

NN31050.86-05

1486-05

**stora**

---

Compost en zwarte grond

uit

zuiveringslib

Evaluatie van Nederlandse ervaringen

32/440(2-3)

BIBLIOTHEEK  
STATIONSDORP

11.1.1988

**stora**

postbus 414, 2280 AK rijswijk



070-99.11.33

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

Compost en zwarte grond

uit

zuiveringslib

Evaluatie van Nederlandse ervaringen



0000 0470 2060

18 JUN 1988

JLN 330-3-4

	INHOUD	I
	Ten geleide	II
1	SAMENVATTING	1
2	INLEIDING	6
3	EVALUATIE EVARINGEN COMPOSTERING	10
3.1	Inleiding	10
3.2	Compostering	10
3.3	Composteringsmethode	11
3.4	Slibsoorten	12
3.5	Toeslagmaterialen	13
3.6	Mengverhouding	13
3.7	Afdekmaterialen	14
3.8	Beluchting	15
3.9	Procestechnologische parameters	16
3.10	Microbiologische aspecten	18
3.11	Stankhinder	19
3.12	Zeven	20
3.13	Eindprodukt	21
3.14	Globale kosten	23
4	COMPOSTERINGSPARAMETERS	25
4.1	Algemeen	25
4.2	Materiaalbalans	25
4.2.1	toeslagfactor nat gewicht ( $TF_n$ )	28
4.2.2	toeslagfactor droog gewicht ( $TF_d$ )	29
4.2.3	toeslagfactor volume ( $TF_v$ )	31
4.2.4	vochtinhoud	31
4.2.5	luchtbehoefte	33
4.2.6	weerstandsverliezen beluchtingsbuizen	36
4.2.7	conclusies	40
5	EVALUATIE ERVARINGEN ZWARTEGRONDBEREIDING	43
6	LITERATUUR	46
	BIJLAGEN	
1	Praktijkervaringen compostering	
2	Rekenvoorbeelden beluchting	
3	Praktijkervaringen zwartegrondbereiding	

## 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.

De technische en financiële aspecten van slibcompostering en zwartegrondbereiding zijn beschreven in de STORA-rapporten "Compost en zwarte grond uit zuiveringsslib. 1. Systemen, technologie en ervaring (inventarisatie)" en "2. Procesparameters en bedrijfsvoering (praktijkonderzoek)".

Het laatste rapport bevat ook het verslag van experimenten ter bepaling van de invloed van slibkwaliteit, toeslagstoffen en mengtechniek op bedrijfsvoering, procesoptimalisatie en kosten.

Het hier voorliggende rapport, een compilatie van experimenten op praktijk-schaal, is een samenvatting van de meest recente inzichten in de bereiding van compost en zwarte grond uit zuiveringsslib.

Dit deelonderzoek werd door het algemeen bestuur van de STORA - op voorstel van de Onderzoekadviescommissie\* - opgedragen aan de Grontmij N.V. en begeleid door een commissie bestaande uit ir. P.C. Stamperius (voorzitter), mw. ir. L.E. Duvoort-van Engers, ir. R. den Engelse, ing. C.J. van Loohuizen, ir. M. Marskamp en ir. H.M.J. Scheltinga.

De werkzaamheden waren voornamelijk van redactionele aard en omvatten het bijeenbrengen van de resultaten van experimenteel onderzoek dat door drie STORA-deelnemers (het hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland, het waterschap de Dommel en het zuiveringsschap Oostelijk Gelderland), de Grontmij en de STORA zelf werd uitgevoerd.

Rijswijk, september 1986.

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  
ir. J. Boschloo, ir. R. den Engelse, prof.dr. P.G. Fohr, ir. A.E. van Giffen, ir. J.J.  
de Graeff, ir. R. Karper, drs. S.P. Klapwijk, dr. E.J.M. Kobus, ir. J.S. Kuyper, ir. Tj.  
Meijer, ir. L.P. Savelkoul, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubink en ir. M.  
Tiessens (leden)

## SAMENVATTING

algemeen

Nadat in eerdere stadia van het STORA-onderzoek naar compost en zwarte grond uit zuiveringsslib achtereenvolgens een literatuurstudie en praktijkproeven zijn uitgevoerd, is in dit derde deelrapport de stand van zaken in Nederland met betrekking tot dit onderwerp gerapporteerd. Hierbij zijn zowel praktijkgerichte experimenten, als ook ervaringen op praktijkschaal betrokken.

compostering

De instanties welke zich bezig houden of hielden met de compostering van zuiveringsslib of onderzoek op dit gebied, en waarvan de resultaten in dit verband zijn gerapporteerd, zijn:

- het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland;
- het Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland;
- het Waterschap de Dommel;
- het ingenieursbureau Grontmij n.v.;
- de STORA.

Compostering wordt gedefinieerd als een biologisch proces waarbij energierijk organisch materiaal onder invloed van microbiologische processen wordt geoxydeerd, waarbij dit materiaal wordt omgezet in energie-arme organische en anorganische materialen en waarbij warmte vrijkomt.

In te composteren materiaal moet voldoende koolstof en stikstof aanwezig zijn om in de behoefte voor energie en stofwisseling van de micro-organismen te voorzien.

Het composteringsproces wordt beïnvloed door:

- de beschikbaarheid van afbreekbaar materiaal;
- de mate waarin zuurstof wordt toegevoerd en gasvormige afbraakprodukten en waterdamp worden afgevoerd.

Compostering van zuiveringsslib kan worden uitgevoerd in open en gesloten systemen. In Nederland worden alleen open systemen toegepast. Beluchting, dat wil zeggen de toevoer van zuurstof en de afvoer van vocht en gasvormige afbraakcomponenten, wordt gerealiseerd door natuurlijke ventilatie van een mengsel van te composteren slib en toeslagmateriaal. Dit mengsel moet over de nodige porositeit beschikken om natuurlijke ventilatie plaats te laten vinden.

De natuurlijke ventilatie kan worden gestimuleerd door het te composteren materiaal regelmatig om te zetten (windrowmethode) of door het toepassen van geforceerde beluchting (aerated static pile-methode). In het STORA-onderzoek is alleen de laatste methode in beschouwing genomen.

De slibsoorten welke bij het praktijkonderzoek betrokken zijn geweest, kunnen worden gekarakteriseerd naar de mate van stabilisatie, de wijze waarop stabilisatie heeft plaatsgevonden, de conditionering en de ontwateringstoestand.

De toegepaste slibsoorten waren:

- niet gestabiliseerd slib
- aëroob gestabiliseerd slib;
- uitgestist slib.

Ontwatering van de slibben vond plaats (eventueel na chemische conditionering) door middel van:

- lagunering;
- zeefbandpers;
- kamerfilterpers.

Ten behoeve van de compostering zijn aan het slib diverse toeslagmaterialen toegevoegd met als functie de vochtregulatie en het verhogen van de porositeit. Voor de vochtregulatie is gebruik gemaakt van houtschillen, houtsnippers, stro en compost; in een aantal gevallen zijn ten behoeve van de porositeit grove materialen gebruikt, zoals houtblokken.

De noodzakelijke mengverhouding wordt bepaald door de eigenschappen van het slib en van de toeslagmaterialen. Indien alleen vochtregulerende toeslagstoffen worden toegepast, was een mengverhouding tussen slib en toeslagstof van 1:2 a 2,5 gebruikelijk (op volumebasis).

Om warmteverliezen te voorkomen en indringing van neerslag tegen te gaan is veelal gebruik gemaakt van afdek materiaal. De materialen die hiervoor kunnen worden gebruikt moeten een warmte-isolerende werking hebben en de afstroming van neerslag bevorderen.

Anderzijds moeten de afdekmaterialen de afvoer van vocht en gasvormige afbraakprodukten uit een stapeling zo min mogelijk belemmeren. Toegepaste materialen zijn compost, kunststofdoeken en stro.

Voor een goed verlopend composteringsproces is het noodzakelijk om de natuurlijke beluchting van een stapeling te intensiveren met behulp van ventilatoren en beluchtingsbuizen. De hoeveelheid lucht die aan te composteren materiaal moet worden toegevoerd, wordt in hoofdzaak bepaald door de hoeveelheid vocht die moet worden afgevoerd via de lucht en is dus afhankelijk van de hoeveelheid vocht in het te composteren slib en toeslagmateriaal.

De vereiste capaciteit van de ventilatoren moet mede op de weerstand van stapeling en beluchtingssysteem worden gedimensioneerd. Uit een aan de literatuur ontleend model voor de berekening van de weerstand van beluchtingssystemen blijkt dat bij onderdrukbeluchting een hogere weerstand ontstaat dan bij drukbeluchting. De voornaamste weerstand wordt veroorzaakt door stroming van lucht door de perforaties. Bij onderdrukbeluchting vindt de afvoer van lucht plaats in een biofilter welke ook een weerstandsverlies oplevert.

Theoretisch zou een groot aantal parameters in aanmerking kunnen komen om het verloop van het composteringsproces te beoordelen. In de praktijk wordt echter uitsluitend de temperatuur in de stapeling gebruikt als stuurparameter. Bij processturing moet dan vooral worden gedacht aan de hoeveelheden lucht, die aan de stapeling worden onttrokken, o.q. toegevoerd. Alle toegepaste soorten zuiveringsslib bleken door micro-organismen te kunnen worden afgebroken, zij het dat de soorten van organismen voor de verschillende slibsoorten variëren. Als gevolg van het langdurig blootstellen aan relatief hoge temperaturen neemt de hygiënische betrouwbaarheid van het materiaal in hoge mate toe.

Bij het composteren van zuiveringsslib kan stankoverlast ontstaan bij het mengen van de materialen en het opbouwen van de stapeling. Het belangrijkste middel om dit bezwaar te minimaliseren is het

stellen van eisen aan de stabilisatiegraad van het aangevoerde slib. Ook tijdens de compostering kan stankoverlast ontstaan; bij onderdrukbeluchting kan de onttrokken lucht met een biofilter worden behandeld; bij drukbeluchting bestaat deze mogelijkheid in mindere mate.

Na afloop van het composteringsproces moet een scheiding tussen gecomposteerd materiaal en toeslagmateriaal tot stand worden gebracht door zeven. Het afgescheiden toeslagmateriaal kan, afhankelijk van het vochtgehalte, worden hergebruikt voor een volgend composteringsproces.

De effectiviteit van de scheiding wordt in sterke mate bepaald door het vochtgehalte van het te zeven materiaal. Bij een vochtgehalte van meer dan 45% bestaat de neiging tot conglomereren van compostdeeltjes en aanhechting aan het oppervlak van de zeef en in de zeefdoorlaat.

Wanneer porositeitverhogend toeslagmateriaal wordt toegepast naast vochtregulerend toeslagmateriaal, moet meerdere malen worden gezeefd om beide materialen af te scheiden. Nadat het porositeitverhogend toeslagmateriaal is afgescheiden kan de zeeffractie, bestaande uit vochtregulerend toeslagmateriaal en gecomposteerd slib, direct worden gezeefd of eerst worden opgeslagen voor rijping en drogen. Het eindprodukt is de compost. Deze bestaat uit gecomposteerd zuiveringsslib en resten toeslagmateriaal. De compost kan worden gekarakteriseerd op basis van chemische samenstelling, hygiënische betrouwbaarheid en stabiliteit.

Als gevolg van het composteringsproces zal vocht worden afgevoerd waardoor het drogestofgehalte toeneemt. De drogestofgehalten van eindprodukten variëren van 50 tot ongeveer 70%.

De gehalten aan organische stof in eindprodukten variëren van 37% tot 56% van de droge stof. Dit organisch stofgehalte hangt af van de mate waarin afbraak van organische stof heeft plaatsgevonden. Van grotere invloed is het achterblijven van organische toeslagmaterialen in het eindprodukt.

De concentraties aan bemestende stoffen en micro-elementen blijken tijdens composteren zowel toe als af te nemen. In het algemeen zullen in het eindprodukt de concentraties van bemestende stoffen en micro-elementen lager zijn dan in het slib. Dit is te verklaren door het toevoegen van toeslagmateriaal aan het slib. Heeft het toeslagmateriaal lage concentraties aan deze stoffen en wordt dit aan het te composteren slib toegevoegd, dan neemt de hoeveelheid droge stof van het te composteren mengsel toe. De concentraties van de beschouwde stoffen op basis van de droge stof in het eindprodukt worden dan lager dan in het slib.

Concentratieverlaging ontstaat als gevolg van verdunning van het beginmateriaal met het toeslagmateriaal mits de concentraties van de desbetreffende stoffen in het toeslagmateriaal gering zijn en/of de fractie toeslagmateriaal in het eindprodukt zeer beperkt is. Zijn de concentraties groot of is het aandeel van toeslagmateriaal in het eindprodukt van enige omvang, dan kan concentratieverhoging plaatsvinden. Een concentratieverhogend effect kan eveneens ontstaan als gevolg van de afbraak van organische stof en vervluchtiging van de afbraakprodukten.

De koolstof-stikstof-verhouding (C/N-verhouding) van gecomposteerd zuiveringsslib blijkt tussen 10 en 15 te liggen en is van dezelfde orde van grootte als in de bouwvoor bij kleigrond en grasland. Om de mate van stabiliteit van compost te bepalen wordt naast de C/N-ver-

houding - die als maat voor de reactiviteit van de compost in of op de bodem wordt beschouwd - het chemische zuurstofverbruik als parameter gebruikt.

Het chemische zuurstofverbruik van het slib neemt af tijdens composteren. De bepalingen worden sterk beïnvloed wanneer het eindprodukt een hoog gehalte aan organische stof bevat en uit moeilijk afbreekbare verbindingen zoals lignine en cellulose - de hoofdbestanddelen van houtsnippers - bestaat.

Met betrekking tot de kosten voor compostering zijn weinig Nederlandse gegevens beschikbaar. De bedragen, die in de (Amerikaanse) literatuur worden genoemd, namelijk f 200,- a f 300,- per ton droge stof, lijken niet van toepassing op de Nederlandse situatie. Op grond van de STORA-praktijkproeven, lijkt een kostprijs per ton droge stof van f 400,- a f 500,- meer reëel.

#### zwartegrondbereiding

Zwartegrondbereiding wordt gedefinieerd als een methode om uit zuiveringsslib een produkt te bereiden dat een geschikt groeimedium voor planten vormt. In de praktijk betekent dit dat het slib gemengd wordt met toeslagstoffen om zowel fysisch als chemisch aan het criterium "geschikt groeimedium" te kunnen voldoen. De belangrijkste toeslagstoffen zijn van minerale aard (bijvoorbeeld zand), terwijl ook kleinere hoeveelheden van andere additieven kunnen worden gedoseerd, zoals specifieke meststoffen.

Uit de ervaringen, opgedaan met de verwerking van zuiveringsslib tot zwarte grond, kan worden afgeleid dat nagenoeg alle soorten slib, zoals die in Nederland worden geproduceerd, zich lenen voor deze verwerkingsvorm.

De consistentie van het slib (vloeibaar, steekvast, afhankelijk van het drogestofgehalte van het slib) en de wijze waarop een eventuele ontwatering is gerealiseerd, legt beperkingen op aan de keuzemogelijkheden voor zwartegrondbereiding; in alle gevallen is verwerking echter mogelijk.

Een faktor, welke wel als limiterend kan worden beschouwd, is de stabilisatiegraad van het slib. Aangezien zwartegrondbereiding een activiteit is, waarbij natuurlijke processen als droging door zon en wind, aërobe afbraak van organische stof en structuurvorming van essentieel belang zijn, dienen er optimale omstandigheden voor deze natuurlijke processen te worden gecreëerd. Dit betekent dat de bereidingsprocessen een beperkte laagdikte en derhalve een relatief groot oppervlak vereisen waarbij het nagenoeg niet mogelijk is om emissies naar de omgeving, bijvoorbeeld in de vorm van stank, tegen te gaan. Derhalve moet het ontstaan van stank worden voorkomen. Dit kan worden gerealiseerd door uitsluitend slib te verwerken, dat voldoende gestabiliseerd is.

Het is gebleken dat de bereidingsprocessen, die zijn ontwikkeld om uit zuiveringsslib een goede teelaarde te bereiden, ook kunnen worden toegepast om van een moeilijk aantoonbaar zuiveringsslib (bijvoorbeeld slib dat, na chemische conditionering, met een zeefbandpers gedeeltelijk is ontwaterd) een produkt te bereiden dat op een stortplaats verwerkbaar is. Het criterium "geschikt groeimedium" wordt dan vervangen door "verwerkbaarheid". Dit betekent in het algemeen een mengsel dat veel rijker is aan zuiveringsslib, of anders gezegd, een mengsel met relatief weinig toeslagstoffen. Vanwege de



overeenkomst in verwerkingsmethode wordt ook in dit geval gesproken van zwartegrondbereiding.

Om de feitelijke zwartegrondbereiding te kunnen realiseren, is voor het bereiden van een homogeen mengsel een zeer intensieve menging noodzakelijk. Gebleken is dat dit zowel met speciale mengmolens kan gebeuren, maar dat ook een normale landbouwfrees zich uitstekend leent voor dit doel. Tijdens het proces van rijping, waarbij sprake is van ontwatering en afbraak van organische stof kan een maximale laagdikte van het slib-toeslagstofmengsel van circa 0,20 m worden toegepast; een grotere laagdikte leidt tot anaërobie in het mengsel, waardoor het rijpingsproces sterk vertraagd wordt.

Om een goed verlopend rijpingsproces te verkrijgen, kan meestal niet direkt de eind-mengverhouding worden verkregen; het zuiveringsslib wordt in een aantal charges aan het toeslagmateriaal toegevoegd en intensief gemengd.

Zwartegrondbereiding is een relatief langdurig proces; onder optimale omstandigheden moet worden gerekend op 3 à 4 maanden, terwijl deze termijn kan uitlopen tot circa 1 jaar, wanneer met name de (waa-re) omstandigheden ongunstig zijn.

Zwartegrondbereiding is als vorm van slibverwerking zowel op kleine als grote schaal uitvoerbaar, ervan uitgaande dat men over voldoende oppervlak beschikt. Bij een kleine bedrijfsomvang kan periodiek het benodigde materieel worden gehuurd (loonwerker), terwijl het bij een grote verwerkingscapaciteit aantrekkelijk kan zijn om met materieel in eigen beheer te werken. Belangrijk is dat er over voldoende flexibiliteit in de bedrijfsvoering wordt beschikt om ook onder ongunstige weersomstandigheden het slibaanbod te kunnen verwerken.

Indien steekvast ontwaterd slib wordt verwerkt tot zwarte grond, kan als kostenindicatie f 170,-- à f 210,-- per ton droge stof worden genoemd, afhankelijk van het feit of er een stortbaar produkt of teelaarde bereid wordt. In geval van verwerking van vloeibaar slib worden de kosten geraamd op f 350,-- à f 440,-- per ton droge stof, afhankelijk van de mate van mechanisatie. Hierbij moet worden bedacht dat er in dit geval geen kosten voor voorontwatering zijn. Er moet vanuit worden gegaan, dat locaties waar zuiveringsslib tot zwarte grond wordt verwerkt van een kunststoffolie worden voorzien om verontreiniging van de bodem en het grondwater te voorkomen.

algemeen

In het kader van het STORA-onderzoek naar compost en zwarte grond uit zuiveringsslib zijn in een eerder stadium een literatuurstudie<sup>1,4</sup> en praktijkproeven<sup>5</sup> uitgevoerd en gerapporteerd.

Tijdens het onderzoek bleek dat in Nederland op meerdere plaatsen praktijkproeven werden uitgevoerd met betrekking tot de bereiding van compost of zwarte grond uit zuiveringsslib.

Op verzoek van de STORA heeft een aantal instanties, die zich bezig houden met dergelijk onderzoek, zich bereid verklaard om hun ervaringen ter beschikking te stellen van rapportering in STORA-verband.

In de laatste fase van dit STORA-project inzake compostering wordt een samenvatting gegeven van de in Nederland uitgevoerde praktijkproeven waarna tot een evaluatie van de resultaten werd overgegaan.

compostering

De instanties welke zich bezig houden met de compostering van zuiveringsslib en waarvan de resultaten in dit verband worden gerapporteerd, zijn:

- het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland<sup>1</sup>;
- het Zuiveringsschap Oostelijk-Gelderland<sup>2,9</sup>;
- het Waterschap de Dommel<sup>3</sup>;
- het ingenieursbureau Grontmij n.v.<sup>4</sup>;
- de STORA<sup>5</sup>.

Het STORA-onderzoek heeft zich toegespitst op de praktische mogelijkheden van compostering volgens een open systeem waarbij het materiaal tijdens het proces niet werd geroerd (aerated-static-pile).

Door het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen zijn praktijkproeven uitgevoerd naar de mogelijkheid om zogenaamd laguneslib door middel van compostering tot een handelbaar produkt te verwerken. Het zuiveringsslib waarmee de proeven werden uitgevoerd had een hoog drogestofgehalte. Bij deze proeven werd een wisselende druk- en onderdrukbeluchting toegepast. Als toeslagmaterialen werden houtsnippers en uit zuiveringsslib bereide compost gebruikt.

Het Zuiveringsschap Oostelijk-Gelderland heeft het onderzoek naar de compostering van zuiveringsslib ingesteld naar aanleiding van afzetproblemen van ontwaterd slib. Aan het storten van ontwaterd slib werden voorwaarden gesteld ten aanzien van stabilisatie en hanteerbaarheid van het slib welke volgens de bij het Zuiveringsschap in gebruik zijnde stabilisatie en ontwateringsmethoden niet te realiseren waren.

Door het Zuiveringsschap werden de mogelijkheden onderzocht om na een gedeeltelijke mineralisatie van het zuiveringsslib in de zuiveringsinrichting - hetgeen door een grotere slibbelasting werd gerealiseerd - verdere stabilisatie en mineralisatie van het slib door compostering te verkrijgen. Door het Zuiveringsschap werd een aantal op elkaar volgende proeven uitgevoerd waarbij de inmiddels opgedane

ervaringen werden toegepast. Hierdoor ontstond een systematische opbouw van kennis en ervaring waardoor de laatste proeven succesvol konden worden afgesloten.

Door het Zuiveringsschap werd per proef continu onderdrukbeluchting toegepast met een constant debiet. Bij het onderzoek werden houtsnippers en compost als toeslagmaterialen toegepast. Voor het mengen van slib en toeslagmaterialen werd gebruik gemaakt van een speciaal ontwikkelde installatie.

Naar aanleiding van de resultaten van het onderzoek wordt door het Zuiveringsschap op één zuiveringsinrichting de compostering van zuiveringsslib bedrijfsmatig uitgevoerd.

Door het Waterschap De Dommel werden naast de proeven volgens het niet geroerde open systeem, eerder proeven uitgevoerd volgens de zogenaamde windrow-methode. Hierbij wordt het te composteren materiaal wel geroerd tijdens het proces. De resultaten van deze proeven zijn opgenomen in het eerste rapport van het STORA-onderzoek naar compost en zwarte grond uit zuiveringsslibsystemen, technologie en ervaring (inventarisatie).

