altijd het belangrijkste criterium. Aangezien het op dit moment nog onbekend is welke mengverhoudingen haalbaar zijn en wat de samenstelling van het percolaat is, is er op dit moment nog weinig te zeggen over de kwaliteitsrelatie tussen uitgang- en eindprodukten.

#### *milieueffecten*

Nadelige milieueffecten in de vorm van stank kunnen met name optreden bij de aanvoer en verwerking van het natte slib, indien dit nog onvoldoende gestabiliseerd is.

Bij het frezen kan, als gevolg van het relatief grote vereiste motorvermogen, geluidsoverlast voor de omgeving ontstaan. Aangezien dit een frequent terugkerend verschijnsel is, moet met dit aspect rekening gehouden worden.

Het belangrijkste milieueffect dat op kan treden is een mogelijke vervuiling van de ondergrond door het percolatiewater. Wanneer blijkt dat dit water zo sterk verontreinigd is dat bodem- en grondwater gevaar lopen zullen adequate maatregelen getroffen moeten worden.

### *kosten*

Absolute bedragen zijn in dit stadium nog niet te noemen, zodat volstaan moet worden met het aangeven van de belangrijkste kostenfactoren. Hierbij kan hetzelfde schema worden gehanteerd als in 5.6.2, zij het dat de accenten wat anders kunnen liggen. Ook bij het slibfrozen geldt dat de omvang en efficiency van het project en de terreinomstandigheden van groot belang zijn. Omdat het vereiste machinepark in vergelijking tot de in 5.6.2 beschreven methode eenvoudig is, is het denkbaar dat slibfrozen al op kleinere schaal aantrekkelijk is dan zwartegrondbereiding uit vooraf ontwaterd slib.

### *perspectieven*

Ten tijde van het verschijnen van dit rapport, waren er nog geen definitieve resultaten van het slibfreesonderzoek bekend. Aangezien er echter sprake is van een geheel nieuwe vorm van zwartegrondbereiding uit zuiveringsslib is er toch vrij uitvoerig aandacht geschonken aan dit procédé. Op grond van de eerste ervaringen is enige voorzichtigheid met betrekking tot de toekomstperspectieven van deze slibverwerkingsmethode noodzakelijk.

De voorlopige resultaten duiden op een relatief kleine verontreiniging van de ondergrond en het percolaat, met andere woorden de meeste slibbestanddelen blijven achter in het bewerkte zandpakket. Tevens blijkt dat tijdens de periode van uitvoering (circa 20 weken) ongeveer 30% van de organische stof is afgebroken. Tenslotte kan nog opgemerkt worden dat in de eerste fase van de proef het percolatie-effect belangrijker is dan de verdamping terwijl tegen het einde van de cyclus de verhoudingen juist omgekeerd zijn.

## 6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 6.1 *conclusies*

Compostering van slib tot een organische onderhoudsmeststof en zwarte-grondbereiding uit zuiveringsslib zijn voor nuttige slibverwerking goede mogelijkheden.

Uit literatuuronderzoek en praktijkervaringen blijkt dat de porositeit de meest kritische parameter van het composteringsproces is. Aangezien de porositeit van het te verwerken slib onvoldoende is om volledige aërobe condities te realiseren, is het gebruik van toeslagmaterialen noodzakelijk. Dikwijls wordt verondersteld dat voor het verhogen van het C/N-quotiënt koolstofrijke toeslagstoffen aan het slib toegevoegd moeten worden. Uit diverse proeven met inerte toeslagmaterialen blijkt dat deze veronderstelling op zijn minst twijfelachtig genoemd kan worden. Het blijkt dat ook zonder toevoeging van externe koolstofbronnen compostering van zuiveringsslib mogelijk is, mits er voldoende porositeit in het te verwerken materiaal aanwezig is.

Er is veel onderzoek verricht naar de (milieu)hygiënische aspecten van slibcompostering. Hieruit blijkt dat deze vorm van slibverwerking niet of nauwelijks van invloed is op de in het slib aanwezige zware metalen en toxische milieuvreemde stoffen. Wel zal bij een goed verlopend proces het pathogene karakter van het zuiveringsslib nagegnoeg verloren gaan.