Het zuiveringsslib waarmee door het Waterschap proeven zijn uitgevoerd, betrof niet-gestabiliseerd ontwaterd slib.

Naar aanleiding van de geuremissies van dit slib tijdens de compostering volgens de windrow-methode, werd onderzoek verricht naar de compostering waarbij een betere beheersing van geuremissies mogelijk was. Als toeslagmaterialen werden zowel nieuwe als eerder gebruikte houtschillen toegepast. Voor de beluchting werd gebruik gemaakt van meerdere ventilatoren waarbij zowel druk- als onderdrukbeluchting werden toegepast.

Grontmij n.v. heeft oriënterende proeven uitgevoerd naar de compostering van met kalk- en ijzerchloride geconditioneerd slib dat door middel van een kamerfilterpers was ontwaterd. In het algemeen heeft dergelijk slib na ontwatering een dermate hoog drogestofgehalte dat het voldoet aan de eisen van stortbaarheid. Het materiaal heeft een uitstekende consistentie.

Aan het oppervlak van het materiaal dat is blootgesteld aan weersinvloeden kan verwerking optreden, daaronder echter niet. Dit maakt het materiaal minder geschikt als eindafdekking van een stortplaats. Onderzocht is in hoeverre het mogelijk is om dit slib hiervoor door middel van composteren toch geschikt te maken.

Daarbij is ondermeer aandacht geschonken aan de relatie tussen micro-organismen en de zuurgraad van slib.

Als toeslagmaterialen werd gebruik gemaakt van houtsnippers en stro. Beluchting vond plaats door onderdrukventilatie.

In opdracht van de STORA zijn veertien praktijkproeven uitgevoerd. Van deze proeven werd uitvoerig verslag gedaan in een eerder rapport van de STORA<sup>5</sup>. Van de meest succesvolle proeven is een selectie gemaakt waarvan in het voorliggende rapport een samenvatting van de resultaten wordt gegeven. De desbetreffende proeven zijn uitgevoerd onder zomer- en winteromstandigheden. De in de winter uitgevoerde proeven vonden plaats onder een overkapping.

Bij de geselecteerde proeven werd gelijktijdig gebruik gemaakt van twee toeslagmaterialen per proef. Eén toeslagmateriaal diende voor de vochtregulatie tijdens het composteringsproces; het andere toe-

slagmateriaal diende om aan een stapeling van te composteren materiaal de nodige porositeit te verschaffen.

Naast een weergave van praktijkproeven is op basis van literatuurgegevens een model opgesteld, met behulp waarvan het mogelijk moet zijn de juiste mengverhoudingen tussen slib en toeslagmateriaal te bepalen en de voor de geforceerde beluchting benodigde ventilator te dimensioneren.

Dit model wordt getoetst aan de resultaten van de in het rapport opgenomen praktijkproeven.

Tenslotte is een evaluatie opgesteld van alle aspecten die betrekking hebben op de compostering van zuiveringsslib.

#### zwartegrondbereiding

Zwarte grond wordt gedefinieerd als "een grondmengsel dat geschikt is als groeimilieu voor planten". Hiertoe moet het grondmengsel voldoende vocht vast kunnen houden, een goed bemestingsniveau hebben en moet bodemfysisch geschikt zijn voor plantengroei. Daarnaast is het belangrijk dat de concentraties aan verontreinigingen niet worden overschreden.

Basismateriaal voor de zwartegrondbereiding kan gedeeltelijk ontwaterd zuiveringsslib zijn dat weinig of niet gerijpt is. Een goede stabilisatie van het slib is een eerste vereiste voor het verkrijgen van een goed produkt zwarte grond. Derhalve dient bij zwartegrondbereiding aan deze stabilisatie veel aandacht te worden besteed.

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 lucht kan toetreden. Het slib kan op natuurlijke wijze ontwaterd worden (droogbedden, lagunes) of mechanisch (met behulp van zeefbanden of filterpersen). Slib dat mechanische ontwaterd wordt, heeft meestal een chemische, fysische of thermische voorbewerking ondergaan. De gevolgen van de meeste conditioneringsprocessen zijn ongunstig voor de zwartegrondbereiding, omdat de rijpingsmogelijkheden nadelig beïnvloed zijn.

De chemische rijping houdt afbraak van organische stof in waarbij veel gebonden water vrij komt.

Bij de bereiding van de zwarte grond wordt, op basis van de ontwateringstoestand van het slib op het moment van toediening, onderscheid gemaakt tussen vloeibaar slib (5% d.s.) en steekvast slib (circa 25% d.s.).

Wanneer zwarte grond bereid wordt uit vloeibaar slib, wordt het slib gemengd met zand, waarbij de verdere ontwatering van het slib plaatsvindt in het slib/zand-mengsel. Het mengen kan op verschillende manieren gebeuren b.v. met behulp van een frees (freesprocédé) of met behulp van grondverzetmachines.

In het geval het uitgangsprодукt bestaat uit steekvast ontwaterd slib, zijn verschillende methoden van zwartegrondbereiding mogelijk: directe menging van het zuiveringsslib met de toeslagmaterialen, of menging na een rijpingsproces van het slib.

In dit rapport worden ervaringen met zwartegrondbereiding beschreven, zoals deze in Nederland zijn opgedaan aan de hand van experimenten en slibverwerking op praktijkschaal:

- zwarte grond uit vloeibaar zuiveringsslib (V en M/IMAG)<sup>3</sup>;
- zwarte grond uit steekvast zuiveringsslib (Zuiveringsschap Veluwe)<sup>20</sup>;
- zwarte grond uit steekvast zuiveringsslib (STORA)<sup>6</sup>;
- zwartegrondbereiding in de praktijk (Rutte Recycling)<sup>17</sup>.

In het onderzoek dat door het Instituut Mechanisatie Arbeid en Gebouwen (IMAG) is uitgevoerd in opdracht van het voormalige ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne (V en M) zijn de mogelijkheden nagegaan om vloeibaar zuiveringsslib met grof zand te ontwateren en op die wijze zwarte grond te produceren als afdekgrond voor vuilstorten. Uitgangspunt was het verwerken van 1000 mm nat slib in een laag van 200 mm grof zand.

Het Zuiveringsschap Veluwe heeft in een serie proeven op semi-technische schaal onderzocht of steekvast ontwaterd slib (zowel natuurlijk als mechanisch ontwaterd) met behulp van een landbouwfrees met zand gemengd kan worden. Ook in dit geval was de bedoeling om afdekgrond voor stortplaatsen te bereiden.

Het onderzoek, dat door Grontmij in opdracht van STORA is uitgevoerd, kan worden beschouwd als een verdere uitwerking van de experimenten van het Zuiveringsschap Veluwe. Er is nagegaan hoe met eenvoudige technieken van steekvast ontwaterd zuiveringsslib ofwel een ruim toepasbare zwarte grond, dan wel een stortbaar produkt kan worden gemaakt.

Reeds een aantal jaren wordt door Rutte Recycling b.v. te Halfweg op bedrijfschaal zuiveringsslib tot zwarte grond verwerkt. Het betreft met name grote hoeveelheden vloeibaar slib, dat na een natuurlijke ontwatering op zogenaamde veredelde droogbedden, met zand en andere toeslagstoffen wordt gemengd. Hierbij zijn vele mengverhoudingen mogelijk, zodat bij de samenstelling van de zwarte grond rekening kan worden gehouden met specifieke eisen van afnemers.

Aansluitend op de beschrijving van de diverse vormen van zwartegrondbereiding, worden alle ervaringen geëvalueerd, resulterend in een aantal aanbevelingen.

### 3.1 Inleiding

In Nederland is een aantal praktijkproeven uitgevoerd om de praktische omstandigheden en mogelijkheden te onderzoeken van compostering van zuiveringsslib volgens de zogenaamde aerated static pile-methode. Uit de praktijkproeven kan een aantal algemene conclusies worden getrokken met betrekking tot:

- te composteren slibsoorten;
- de praktische aspecten van compostering;
- het eindprodukt.

Het is voor de hand liggend dat de bovengenoemde aspecten nauw met elkaar zijn verweven; een goed eindprodukt kan alleen dan worden verkregen wanneer het desbetreffende zuiveringsslib zich door middel van een composteringsproces tot compost laat verwerken.

### 3.2 Compostering

Composteren wordt gedefinieerd als een biologisch proces waarbij energierijk organisch materiaal onder invloed van microbiologische processen wordt geoxydeerd, waarbij dit materiaal wordt omgezet in energie-arme organische en anorganische materialen en waarbij warmte vrijkomt.

In te composteren materiaal moet voldoende koolstof en stikstof aanwezig zijn om in de behoefte voor energie en stofwisseling van de micro-organismen te voorzien.

Het composteringsproces wordt beïnvloed door:

- de beschikbaarheid van afbreekbaar materiaal;
- de mate waarin zuurstof wordt toegevoerd en gasvormige afbraakprodukten en waterdamp worden afgevoerd.

De beschikbaarheid van afbreekbaar materiaal is alleen afhankelijk van de aard en samenstelling van het te composteren materiaal. De mate waarin zuurstof wordt toegevoerd is niet alleen afhankelijk van het transport van lucht, maar ook van het aan het slib aanwezig vocht. Wanneer zich teveel vocht bevindt rond het af te breken slib is dit slecht toegankelijk voor het toetreden van zuurstof. Hierdoor zal een toestand van anaërobie ontstaan.

Bij de compostering van zuiveringsslib wordt aan dit probleem tegemoet gekomen, door het toevoegen van (toeslag)materiaal dat in staat is het overtollig vocht tijdelijk te absorberen. Hierdoor kan zuurstof toetreden ten behoeve van de mesofiele en thermofiele micro-organismen die betrokken zijn bij de afbraakprocessen. Als gevolg van de afbraakprocessen ontstaat warmte die het aanwezige vocht in slib en toeslagmateriaal verdampt. De lucht met waterdamp en gasvormige afbraakprodukten moet door middel van ventilatie worden afgevoerd. Hoe groter het gehalte aan makkelijk afbreekbare verbindingen, hoe sneller de afbraakprocessen zich kunnen voltrekken, toe sneller warmte-ontwikkeling en verdamping van vocht tot stand komen.

De warmte-ontwikkeling kan daarbij zo groot worden dat temperaturen kunnen worden bereikt van meer dan 70°C. Dergelijke hoge temperaturen zullen niet lang kunnen worden gehandhaafd. Bij temperaturen van meer dan 60°C neemt de soorten-rijckdom van micro-organismen af en daarmee de microbiële activiteit. Als gevolg van afnemende microbiële activiteit neemt ook de warmte-ontwikkeling af.

Vermindering van microbiële activiteit treedt eveneens op wanneer het vochtgehalte onvoldoende is voor het transport van nutriënten. Dit kan gebeuren door een vochtafvoer als gevolg van verdamping bijvoorbeeld door warmte-ontwikkeling maar ook door instraling van de zon.

Het verdampte vocht wordt opgenomen door de omringende lucht die de omgevingstemperatuur aanneemt. Hoe hoger de temperatuur, hoe groter de vochtopnamecapaciteit van de lucht. De verwarmde lucht stijgt op waardoor vocht, gasvormige afbraakprodukten en warmte worden afgevoerd via de poriën van het te composteren materiaal. Wanneer deze afvoer wordt gestimuleerd, dat wil zeggen de afvoer sneller plaatsvindt dan op basis van de verwarmde lucht mag worden verwacht, kan afkoeling ontstaan.

Wanneer de lucht afkoelt, ontstaat condensatie van het in de lucht aanwezige vocht. Dergelijke verschijnselen ontstaan bij een geforceerde ventilatie welke zowel op mechanische wijze - door middel van een ventilator - als langs natuurlijke weg - harde wind - kan ontstaan.

Condensatie, en daardoor onvoldoende afvoer van vocht, kan ook ontstaan wanneer de lucht in aanraking komt met plaatsen waar een lagere temperatuur heerst. Er vindt dan een warmte-uitwisseling plaats tussen de lucht met een relatief hogere temperatuur waardoor afkoeling en condensatie ontstaat.

### 3.3 Composteringsmethode

Compostering van zuiveringsslib kan worden uitgevoerd in open en gesloten systemen. In Nederland worden alleen open systemen toegepast. Beluchting, dat wil zeggen de toevoer van zuurstof en de afvoer van vocht en gasvormige afbraakcomponenten, wordt gerealiseerd door natuurlijke ventilatie van een mengsel van te composteren slib en toeslagmateriaal. Dit mengsel moet over de nodige porositeit beschikken om natuurlijke ventilatie plaats te laten vinden.

De natuurlijke ventilatie kan worden gestimuleerd door het te composteren materiaal regelmatig om te zetten (windrowmethode) of door het toepassen van geforceerde beluchting (aerated static pile-methode). In het STORA-onderzoek is alleen de laatste methode in beschouwing genomen.

Het mengen van slib met toeslagmateriaal kan op verschillende manieren geschieden. De meest gebruikelijke manier is het mengen van slib en toeslagmateriaal met behulp van een hydraulische graafmachine.

Vervolgens kan de menging worden verbeterd door het mengsel door een stalmestverspreider te leiden. Hierdoor wordt een intensieve menging en een verkleining van slibkoeken verkregen. Menging via een stalmestverspreider is alleen mogelijk als het toeslagmateriaal gering van afmeting is.

Naast menging van slib en toeslagmateriaal door middel van een hydraulische graafmachine en een stalmestverspreider kan ook gebruik worden gemaakt van speciale mengapparatuur. Deze mengapparatuur is afgeleid uit apparatuur welke onder meer wordt toegepast als veevoeder Wenger. Afhankelijk van de wijze waarop menging plaatsvindt, kan dit eisen stellen ten aanzien van het minimaal drogestofgehalte van het slib en de vorm en afmetingen van het toeslagmateriaal. Houtschillen of stro als toeslagmateriaal zullen zich op deze manier minder eenvoudig laten mengen. Wanneer het drogestofgehalte van het slib te laag wordt, zal de kans op versmeren in de Wenger toenemen. Bij een dergelijke mengmethode moet rekening worden gehouden met materieel voor de belading (hydraulische graafmachine).

Wanneer porositeitverhogend toeslagmateriaal wordt toegepast, wordt dit aan het mengsel van slib en vochtregulerend toeslagmateriaal toegevoegd na de intensieve menging van het mengsel. Het mengsel wordt gestapeld op belichtingselementen.

De stapelhoogte is afhankelijk van de apparatuur welke wordt gebruikt voor het stapelen i.c. de maximale werkhogte van een wiel-laad-schap. Een andere beperking van de stapelhoogte vormt het eigen gewicht van het mengsel; hoe hoger een stapel wordt, hoe groter de belasting van het stapeloppervlak. Bij toenemende belasting neemt de porositeit van een stapeling af. Als praktische hoogtemaat voor de stapeling wordt 2,5-3 m aangehouden. Teneinde afstroming van neerslag te bevorderen bij een opstelling in de open lucht is de vorm van de stapeling driehoekig in dwarsdoorsnede. Bij een opstelling onder een afkapping is de vorm van de stapeling minder relevant.

De belichtingselementen bestaan uit kunststof- of metalen buizen met perforaties en worden gelegd op een ondergrond van houtsnippers. Deze ondergrond heeft een isolerende functie en beperkt de uitwisseling van warmte tussen stapeling en bodem. Bovendien draagt deze ondergrond bij aan een gelijkmatige luchtverdeling. De belichtingsbuizen zijn aangesloten op een ventilator welke voor geforceerde beluchting zorg draagt.

Hoewel de belichtingsbuizen meerdere malen dienst kunnen doen, kan bij continue bedrijfsmatige compostering overwogen worden om gebruik te maken van een permanente belichtingsvoorziening in de vorm van geperforeerde vloeren zoals bijvoorbeeld veestalroosters. Aandacht zal dan moeten worden geschonken aan de belasting van een dergelijke vloer in verband met het berijden door materieel voor aan- en afvoer van het materiaal en de grootte van de perforaties in verband met dichtsmeren en vervuiling.

In de praktijk laat men zich in het algemeen primair leiden door de beschikbaarheid en prijs van materiaal voor de belichtingselementen en niet door aspecten van drukverlies als gevolg van het transport van lucht door de belichtingselementen.

De afmetingen van buizen en de daarin aanwezige perforaties worden van maatgevend belang geacht voor een juiste keuze van buizen en het drukverlies als gevolg daarvan.

#### 3.4 Slibsoorten

De slibsoorten welke bij het praktijkonderzoek betrokken zijn geweest, kunnen worden gekarakteriseerd naar de mate van stabilisatie, de wijze waarop stabilisatie heeft plaatsgevonden, de conditionering en de ontwateringstoestand.

De toegepaste slibsoorten waren:

- niet gestabiliseerd slib
- aëroob gestabiliseerd slib;
- uitgegist slib.

Ontwatering van de slibben vond plaats door middel van:

- lagunering;
- zeefbandpers;
- kamerfilterpers.

De slibben werden geconditioneerd door middel van één van de volgende conditioneringsmiddelen:

- polyelektrolyten;
- kalk en ijzerchloride.



De drogestofgehalten na ontwatering varieerden tussen 15% en 34%. Alle slibsoorten zijn composteerbaar gebleken. De organische stof werd gereduceerd en het drogestofgehalte nam toe.

Het meest bepalend is de ontwateringstoestand. Hoe hoger het drogestofgehalte bij aanvang, hoe minder vochtabsorptie behoeft plaats te vinden door het toeslagmateriaal en hoe sneller de optimale omstandigheden voor microbiële afbraak van organische stof en warmte-ontwikkeling ontstaan.

In het algemeen is het gehalte aan koolstof en stikstof in zuiverings-slib voldoende om te voorzien in de stofwisselingsbehoefte van micro-organismen.

### 3.5 Toeslagmaterialen

Toeslagmaterialen hebben als belangrijkste functies:

- vochtregulatie;
- het geven van blijvende porositeit aan een stapeling.

Daartoe moeten de toeslagmaterialen over vochtabsorberende eigenschappen beschikken en vormvast zijn. De vochtabsorberende werking wordt aangegeven door het drogestofgehalte. Materialen zoals houtsnippers en stro beschikken over goede vochtregulerende eigenschappen; echter na opname van vocht verliezen zij hun vormvastheid waardoor de porositeitverhogende werking afneemt. Voor een blijvende porositeit zou een extra toeslagmateriaal met een blijvende vormvastheid kunnen worden toegepast.

De bij het onderzoek betrokken toeslagmaterialen met een vochtregulerende werking waren:

- houtschillen;
- houtsnippers;
- stro;
- compost (vervaardigd uit zuiverings-slib).

De beste vochtregulerende werking is te verwachten wanneer het toeslagmateriaal met mogelijkheid tot vochtabsorptie een hoog drogestofgehalte heeft.

Alleen bij de STORA-proeven is daarnaast gebruik gemaakt van een toeslagmateriaal met een porositeitverhogende werking, namelijk houtblokken. Andere materialen zoals rubbersnippers zijn echter ook mogelijk.

Deze materialen geven aan een stapeling voldoende blijvende porositeit. Het porositeitverhogend toeslagmateriaal kan ten opzichte van het afbraakproces als inert worden beschouwd.

### 3.6 Mengverhouding

Mengverhoudingen tussen slib en toeslagmateriaal kunnen worden uitgedrukt op basis van het natte gewicht, het gewicht van de droge stof of op basis van het volume. Bepaling van de mengverhouding op basis van het gewicht is met name bedoeld om een handelbare maat te hebben om het gewenste drogestofgehalte van het te composteren mengsel te bepalen door menging van slib en toeslagmateriaal. Het drogestofgehalte van het mengsel moet ongeveer 40% bedragen.

Dit impliceert dat de mengverhouding dus direct afhankelijk is van het drogestofgehalte van het te composteren slib en het drogestofgehalte van het vochtregulerende toeslagmateriaal. Hoe hoger deze drogestofgehalten, hoe kleiner de mengverhouding zal zijn. De ervaringen

zijn dat in de praktijk niet primair wordt uitgegaan van de mengverhouding op gewichtsbasis maar op basis van het volume. Zou een mengverhouding op gewichtsbasis worden gehanteerd om een gewenst droge-stofgehalte van het te composteren mengsel van 40% te verkrijgen, dan is een mengverhouding op basis van het volume van meer dan 1:4 niet denkbeeldig.

De ervaringen wijzen uit dat het op gang komen van het composte-ringsproces mogelijk is bij een minimale mengverhouding op basis van het volume tussen slib en vochtregulerend toeslagmateriaal van 1:1,2-1,5. Voorwaarde daarbij is dat bij een bepaalde mengverhouding ook voldoende porositeit in de stapeling wordt verkregen. Dit is de reden dat in het algemeen een mengverhouding van 1:2-2,5 wordt toegepast. Meer toeslagmateriaal moet niet worden toegepast, omdat een homogene menging tussen slib en toeslagmateriaal dan wordt belemmerd, en vanwege de kosten van toeslagmateriaal. Wanneer een po-rositeitverhogend toeslagmateriaal wordt toegepast, blijkt een meng-verhouding op volumebasis tussen slib: vochtregulerend toeslagmate-riaal: porositeitverhogend toeslagmateriaal = 1:1,2-1,5:1 redelijke resultaten te geven.

### 3.7 Afdekmaterialen

Een stapeling van te composteren materiaal moet worden afgedekt om warmteverliezen te voorkomen en indringing van neerslag tegen te gaan.

De materialen die hiervoor kunnen worden gebruikt moeten een warm-te isolerende werking hebben en de afstroming van neerslag bevorde-ren.

Anderzijds moeten de afdekmaterialen de afvoer van vocht en gasvor-mige afbraakprodukten uit een stapeling zo min mogelijk belemmeren.

De bij de praktijkproeven gebruikte afdekmaterialen zijn:

- compost;
- kunststofdoeken;
- stro.

Compost en kunststofdoeken zijn zowel afzonderlijk als in combinatie toegepast.

Compost als afdek materiaal wordt toegepast in laagdikten variërend van 0,20 m tot 0,50 m. Gezeefde compost heeft daarbij een sterk iso-lerende werking en geeft, ten opzichte van de rest van de stapeling, een beperkte bijdrage aan de weerstandsverliezen van de ventilator. Door de vochtbindende eigenschappen van compost, zal aan de stape-ling ontwijkend vocht zich in eerste instantie binden aan de afdek-compost. Afhankelijk van de omgevingstemperatuur en de temperatuur van de uittredende lucht kan condensatie optreden van vocht in de afdeklag. Hierdoor neemt de gewichtsbelasting van de stapeling toe en neemt de porositeit van een stapeling af. Om de luchtafvoer van-uit de stapeling minder te belemmeren kan, in plaats van gezeefde compost, compost met toeslagmateriaal worden gebruikt.

Neerslag zal zich eerst aan de compost hechten waardoor de poriën worden gevuld. Zijn de poriën eenmaal gevuld, dan zal de neerslag langs de compost afstromen. Tengevolge van de absorptie van neerslag kan de bovenbelasting van een stapeling toenemen. Bij langdurige neerslag en indringing in de stapeling ontstaat afkoeling in het inwendige van de stapeling. Uit de stapeling af te voeren waterdamp zal op de koele plaatsen condensereren.

De kunststofdoeken welke als afdek materiaal kunnen worden gebruikt, hebben geen warmte-isolerende werking, doch zijn alleen geschikt voor het tegengaan van neerslagindringing. Kunststofdoek en compost in combinatie geven een goede warmte-isolatie en bescherming tegen neerslag.

Van stro als afdek materiaal is slechts bekend dat het redelijk voldoet als warmte-isolerend en neerslagwerend materiaal. Verwijdering na gebruik kan problemen geven wanneer het stro veel vocht heeft opgenomen.

Bij compostering onder een overkapping heeft het afdek materiaal uitsluitend een warmte-isolerende functie. Nadelige gevolgen van het indringen van neerslag, zoals het dichtslaan van de afdeklaag en een extra gewichtsbelasting van de stapeling, worden dan vermeden. Bovendien is het opbouwen en afbreken van een stapeling niet meer afhankelijk van de weersomstandigheden, zodat gedurende het gehele jaar compostering kan worden uitgevoerd.

### 3.8 Beluchting

Beluchting van een stapeling voor de afvoer van vocht en gasvormige afbraakprodukten en toevoer van zuurstof vindt plaats op natuurlijke wijze. Deze beluchting kan worden gestimuleerd door op geforceerde wijze lucht door de stapeling aan te zuigen of in de stapeling te persen. Daartoe zijn de beluchtingselementen aangesloten op één of meerdere ventilatoren. Voor het dimensioneren van de ventilatoren moet worden uitgegaan van een suppletie op de natuurlijke ventilatie. Aangezien de grootte van de natuurlijke ventilatie niet is te bepalen - deze is afhankelijk van de temperaturen van de omgevingslucht en de lucht in de stapeling en de porositeit - worden verschillende vuistregels gehanteerd, zoals een bepaald aantal kubieke meters per ton droge stof.

Het is moeilijk te achterhalen, hoe dergelijke vuistregels zijn ontstaan.

Een andere meer gebruikte benadering gaat uit van de veronderstelling dat alle luchttransporten via één of meerdere ventilatoren moeten plaatsvinden. De bijdrage van de ventilatie langs natuurlijke weg wordt dan verwaarloosd. Op deze wijze zal de capaciteit van de ventilator worden overgedimensioneerd waardoor de mogelijkheid bestaat om meer lucht toe te voeren.

De hoeveelheid lucht die aan te composteren materiaal moet worden toegevoerd, wordt in hoofdzaak bepaald door de hoeveelheid vocht die moet worden afgevoerd via de lucht en is dus afhankelijk van de hoeveelheid vocht in het te composteren slib en toeslagmateriaal.

De hoeveelheid vocht die door lucht kan worden afgevoerd is afhankelijk van de temperatuur die de lucht aanneemt in de stapeling. Dit houdt in dat de lucht voor het aannemen van de temperatuur van de stapeling en de opname van vocht een bepaalde verblijftijd behoeft. Is de verblijftijd te gering dan moet meer lucht worden toegevoerd om dezelfde hoeveelheid vocht af te voeren. Aangezien de warmteoverdracht aan lucht sneller verloopt dan vochtoverdracht kan afkoeling optreden. Dit wordt dan ook geconstateerd met name bij onderdrukbeluchting op die plaatsen in de stapeling die dicht bij de ventilator liggen.

De temperatuur waarbij wordt verondersteld dat het composteringsproces zich optimaal voltrekt, ligt tussen de 50°C en 60°C. Verondersteld wordt dat de lucht tijdens het verblijf in de stapeling dezelfde temperatuur aanneemt. Is de temperatuur van de lucht echter

lager, dan zal meer lucht moeten worden toegevoerd om toch dezelfde hoeveelheid vocht af te voeren. Uit de praktijkproeven blijkt dat de gemiddelde temperaturen van de afgevoerde lucht sterk variëren en lager kunnen zijn dan de optimale temperatuur van 50°C à 60°C.

De vereiste capaciteit van de ventilatoren moet mede op de weerstand van stapeling en beluchtingssysteem worden gedimensioneerd. Uit een aan de literatuur ontleend model voor de berekening van de weerstand van beluchtingssystemen blijkt, dat bij onderdrukbeluchting een hogere weerstand ontstaat dan bij drukbeluchting. De voornaamste weerstand wordt veroorzaakt door stroming van lucht door de perforaties. Bij onderdrukbeluchting vindt de afvoer van lucht plaats in een biofilter welke ook een weerstandsverlies oplevert.

Uit berekeningen volgens dit model blijkt bovendien dat bij drukbeluchting een meer gelijkmatige druk- en debietverdeling plaatsvindt dan bij onderdrukbeluchting. Per saldo betekent dit dat drukbeluchting minder energie zal vragen dan onderdrukbeluchting.

Aangezien onderdrukbeluchting meer weerstand levert dan drukbeluchting, zal een ventilator gedimensioneerd op onderdrukbeluchting ook voor drukbeluchting kunnen worden toegepast.

### 3.9 Procestechnologische parameters

Het composteringsproces wordt blijkens de proeven bepaald door factoren als:

- het vochtgehalte;
- de porositeit;
- de temperatuur;
- de zuurstofbehoefte.

Een voortdurende controle van deze procesfactoren en de daarbij vast te stellen onderlinge relaties en verschillen geven, in combinatie met andere waarnemingen, een redelijke indruk van het verloop van het composteringsproces.

Een of meerdere parameters in combinatie kunnen worden gehanteerd als stuurparameters voor het proces.

Naast deze zogenaamde stuurparameters kunnen chemische- en microbiologische parameters worden bepaald op basis waarvan het te composteren slib en het eindprodukt kunnen worden gekarakteriseerd.

De volgende chemische parameters worden genoemd:

- |                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| - drogestofgehalte   | - koper                     |
| - ruw as (gloeirest) | - chroom                    |
| - organische stof    | - zink                      |
| - stikstof           | - lood                      |
| - fosfaat            | - cadmium                   |
| - kalium             | - nikkel                    |
| - calcium            | - kwik                      |
| - magnesium          | - arseen                    |
| - koolstof           | - pH                        |
|                      | - chemisch zuurstofverbruik |

Naast metingen en bepalingen aan de vaste stoffen kunnen ook gasvormige parameters worden bepaald zoals:

- kooldioxyde (CO<sub>2</sub>);
- ammoniak (NH<sub>3</sub>);
- zwavelwaterstof (H<sub>2</sub>S).

Voor stuurparameters geldt dat zij direct moeten kunnen worden gemeten. Dit betekent dat van eerdergenoemde parameters slechts het zuurstofgehalte, de temperatuur en de gasvormige afbraakcomponenten in aanmerking komen als stuurparameter.

Het zuurstofgehalte kan worden gemeten in de stapelingen en in de afvoerlucht. Gebleken is dat het zuurstofgehalte in een stapeling sterk kan variëren. Het zuurstofgehalte zoals dat op een bepaald moment wordt gemeten, is afhankelijk van de porositeit en de ventilatie. Omdat compostering een aëroob proces is, zou er geen zuurstoftekort in een stapeling mogen ontstaan. Wordt dit wel geconstateerd dan zal dit het gevolg zijn van een slechte porositeit van de stapeling waardoor lucht onvoldoende kan toetreden en de afvoer van gasvormige afbraakprodukten wordt belemmerd. Wanneer onderdrukventilatie wordt toegepast, kan in de afvoerlucht het zuurstofgehalte worden bepaald. Het zuurstofgehalte in de afvoerlucht geeft dan een indicatie of meer of minder lucht zou moeten worden toegevoerd. Kwantitatieve gegevens van het zuurstofgehalte in relatie tot de mate van beluchting zijn niet bekend.

Naast het zuurstofgehalte kunnen ook gasvormige afbraakcomponenten worden gemeten in de afvoerlucht. Met name kooldioxyde zou in principe als stuurparameter kunnen worden gehanteerd. In de afvoerlucht van onderdrukbeluchting is het gehalte aan kooldioxyde in het algemeen complementair aan het zuurstofgehalte. Hoewel bij een goed verloopend composteringsproces een toename van het gehalte aan kooldioxyde er op wijst dat afbraak van organische stof plaatsvindt, zijn onvoldoende gegevens bekend over de relatie kooldioxyde en beluchting.

Verwacht mag worden dat, na een sterke toename van het gehalte aan kooldioxyde in de afvoerlucht aan het begin van een composteringsproces, een geleidelijke afname zal optreden naarmate de afbraaksnelheid van de organische stof vermindert. Gebleken is echter dat deze afname sterke fluctuaties kan vertonen. Bij drukbeluchting is het meten van het zuurstofgehalte en het gehalte aan gasvormige afbraakcomponenten in de afvoerlucht niet mogelijk.

Het vochtgehalte en de C/N-verhouding van materiaal dat wordt gecomposteerd, zijn bepalingen die slechts indirecte informatie verschaffen. Bovendien moeten de bepalingen worden uitgevoerd aan representatieve monsters. Het verkrijgen van representatieve monsters wordt ongunstig beïnvloed door:

- de inhomogeniteit van de te composteren mengsels;
- het feit dat het composteringsproces zich niet op alle plaatsen binnen de stapeling in hetzelfde stadium bevindt;
- de stapelingen als gevolg van inklinken minder toegankelijk worden voor het nemen van monsters.

Voor het uitvoeren van de bepalingen kunnen mengmonsters worden gescheiden in slibmateriaal en toeslagmateriaal. Het vochtgehalte van het slibmateriaal zou dan een indicatie kunnen zijn van de mate van vochtafvoer.

De C/N-verhouding als procestechnologische parameter is gebaseerd op de mineralisatie van koolstof en stikstof door micro-organismen. Hierbij vindt afbraak plaats van organische koolstofverbindingen waarbij de vrijkomende koolstof als kooldioxide wordt afgevoerd, door de micro-organismen wordt gebruikt voor de synthese van celmateriaal en als energiebron. Ook stikstofverbindingen worden afgebroken waarbij de vrijkomende stikstof wordt gebruikt voor het metabolisme van de micro-organismen. De mineralisatie wordt bevorderd door de mate waarin koolstof en stikstof beschikbaar zijn voor het proces. Dit kan worden uitgedrukt in de C/N-verhouding.

De literatuur geeft aan dat bij een C/N-verhouding 30 à 35 van de te mineraliseren stof het afbraakproces optimaal zou verlopen. Bij een kleinere C/N-verhouding zou de mineralisatiesnelheid afnemen. Om dit te voorkomen zou een extra koolstofbron kunnen worden toegevoegd.

De C/N-verhouding van het slib dat betrokken is geweest bij de composteringsproeven blijkt bij aanvang te variëren tussen 10 en 30. Dit wijst erop dat in bepaalde slibben niet aan de theoretisch vereiste C/N-verhouding is voldaan. In geen van de praktijkproeven is de invloed van het toeslagmateriaal als extra koolstofbron gebleken. Van hout als toeslagmateriaal is bekend dat het in vergelijking met zuiveringsslib moeilijk afbreekbaar is. Dit betekent dat de koolstof van het hout niet of nauwelijks beschikbaar is voor het proces.

De temperaturen in een stapeling geven een redelijke indicatie van het verloop van het proces. Wanneer aan de overige procesfactoren wordt voldaan, zal zich warmte in een stapeling ontwikkelen en zal de temperatuur toenemen. Een optimale procestemperatuur blijkt te liggen tussen 50 en 55°C. Bij temperaturen boven 55°C neemt de soortenrijkdom van de micro-organismen af, waardoor de afbraaksnelheid vermindert. Bij temperaturen lager dan 50°C neemt tevens de vochtafvoer via de lucht sterk af.

De temperaturen kunnen op verschillende manieren worden gemeten. De meest toegepaste methode is met behulp van een lans met daarin een thermokoppel. De lans wordt in een stapeling gestoken waarna de temperatuur kan worden afgelezen.

Bij het stapelen van te composteren materiaal kan men ook meerdere thermokoppels plaatsen, die gedurende de composteringstijd kunnen worden afgelezen. Deze thermokoppels kunnen ook aan een microprocessor worden gekoppeld die op basis van de temperatuurwaarnemingen de ventilator stuurt.

### 3.10 Microbiologische aspecten

De microbiologische aspecten van het composteringsproces kunnen worden onderscheiden in de aspecten van microbiële afbraak van organische stof en hygiënische aspecten.

Voor een optimaal composteringsproces is het voorwaarde dat voor de ontwikkeling en instandhouding van de daarvoor noodzakelijke micro-organismen gunstige voorwaarden worden geschapen, zoals koolstof en stikstof in voldoende concentraties, vocht voor transport van nutriënten en zuurstof. Bovendien moeten gasvormige microbiële afbraakprodukten kunnen worden afgevoerd. In het algemeen zal aan deze voorwaarden kunnen worden voldaan zonder dat hiervoor extra bewerkingen of toevoegingen noodzakelijk zijn.

Micro-organismen ontwikkelen zich via psychrofiel naar mesofiel en thermofiel waarbij ze zich aanpassen aan de op dat moment heersende omstandigheden.

Het meest gevoelig lijken de mesofiele organismen voor het vochtgehalte en warmteschommelingen. Bij een te laag vochtgehalte worden met name de exocellulaire enzymen - die aan het begin van het afbraakproces staan - sterk geremd.

Wanneer dit in een vroegtijdig stadium van het composteringsproces gebeurt, kan door inbrengen van vocht de activiteit van deze enzymen weer toenemen. Bij een te hoog vochtgehalte zijn de mogelijkheden voor de toevoer en opname van zuurstof beperkt waardoor de microbiële activiteit eveneens wordt geremd.

De soorten-rijkdom van organismen neemt af naarmate de temperatuur toeneemt. Hierdoor neemt de afbraaksnelheid van organische stof af.

Hoewel een hoge temperatuur gunstig lijkt in verband met de verdamping en afvoer van vocht, zijn de nadelen van dien aard - afname van afbraaksnelheid en te snelle vochtafvoer en daardoor voortijdig beëindigen van het composteringsproces - dat als meest optimaal temperatuurstraject 50°-55°C wordt ervaren.

Alle soorten zuiveringsslib blijken door micro-organismen te kunnen worden betrokken in de afbraakprocessen, zij het dat de soorten aan organismen voor de verschillende slibsoorten variëren.

Door het langdurig blootstellen aan de voor compostering optimale temperatuurrange neemt de hygiënische betrouwbaarheid van het materiaal toe. De hygiënische betrouwbaarheid wordt in het algemeen gekarakteriseerd door de gehalten *Escherichia coli*, totale coliformen en *Salmonellae*. Voor het bepalen van de mate van desinfectie kan de hitteresistente f-specifieke bacteriofaag worden gebruikt als indicator-organisme. Toch kunnen minder hitteresistente organismen worden aangetoond bij afwezigheid van f-specifieke bacteriofagen.

### 3.11 Stankhinder

Het verwerken van slib brengt met zich mee dat geurhinder kan ontstaan; de mate waarin is sterk afhankelijk van de wijze waarop en in hoeverre het slib is gestabiliseerd. De geuremissies die ontstaan worden omschreven als "slibgeur", welke niet nader kan worden gedefinieerd, en ammoniak. De grootste emissies van slibgeuren ontstaan tijdens de aanvoer van het slib en het mengen. Na mengen en stapelen van slib en toeslagmateriaal en het afdekken van een stapeling met compost nemen de emissies van "slibgeuren" af.

Tijdens het composteringsproces kunnen ammoniak en aminen, afbraakprodukten van de organische stof, ontwijken uit een stapeling. Bij onderdrukbeluchting wordt de lucht afgevoerd via de ventilator. Deze afvoerlucht kan aanzienlijke concentraties ammoniak bevatten, afhankelijk van de mate waarin het materiaal dat wordt gecomposteerd is gestabiliseerd. De lucht welke wordt afgevoerd bevat bovendien een aanzienlijke hoeveelheid vocht. In het algemeen wordt deze afvoerlucht in een biofilter geleid om te worden gezuiverd van hindergevende geurcomponenten. Gebleken is dat de werking van een biofilter wordt beïnvloedt door het vochtgehalte van de aangevoerde lucht. De warme lucht zal in het filterlichaam afkoelen waardoor de in de lucht aanwezige waterdamp condenseert en in het filterlichaam achterblijft.

Bij een vochtgehalte van meer dan 40% zal de adsorptiecapaciteit van het filterlichaam voor de aangevoerde geurcomponenten sterk afnemen. Bovendien zal de weerstand van het filter toenemen waardoor de capaciteit van de ventilator vermindert. Om een goede werking van het biofilter te bevorderen moet de te behandelen lucht eerst zoveel als mogelijk worden gekoeld waardoor vocht uit de lucht condenseert. Dit condens kan hoge concentraties aan stikstofverbindingen bevatten.

De binding van aminen en ammoniak aan het filterlichaam vraagt een relatief lange verblijftijd van de te behandelen lucht in het filterlichaam en een groot adsorptie-oppervlak. Mede vanwege het vochtgehalte van de te behandelen lucht is voor het verwijderen van ammoniak een biofilter van enige omvang nodig.

Bij drukventilatie wordt de lucht rechtstreeks vanuit de stapeling naar de omgeving afgevoerd. Afhankelijk van de dikte van de laag afdekcompost kunnen meer of minder geurcomponenten ontwijken.

Omdat de emissie voortdurend plaatsvindt - dit in tegenstelling tot

onderdrukbeluchting waarbij een piekbelasting van geuren ontstaat bij inschakelen van de ventilator - zijn de concentraties lager. Geurhinder door ammoniak zal bij drukbeluchting dan ook minder zijn dan bij onderdrukbeluchting.

Naast het ontwijken van slibgeur en ammoniak tijdens aanvoer, mengen en het proces, kan ook geurhinder ontstaan bij het opnemen van materiaal aan het eind van het composteringsproces. Wanneer een deel van de stapeling niet goed belucht is geweest - een mogelijk gevolg van onvolledige menging, te hoog vochtgehalte of onvoldoende porositeit van de stapeling - wordt de bij aanvang in de stapeling afwezige zuurstof verbruikt, waarna een toestand van anaërobie ontstaat. Als gevolg daarvan ontstaan binnen een stapeling verzuringsprocessen en anaërobie afbraak. Een composteringsproces zal zich dan niet voltrekken. Door het materiaal om te zetten wordt vocht afgevoerd en zuurstof toegevoerd waardoor zich alsnog een composteringsproces kan instellen. Het omzetten van materiaal dat onderhevig is geweest aan verzuring en anaërobie afbraakprocessen zal geuremissies tot gevolg hebben. Door de compostering uit te voeren in overdekte afsluitbare ruimten en de daarin aanwezige lucht te behandelen kunnen geuremissies afdoende worden bestreden.

### 3.12 Zeven

Nadat een composteringsproces als beëindigd wordt beschouwd moet een scheiding tussen gecomposteerd materiaal en toeslagmateriaal tot stand worden gebracht door zeven. Het afgescheiden toeslagmateriaal kan, afhankelijk van het vochtgehalte, worden hergebruikt voor een volgend composteringsproces.

Zeefinstallaties zijn uitgevoerd als roterende trommels, als vlakke (meertraps)zeven of als doekzeven. Bij het zeven moet in principe het kleinste deeltje van de zeefrest, het toeslagmateriaal, juist groter zijn aan het grootste deeltje compost. Een zeefinstallatie moet dus worden afgestemd op de soort toeslagmateriaal en de gemiddelde afmeting daarvan.

Bij het zeven van gecomposteerd zuiveringsslib is gebleken dat het toepassen van meertrapszeefinstallaties weliswaar een hoog scheidingsrendement als gevolg heeft, maar de scheidingscapaciteit daarvan klein is. Hoe kleiner het afgezeefde materiaal van afmetingen moet zijn, hoe lager de capaciteit van de installatie wordt. Omdat de resten onvolledig gecomposteerd slib terecht komen in het afgescheiden toeslagmateriaal dat weer wordt hergebruikt in een volgende compostering, wordt in de praktijk meestal voor een zeefdoorlaat gekozen van 0,5-0,65 cm. Bij een dergelijke zeefdoorlaat kan van scheiding een redelijke effectiviteit worden verwacht. De hoeveelheid toeslagmateriaal die kan worden afgescheiden bedraagt op volumebasis 60 tot 70% van de hoeveelheid bij aanvang.

De effectiviteit van de scheiding wordt in sterke mate bepaald door het vochtgehalte van het te zeven materiaal. Bij een vochtgehalte van meer dan 45% bestaat de neiging tot conglomereren van compostdeeltjes en aanhechting aan het oppervlak van de zeef en in de zeefdoorlaat. De zeefdoorlaat neemt hierdoor af, waardoor de effectiviteit eveneens afneemt. Om de invloed van het vochtgehalte zoveel mogelijk te beperken kan, voordat het materiaal wordt gezeefd, een extra mengbewerking worden uitgevoerd en/of vochtabsorberend materiaal, zoals bijvoorbeeld houtzaagsel, aan het te zeven mengsel worden toegevoegd.



Onder gunstige weersomstandigheden kan het te zeven materiaal worden gespreid waarbij langs natuurlijke weg droging ontstaat en het vochtgehalte omlaag wordt gebracht.

Wanneer porositeitverhogend toeslagmateriaal wordt toegepast naast vochtregulerend toeslagmateriaal, moet meerdere malen worden gezeefd om beide materialen af te scheiden. Nadat het porositeitverhogend toeslagmateriaal is afgescheiden kan de zeeffractie, bestaande uit vochtregulerend toeslagmateriaal en gecomposteerd slib, direct worden gezeefd of eerst worden opgeslagen voor narijping en drogen. Bij de keuze van een zeefinstallatie voor de afscheiding van porositeitverhogend toeslagmateriaal moeten het gewicht en de afmetingen van dit materiaal in beschouwing worden genomen. Een doekzeef is bijvoorbeeld wel gevoelig voor beschadigingen door houtblokken maar minder gevoelig voor rubbersnippers. Het nadeel van rubbersnippers is dat zij een gering gewicht hebben en veerkrachtig zijn.

### 3.13 Eindprodukt

De eindprodukten van een composteringsproces na zeven zijn toeslagmateriaal en compost. Het vochtregulerend toeslagmateriaal kan worden hergebruikt en is afhankelijk van het vochtgehalte. Is het materiaal te vochtig dan moet eerst worden gedroogd.

Het andere eindprodukt is de compost. De compost bestaat uit gecomposteerd zuiveringsslib en resten toeslagmateriaal. De compost kan worden gekarakteriseerd op basis van chemische samenstelling, hygiënische betrouwbaarheid en stabiliteit.