Slibcompost is op de eerste plaats een bodemstructuur-verbeterend middel; als meststof is de werking slechts beperkt.

In open composteringssystemen is met beperkte middelen een goed resultaat te realiseren. Eventuele schadelijke effecten voor het milieu zijn op relatief eenvoudige wijze tegen te gaan, terwijl hetzelfde gezegd kan worden van klimatologische invloeden. Indien zuiveringsslib in een gesloten reactor wordt verwerkt, is men geheel onafhankelijk van externe factoren, maar moet rekening gehouden worden met een verdubbeling van de kosten in vergelijking met een open systeem.

Ten aanzien van zwartegrondbereiding zijn de beste resultaten bereikt met de verwerking van steekvast ontwaterd slib, in het bijzonder met slib dat op natuurlijke wijze ontwaterd is. Naast een minimaal ontwateringsniveau is de rijpingsgraad van het slib een belangrijke parameter in het productieproces van zwarte grond.

Bij toepassing van slibcompost treedt door menging met de bovengrond van een te bewerken perceel een verdunningseffect op wat betreft de in de compost aanwezige bestanddelen.

Voor uit zuiveringsslib bereide zwarte grond treedt dit verdunningseffect niet op. Wat betreft het kiezen van de mengverhouding tussen slib en toeslagstoffen dient hiermede rekening gehouden te worden. Op de vraag wat ten aanzien van het gehalte aan zware metalen en toxische milieuvreemde stoffen in zwarte grond toelaatbaar is, is (nog) geen duidelijk antwoord te geven. Men streeft er naar een relatie te leggen naar de van nature reeds aanwezige gehalten in de bodem. Bovendien rijst nog de vraag of gerekend moet worden met totaalgehalten of met het direct beschikbare deel hiervan. Omdat deze beleidsmatige zaken nog in een discussiestadium verkeren, worden in de praktijk wel de zogenaamde Kloke-normen gehanteerd.

Indien men zwarte grond bereidt volgens gangbare mengverhoudingen, kan uit oogpunt van bemesting van een redelijk rijk mengsel gesproken worden.

Aan fosfaat, kalk en magnesium is een ruime voorraadbemesting aanwezig, terwijl stikstof en kali in elk geval voor het eerste groeiseizoen voldoende beschikbaar zijn.

Uit zuiveringsslib bereide zwarte grond heeft ruime toepassingsmogelijkheden, zoals een teellaag op een zandophoging, afdekken van afvalstorten en groenvoorzieningen.

## 6.2 *aanbevelingen*

Een aantal vragen is nog onbeantwoord gebleven.

In praktijkproeven zou van een aantal slibsoorten onderzocht moeten worden, in hoeverre deze slibben zich lenen voor compostering en/of zwarte-grondbereiding. Hierbij wordt met name gedacht aan chemisch geconditioneerde zuiveringsslibben, die mechanisch ontwaterd zijn tot een drogestofgehalte van 25 à 40%.

Tevens verdient het aanbeveling om de toepasbaarheid van een aantal toeslagmaterialen te onderzoeken, zoals recycled compost, inerte toeslagstoffen en eventueel organische (afval-)produkten. Bij deze proeven zou de toeslagstof houtkrullen of houtsnippers als referentie kunnen dienen, aangezien met dit materiaal reeds ruime ervaring is opgedaan.

Naast dit onderzoek naar de te verwerken materialen zou tijdens de praktijkproeven aandacht geschonken kunnen worden aan de optimalisering van het composteringssysteem zelf, waarbij gezien het literatuuronderzoek en de praktijkervaringen, vooral het aerated static pile systeem in aanmerking komt.