De chemische samenstelling kan worden gekarakteriseerd door:

- drogestofgehalte;
- organische stofgehalte, ruw as of gloeirest;
- stikstof (N-Kj);
- fosfaat ( $P_2O_5$ );
- kalium ( $K_2O$ );
- calcium ( $CaO$ );
- magnesium ( $MgO$ );
- koolstof;
- koper;
- chroom;
- zink;
- lood;
- cadmium;
- nikkel;
- kwik;
- arseen.

Als gevolg van het composteringsproces zal vocht worden afgevoerd waardoor het drogestofgehalte toeneemt. De drogestofgehalten van eindprodukten variëren van 50 tot ongeveer 70%.

De factor waarmee het drogestofgehalte van het eindprodukt toeneemt ten opzichte van die van het slib varieert van 0,6 tot 3,4.

Het toenemen van het drogestofgehalte kan als maatstaf worden beschouwd voor de vochtverwijdering tijdens composteren en voor de zeefbaarheid van het eindprodukt.

Tijdens het composteringsproces vindt afbraak van organische stof plaats. Dit betekent dat het gehalte aan organische stof afneemt. De afname van het gehalte aan organische stof van het slib door composteren bedraagt 18% tot ongeveer 50%.

De gehalten aan organische stof in eindprodukten variëren van 37% tot 56% van de droge stof. De mate waarin afbraak plaatsvindt is afhankelijk van het composteringsproces. Bij een goed verlopend composteringsproces zal meer afbraak plaatsvinden dan bij een minder goed verlopend proces. Er kan echter geen relatie geconstateerd worden tussen de zeeffbaarheid van een eindprodukt en zijn gehalte aan organische stof.

De concentraties aan bemestende stoffen en micro-elementen blijken tijdens composteren zowel toe als af te nemen. In het algemeen zullen in het eindprodukt de concentraties van bemestende stoffen en micro-elementen lager zijn dan in het slib. Dit is te verklaren door het toevoegen van toeslagmateriaal aan het slib. Heeft het toeslagmateriaal lage concentraties aan deze stoffen en wordt dit aan het te composteren slib toegevoegd, dan neemt de hoeveelheid droge stof van het te composteren mengsel toe. De concentraties van de beschouwde stoffen op basis van de droge stof in het eindprodukt worden dan lager dan in het slib. Van boomschors is bekend dat het rijk is aan kalium en magnesium. Wordt dit materiaal als toeslagmateriaal toegepast en komt dit toeslagmateriaal voor een belangrijk deel in het eindprodukt terecht, dan zullen de concentraties aan de beschouwde stoffen in het eindprodukt relatief hoog zijn.

Concentratieverlaging ontstaat als gevolg van verdunning van het beginmateriaal met het toeslagmateriaal mits de concentraties van de desbetreffende stoffen in het toeslagmateriaal gering zijn en/of de fractie toeslagmateriaal in het eindprodukt zeer beperkt is.

Zijn de concentraties hoog of is het aandeel van toeslagmateriaal in het eindprodukt van enige omvang, dan kan concentratieverhoging plaatsvinden.

Een concentratieverhogend effect kan eveneens ontstaan als gevolg van de afbraak van organische stof en vervluchtiging van de afbraakprodukten. Afhankelijk van de mate waarin afbraak plaatsvindt, nemen de concentraties van stoffen die niet door vervluchtiging verdwijnen, meer toe. Stoffen die wel verdwijnen, zoals koolstof (in de vorm van  $CO_2$ ) en stikstof (in de vorm van  $NH_3$ ), zullen dan ten opzichte van de oorspronkelijke concentraties in lagere concentraties in het eindprodukt aanwezig zijn. In hoeverre een verdunnend effect en een concentratieverhogend effect tegen elkaar opwegen, is nauwelijks voorspelbaar.

Bij toepassing van compost als afdek materiaal kan vermenging optreden van gecomposteerd slib met de compost die als afdeklaag van de stapelingen is gebruikt. Deze vermenging kan van invloed zijn op de concentraties aan bemestende stoffen en micro-elementen in het eindprodukt.

De verhouding tussen het koolstof- en stikstofgehalte in het eindprodukt wordt vaak gebruikt als maatstaf voor de stabiliteit van compost. De C/N-verhouding van de compost moet dan worden gerelateerd aan de C/N-verhouding van de bodem.

Gehumificeerde organische stof heeft een vrijwel constant koolstofgehalte van 38% van de droge stof. Het stikstofgehalte kan echter variëren van 1 tot 6% van de droge stof. In de bouwvoor van kleigronden is de C/N-verhouding 9 a 11, in grasland 10 a 15. In "vers" organisch materiaal is de C/N-verhouding 30 a 50 terwijl deze verhouding in stal mest ongeveer 20 is.

Bij de compostering van zuiverings-slib zullen zowel koolstof als stikstof worden afgevoerd als de gasvormige afbraakprodukten  $CO_2$  en  $NH_3$ . In het eindprodukt is de concentratie stikstof duidelijk

afgenomen. De afname is ongeveer 50% ten opzichte van het stikstofgehalte van het slib. In het eindprodukt bevinden zich resten toeslagmateriaal met een relatief hoog gehalte aan koolstof. Hierdoor is de concentratie koolstof in het eindprodukt hoger dan men op grond van de vervluchtiging van CO<sub>2</sub> zou verwachten. Door het toevoegen van bijvoorbeeld zaagsel aan het eindprodukt (om de zeeffbaarheid te verbeteren) zal de C/N-verhouding eveneens toenemen. De C/N-verhouding van gecomposteerd zuiveringsslib blijkt tussen 10 en 15 te liggen en is van dezelfde orde van grootte als in de bouwvoor bij kleigrond en grasland. Om de mate van stabiliteit van compost te bepalen wordt naast de C/N-verhouding - die als maat voor de reactiviteit van de compost in of op de bodem wordt beschouwd - het chemische zuurstofverbruik als parameter gebruikt.

Het chemische zuurstofverbruik van het slib neemt af tijdens composteren. De bepalingen worden sterk beïnvloed wanneer het eindprodukt een hoog gehalte aan organische stof bevat en uit moeilijk afbreekbare verbindingen zoals lignine en cellulose - de hoofdbestanddelen van houtsnippers - bestaat.

Eindprodukten bestaande uit gecomposteerd zuiveringsslib worden volgens literatuurgegevens stabiel verondersteld bij een CZV minder dan 700 mg.g<sup>-1</sup>. Van huisvuilcompost wordt verondersteld dat deze stabiel is bij een CZV van circa 450 mg.g<sup>-1</sup>. Bij bepalingen van het chemisch zuurstofverbruik van gecomposteerd zuiveringsslib bleek het CZV gemiddeld 400 mg.g<sup>-1</sup> te bedragen. Bij een niet correct verlopende compostering neemt de CZV slechts gering af.

Zowel de C/N-verhouding als het chemisch zuurstofverbruik zijn bruikbare parameters om de stabiliteit van compost te bepalen.

De hygiënische betrouwbaarheid van de eindprodukten worden gekarakteriseerd door de concentraties E.coli, totale coliformen, Salmonellae en bacteriofagen. Deze organismen hebben een bepaalde hitte-resistentie die wordt uitgedrukt als de decimale reductiewaarde. Het organisme met de grootste hitte-resistentie is de f2-bacteriofaag die een decimale reductiewaarde van 198 minuten heeft bij 55°C en 47 minuten bij een temperatuur van 60°C.

Bij een correct verlopend composteringsproces treden langdurig temperaturen op van meer dan 50°C. De praktijkproeven tonen aan dat een overeenkomstige reductie van pathogene organismen wordt bereikt.

### 3.14 Globale kosten

Met betrekking tot de kosten, die verbonden zijn aan de compostering van zuiveringsslib zijn weinig relevante gegevens beschikbaar. Bij de experimenten die door Grontmij n.v. in opdracht van STORA zijn uitgevoerd, is op grond van de ervaringen tijdens de proeven en uitvoeringsgegevens in het algemeen een extrapolatie uitgevoerd van de proefschaal naar een werkelijke praktijkschaal.

Uitgaande van de compostering van een slibproduktie van 6000 m<sup>3</sup> per jaar met een drogestofgehalte van 20% (rwzi 75.000 i.e.) is een kostprijsberekening opgesteld.

De kosten voor compostering in de open lucht bedragen globaal f 440,- per ton droge stof hetgeen overeenkomt met f 88,- per m<sup>3</sup> ontwaterd slib. Door het toepassen van een eenvoudige overkapping zal de kostprijs toenemen tot circa f 495,- per ton droge stof (f 99,- per m<sup>3</sup> ontwaterd slib).

Het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen heeft een kosten-  
normering op basis van Amerikaanse gegevens, die (nog) niet aan de  
Nederlandse situatie zijn getoetst. Deze raming heeft geresulteerd  
in een bedrag van circa f 200,- per ton droge stof slib. Men is ech-  
ter van een zeer eenvoudige terreininrichting uitgegaan, alsmede van  
de situatie dat slechts weinig toeslagmateriaal benodigd zou zijn.

## 4 COMPOSTERINGSPARAMATERS

### 4.1 Algemeen

Voor de compostering van zuiveringsslib volgens de statische methode moet een begroting worden gemaakt van de hoeveelheid toeslagmateriaal en de luchthoeveelheden nodig voor oxydatie van de organische stof en afvoer van vocht en afbraakprodukten.

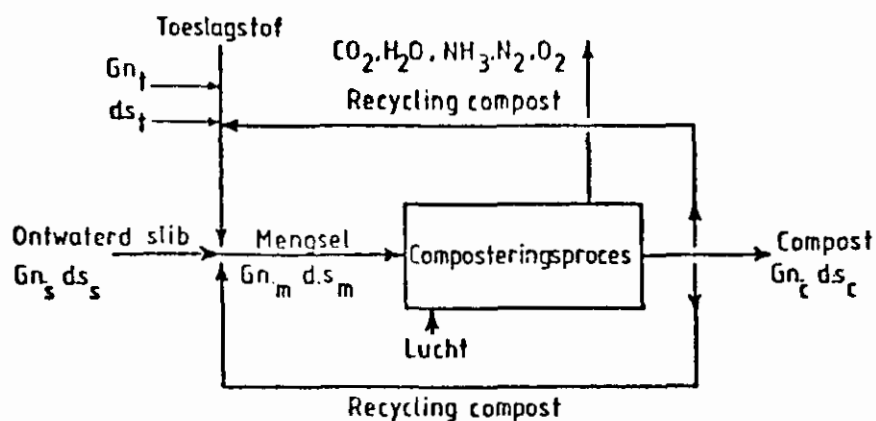
In dit hoofdstuk wordt op basis van een materiaalbalans, welke is ontleend aan literatuurgegevens<sup>10,11</sup>, een theoretische benadering gegeven van:

- de mengverhouding tussen vochtregulerend toeslagmateriaal en zuiveringsslib;
- de af te voeren hoeveelheid vocht;
- de benodigde hoeveelheid lucht.

Vervolgens zijn aan de hand van de gegevens van de praktijkproeven de resultaten berekend van de afgevoerde hoeveelheid vocht en de toegevoerde hoeveelheid lucht.

### 4.2 Materiaalbalans

Voor het begroten van de hoeveelheid toeslagmateriaal bedoeld voor het reguleren van de vochtthuishouding kan gebruik worden gemaakt van een materiaalbalans. In figuur 1 is deze schematisch weergegeven.



Figuur 1. Schema materiaalbalans

$$\begin{aligned} \text{Totaal gewicht} &= G_n \cdot (nat) \\ \text{drogestofgehalte} &= d \cdot s \\ \text{drogestofgewicht} &= G_n \cdot d \cdot s = G_d \cdot (droog) \end{aligned}$$

Indices  
 s = slib  
 m = mengsel  
 t = toeslagmateriaal

Totaal gewicht van het te composteren mengsel:

$$G_{n,m} = G_{n,s} + G_{n,t} \quad (1)$$

$$\text{Drogestofgewicht} = d \cdot s_s \times G_{n,s} + d \cdot s_t \times G_{n,t} = d \cdot s_m \times G_{n,m} \quad (2)$$

Substitutie van het totaal gewicht in de vergelijking voor drogestofgewicht levert:

$$d \cdot s_s \times G_{n,s} + d \cdot s_t \times G_{n,t} = d \cdot s_m (G_{n,s} + G_{n,t}) \quad (3)$$

De mengverhoudingen zijn de verhoudingen tussen de totaalgewichten nat of droog

$$\text{Toeslagfactor op basis van het totaal gewicht} = \text{TF}_n = \frac{(\text{nat})\text{gewicht toeslagstof}}{(\text{nat})\text{gewicht slib}} = \frac{\text{Gn.}_t}{\text{Gn.}_s} \quad (4)$$

Substitutie in voorgaande vergelijking levert:

$$\text{TF}_n = \frac{\text{d.s.}_m - \text{d.s.}_s}{\text{d.s.}_t - \text{d.s.}_m} \quad (5)$$

De toeslagfactor op basis van het droog gewicht is:

$$\text{TF}_d = \frac{\text{d.s.}_t \times \text{Gn.}_t}{\text{d.s.}_s \times \text{Gn.}_s} \quad (6)$$

Substitutie in 3 levert dan:

$$\text{TF}_d = \frac{\frac{\text{d.s.}_m}{\text{d.s.}_s} - 1}{1 - \frac{\text{d.s.}_m}{\text{d.s.}_t}} \quad (7)$$

In principe zijn hieruit ook weer de totaalgewichten (terug) te berekenen.

Totaalgewicht = gewicht slib + gewicht toeslagstof

$$\text{Gn.}_m = \text{Gn.}_s + \text{TF}_d \times \text{Gn.}_s \quad (8)$$

Het drogestofgehalte van het mengsel is te berekenen volgens:

$$\text{d.s.}_m = \frac{\text{d.s.}_s \times \text{Gn.}_s}{(\text{Gn.}_s + \text{Gn.}_t)} + \frac{\text{d.s.}_t \times \text{Gn.}_t}{(\text{Gn.}_s + \text{Gn.}_t)} \quad (9)$$

Als gevolg van het composteringsproces treden verdampingsprocessen op waardoor water in de vorm van waterdamp kan ontwijken.

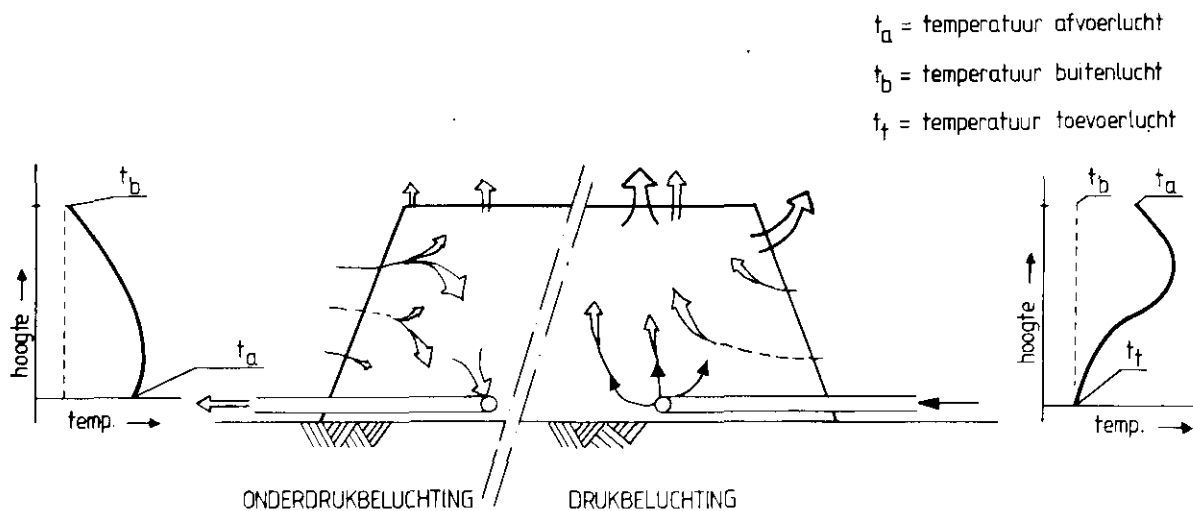
Op basis van de materiaalbalans kan worden begroot hoeveel water moet worden afgevoerd om een gewenst drogestofgehalte van het eindprodukt te krijgen volgens:

$$\frac{W}{\text{d.s.}_s \cdot \text{Gn.}_s} = \frac{1 - \text{d.s.}_s}{\text{d.s.}_s} - \frac{1 - \text{gl.r.}_s}{1 - \text{gl.r.}_p} \cdot \frac{1 - \text{d.s.}_p}{\text{d.s.}_p} \quad (10)$$

Hierin is:

- W = hoeveelheid vocht welke moet worden afgevoerd
- Gn.<sub>s</sub> = gewicht nat slib;
- d.s.<sub>s</sub> = drogestofgehalte van het slib;
- d.s.<sub>p</sub> = drogestofgehalte van het eindprodukt;
- gl.r.<sub>s</sub> = gloeirest slib;
- gl.r.<sub>p</sub> = verwachte gloeirest eindprodukt.

De afvoer van waterdamp vindt plaats via de in de stapeling aanwezige lucht. Door het verschil van temperatuur van de lucht in de stapeling en de lucht daarbuiten zal de warme lucht een min of meer natuurlijke weg volgen en in de stapeling opstijgen. In figuur 2 wordt schematisch weergegeven hoe de ventilatie zich voltrekt.



Figuur 2. Schematische weergave luchttransport en temperatuurverdeling

Het materiaal aan de onderzijde van een stapeling zal ongeveer de temperatuur van de bodem aannemen. Aangenomen dat de porositeit van het gestapelde materiaal voldoende is, en zuurstof voor het composteringproces aanwezig is, zal toename van de temperatuur ontstaan waardoor verdamping kan optreden. De in de stapeling aanwezige lucht zal deze waterdamp opnemen. De hoeveelheid waterdamp die door de lucht kan worden opgenomen verhoudt zich exponentieel tot de temperatuur (zie figuur 6) en is afhankelijk van de luchtdruk en de verzadigingsgraad van de lucht. De lucht met een hogere temperatuur zal opstijgen in de stapeling en hoofdzakelijk ontwijken aan de bovenzijde. Tengevolge van dit transport van warme lucht zal lucht worden aangezogen via de zijkant van een stapeling. Van deze natuurlijke beluchting wordt gebruik gemaakt bij de zogenaamde windrow-methode.

Een variant van de natuurlijke beluchting vormt de zogenaamde geforceerde drukbeluchting. De natuurlijke wijze waarop de luchttransporten plaatsvinden, wordt versterkt door lucht met overdruk toe te voeren naar het inwendige van de stapeling waardoor het verticaal transport van de lucht in de stapeling wordt gestimuleerd.

Bij de onderdrukbeluchting wordt lucht vanuit het inwendige van de stapeling aangezogen. Door het luchtdrukverschil wordt het toetreden van omgevingslucht via het oppervlak van de stapeling gestimuleerd. In de stapeling neemt de temperatuur van de toegevoerde lucht toe waardoor vocht kan worden opgenomen en via de beluchtingsbuizen wordt afgevoerd.

Voor het begroten van de geforceerde ventilatie wordt in het model de afvoer via natuurlijke ventilatie verwaarloosd. Verondersteld wordt dat alle lucht met waterdamp via de beluchtingsbuizen wordt afgevoerd.

Zoals vermeld in het STORA-rapport<sup>5</sup> is de benodigde hoeveelheid lucht voor afvoer van vocht veel groter dan de voor de biologische oxydatie benodigde hoeveelheid lucht. In het model wordt daarom aangenomen dat de benodigde hoeveelheid lucht voor afvoer van vocht maatgevend is waarbij ruimschoots in de zuurstofvoorziening wordt voorzien.

Op basis van deze materiaalbalans zijn voor de praktijkproeven berekend:

- de toeslagfactor op basis van het nat gewicht;
- de toeslagfactor op basis van het droge gewicht;
- het gemiddelde drogestofgehalte van het mengsel toeslagmateriaal en slib;
- de vochtinhoud van het te composteren mengsel;
- de luchtbehoefte voor de afvoer van vocht.

Voor het berekenen van deze factoren is gebruik gemaakt van de karakteristieke gegevens van het slib en het toeslagmateriaal. Voor zover niet over deze gegevens kon worden beschikt, werden aannamen gedaan.

Bij de berekeningen is als uitgangspunt aangenomen dat het drogestofgehalte van het eindprodukt 70% zou moeten bedragen, terwijl de organische stof voor 50% wordt afgebroken. Als gewenst drogestofgehalte van het te composteren mengsel wordt 40% aangehouden.

Naast de berekeningen op basis van aannamen, zijn berekeningen uitgevoerd met als uitgangspunten de gerealiseerde drogestofgehalten en gloeiresten van de eindprodukten.

#### 4.2.1 toeslagfactor nat gewicht ( $TF_n$ )

Voor de theoretische berekening zijn aangenomen:

- het gewicht van het slib op  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ ;
- het gewicht van het toeslagmateriaal:  $300 \text{ kg.m}^{-3}$ ;
- drogestofgehalte te composteren mengsel: 40%.

In tabel 1 zijn weergegeven de volgens formule 5 berekende toeslagfactoren  $TF_n$  op basis van een theoretisch benodigd drogestofgehalte van het te composteren mengsel van 40% en de in de praktijkproeven toegepaste toeslagfactoren en daaruit berekende drogestofgehalten van het mengsel.

proef	d.s.-gehalte slib (%)	d.s.-gehalte toeslagmat. (%)	theoretisch		gerealiseerd	
			d.s.-gehalte mengsel (%)	$TF_n$ volgens formule 6	d.s.-gehalte mengsel	$TF_n$
HUSA	34	40	40	>3,0	35	0,3
HUSB	34	56	40	0,4	44	0,8
DOM1	27	69	40	0,5	42	0,6
DOM2	29	69	40	0,4	47	0,8
ZOG1	23	41	40	>3,0	30	0,6
ZOG2	18	32	40	>3,0	23	0,6
ZOG3	17	53	40	1,8	31	0,6
ZOG4	17	55	40	1,6	29	0,5
ZOG5	17	48	40	2,9	31	0,9
ZOG7	18	68	40	0,8	38	0,7
ASHHZ(1)	15	72	40	0,8	28	0,3
ASHHB(1)	15	72	40	0,8	28	0,3
ASHHZ(2)	15	79	40	0,7	27	0,2
ASHHB(2)	15	79	40	0,8	27	0,2
USHHZ	28	72	40	0,4	38	0,3

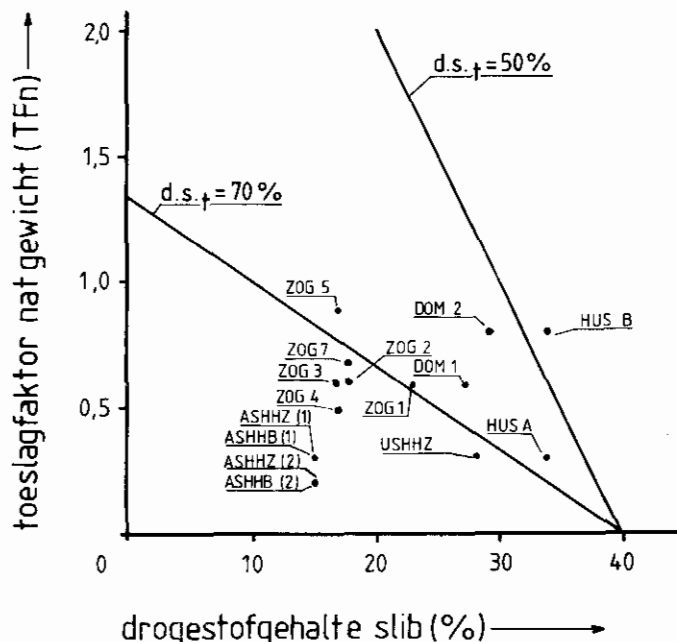
Tabel 1. Theoretische en gerealiseerde toeslagfactoren op basis van het nat gewicht



De theoretische en gerealiseerde toeslagfactoren zijn weergegeven in figuur 3. Naarmate het drogestofgehalte van het toeslagmateriaal toeneemt, zal de theoretisch benodigde hoeveelheid toeslagmateriaal afnemen. In de figuur is het theoretisch verband tussen de toeslagfactor en het drogestofgehalte weergegeven voor toeslagmateriaal met een drogestofgehalte van 50% en 70%.

In deze figuur zijn tevens weergegeven de gerealiseerde toeslagfactoren als functie van het drogestofgehalte van het slib.

Er blijkt geen duidelijke correlatie gevonden te kunnen worden voor het verband tussen de gerealiseerde toeslagfactor op basis van het nat gewicht en de toegepaste drogestofgehalten voor toeslagmateriaal of slib.



Figuur 3. Toeslagfactor op basis van het nat gewicht als functie van drogestofgehalte van het slib

#### 4.2.2 toeslagfactor droog gewicht ( $TF_d$ )

Voor de theoretische berekening van de toeslagfactor op basis van het droog gewicht zijn de volgende aannamen gedaan:

- drogestofgehalte te composteren mengsel is 40%;
- gewicht van het toeslagmateriaal:  $300 \text{ kg.m}^{-3}$ ;
- gewicht van het slib:  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ .

In tabel 2 en figuur 3 zijn de theoretische en de gerealiseerde toeslagfactoren op basis van het droog gewicht weergegeven.

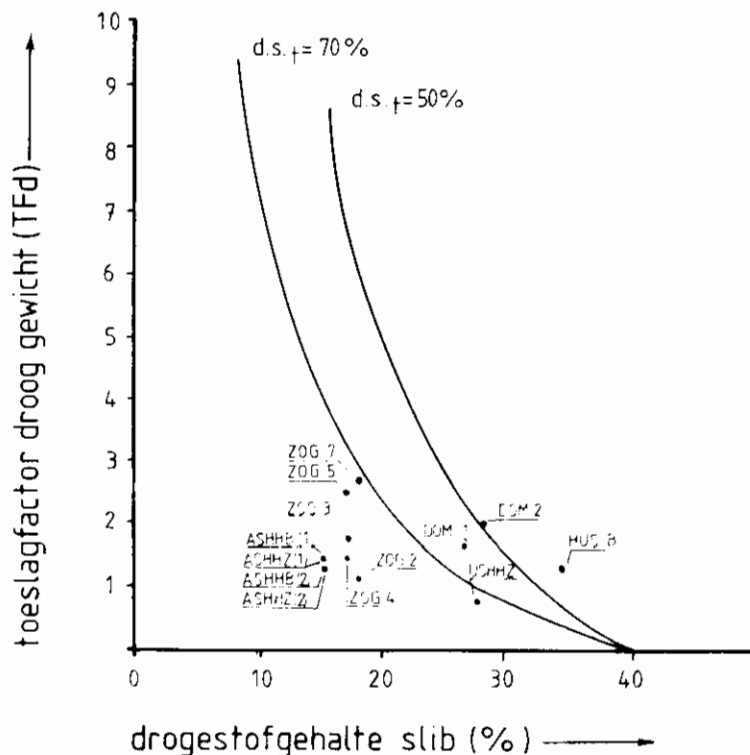
Uit de tabel blijkt dat de gerealiseerde toeslagfactoren in het algemeen aanzienlijk kleiner zijn dan de theoretisch benodigde. De gerealiseerde drogestofgehalten van het te composteren mengsel zijn met uitzondering van drie proeven lager dan de als uitgangspunt aangehouden 40%.

Een uitzondering daarop vormen de proeven HUSB, DOM1 en DOM2. In deze proeven is een grotere toeslagfactor toegepast dan de theoretisch benodigde, waardoor een hoger drogestofgehalte van het te composteren mengsel werd gerealiseerd.

proef	d.s.-gehalte slib (%)	d.s.-gehalte toeslag- mat. (%)	theoretisch		gerealiseerd	
			d.s.- gehalte mengsel (%)	TF <sub>d</sub> volgens formule 7	d.s.- gehalte mengsel	TF <sub>d</sub>
HUSA	34	40	40	>10	35	0,3
HUSB	34	56	40	1,3	44	1,3
DOM1	27	69	40	0,8	42	1,5
DOM2	29	69	40	0,6	47	1,9
ZOG1	23	41	40	>10	30	1,1
ZOG2	18	32	40	>10	23	1,1
ZOG3	17	53	40	5,5	31	1,8
ZOG4	17	55	40	5,2	29	1,5
ZOG5	17	48	40	8,2	31	2,5
ZOG7	18	68	40	3,1	38	2,6
ASHHZ(1)	15	72	40	3,6	28	1,4
ASHHB(1)	15	72	40	3,6	28	1,4
ASHHZ(2)	15	79	40	3,5	27	1,3
ASHHB(2)	15	79	40	3,5	27	1,3
USHHZ	28	72	40	1,0	38	0,8

Tabel 2. Theoretische en gerealiseerde toeslagfactoren op basis van het droog gewicht

Het verschil tussen de theoretische en de gerealiseerde toeslagfactor is het kleinst, wanneer het drogestofgehalte van het te composteren mengsel het gewenste gehalte van 40% benadert.



Figuur 4. Toeslagfactor op basis van het droog gewicht als functie van drogestofgehalte slib

#### 4.2.3 toeslagfactor volume ( $TF_v$ )

De toeslagfactor op basis van het volume kan niet worden afgeleid uit de materiaalbalans. Onder de toeslagfactor op basis van het volume wordt verstaan het quotiënt van het volume toeslagmateriaal en het volume te composteren slib. De toegepaste toeslagfactoren zijn weergegeven in tabel 3.

Bij de proeven van de STORA is gebruik gemaakt van twee toeslagmaterialen met ieder een afzonderlijke functie, namelijk een:

- vochtregulerende werking;
- porositeitverhogende werking.

Hoewel het vochtregulerende toeslagmateriaal ook een porositeitverhogende werking heeft, wordt deze ten opzichte van het porositeitverhogende toeslagmateriaal nihil verondersteld.

proef	volume slib ( $m^3$ )	volume toeslagmateriaal voor regulatie:		$TF_v$
		vocht ( $m^3$ )	porositeit ( $m^3$ )	
HUSA	50	50	-	1,0
HUSB	50	120	-	2,4
DOM1	159	300	-	1,9
DOM2	25	70	-	2,8
ZOG1	30	60	-	2,0
ZOG2	25	50	-	2,0
ZOG3	25	50	-	2,0
ZOG4	32	50	-	1,6
ZOG5	22	55	-	2,5
ZOG7	34	75	-	2,2
ASHHZ(1)	22	46	26	2,1/3,2*
ASHHB(1)	21	46	26	2,2/3,4*
ASHHZ(2)	12	35	26	1,9/3,4*
ASHHB(2)	17	35	26	2,0/3,7*
USHHZ	22	46	24	2,1/3,2*
Grontmij 1	16	50	-	3,2
Grontmij 2	20	60	-	3,0

Tabel 3. Toeslagfactor op basis van volume

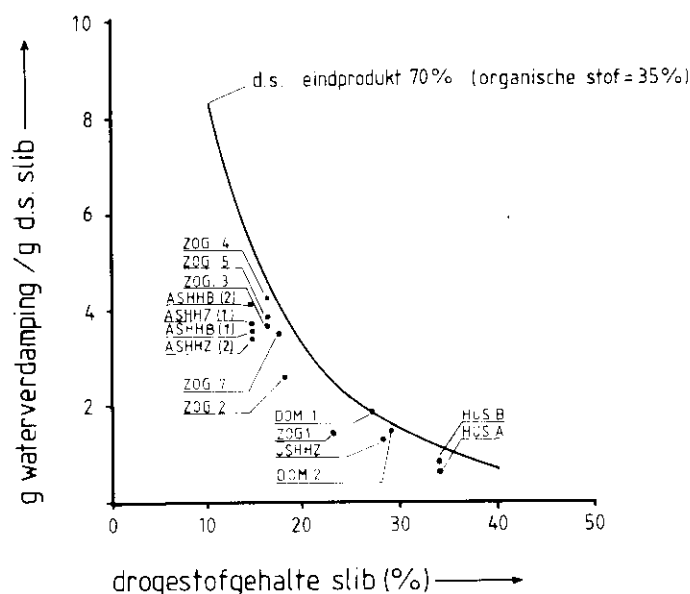
- niet toegepast

\*  $TF_v$  inclusief porositeitverhogend toeslagmateriaal

Wordt alleen het vochtregulerend toeslagmateriaal in rekening gebracht dan blijkt de gemiddelde toeslagfactor 2,2 te bedragen. Door toevoeging van porositeitverhogend toeslagmateriaal nam de toeslagfactor toe tot circa 3,3. Er kon op basis van de proefresultaten geen verband worden aangetoond tussen het drogestofgehalte van het slib en de toeslagfactor of het verband tussen het drogestofgehalte van het toeslagmateriaal en de toeslagfactor.

#### 4.2.4 vochtinhoud

De vochtinhoud in gewichtshoeveelheid water per gewichtshoeveelheid drogestof slib is berekend volgens formule 10.



Figuur 5. Vochtafvoer als functie van drogestofgehalte slib  
(theoretisch)

Uitgaande van een gewenst drogestofgehalte van het eindprodukt, een gemiddelde gloeirest van het slib en van het eindprodukt, is de af te voeren hoeveelheid water per hoeveelheid droge stof te berekenen. In figuur 5 is de hoeveelheid af te voeren water weergegeven als functie van het drogestofgehalte van het slib. Als gewenst drogestofgehalte van het eindprodukt is 70% aangehouden. Aangenomen is dat het organisch stofgehalte van het slib tijdens het composteringsproces afneemt van 50% tot 35% van de droge stof van het eindprodukt.

proef	d.s.- gehalte slib (%)	organische stofge- halte slib % van d.s.	theore- tisch		gerealiseerd	
			vocht- afvoer kg water/ kg d.s. slib*	d.s.- gehalte eindprodukt %	organische stofgehalte eindprodukt % van d.s.	vocht- afvoer kg water/ kg d.s. slib
HUSA	34	34	1,52	56	20	0,60
HUSB	34	34	1,52	59	20	0,74
DOM1	27	64	1,92	72	35	1,98
DOM2	29	63	1,89	69	33	1,57
ZOG1	23	64	2,66	37	55	1,42
ZOG2	18	77	3,55	36	77	2,71
ZOG3	17	77	3,88	59	50	3,74
ZOG4	17	79	4,02	74	40	4,30
ZOG5	17	79	4,02	64	39	3,88
ZOG7	18	76	3,78	61	43	3,60
ASHHZ(1)	15	60	4,80	49	37	3,84
ASHHB(1)	15	60	4,80	46	56	3,68
ASHHZ(2)	15	74	4,90	56	56	3,66
ASHHB(2)	15	74	4,90	56	54	4,06
USHHZ	28	56	1,91	50	46	1,33

Tabel 4. Drogestofgehalten, gehalten organische stof, de theoretische vochtafvoer (\*) en de gerealiseerde vochtafvoer

\* voor een gewenst drogestofgehalte van 70% van het eind-  
produkt met een gehalte organische stof van 35%

Per proef werd de berekening herhaald waarbij nu in de formule de gerealiseerde waarden voor de gehalten aan drogestof en organische stof werden ingevuld. De resultaten zijn eveneens weergegeven in figuur 3. Als het drogestofgehalte van het eindprodukt van een proef lager is dan de gewenste 70% en het gehalte aan organische stof in het eindprodukt hoger is dan 35% - hetgeen betekent dat de afbraak van organische stof dus minder is geweest - zal dus minder vocht zijn afgevoerd dan de theoretische hoeveelheid.

Dit verklaart de afwijkingen van de gerealiseerde vochtafvoer ten opzichte van de theoretisch benodigde vochtafvoer.

In tabel 4 zijn de drogestofgehalten, de gehalten organische stof van begin- en eindprodukt weergegeven.

Uit de tabel blijkt dat slechts bij twee proeven het gewenste drogestofgehalte van het eindprodukt werd verkregen (DOM1 en ZOC4). De vochtafvoer berekend aan de hand van het gerealiseerde eindprodukt, was daarbij gelijk of iets meer dan theoretisch benodigd. Dit stemt overeen met de iets hogere gehalten aan droge stof in het eindprodukt.

Bij een drogestofgehalte van het eindprodukt van ongeveer 60% was de gerealiseerde vochtafvoer 2% minder dan de theoretisch benodigde (ZOC 3,5 en 7).

Bij de overige proeven was de gerealiseerde vochtafvoer aanzienlijk kleiner dan de theoretisch benodigde. Dit leidde tot lagere drogestofgehalten van het eindprodukt. Uitzondering hierop zijn de proeven HUSA en HUSB waarvan de eindprodukten een drogestofgehalte hadden van meer dan 55%.

#### 4.2.5 luchtbehoefte

Luchttoevoer is noodzakelijk voor:

- de biologische oxydatie;
- de afvoer van vocht.

De afvoer van vocht is in deze maatgevend.

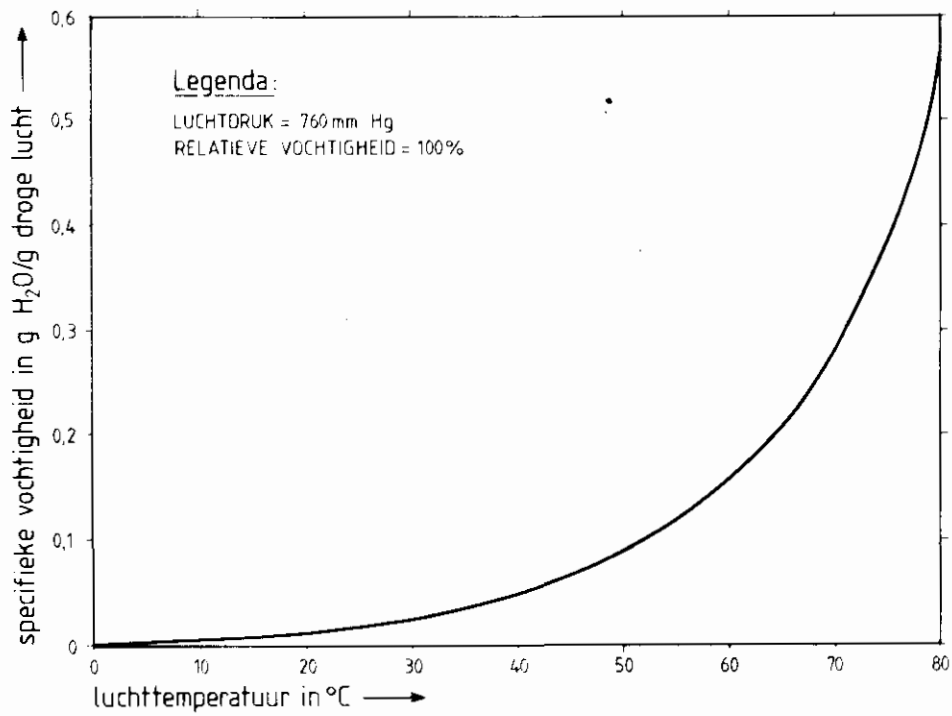
Het vocht uit een te composteren mengsel moet worden afgevoerd via verdamping. De afvoer is afhankelijk van de temperatuur, de (lucht) druk en de relatieve vochtigheid van de omringende lucht.

Het verband tussen de vochtopname in lucht en de temperatuur is weergegeven in figuur 6. Bij een verschil in temperatuur van de aangevoerde lucht en de lucht binnen de stapeling van minimaal 25°C, is de invloed van de relatieve vochtigheid van de aangevoerde lucht verwaarloosbaar.

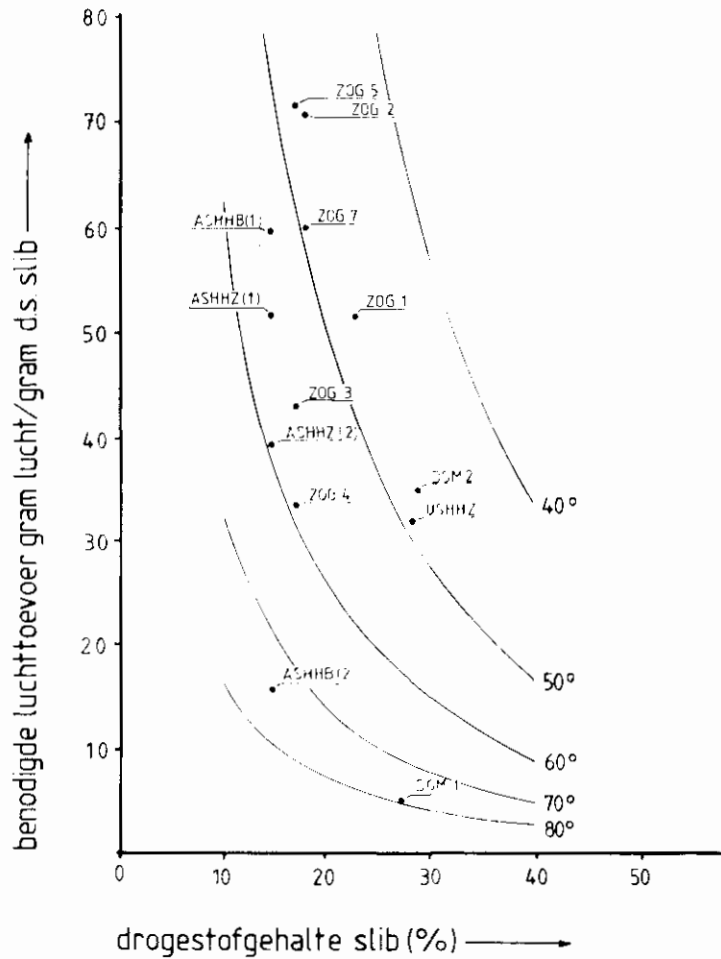
Voor de benodigde luchtbehoefte is door Haug' een benadering gemaakt op basis van de volgende uitgangspunten:

- gewenst drogestofgehalte van het eindprodukt: 70%;
- gewenste gehalte aan organische stof in het eindprodukt: 35%;
- temperatuur van de lucht in de stapeling is gelijk aan de temperatuur van de afvoerlucht;
- temperatuur van de aangevoerde lucht: 20°C.

Bij vijf verschillende temperaturen van de lucht in de stapeling, - 40°C, 50°C, 60°C, 70°C en 80°C - is de theoretisch benodigde luchthoeveelheid berekend. In figuur 7 is de theoretisch benodigde luchthoeveelheid weergegeven als functie van het drogestofgehalte van het slib.



Figuur 6. Specifieke vochtigheid in lucht als functie van de temperatuur



Figuur 7. Luchtbehoefte als functie van drogestofgehalte slib

proef	d.s.s %	gew. d.s.s	gemiddelde temperatuur		theoretisch			gerealiseerd	
			stapelng	omgeving	g.lucht	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> (x10 <sup>3</sup> )	g.lucht	zeef- baar- heid
					g.d.s.s	(x10 <sup>3</sup> )		g.d.s.s	
HUSA	34	17,0	55	20	18	250	*	-	*
HUSB	34	17,0	60	20	12	167	*	-	*
DOM1	27	42,9	70	10	9	321	167	5	s
DOM2	29	7,3	60	10	16	97	219	36	s
ZOG1	23	6,8	43	4	72	408	291	51	s
ZOG2	18	4,6	54	7	45	172	270	70	s
ZOG3	17	4,3	55	8	47	168	154	43	g
ZOG4	17	5,3	57	11	38	168	144	33	m/s
ZOG5	17	3,7	45	13	85	262	221	72	s
ZOG7	18	5,9	47	18	85	418	293	60	g
ASHHZ(1)	15	3,4	55	23	58	164	146	52	g
ASHHB(1)	15	3,3	50	23	75	206	135	49	g
ASHHZ(2)	15	2,7	60	5	38	86	89	40	g
ASHHB(2)	15	2,3	50	5	75	143	25	13	g
USHHZ	28	6,1	50	23	31	157	163	32	m/g

Tabel 5. Theoretisch benodigde en gerealiseerde luchttoevoer

\* = niet bekend      m = matig  
 - = niet berekend    g = goed  
 s = slecht

Uit dit door Haug' gegeven verband tussen de benodigde luchthoeveelheid en het drogestofgehalte van het slib is bij de gemiddelde temperatuur per proef de theoretisch benodigde hoeveelheid lucht bepaald. Deze zijn weergegeven in tabel 5 en in figuur 7. De gerealiseerde hoeveelheid toegevoerde lucht per proef is eveneens weergegeven.

Tussen de theoretisch benodigde hoeveelheid lucht en de gerealiseerde hoeveelheid bestaan duidelijke verschillen. Deze verschillen worden veroorzaakt door de volgende factoren:

- luchttoevoer heeft in het algemeen plaats gevonden op basis van het handhaven van een optimale temperatuurrange in de stapelingen van 50°C-55°C. Bij temperaturen lager dan de optimale werd geforceerde beluchting verminderd of gestopt. Aangezien meerdere factoren het temperatuurverloop beïnvloeden - zoals optimaal vochtgehalte en porositeit van een stapeling - zijn deze van invloed op de luchttoevoer;
- anderzijds kan luchttoevoer koeling veroorzaken waardoor de temperatuur afneemt en de vochtafvoer door verdampig vermindert. Bij de theoretische benadering is als uitgangspunt genomen dat de temperatuur van de afgevoerde lucht gelijk is aan de gemiddelde temperatuur van de lucht in de stapeling. De temperaturen van de omgevingslucht werden in de theoretische benadering aangenomen op 20°C. Beide temperaturen werden constant verondersteld tijdens de duur van de compostering.

Uit tabel 5 blijkt dat deze aannamen voor de temperaturen slechts voor een beperkt aantal proeven reëel zijn geweest. Bij lagere temperaturen van de lucht zal de vochttopnamecapaciteit kleiner worden. Om dezelfde hoeveelheid vocht af te voeren zal dus meer lucht moeten worden toegevoerd. Als men meer lucht per tijdseenheid toevoert zal ook de temperatuur afnemen, waardoor de vochttopnamecapaciteit van de lucht kleiner wordt.