## LITERATUUR

1. Afvalstoffenwet, Staatsblad 1977, nr. 455.
2. Allaway, W.H. Agronomic controls over environmental cycling of trace elements, *Advan. Agr.*, 1968, 20:235.
3. B-cursus Bodemkunde, 1961.
4. Bosma, A.H., Zwartegrondbereiding volgens het slibfreesprocédé, mondelinge mededelingen, 1982.
5. Burge, W.D. et al., Pathogens in Sewage Sludge and Sludge Compost, paper presented at the American Society of Agricultural Eng., Chicago, 1976.
6. Chrometzka, P., Determination of the Oxygen Requirements of Maturing Composts, International Research Group on Refuse Disposal Information Bulletin 33, 1968.
7. Coppes, J.G.A., Hydrologische aspecten van slibontwatering in lagunes, *H<sub>2</sub>O*, 1977, 25:562-566.
8. Criteria for Classification of Solid Waste Disposal Facilities and Practices, U.S. EPA Federal Register 44: 179, 1979.
9. De bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater; indicatief meerjarenprogramma 1980-1984, Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
10. De Haan, S., Afvalwaterzuiveringsslib als meststof of grondverbeteringsmiddel, *Landbouwkundig Tijdschrift*, 1976, 88-1: 21-27.
11. De Haan S., Beleid ten aanzien van het landbouwkundig gebruik van zuiveringsslib, Haren, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid.
12. De Haan, S., Chemical composition of drainage water from sewage sludges, used as plant substrates, *Proc. European Symposium on characterization and use of sewage sludge*, Cadarache, Frankrijk, 1979.
13. De Haan, S., Effect of nitrogen in sewage sludge on nitrogen in crops and drainage water, Haren, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, 1978.
14. De Haan, S., Effect of phosphorus in sewage sludge on phosphorus in crops and drainage water, Haren, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, 1981.
15. De Haan, S., Landbouwkundig gebruik van zuiveringsslib, *Cursus slibverwerking 1978*, Stichting Post-academiale vorming gezondheidstechniek.



16. De Haan, S., & Lubbers, J., nota nr. 57, Haren, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, 1978.
17. Desinfectie van Zuiveringsslib, STORA, Rijswijk, 1982.
18. Driel, W. van, Betekenis van zware metalen in de landbouw, 89e Wetenschappelijke Bijeenkomst van de Nederlandse Bodemkundige Vereniging, Wageningen, 1981.
19. Droscha, H., Vollmechanische Müll- und Klärschlamm-Kompostierungsanlage, Technica, 1973, 19:1778 - 1781.
20. Duvoort-Van Engers, L.E., Belasting van zuiveringsslib met zware metalen, H<sub>2</sub>O, 1981, 15:330, 6:129-130.
21. Duvoort-Van Engers, L.E., NVA-enquête betreffende de produktie, bestemming en kwaliteit van zuiveringsslib in Nederland in 1979, H<sub>2</sub>O, 1981, 21:492-493.
22. Een verkenning van de mogelijkheden van centrale verwerking van varkensdrijfmest, Werkgroep Mestverwerking, IMAG, 1980.
23. Engers, L.E. van, NVA-enquête betreffende de produktie, bestemming en kwaliteit van zuiveringsslib in Nederland in 1978, H<sub>2</sub>O, 1980, 13:293-294.
24. Epstein, E. et al., A Forced Aeration System for Composting Wastewater sludge, Journal WPCF, april 1976.
25. Epstein, E & Willson G.B., Composting Raw Sewage Sludge Proc. 1975 Nat. Conf. on Municipal Sludge Managing and disposal Aug. 1975.
26. Epstein, E & Willson G.B., Composting Sewage Sludge Proc. Nat. Conf. on Municipal Sludge Treatment, Pittsburgh, June 1974.
27. Ettlieh, W.F. & Lewis, E.A., A study of Forced Aeration Composting of Wastewater Sludge, U.S. EPA 600/278-57, Cincinnati, Ohio, November 1977.
28. Farrel, J.B. & Smith, J.E., e.a. Lime Stabilisation of primary sludges, Journal WPCF, 46, 1, 1974.
29. Golueke, C.G., Biological Reclamation of Solid Waste, Emmaus, PA: Rodale Press, 1977.
30. Gotaas, H.B., Composting-Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes, World Health Organization, Mono.Ser.No.31, 1956.