Bij het merendeel van de proeven is echter minder lucht toegevoerd dan theoretisch benodigd. Dit heeft geresulteerd in onvoldoende vochtafvoer en een lager drogestofgehalte van het eindproduct dan werd aangenomen bij de bepaling van de theoretisch benodigde luchthoeveelheid.

Buiten beschouwing is gelaten de afvoer van vocht via natuurlijke ventilatie. Wanneer deze gekwantificeerd zou (kunnen) worden, zal het verschil tussen de theoretisch benodigde en de gerealiseerde luchttoevoer kleiner zijn.

Er is naast het temperatuurverloop tijdens het proces en het droge-stofgehalte van het eindprodukt geen procesparameter op basis waarvan kan worden beoordeeld in hoeverre de gerealiseerde luchttoevoer toereikend is geweest voor het verkregen eindprodukt<sup>9,10</sup>.

Aangenomen mag echter worden dat de mate waarin vochtafvoer heeft plaatsgevonden bepalend is voor de zeefbaarheid van het gecomposteerde materiaal. In tabel 5 is de zeefbaarheid kwalitatief aangegeven.

Uit de kwalitatieve waardering kan worden geconcludeerd dat de proeven waarin een tweede -porositeitverhogend- toeslagmateriaal werd toegepast goed zeefbaar waren ondanks dat de gerealiseerde luchttoevoer minder was dan theoretisch berekend. Hieruit wordt geconcludeerd dat de vochtafvoer via natuurlijke ventilatie in deze proeven van een grotere betekenis is geweest dan bij de overige proeven.

#### 4.2.6 weerstandsverliezen beluchtingsbuizen

---

Voor het dimensioneren van een ventilator is naast de capaciteit inzicht nodig in de te verwachten weerstandsverliezen welke resulteren in een drukverlies van de ventilator.

De weerstandsverliezen treden op als gevolg van:

- stroming van de lucht door de stapeling;
- stroming van lucht door beluchtingsbuizen;
- stroming door bochten en afsluiters;
- in- en uittreeverliezen;
- stroming door het compostfilter.

De weerstandsverliezen als gevolg van stroming van lucht door een stapeling kunnen volgens literatuurgegevens<sup>1,2</sup> worden benaderd door:

$$\Delta p = C_p H^j V^n \quad (11)$$

Hierin is:

- $\Delta p$  = weerstandsverlies (cm w.k.);
- $C_p$  = constante, afhankelijk van de structuurkarakteristiek van een stapeling (dimensieloos);
- $H$  = hoogte stapeling (m);
- $V$  = intree/uittreesnelheid (m/minuut);
- $j$  = exponent voor de hoogte van stapeling;
- $n$  = exponent voor de in/uittreesnelheid van de lucht.

Met de intree/uittreesnelheid wordt hier bedoeld het quotiënt van het gemiddelde debiet en het grondoppervlak waarlangs lucht wordt aan- en afgevoerd.

De constante  $C_p$  en de exponenten  $j$  en  $n$  zijn experimenteel bepaald uit proeven van Higgins<sup>1,2</sup> en weergegeven in tabel 6.

Met behulp van formule 11 kan niet alleen het weerstandsverlies over een stapeling worden benaderd, maar ook het weerstandsverlies over een compostfilter.

Voor de beluchting van een stapeling wordt meestal gebruik gemaakt van geperforeerde kunststof- of metalen buizen.



Volumetric Mix Ratio Wood Chip:Sludge	Coefficients*		
	$C_p$	$j$	$n$
2:1	$1.02 \times 10^{-1}$	1.05	1.61
3:2	$1.59 \times 10^{-1}$	1.30	1.63
1:1	$5.03 \times 10^{-1}$	1.47	1.47
1:2	$1.43 \times 10^{-1}$	1.41	1.48
Fresh Wood Chips	$3.13 \times 10^{-2}$	1.08	1.74
Recycled Screened Wood Chips	$9.74 \times 10^{-1}$	1.54	1.39
Final Compost Material	$3.61 \times 10^{-1}$	1.66	1.47

\*Average  $C_p$ ,  $n$ , and  $j$  values from five mixers with three replicate analyses.

$$\Delta P = C_p H^m V^n \text{ Airflow Equation for Pressure Loss}$$

Tabel 6. Experimentele waarden voor  $C_p$ ,  $j$  en  $n$ <sup>1,2</sup>

De buizen hebben een constante diameter terwijl de perforaties waar- door lucht wordt toe- of afgevoerd volgens een regelmatig patroon zijn aangebracht.

Door Steele en Shove<sup>1,8</sup> zijn op basis van een mathematisch model grafieken opgesteld met behulp waarvan het luchtdebiet, het statisch drukverlies en de stromingsverdeling kunnen worden bepaald.

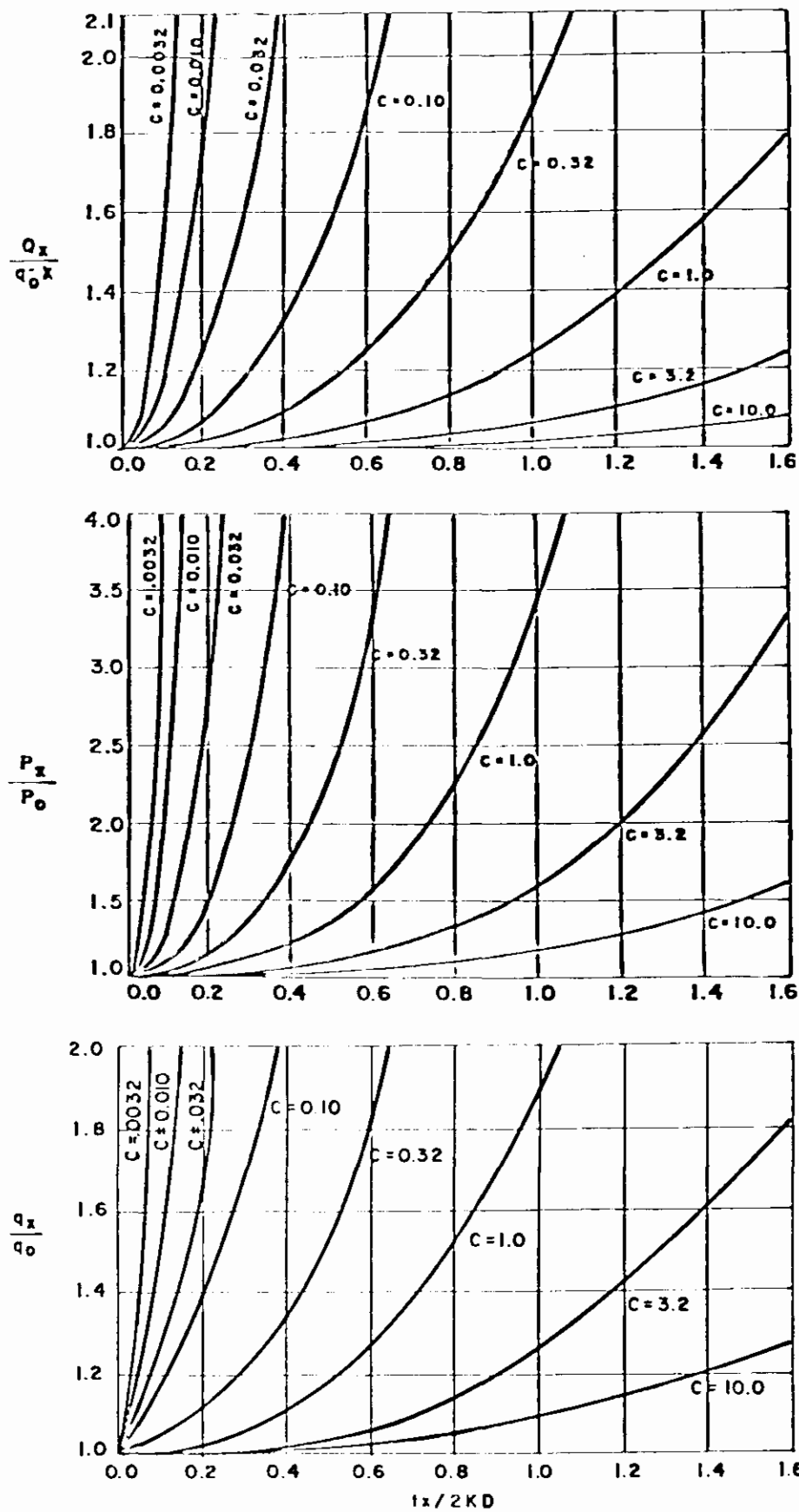
Voor het gebruik van de grafieken moeten de volgende kentallen wor- den berekend:

$$C_v = \left( \frac{1}{64} \right) \left( \frac{1}{K_p^2 K^3} \right) \left( \frac{f A_s}{A_p} \right)^2 \quad (12)$$

$$C_c = \frac{f \cdot x}{2 \cdot K \cdot D} \quad (13)$$

Hierin is:

- $C_c$  = contractiecoëfficiënt;
- $C_v$  = verdelingscoëfficiënt;
- $K_p$  = meetflenscoëfficiënt, volgens Steele en Shove = 0,6;
- $K$  = snelheidshoogteconstante, volgens Steele en Shove = 1,7 voor onderdrukbeluchting en 1,5 voor drukbeluchting;
- $A_s$  = totaal wandoppervlak per beluchtingsbuis per eenheid van lengte ( $m^2/m$ );
- $A_p$  = oppervlak van de perforaties per eenheid van lengte ( $m^2/m$ );
- $f$  = wrijvingsfactor volgens Moody (dimensieloos);
- $x$  = leidinglengte (m);
- $D$  = leidingdiameter (m);
- $q$  = debiet door de perforaties per eenheid van leidinglengte ( $m^3/m$  per minuut);
- $q_0$  = debiet door de perforaties per eenheid van leidinglengte bij  $x$  = maximaal;
- $q_x$  = debiet door de perforaties per eenheid van leidinglengte op afstand  $x$ ;
- $Q$  = debiet door de leiding ( $m^3/min$ );
- $Q_0$  = debiet door de leiding op afstand  $x$ .



Figuur 8. Totale stromingsverdeling, verdeling van de statische druk en aanvoerverdeling bij onderdrukventilatie in geperforeerde buizen met constante diameter en constant oppervlak van de perforaties per eenheid van buislengte

Bij het gebruik van de grafieken worden de volgende opmerkingen gemaakt. De verdelingscoëfficiënt wordt in belangrijke mate bepaald door de verhouding tussen het oppervlak van de buiswand en het oppervlak van de in de buiswand aangebrachte perforaties.

Wanneer een waarde voor de verdelingscoëfficiënt niet kan worden afgelezen bij de overeenkomstige waarde voor de contractiecoëfficiënt, is dit indicatie dat geen gelijkmatige stromingsverdeling bestaat en dat dicht bij de ventilator meer lucht wordt aangezogen dan aan het einde van een beluchtingselement. Om een betere verdeling te bewerkstelligen zou de diameter van de leiding kunnen worden vergroot of het aantal perforaties per strekkende meter worden verminderd. Hierdoor neemt de verdelingscoëfficiënt toe.

Krijgt  $p_x$  een waarde die ongeveer gelijk is aan nul, dan betekent dit dat de druk aan het einde van de leiding nagenoeg nihil is. De luchttransporten zullen dan op een afstand  $x$  van de ventilator aanzienlijk kleiner zijn dan vlakbij de ventilator. Van een gelijkmatige debietverdeling kan worden gesproken wanneer  $q_x$  de waarde van  $q_0$  benadert.

Voor de bepaling van het luchtdebiet, de stromingsverdeling en de drukverdeling is een voorbeeldberekening uitgevoerd. De resultaten daarvan zijn weergegeven in tabel 7.

drukverlies veroorzaakt door	onderdrukbeluchting (mm w.k.)
mengsel	3,20
inbedding	0,03
afdeklaag	0,84
perforaties	116,00
aansluitleidingen	12,00
compostfilter	104,60
Totaal	236,67

Tabel 7. Samenvatting berekeningen

Uit deze berekeningen blijkt dat het grootste aandeel van de drukverliezen (aan de zuigzijde van de ventilator) wordt veroorzaakt door de stroming van lucht door de perforaties<sup>9,15</sup>. Aan de perszijde van de ventilator wordt een extra drukverlies veroorzaakt door het compostfilter. Drukverliezen in de leidingen kunnen toenemen door de aanwezigheid van condens in de beluchtingsleidingen. Uit de literatuurgegevens<sup>11,12</sup> blijkt dat de aanwezigheid van condens een reductie van het debiet van 30% tot 40% kan hebben.

Uit de in Nederland uitgevoerde praktijkproeven zijn slechts globale drukverliezen bekend. Deze zijn weergegeven in tabel 8.

Uit de tabel blijkt dat bij de proeven van de STORA waarin een porositeitverhogend toeslagmateriaal werd toegepast de weerstandsverliezen liggen tussen 200 en 300 mm w.k. bij onderdrukbeluchting. Het daarbij behorende debiet varieerde van 460 tot 535 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

De variatie in drukverliezen in de proeven<sup>14</sup> van het Waterschap de Dommel worden door de opstellers van het rapport geweten aan afnemende porositeit van de stapeling. In deze proeven is ook gebruik gemaakt van biofilters. Bij de proef ASHHZ(2) waar ook een biofilter werd toegepast was de weerstand hoger dan bij de proeven waar geen filter werd toegepast.

proef	beluchtingsvorm	
	onderdruk	druk
	drukverlies mm w.k.	drukverlies mm w.k.
EEM 1	40-120 (67)	-
	360-400 (223)	-
EEM 2	90-125	-
	450-570 (240)	200 (185)
ASHHZ (1)	200-225* (525)	-
ASHHB (1)	-	120-140
ASHHZ (2)	240-380	-
ASHHB (2)	-	80
USHHB	190-280*	-

Tabel 8. Gemeten drukverliezen ventilatoren

\* zie tabel 7 voor toelichting

Uit tabel 8 blijkt dat de drukverliezen bij drukbeluchting 40% tot 50% lager liggen dan bij onderdrukbeluchting. Door Higgins<sup>8</sup> wordt berekend dat het totaal drukverlies bij drukbeluchting ongeveer 10% tot 15% van de drukverliezen bij onderdrukbeluchting bedraagt. Vergelijken met de gemeten drukverliezen zoals weergegeven in tabel 8 blijkt echter de berekening van Higgins voor de drukverliezen bij drukbeluchting te optimistisch. Uit literatuurgegevens<sup>9, 2</sup> en de praktijkproeven blijkt dat een systeem gedimensioneerd op onderdrukbeluchting qua luchtvoorziening ruimschoots zal voldoen wanneer drukbeluchting wordt toegepast.

## 4.2.7 Conclusies

Op basis van literatuurgegevens is een materiaalbalans samengesteld met behulp waarvan een theoretische mengverhouding tussen slijb en vochtregulerend toetslagmateriaal kan worden afgeleid op basis van de natte en droge gewichten van deze materialen.

Is een mengverhouding bekend, dan kan de vochtinhoud worden berekend. Om door compostering een produkt te verkrijgen met een gewenst drogestofgehalte moet vocht worden afgevoerd. De afvoer van vocht vindt plaats via verdamping naar de lucht welke uit een te composteren mengsel wordt afgevoerd via ventilatie.

Deze ventilatie vindt plaats op natuurlijke wijze en door middel van ventilatoren. De theoretisch benodigde ventilatie voor de afvoer van vocht is op basis van de materiaalbalans berekend.

Uit de werkelijk aan de proeven toegevoerde hoeveelheid lucht is berekend wat de afvoercapaciteit van de lucht (bij benadering) is geweest, waarna een vergelijking is gemaakt tussen de theoretisch benodigde en gerealiseerde ventilatie.

De theoretische toetslagfactor op basis van het nat gewicht blijkt, met uitzondering van drie proeven, in de praktijk niet gerealiseerd. De uit de gerealiseerde toetslagfactoren berekende drogestofgehalten van te composteren mengsels zijn 5% tot 40% lager dan het theoretisch gewenste drogestofgehalte van 40%. Het in de literatuur veronderstelde lineaire verband tussen het drogestofgehalte van het

slib en de toeslagfactor is door de proeven niet bevestigd. Er is eveneens geen duidelijke relatie aangetoond voor het verband tussen het drogestofgehalte van het toeslagmateriaal en de toeslagfactor op basis van het nat gewicht.

Voor drie proeven waarbij een toeslagfactor werd gerealiseerd welke groter was dan de theoretisch benodigde, overschrijden de gerealiseerde drogestofgehalten voor het mengsel het theoretisch beoogde drogestofgehalte van 40%.

Voor de theoretische toeslagfactor op basis van het droog gewicht kunnen soortgelijke conclusies worden getrokken. De theoretische toeslagfactor wordt slechts bij drie proeven overschreden met als gevolg een hoger drogestofgehalte van het mengsel. Bij de overige proeven werd een beduidend lagere toeslagfactor gerealiseerd, lager zelfs dan theoretisch nodig was bij een drogestofgehalte van het toeslagmateriaal van 70%.

De afwijkingen tussen de gerealiseerde toeslagfactoren en de theoretisch benodigde hangen samen met de praktijkomstandigheden waarbij mengverhoudingen op basis van het volume zijn toegepast. Worden alleen vochtregulerende toeslagmaterialen als houtsnippers, houtkrullen en compost gebruikt dan blijkt de gerealiseerde toeslagfactor op basis van het volume gemiddeld 2,2 te bedragen. Wordt daarnaast porositeitverhogend toeslagmateriaal toegepast dan neemt de toeslagfactor toe tot gemiddeld 3,3.

Uit het temperatuurverloop van de diverse proeven blijkt dat, ook al werden de theoretisch benodigde toeslagfactoren niet gerealiseerd, toch de gewenste temperaturen van 50°-55°C werden bereikt. Daaruit wordt geconcludeerd dat als de theoretische toeslagfactor op basis van nat of droog gewicht niet wordt gerealiseerd, dit niet hoeft te betekenen dat het composteringsproces zich niet kan voltrekken.

Door middel van een vochtbalans is de theoretische vochtafvoer berekend voor het verkrijgen van een eindprodukt met een drogestofgehalte van 70% en een gehalte aan organische stof van 35%.

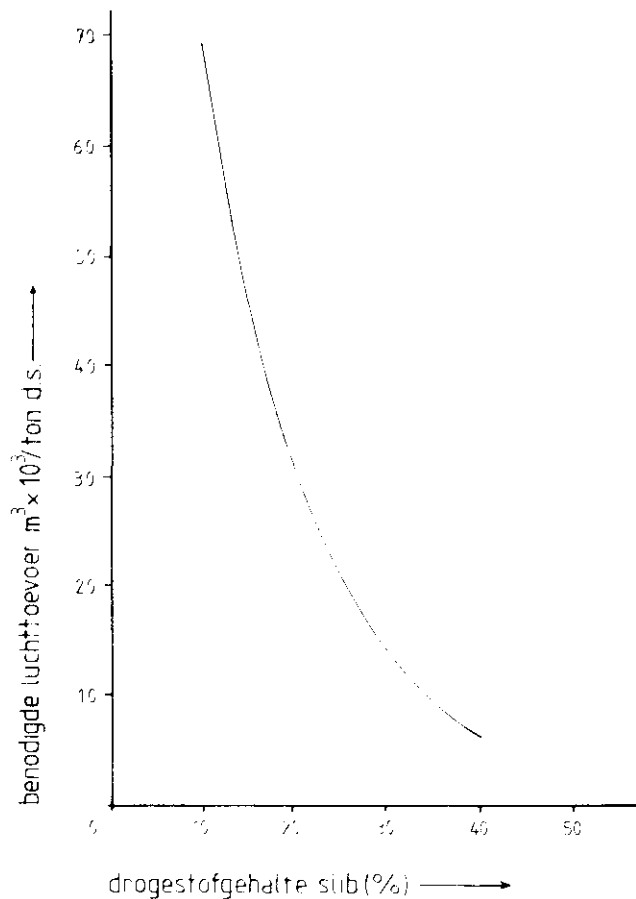
Uit de gerealiseerde drogestofgehalten en de gehalten aan organische stof van de eindprodukten is de mate waarin vochtafvoer heeft plaatsgevonden berekend. De drogestofgehalten van de eindprodukten lagen daarbij beneden het gewenste percentage van 70%. Slechts bij drie proeven was het drogestofgehalte van het eindprodukt ongeveer 70%. Hieruit werd berekend dat bij deze proeven de gerealiseerde vochtafvoer minimaal gelijk is geweest aan de theoretisch benodigde vochtafvoer.

De afvoer van vocht wordt verondersteld alleen via de geforceerde ventilatie plaats te hebben gevonden. Op basis van de theoretisch benodigde vochtafvoer is berekend hoeveel lucht moet worden toegevoerd bij een constante (lucht)temperatuur in de stapelingen van 50°C en een constante temperatuur van de aangevoerde lucht van 20°C. Uit de gerealiseerde luchttoevoer bij de gemiddeld optredende temperaturen per proef en de gerealiseerde vochtafvoer zijn de gerealiseerde gewichtshoeveelheden lucht per gewichtshoeveelheid drogestof berekend.

Aan zes proeven bleek meer lucht te zijn toegevoerd dan theoretisch nodig was om een eindprodukt te krijgen met een drogestofgehalte van 70%. Gerelateerd aan de zeefbaarheid van het eindprodukt bleek dit echter maar voor twee proeven van mogelijk positieve invloed. Aan de overige proeven welke goed zeefbaar bleken, werd minder lucht toegevoerd dan de theoretisch benodigde hoeveelheid.

De luchttoevoer door natuurlijke ventilatie is buiten beschouwing gelaten. Van proef ASHHB(2), uitgevoerd onder een overkapping, wordt verondersteld dat de bijdrage van natuurlijke ventilatie aanzienlijk geweest is.

Als indicatie voor het bepalen van de ventilatorcapaciteit kan gebruik worden gemaakt van figuur 9, waarin een globaal verband wordt weergegeven tussen het drogestofgehalte van het te composteren slib en de benodigde hoeveelheid lucht per ton droge stof. Deze figuur is het resultaat van regressie van de theoretisch benodigde en de gerealiseerde luchttoevoer en geldt dus voor temperaturen in de stapeling tussen 45°C en 70°C.



Figuur 9. Benodigde hoeveelheid lucht

De weerstandsverliezen in beluchtingsbuizen en stapeling kunnen worden benaderd volgens de rekenmethode van Higgins. Uit de praktijkproeven blijkt dat de weerstand als gevolg van stroming van lucht, afhankelijk van het debiet, kan variëren tussen 40 en 570 mm w.k.

De grootste weerstand, resulterend in het grootste drukverlies, wordt veroorzaakt door de stroming door de perforaties in de beluchtingsleidingen. Een biofilter veroorzaakt eveneens een weerstandsverlies. Bij drukbeluchting is de drukverdeling meer gelijkmatig verdeeld in de buizen en de stapeling hetgeen resulteert in een minder grote weerstand over de perforaties.

ZwarTEGRONDBEREIDING kan in het kader van dit rapport worden gedefinieerd als een methode om uit zuiveringsslib een produkt te bereiden dat een geschikt groeimedium voor planten vormt. In de praktijk betekent dit dat het slib gemengd moet worden met toeslagstoffen om zowel fysisch als chemisch aan het criterium "geschikt groeimedium" te kunnen voldoen. De belangrijkste toeslagstoffen zijn van minerale aard (bijvoorbeeld zand), terwijl ook kleinere hoeveelheden van andere additieven kunnen worden gedoseerd, zoals specifieke meststoffen.

Uit de ervaringen, opgedaan met de verwerking van zuiveringsslib tot zwarte grond, kan worden afgeleid dat nagenoeg alle soorten slib zoals die in Nederland worden geproduceerd zich lenen voor deze verwerkingsvorm.

De consistentie van het slib (vloeibaar, steekvast, afhankelijk van het drogestofgehalte van het slib) en de wijze waarop een eventuele ontwatering is gerealiseerd, kan beperkingen opleggen aan de keuzemogelijkheden voor zwarteGRONDBEREIDING; in alle gevallen is verwerking echter mogelijk.

Een faktor, welke wel als limiterend kan worden beschouwd, is de stabilisatiegraad van het slib. Aangezien zwarteGRONDBEREIDING een activiteit is, waarbij natuurlijke processen als droging door zon en wind, aërobe afbraak van organische stof en structuurvorming van essentieel belang zijn, dienen er optimale omstandigheden voor deze natuurlijke processen te worden gecreëerd. Dit betekent dat de bereidingsprocessen een beperkte laagdikte en derhalve een relatief groot oppervlak vereisen waarbij het nagenoeg niet mogelijk is om emissies naar de omgeving, bijvoorbeeld in de vorm van stank, tegen te gaan. Derhalve moet het ontstaan van stank worden voorkomen. Dit kan worden gerealiseerd door uitsluitend slib te verwerken, dat voldoende gestabiliseerd is.

Het is gebleken dat de bereidingsprocessen, die zijn ontwikkeld om uit zuiveringsslib een goede teelaarde te bereiden, ook kunnen worden toegepast om van een moeilijk hanteerbaar zuiveringsslib (bijvoorbeeld slib dat, na chemische conditionering, met een zeefbandpers gedeeltelijk is ontwaterd) een produkt te bereiden dat op een stortplaats verwerkbaar is. Het criterium "geschikt groeimedium" wordt dan vervangen door "verwerkbaarheid". Dit betekent in het algemeen een mengsel dat veel rijker is aan zuiveringsslib, of anders gezegd, een mengsel met relatief weinig toeslagstoffen. Vanwege de overeenkomst in verwerkingsmethode wordt ook in dit geval gesproken van zwarteGRONDBEREIDING.

De keuze voor het toe te passen systeem wordt met name bepaald door het drogestofgehalte van het slib en de eventueel toegepaste voorbehandeling. Indien het uitgangsprодукt uit vloeibaar zuiveringsslib bestaat, is de zwarteGRONDBEREIDING primair als een ontwateringsmethode te beschouwen. Het gevolg hiervan is dat grote volumina slib verwerkt moeten worden, in een vorm waarin het slib nog verpompbaar en versproeibaar is. In de praktijk wordt in deze gevallen gebruik gemaakt van de volgende methoden:

- injecteren van zuiveringsslib;
- versproeien op bedden met toeslagmateriaal.

Van ontwaterd slib met een drogestofgehalte van minimaal 15% (mechanisch of natuurlijk) worden weliswaar geringere volumina verwerkt, de verwerkbaarheid kan echter specifieke eisen aan de toe te passen apparatuur stellen.

Om de fittelijke zwartegrondbereiding te kunnen realiseren, is voor het bereiden van een homogeen mengsel een zeer intensieve menging noodzakelijk. Gebleken is dat dit zowel met speciale mengmolens kan gebeuren, maar dat ook een normale landbouwfrees zich uitstekend leent voor dit doel. Tijdens het proces van rijping, waarbij sprake is van ontwatering en afbraak van organische stof kan een maximale laagdikte van het slib-toeslagstofmengsel van circa 0,20 m worden toegepast; een grotere laagdikte leidt tot anaërobie in het mengsel, waardoor het rijpingsproces sterk vertraagd wordt.

Om een goed verlopend rijpingsproces te verkrijgen, kan meestal niet direkt de eindmengverhouding worden verkregen; het zuiveringsslib wordt in een aantal charges aan het toeslagmateriaal toegevoegd en intensief gemengd. Indien er sprake is van vloeibaar slib, blijkt een laagdikte van de slibdoseringen van 2 a 3 cm toepastbaar; bij ontwaterd zuiveringsslib bedraagt deze laagdikte 3 a 4 cm per charge. Het aantal charges wordt bepaald door de samenstelling van het slib, de aard van de toeslagstoffen en de eisen die aan het eindprodukt worden gesteld.

Hierbij kunnen de volgende indicaties worden gegeven. Indien men uit vloeibaar zuiveringsslib een redelijke teelaarde (circa 6% organische stof) wil bereiden, moet door een laag zand met een dikte van 20 cm een laagdikte van circa 1 m zuiveringsslib (d.s. 1%) gemengd worden. Hiervoor zijn circa 40 doseringen noodzakelijk. Kenst men uit steekvast ontwaterd zuiveringsslib een goed groeimediam te maken, dan zijn circa 5 charges met een laagdikte van telkens 4 cm nodig; indien men het aantal doseringen opvoert tot 9 a 10, ontstaat een produkt dat niet meer als teelaarde kan worden gebruikt, maar nog wel verwerkbaar is op een stortplaats.

Zwartegrondbereiding is een relatief langdurig proces; onder optimale omstandigheden moet worden gerekend op 3 a 4 maanden, terwijl de zwartemijn kan sfilopen tot circa 1 jaar, wanneer het zand de (warme) omstandigheden ongunstig zijn.

Zwartegrondbereiding is, althoos van slibverwerking zwaar op kleine als grote schaal uitvoerbaar, ervan uitgaande dat men een voldoende oppervlak beschikt. Bij een kleine bedrijfsomvang kan periodiek het benodigde materiaal worden gemind (loonwerker), terwijl het bij een grote verwerkingscapaciteit aantrekkelijk kan zijn om met materieel in eigen beheer te werken.

Belangrijk is met name de nood aan flexibiliteit in de bedrijfsvoering wordt bereikt om ook onder ongunstige weersomstandigheden het afbaanlot te kunnen bewerkstelligen.

Indien steekvast ontwaterd slib wordt verwerkt tot zwartegrond, kan als kostenindicatie f. 25,- tot f. 30,- per ton droge stof slib worden genoemd, afhankelijk van het feit of er een stortbaar produkt of teelaarde bereid wordt. In geval van verwerking van vloeibaar slib worden de kosten geraamd op f. 30,- a f. 40,- per ton droge stof, afhankelijk van de mate van mechanisatie. Hierbij moet worden bedacht dat er in dit geval geen eisen voor voorontwatering zijn.

Er moet vanuit worden gegaan, dat locaties waar zuiveringsslib tot zwartegrond wordt verwerkt van een kunststoffolie worden voorzien om grondreiniging van de bodem en het grondwater te voorkomen.

Kostenrend kan worden gesteld dat vrijwel alle soorten zuiveringsslib tot zwartegrond (of anderszins afgeleide hiervan tot een stortbaar produkt) kunnen worden verwerkt.



De verwerkingsmethoden zijn eenvoudig van opzet en kunnen gemakkelijk worden opgeschaald, zodat zwartegrondbereiding bij kleine en grote slibproduktie haalbaar is.  
Het ruimtebeslag is echter aanzienlijk, terwijl relatief grote hoeveelheden eindprodukt afgezet moeten worden.

1. De Bertoldi, M., Comparison of three windrow compost systems, *Biocycle*, March/April, 1982.
2. Burge, W.D., Colacicco, D.S., Cramer, W.N., Criteria for achieving pathogen destruction during composting, *JWPCF* 53, 12:1983 e.v. 1983.
3. Bosma, A.H., Perdok, U.D., Poesse, G.J. De produktie van zwarte grond uit vloeibaar zuiveringsslib en grof zand met behulp van een frees, Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne.
4. Compostering van zuiveringsslib. Een strategische studie, Hoogheemraadschap van de uitwaterende sluizen in Kennemerland en Westfriesland, Edam 1984.
5. Compost en zwarte grond uit zuiveringsslib. 1. Systemen, technologie en ervaringen (inventarisatie), STORA, Rijswijk 1982.
6. Compost en zwarte grond uit zuiveringsslib. 2. Procesparameters en bedrijfsvorming (praktijkonderzoek), STORA, Rijswijk 1985.
7. Coppola, S., Composting van sludge in mixture with organic or inert bulking agents, Conference composting of solid wastes and slurries, Leeds, 1984.
8. De verwerking van zuiveringsslib, intern verslag proeven, Grontmij N.V. de Bilt, 1983.
9. Finstein, M.S. The Rutgers strategy for composting, process design and control, EPA/600/52-85/059, 1985.
10. Finstein, M.S. Composting ecosystem management for waste treatment, *Biotechnology*, vol. 1, no. 4, 1983.
11. Haug, R.T., *Compostengineering*, Ann Arbor Science, Michigan, 1980.
12. Higgins, A.J., Ventilation for static pile composting, *BioCycle*, 23(4), 1982.
13. MacGregor, S.T., e.a. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature, *Applied environmental microbiology*, vol. 41, no. 6, 1981.
14. Man, A. de, *Slibcomposting*, Gemeenschappelijke Technologische dienst voor Oost-Brabant en Landbouwhogeschool, Wageningen, 1984.
15. Miller, F.C. e.a., Direction of ventilation in composting waste water sludge, *JWPCF*, 1982.
16. Nakasaki, K. e.a., Change in microbial numbers during thermophilic composting of sewage sludge with reference to CO<sub>2</sub> evolution rate, *Applied environmental microbiology*, vol. 49, 1985.

17. Rutte Recycling, mondelinge mededeling ir. J.G. ten Wolde.
18. Steele, J.L., Shove, G.C., Design charts for flow and pressure distribution in perforated air ducts, Transactions ASAE, p. 220, 1969.
19. Technisch Adviesbureau van de Unie van Waterschappen B.V., rapport 51016.03/R0-02, Deventer, 1984.
20. Zwarte grond uit steekvast zuiveringsslib, interne notitie zuiveringsschap Veluwe.

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

BIJLAGE 1

PRAKTIJKERVARINGEN  
COMPOSTERINGEN

1	HOOGHEEMRAADSCHAP VAN DE UITWATERENDE SLUIZEN IN KENNEMERLAND EN WESTFRIESLAND	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Beginmateriaal, toeslagmateriaal, systeemkeuze	1
1.3	Uitvoering	1
1.4	Procestechnologische parameters	2
1.5	Analyses en bepalingen	2
1.6	Waarnemingen	3
1.7	Globale kosten compostering	7
1.8	Conclusies uit de proeven van het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland	8
1.9	Compostering op praktijkschaal	9
2	WATERSCHAP DE DOMMEL	10
2.1	Algemeen	10
2.2	Beginmateriaal, toeslagmateriaal, systeemkeuze	10
2.3	Uitvoering	10
2.4	Procestechnologische parameters	13
2.5	Analyses en bepalingen	13
2.6	Waarnemingen	13
2.7	Conclusies uit de proeven van het Waterschap De Dommel	18
3	ZUIVERINGSSCHAP OOSTELIJK GELDERLAND	20
3.1	Algemeen	20
3.2	Beginmateriaal, toeslagmateriaal, systeemkeuze	20
3.3	Uitvoering	23
3.4	Procestechnologische parameters	24
3.5	Analyses en bepalingen	24
3.6	Waarnemingen	25
3.7	Conclusies uit de proeven van het Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland	32
3.8	Voortgang composteringsonderzoek en uitvoering compostering op praktijkschaal	33
4	GRONTMIJ N.V.	34
4.1	Algemeen	34
4.2	Beginmateriaal, toeslagmateriaal, systeemkeuze	34
4.3	Uitvoering	34
4.4	Analyses en bepalingen	36
4.5	Waarnemingen	36
4.6	Conclusies uit de proeven van de Grontmij n.v.	40
5	STICHTING TOEGEPAST ONDERZOEK REINIGING AFVALWATER	41
5.1	Algemeen	41
5.2	Beginmateriaal, toeslagmateriaal, systeemkeuze	41
5.3	Uitvoering	42
5.4	Procestechnologische parameters	45
5.5	Analyses en bepalingen	45
5.6	Waarnemingen	46
5.7	Conclusies uit de proeven van STORA	59

# 1 HOOGHEEMRAADSCHAP VAN DE UITWATERENDE SLUIZEN IN KENNEMERLAND EN WESTFRIESLAND

## 1.1 Algemeen

In het kader van een door het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland uitgevoerd onderzoek naar compostering als verwerkingsmethode voor zuiveringsslib zijn drie praktijkproeven uitgevoerd. Doel van deze proeven was inzicht te verkrijgen in:

- de praktische uitvoerbaarheid;
- het verloop van het composteringsproces;
- de samenstelling van het eindprodukt in relatie tot de samenstelling van het beginmateriaal.

De proeven zijn uitgevoerd op het terrein van de rwzi Wervershoof in de zomerperiode van 1982.

De gegevens van de proeven en de proefresultaten zoals hieronder weergegeven zijn ontleend aan literatuur 4.

## 1.2 Beginmateriaal, toeslagmateriaal, systeemkeuze

Compostering heeft plaatsgevonden volgens het principe van de statische methode.

Als beginmateriaal werd gebruik gemaakt van aëroob gestabiliseerd slib, ontwaterd in lagunes tot een drogestofgehalte van 36% en een organische stofgehalte van 34%. Uitgevoerd zijn drie proeven waarbij het toeslagmateriaal werd gevarieerd. Een overzicht van de beginmaterialen van de uitgevoerde proeven is weergegeven in tabel 1.

Als toeslagmaterialen zijn toegepast:

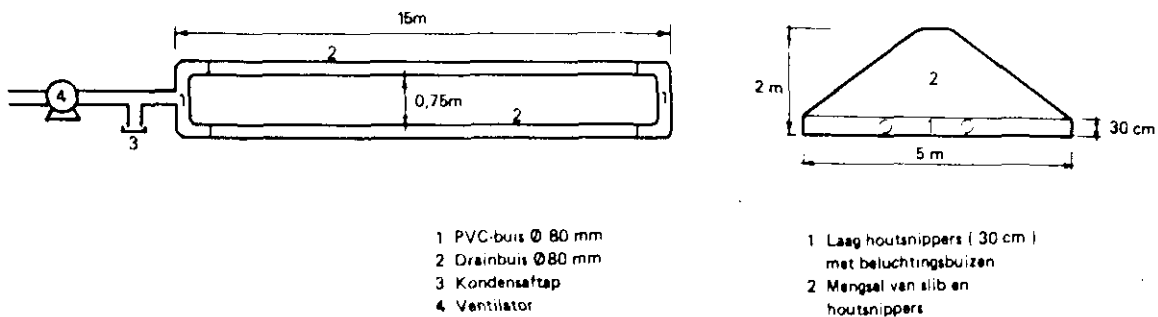
- in proef A: gesnipperd esenhout; mengverhouding op volumebasis 1:1;
- in proef B: ruwe compost; mengverhouding op volumebasis tussen slib: ruwe compost: toeslagmateriaal = 3:4:4,3.  
Bovendien wordt bij deze proef 10 m<sup>3</sup> drijfslagvet toegevoegd;
- in proef C: tarwestro; mengverhouding op volumebasis 1:1.

## 1.3 Uitvoering

Vijftig m<sup>3</sup> zuiveringsslib werd met behulp van een wiellaadschop gemengd met vijftig m<sup>3</sup> houtsnippers. Dit mengsel werd op een ondergrond van houtsnippers gebracht. Deze ondergrond met een laagdikte van 0,30 m was aangebracht op de beluchtingsbuizen. Voor de beluchtingsbuizen werd gebruik gemaakt van drainbuizen met kokosomhulsel met een diameter van 0,08 m. De beluchtingsbuizen werden in een rechthoekige vorm geplaatst; de ruimte tussen de buizen bedroeg 0,75 m.

De stapeling boven de beluchtingsbuizen kreeg een driehoekige dwarsdoorsnede met een basis van 5,0 m en een totaal hoogte (inclusief de ondergrond) van 2,0 m (figuur 1).

Beluchting vond plaats met overdrukventilatie waarbij de ventilator door middel van een tijdschakelklok werd gestuurd. Continue beluchting vond plaats na aanvang van de proef. Na drie dagen werd de beluchting teruggebracht tot ongeveer 15 minuten per uur, om temperatuur daling tot onder de 50°C te voorkomen.



Figuur 1. Beluchtingssysteem proefopstelling

De stapelingen zijn niet afgedekt. Het toepassen van afdekcompost vanwege stankhinder en storende invloed van neerslag op het composteringsproces werd niet noodzakelijk geacht.

#### 1.4 Procestechnologische parameters

Bij de proeven is de ventilator geregeld op de temperatuur. De temperaturen werden gemeten op drie plaatsen in de stapeling: in het centrum met behulp van een permanent geplaatst thermokoppel, aan de zijkant van de stapeling 0,40 m boven het grondoppervlak en aan de top op een diepte van 0,30 m met een staafthermometer.

Tijdens het composteringsproces zijn drogestofbepalingen verricht van monsters uit de stapelingen. De monsters werden genomen met behulp van een grondboor.

#### 1.5 Analyses en bepalingen

Van het beginmateriaal en het eindproduct zijn de volgende analyses verricht:

- |  |           |
|--|-----------|
| - drogestofgehalte*                        | - zink    |
| - gloeiverlies*                            | - cadmium |
| - stikstof (Kj-N)                          | - nikkel  |
| - fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | - lood    |
| - kalium (K <sub>2</sub> O)                | - koper   |
| - calcium (CaO)                            | - chroom  |
| - magnesium (MgO)                          |           |
| - koolstof                                 |           |

De koolstofbepalingen zijn uitgevoerd met behulp van een CHN-analyse (detectie door middel van een kathodometer).

Om de mate van desinfectie als gevolg van het composteringsproces vast te stellen zijn Salmonellae, Escherichia coli en totaal coliformen bepaald.

\* In verband met spreading ten gevolge van heterogeniteit in drievoud.



## 1.6 Waarnemingen

Proef A werd gedurende drie dagen na aanvang continu belucht. Gedurende deze periode bleek alleen de temperatuur in het midden van de stapeling snel toe te nemen. Aan boven- en zijkant was de temperatuurtoename geringer. Vanaf dag 3 is de beluchting teruggebracht tot ventilatie gedurende 1 uur per 2 uur. Op dag 4 bedroeg de temperatuur in het centrum en in de top van de composthoop reeds 60°C, terwijl op punt 3 (zijkant), de temperatuur eveneens snel opliep. Het temperatuursverloop gedurende de eerste fase van het composteringsproces is weergegeven in figuur 2.

Na daling van de temperatuur op dag 17 is de beluchting gereduceerd tot doorblazing gedurende 30 minuten per 2 uur.

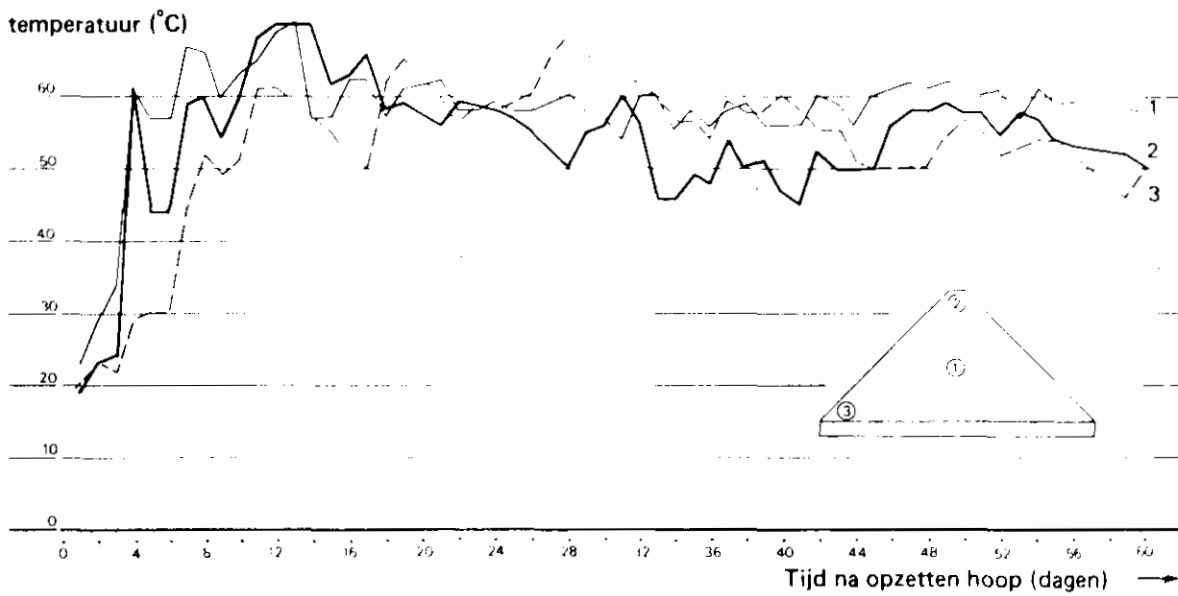
De temperatuurverlaging bij de top van de hoop na ruim 4 weken hangt samen met de daaraan voorafgaande neerslagperiode. Dit mag blijken uit de relatie tussen de optredende verlaging van de temperatuur en drogestofgehalte bij punt 2 (lager d.s.-gehalte, minder porositeit, slechte O<sub>2</sub>-voorziening, lagere activiteit van micro-organismen).

In het midden van de composthoop vertonen het drogestofgehalte en de temperatuur na de eerste twee weken weinig variatie (ook bij neerslagperiodes). Tien weken na de start van het composteringsproces werd de geforceerde ventilatie gestopt, de stapeling omgezet en werd de narijpsperiode aangevangen.