31. Helvoort, P.C.A.M. van, Proefobject compostering van zuiverings-slib door het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en West-Friesland, mondelinge mededelingen, 1982.
32. Horvath, R.W. Operating and Design Criteria for windrow composting of Sludge. Proc. of the Nat. on Design of Municipal Sludge Composting facilities, Rockville MD Information Transfer 1978.
33. Huisman, J. Microbiologische risico's van slib voor de gezondheid, *H<sub>2</sub>O*, 1981, 18: 399-400
34. Jeris, J.S., & Regan, R.W., Controlling Environmental Parameters for Optimum Composting, Part II: Experimental Procedures and Temperature, *Compost Sci.*, January/February 1973.
35. Jeris, J.S., & Regan, R.W., Controlling Environment Parameters for Optimum Composting, Part I: Experimental Procedures and Temperature, *Compost Sci.*, January/February 1973.
36. Kampelmacher, E.H. & Noorle Jansen, L.M. van, Onderzoekingen over de bacteriële contaminatie van weilanden door bemesting met uitgegist slib, *H<sub>2</sub>O*, 1974, 7:418-422.
37. Kloke, A., Anfall und Beseitigung von Klärschlamm in der BRD, *Wasser und Boden*, 1980, 11:502-507.
38. Kloke, A., Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden, *Mitteilungen des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten*, Heft 2, 1977.
39. Kneer, F., Klärschlammverwertung durch kontrollierte aerobe Kompostierung erstmals möglich, *Garten organisch*, 1973, 4.
40. Kuipers, J.F., *Bodemkunde*, 1960.
41. Lossin, R.D., *Compost Studies*, Part III, *Compost Sci.*, March/April 1971.
42. Lossin, R.D., *Compost Studies* Part I, *Compost Sci.*, November/December 1970.
43. Marskamp, M., *Slibcompostering in Mierlo*, mondelinge mededelingen, 1982.
44. McGaughey, P.H., & Gotaas, H.G. Stabilization of Municipal Refuse by Composting, *Trans.Am.Soc.Civil Eng.Paper No.* 2767.

45. Meststoffenwet, concept-ontwerp, augustus 1981.
46. Michell, R., Water Pollution Microbiology Wiley - Interscience, New York.
47. Motegi, K., Department of Sewage Works, Tokyo Metropolitan Government. Personal communication and unpublished data, 1980.
48. Niese, G., Experiments to Determine the Degree of Decomposition of Refuse by Its Self-Heating Capability, International Research Group on Refuse Disposal Information Bulletin 17, 1963.
49. Ponsen, R.A., Slibcompostering, een nieuw vorm van natuurlijke slibverwerking, *H<sub>2</sub>O*, 1981, 18: 401-406.
50. Progress Report-Beneficial Uses Program, Period Ending Sept 30, 1977, Sandia Laboratories, NM, SAND78- 242.
51. Rapport betreffende onderzoek van zuiveringsslib op pesticiden in 1978, nr. 32574 B, Unie van Waterschappen.
52. Richtlijn voor de afzet van vloeibaar zuiveringsslib ten behoeve van gebruik op bouw- en grasland, Unie van Waterschappen, 1980.
53. Roediger, H.J., The Technique of Sewage-Sludge Pasteurization: Actual Results Obtained in Existing Plants; Economy," International.
54. Schlegel, H.G., Allgemeine Mikrobiologie Georg Thieme Verlag. Stuttgart, 1972.
55. Schultz, K.L., Continuous Thermophilic Composting, *Compost Sci.*, Spring 1962.
56. Schultz, K.L., Relationship Between Moisture Content and Activity of Finished Compost, *Compost Sci.*, Summer 1961.
57. Sikora, L.J. Wilson, G.B., Colacicco, D., Materials balance in aerated static pile composting, *JWPCF*, 53, 1981, 12:1702-1707.
58. Slibontwatering tot meer dan 40% droge stof, STORA, Rijswijk 1979.
59. Sludge treatment and disposal, EPA, 1978.
60. Snell, J.R., Some Engineering Aspects of High-Rate Composting, *J.San.Eng.Div.*, ASCE, Paper 1178, 1957.
61. Sorrentino, E., EC Sewage-sludge working party 5, verslagmededelingen verstrekt door L. Duvoort-Van Engers.

62. Stern, G., Pasteurization of Liquid Digested Sludge, Proceedings of National Conference on Municipal Sludge Management, Rockville, MD: Information Transfer, 1974.
63. Strijbis, K., Beleidsontwikkelingen ten aanzien van de verwijdering van zuiveringsslib, 16e Vakantiecursus Behandeling van Afvalwater, T.H. Delft, 1981.
64. Teensma, B., Het drogen van slib door biologische zelfverhitting H<sub>2</sub>O, 1968, 10:
65. Ten Wolde, J.G., Praktijkervaringen van Rutte Recycling met betrekking tot zwartegrondbereiding, mondelinge en schriftelijke informatie, 1981.
66. Ten Wolde, J.G., Praktijkervaringen met betrekking tot slibcompostering volgens aerated static pile, mondelinge en schriftelijke informatie, 1982.
67. Verslag proefnemingen van het jaar 1965, Stichting Compost, afd. Landbouwzaken, 1966.
68. Vogel, C., Bio Zellen reactor, systeem Schnorr, Dambach, Gaggenau, 1978.
69. Voorburg, J.H., Veterinaire problemen in verband met het gebruik van mest en slib op landbouwgronden, H<sub>2</sub>O, 1975, 22:448-449.
70. Ward, R.L., & Ashley, C.S. and Moseley, R.H. Heat Inactivation of Poliovirus in Wastewater Sludge, Appl. Environ. Microbiol. 32(3), 1976.
71. Ward, R.L., & Ashley, C.S. Identification of the Virucidal Agent in Wastewater Sludge, Appl. Environ. Microbiol. 33(4), 1977.
72. Ward, R.L., & Brandon, J.R., Effect of Heat on Pathogenic Organismes Found in Wastewater Sludge, in Composting of Municipal Residues and Sludges, Proceedings of the 1977 National Conference, Rockville, MD: Information Transfer, 1977.
73. Wet Bodembescherming, ontwerp van Wet, Tweede Kamer, zitting 1980-1981, 16.259, nrs. 1-2.
74. Wet Chemische Afvalstoffen, Staatsblad 1977, nr. 435.
75. Wiley, J.S., Progress Report on High-Rate Composting Studies, 11th Annual Purdue Industrial Waste Conference, West Lafayette, IN: Purdue University, 1956.

76. Wiley, J.S., II. Progress Report on High-Rate Composting Studies, 12th Annual Purdue Industrial Waste Conference, West Lafayette, IN: Purdue University, 1957.
77. Wiley, J.S., Study of High-Rate Composting of Garbage and Refuse, 10th Annual Purdue of Industrial Waste Conference, West Lafayette, IN: Purdue University, 1955.
78. Willson, G.B. et al., A Manual for the Composting for Sewage Sludge by the Beltsville Aerated Pile Method, draft EPA/USDA publication, April 1977.

## MILIEUWETGEVING

Op de verwerking en de afzet van zuiveringsslib zijn de volgende wettelijke regelingen van toepassing of te verwachten:

Wet Chemische Afvalstoffen

Vrijwel al het in Nederland geproduceerde slib blijft onder de gehalten die het tot een chemische afvalstof zouden bestempelen in het kader van het Stoffen- en Processenbesluit<sup>74</sup>. Dit blijkt uit onderstaand overzicht.

element	gemiddelde samenstelling van zuiveringsslib in Nederland <sup>21</sup>	WCA stoffen- en processen besluit
zink	1106	20.000
koper	564	5.000
lood	364	5.000
chrom	351	5.000
nikkel	63	5.000
cadmium	8	50
kwik	4	50

Tabel 19. Gehalten aan zware metalen.

Afvalstoffenwet

Deze wet beoogt de hoeveelheid afvalstoffen te beperken en regels te stellen aan de verwerking van diverse categorieën afvalstoffen<sup>1</sup>. De uitvoering van deze wet is gedelegeerd aan de provincies. Deze stellen voor bepaalde categorieën afvalstoffenplannen op inzake de verwerking en verwijdering. Enkele categorieën worden in de wet al met name genoemd: huishoudelijke afvalstoffen, autowrakken en bouw- en sloofafval.

Afvalstoffen die niet met name worden genoemd, waaronder zuiveringsslib, kunnen door de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne op basis van artikel 26 bij Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) worden aangewezen.

Ten aanzien van zuiveringsslib is een AMvB in voorbereiding. Dit betekent dat in de nabije toekomst de provincies verplicht zullen worden voor hun gebied slibafvoerplannen op te stellen voor een planperiode van 5 jaar.

Tevens kan de Minister landelijke beleidslijnen ten aanzien van zuiveringsslib vaststellen. Er wordt naar gestreefd deze beleidslijnen begin 1982 gereed te hebben zodat de provincies hun eigen slibafvoerplannen hierop kunnen afstemmen.

Het wetsontwerp Bodembescherming

Dit ontwerp, dat thans in behandeling is bij de Tweede Kamer<sup>73</sup>, heeft tot doel regels te stellen aan activiteiten die bodem en grondwater kunnen verontreinigen dan wel aantasten.

Bij verontreiniging moet daarbij gedacht worden aan het toevoegen van stoffen aan de bodem of het grondwater, terwijl met aantasting mechanische ingrepen in de bodem worden bedoeld.

Het wetsontwerp maakt onderscheid in een zestal categorieën van handelingen die tot verontreiniging of aantasting kunnen leiden. Met betrekking tot zuiveringsslib en de bodem zijn twee artikelen van essentieel belang:

artikel 8:

Bij AMvB kunnen in het belang van de bescherming van de bodem regels worden gesteld met betrekking tot het verrichten van handelingen waarbij stoffen die de bodem kunnen verontreinigen of aantasten, op of in de bodem worden gebracht teneinde deze aldaar te laten.

artikel 9:

Bij AMvB kunnen in het belang van de bescherming van de bodem regels worden gesteld met betrekking tot het verrichten van handelingen, waarbij stoffen die de bodem kunnen verontreinigen of aantasten, aan de bodem worden toegevoegd, teneinde de structuur en de kwaliteit van de bodem te beïnvloeden.

Op basis van deze wet zullen in de toekomst eisen gesteld worden aan zowel de kwaliteit en de dosering van het slib in relatie tot de bestemming, als ook de technische voorzieningen die nodig zijn ter voorkoming van bodem- en grondwaterverontreiniging bij de slibverwerking (b.v. natuurlijke ontwatering) en -verwijdering (b.v. storten).

De ontwerp Meststoffenwet<sup>4 5</sup>

Het concept van dit ontwerp is in 1981 gepubliceerd.

Elk produkt dat geheel of gedeeltelijk uit stoffen bestaat met een bemestende waarde (dus ook zuiveringsslib) valt onder deze nieuwe wet. Tevens zijn in de wet voorzieningen opgenomen in het belang van het agrarisch produktievermogen van de grond en, in samenhang daarmee, van het voorkomen of beperken van ongewenste neveneffecten van het gebruik van de meststoffen op de bodem.

Bij AMvB kan het verhandelen van zuiveringsslib aan een vergunning worden verbonden, welke de volgende verplichtingen kan bevatten:

- a. de verplichting analyses te verrichten ten aanzien van de hoedanigheid, de aard, de gehalten en verdere samenstelling van de meststof;
- b. de verplichting de uitkomsten van de onder a. bedoelde analyses ter beschikking te stellen aan daarbij aan te wijzen overheidsorganen;
- c. een verbod de meststof af te leveren aan bepaalde, bij het voorschrift aangewezen gebruikers of groepen van gebruikers, in grotere dan bij het voorschrift vastgestelde hoeveelheden;
- d. de verplichting om de naleving van het onder c. bedoelde voorschriften te staven met bij het voorschrift vastgestelde bewijsstukken;
- e. de verplichting een zodanige administratie te voeren dat de naleving van de onder c. bedoelde voorschriften genoegzaam kan worden gecontroleerd.

De Richtlijn van de Unie van Waterschappen

De kern van deze richtlijn<sup>52</sup> is het stellen van maximale grenswaarden aan enerzijds de kwantiteit slib die bij een bepaald landbouwkundig grondgebruik (bouwland, grasland) mag worden toegepast, en anderzijds aan de kwaliteit van het slib, met name het gehalte van een zevental zware metalen. Daarnaast wordt nog een aantal gedragsregels gegeven als het niet toepassen in de tuinbouw, het in acht nemen van een rustperiode voor beweiding op grasland vanwege de hygiënische aspecten, die aan de toepassing van zuiveringsslib zijn verbonden en voorts een aantal regels met betrekking tot de bemonstering van het slib en de controle daarop, de registratie van de analyses en de afgeleverde hoeveelheden slib per bedrijf of perceel grond.