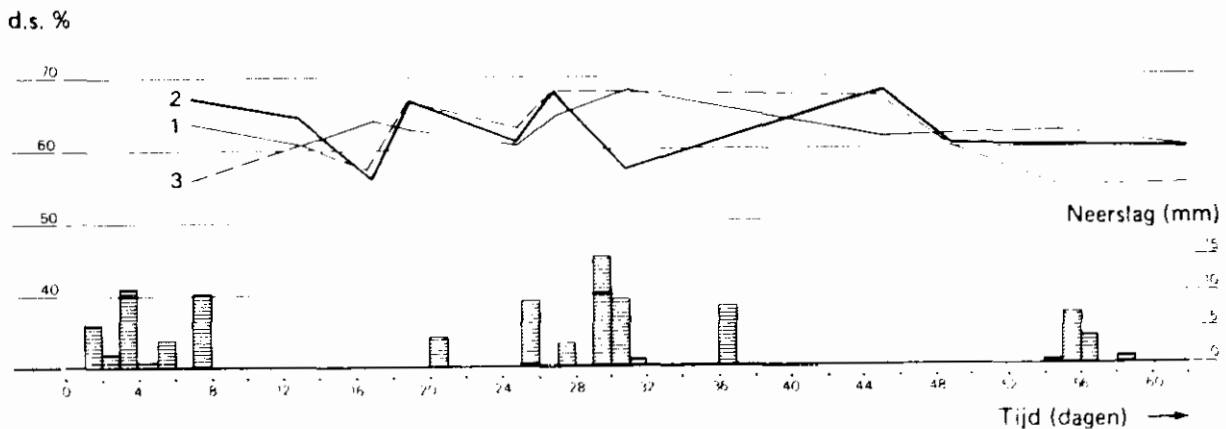
		slib	eindprodukt
drogestofgehalte	d.s. (%)	36	56
org. stofgehalte	(g/kg d.s.)	340	20
stikstof (Kj-N)	(g/kg d.s.)	22	10
fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	(g/kg d.s.)	24	23
kalium (K <sub>2</sub> O)	(g/kg d.s.)	2,3	3,5
calcium (CaO)	(g/kg d.s.)	45	37
magnesium (MgO)	(g/kg d.s.)	6,4	8,2
koolstof-elementair	(g/kg d.s.)	404	-
koper	(mg/kg d.s.)	220	192
chrom	(mg/kg d.s.)	27	27
zink	(mg/kg d.s.)	740	610
lood	(mg/kg d.s.)	175	147
cadmium	(mg/kg d.s.)	1	1,5
nikkel	(mg/kg d.s.)	11,5	16
kwik	(mg/kg d.s.)	-	-
arsen	(mg/kg d.s.)	-	-

Tabel 1. Chemische samenstelling slib en eindprodukt (proef A)

Bij de uitgevoerde composteringsproef bedroeg de C/N-verhouding 18,4. Aan het eind van de compostering bedroeg de C/N-verhouding van het gecomposteerde zuiveringsslib 10,5.



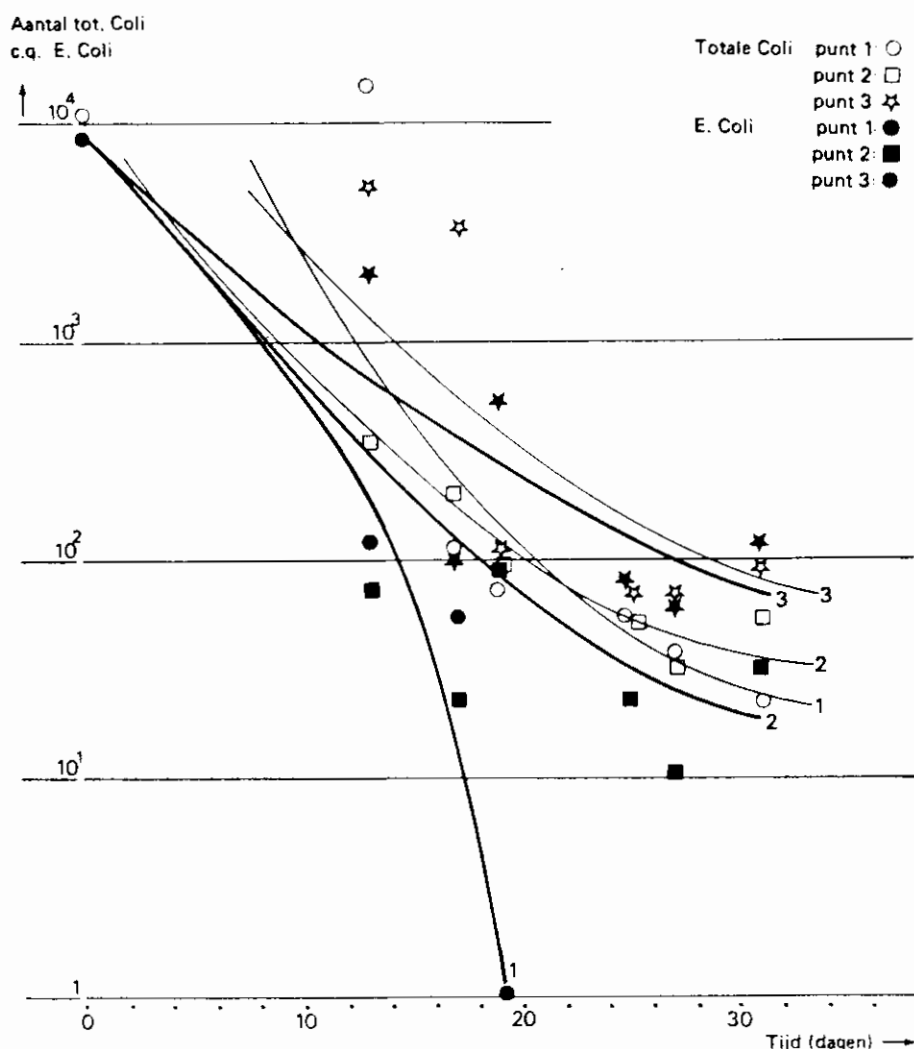
Figuur 2. Temperatuur als functie van de composteringstijd (proef A)



Figuur 3. Het drogestofgehalte en de neerslag als functie van de composteringstijd (proef A)

Het stikstofgehalte nam af van 22 g/kg d.s. in het zuiveringslib tot 10 g/kg d.s. in het slib na compostering. Een mogelijke oorzaak voor de afname van het stikstofgehalte is vervluchtiging van ammoniak tijdens het composteringsproces.

Tijdens het composteringsproces van proef A zijn op drie plaatsen monsters genomen waarin de aantallen E-coli en totaal coli werden bepaald. De resultaten zijn weergegeven in figuur 4 en in tabel 2. Uit de resultaten blijkt dat de reductie van E-coli en totaal coli het grootst is ter plaatse van bemonsteringspunt 1 in het centrum van de stapeling. De afdodingscurves voor bemonsteringspunt 2 (bovenkant van de stapeling) en bemonsteringspunt 3 (zijkant van de



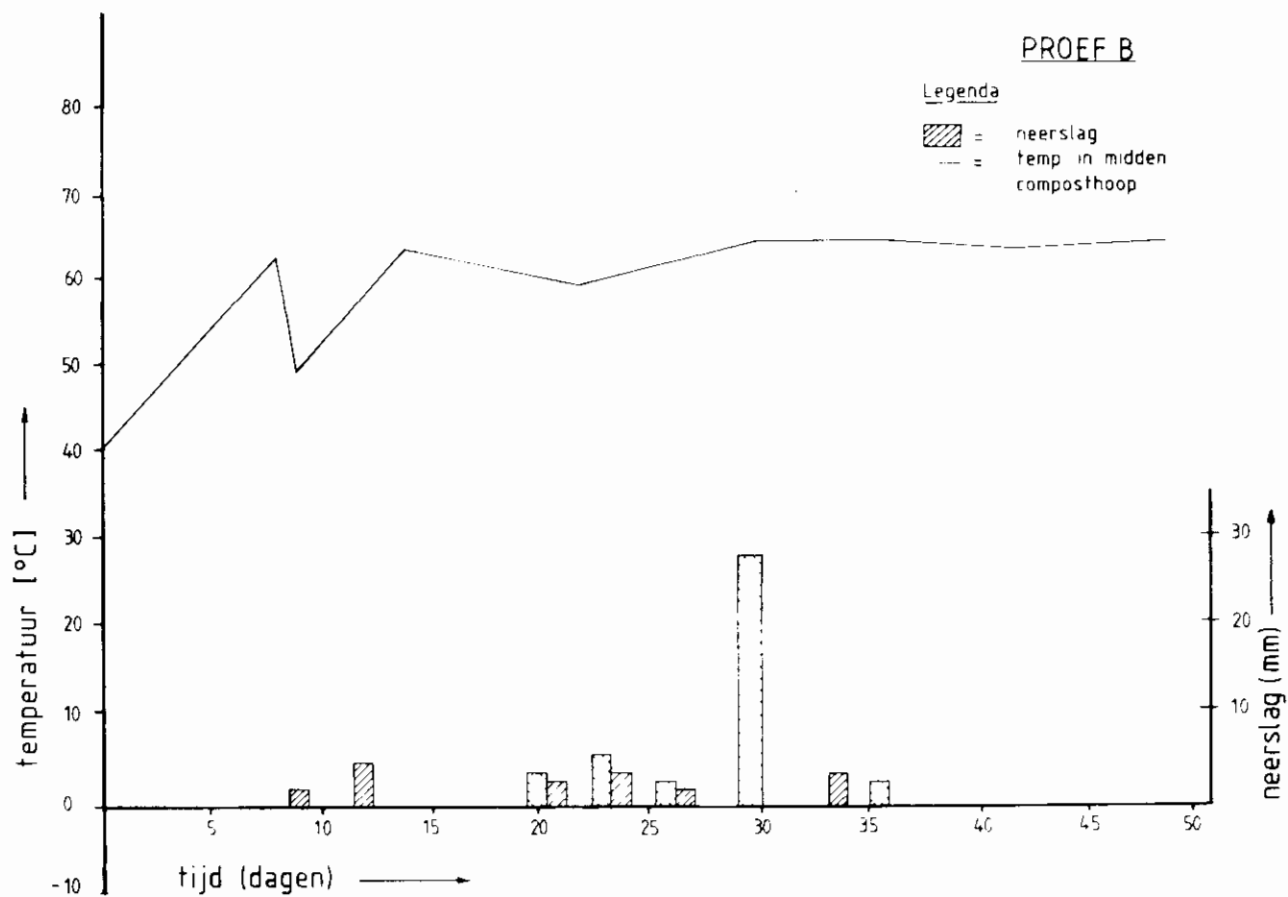
Figuur 4. E-coli en totaal coli als functie van de composteringstijd (proef A)

dag	log totaal aantal coliformen			log E-coli			Salmonella positief of negatief in 1 gram		
	monsterpunt			monsterpunt			monsterpunt		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	-	4,04	-	-	3,81	-	-	-	-
13	4,11	2,34	3,52	2,20	1,73	3,20	-	-	-
17	2,04	2,2	3,34	1,54	1,23	2,04	-	-	-
19	1,73	1,96	2,04	0,04	1,96	2,54	-	-	+*
25	1,54	1,54	1,75	0,90	1,23	1,79	-	-	-
27	1,38	1,34	1,66	0,03	1,04	1,63	-	-	-
31	1,23	1,54	1,96	0,52	1,34	2,20	-	-	-

\* in 10 gram slib

Tabel 2. Microbiologische bepalingen (proef A)

stapeling) hebben een minder steil verloop. Voor Salmonellae is een kwalitatieve bepaling uitgevoerd. Negentien dagen na aanvang van de compostering werden geen Salmonellae meer aangetoond.



Figuur 5. Verloop van de gemiddelde temperatuur (proef B)

	slib	ruwe compost (na beluch- ting)*	eindproduct (na narij- ping)**
<b>Chemische analyses</b>			
drogestofgehalte (g/kg.n.s.)	30	59	63
stikstof (g/kg.d.s.)	18	9	7
fosfaat (g/kg.d.s.)	29	19	17
kalium (g/kg.d.s.)	3	4	4
calcium (g/kg.d.s.)	50	46	22
magnesium (g/kg.d.s.)	9	7	4
koolstof-elementair (g/kg.d.s.)			
koper (mg/kg.d.s.)	210	149	130
chrom (mg/kg.d.s.)	24	28	20
zink (mg/kg.d.s.)	630	443	380
lood (mg/kg.d.s.)	120	100	100
cadmium (mg/kg.d.s.)	3,0	1,3	1,0
nikkel (mg/kg.d.s.)	10	18,3	20

Tabel 3. Chemische samenstelling slib en eindproduct (proef B)

\* gemiddelde de zwaartepunten

\*\* ongezeefd

Bij de uitvoering van de composteringsproef A is geen stankoverlast opgetreden. Wel werd gedurende de eerste vier weken na aanvang van de compostering, enige stank geconstateerd bij monstername ter plaatse van bemonsteringspunt 1.

Tijdens het composteringsproces is een volumereductie van de stapeling geconstateerd van circa 30%. Een deel van deze reductie is het gevolg van klink. Door de afvoer van vocht tijdens compostering en de afbraak van organische stof zal het volume eveneens afnemen.

Wanneer wordt aangenomen dat het volume van de stapeling bij aanvang ca. 110 m<sup>3</sup> zou hebben bedragen, en het volume van het toeslagmateriaal constant wordt verondersteld, dan zou het volume van het gecomposteerde zuiveringsslib zijn afgenomen van 50 m<sup>3</sup> tot 27 m<sup>3</sup>. Wanneer 33% van het toeslagmateriaal in het gecomposteerde zuiveringsslib achterblijft, dan zou het volume van het eindprodukt (na zeven) 43,5 m<sup>3</sup> bedragen.

Proef B werd uitgevoerd met twee toeslagmaterialen namelijk houtsnippers en ruwe compost, zijnde het ongezeefde eindprodukt na de beluchtingsfase van proef A. Door toepassen van de ruwe compost zou de hoeveelheid vers toeslagmateriaal beperkt kunnen worden. De verhouding tussen slib: ruwe compost: toeslagmateriaal bedroeg 3:4:1 op volumebasis.

Bovendien werd 10 m<sup>3</sup> drijfslaagvet toegevoegd om compostering als vetverwerkingsmethode te onderzoeken. De luchtweerstand van de stapeling bedroeg 220 mm waterkolom (Wk).

De toevoeging van het drijfslaagvet veroorzaakt een dermate verandering van de consistentie van het gestapelde materiaal, dat de stapeling uitzakte. Gedurende de eerste drie dagen na de vettoevoeging was sprake van een bijzondere mate van stankoverlast. Het composteringsproces kwam slecht op gang waarna circa 50 m<sup>3</sup> verse houtsnippers werden toegevoegd. De mengverhouding tussen slib: ruwe compost: vers toeslagmateriaal kwam daardoor op 3:4:4,3. Na het toevoegen van deze extra hoeveelheid houtsnippers kwam het composteringsproces goed op gang. De weerstand van de stapeling bedroeg na het toevoegen van het extra toeslagmateriaal 145 mm.Wk en het luchtdebiet 418 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Het temperatuursverloop van meetpunt 1 in de stapeling is weergegeven in figuur 5 (1 waarneming per dag).

De analyseresultaten zijn weergegeven in tabel 3.

Bij proef C is gebruik gemaakt van 50 m<sup>3</sup> tarwestro als toeslagmateriaal in een mengverhouding op volumebasis van 1:1 tussen zuiveringsslib en toeslagmateriaal. Het stro bleek een te gering porositeitsverhogend effect te hebben. De temperaturen bleken niet hoger te worden dan maximaal 20°C.

De luchtweerstand in de beluchtingsbuizen bedroeg 220 mm waterkolom; de gebruikelijke weerstand bedraagt volgens literatuurgegevens in het algemeen 130 mm waterkolom. Verondersteld wordt dat ten gevolge van onvoldoende porositeit van de stapeling het composteringsproces onvoldoende tot ontwikkeling is gekomen.

#### 1.7 Globale kosten compostering

In de verslaggeving van het Hoogheemraadschap wordt op basis van ervaringen in de U.S.A. een kostenraming gegeven welke (nog) niet kon worden getoetst aan de Nederlandse praktijkomstandigheden.

De volgende uitgangspunten zijn aangehouden:

- rioolwaterzuiveringsinrichting met een capaciteit van 50.000 i.e. en een slibproductie van 800 ton droge stof per jaar.  
De te composteren hoeveelheid zuiveringsslib bedraagt 4000 m<sup>3</sup>/jaar met een drogestofgehalte van 20%;
- mengverhouding zuiveringsslib:toeslagmateriaal = 1:1 (volumebasis);
- kostprijs toeslagmateriaal f 20,- per m<sup>3</sup>.

Daar bij de installatie van een Beltsville-composteringssysteem voor de verwerking van slib van 50.000 i.e. onderbezetting optreedt van de mobiele apparatuur (wiellaadschop, transportmaterieel), zal huren van deze apparatuur kostenverlagend zijn. De investeringskosten bedragen dan inclusief ontwerp ca. f 200.000,-- (verharde ondergrond, elektrische aansluitingen, ventilatoren, zeef).

Investering	: 200.000,--; 15 jaar; 12% rente	f 30.000,--
Rente grond	: 0,5 ha, agrarisch 4,--/m <sup>2</sup>	f 2.400,--
Personeel	: 1 manjaar	f 50.000,--
Onderhoud	: 2,5% van investeringskosten	f 5.000,--
Energie	: 17 kWh/ton d.s./j (0,25/kWh)	f 3.400,--
Toeslagstoffen: 2000 m <sup>3</sup> /jaar		f 40.000,--
Huur	: wiellaadschop 40 dagen 75,--/uur	f 24.000,--
Totale kosten per jaar		f 154.800,--
		=====

De composteringkosten bedragen dan f 194,- per ton droge stof (excl. slibdroging tot 20% d.s.). De huur van apparatuur is incl. personeel, zodat de werkelijke kosten iets lager kunnen zijn (minder dan 1 manjaar).

De goedkoopste werkwijze voor de compostering van slib van 50.000 i.e. is Beltsville-compostering met huur van bepaalde apparatuur met kosten van ca. f 170,- tot f 195,- per ton droge stof (afhankelijk van de opbrengst van het produkt).

#### 1.8 Conclusies uit de proeven van het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland

Compostering van aëroob gestabiliseerd slib met houtsnippers volgens de aerated static pile methode bleek praktisch goed uitvoerbaar. Voor een goede compostering van aëroob gestabiliseerd slib (zowel met betrekking tot hygiënische aspecten als met betrekking tot produktsamenstelling) lijkt een geforceerde beluchttingsfase van 5 weken benodigd, gevolgd door een rijpingsperiode van 5 weken. Er moet rekening worden gehouden met enige seizoensbeïnvloeding. In verband met de aan- en afvoer van materialen moet het terrein waarop de compostering wordt uitgevoerd, worden verhard.

Het te composteren zuiveringsslib dient een drogestofgehalte te bezitten van minimaal 25% in verband met de vormvastheid van de composthoop; de hoeveelheid toe te voegen toeslagstoffen wordt mede daardoor bepaald.

Bij de compostering van zuiveringsslib moeten toeslagmaterialen aan het slib toegevoegd worden om de fysisch-chemische eigenschappen van het te composteren mengsel zodanig te optimaliseren dat aan enkele procestecnologische voorwaarden wordt voldaan.

De meest geschikte toeslagmaterialen zijn houtsnippers, houtkrullen en boombast. Stro bleek bij slib met een relatief laag drogestofgehalte (23% d.s.) een te klein porositeitsverhogend effect te hebben; deze mengsels zijn tevens moeilijk verwerkbaar. Stro is daardoor minder geschikt.

Voor het composteringsproces is de aanwezigheid van lucht noodzakelijk, in de eerste plaats als zuurstofleverancier ten behoeve van het aërobe proces (relatie porositeit-luchtvoorziening). Het zuurstofgehalte in de composthoop bedraagt 5 à 15 vol.%. Daarnaast dient lucht voor de vochtafvoer. De compostering van zuiveringsslib kan aanzienlijk worden versneld door geforceerd te beluchten. Het composteringsproces blijkt goed te sturen door middel van overdrukbeluchting. Uit de literatuurgegevens blijkt de luchtweerstand van een stapeling maximaal 130 mm waterkolom te bedragen. Beluchtingsbuizen met een diameter van 80 mm geven relatief veel luchtweerstand. Om deze luchtweerstand zo klein mogelijk te houden moeten de beluchtingsbuizen een diameter hebben van minimaal 100 mm. De luchtweerstand in proef A bedroeg 130 mm waterkolom, in proef B was deze constant 145 mm waterkolom en in proef C bedroeg de weerstand constant 220 mm waterkolom. Bij de compostering van laguneslib als beginmateriaal is geen stank geconstateerd. Het meenemen van andere afvalstoffen in de stapelingen, zoals bijvoorbeeld drijfslaagvet, kan soms het op gang komen van het composteringsproces verhinderen. Uit de analyses is gebleken dat de gehalten aan zware metalen in het ongezeefde eindproduct van dezelfde orde van grootte zijn als in het slib dat als beginmateriaal is gebruikt. Uit de proeven blijkt dat compostering een desinfecterende werking heeft.

#### 1.9 Compostering op praktijkschaal

Na uitvoering van de beschreven composteringsproeven is door het Hoogheemraadschap besloten om op kleine schaal in de praktijk aëroob gestabiliseerd natuurlijk ontwaterd zuiveringsslib met een drogestofgehalte van 25% te composteren. De compostering, narijping en zeef- en mengactiviteiten worden uitgevoerd op een door middel van stelconplaten verhard plateau van 1200 m<sup>2</sup>.

De afmetingen van een stapeling te composteren materiaal bedragen 6 x 24 meter bij een hoogte van 3 meter. Voor de geforceerde beluchting zijn daarin 2 drainbuizen met kokos-omhulsel aangebracht (diameter 160 mm, hart op hart 0,70 m). Aan de beide kopeinden is per buis een ventilator aangesloten (Itho ERS100, zuurbestendige uitvoering, capaciteit  $\pm 500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ). Door de grote diameter van de beluchtingsbuizen levert de weerstand van het beluchtingssysteem geen problemen op. De totale weerstand bedraagt 30 mm waterkolom.

Het opzetten van composthoven vindt plaats met behulp van een wiel-laadschop en een mengapparaat. Als toeslagstof worden houtsnippers en boomschors gebruikt in een mengverhouding met zuiveringsslib van 2:1. De beluchting geschiedt gedurende de eerste dagen na het opzetten continu met 2 ventilatoren; daarna vindt intermitterende beluchting plaats, waarbij de regeling wordt afgestemd op een temperatuur in de composthoop van 60-65°C. De compostering vindt seizoensmatig plaats in de periode april tot en met november. Ervaren is dat langere neerslagperioden bij compostering in de open lucht problemen opleveren. Met name zeefactiviteiten kunnen zonder nadere voorzieningen slechts in een korte periode van het jaar plaatsvinden. De totale investeringen bedroegen f 100.000,--.

2.1 Algemeen

Door het Waterschap de Dommel is niet-gestabiliseerd zuiveringsslib gecomposteerd op praktijkschaal volgens de dynamische methode in een open systeem. Doel van de compostering was het omzetten van het slibmateriaal in een meer gestabiliseerde vorm en het vernietigen van pathogene organismen. Mede vanwege de geuremissies als gevolg van het composteringsproces met het ongestabiliseerde slib is onderzoek verricht naar de compostering van dit slib volgens de statische methode waarbij een betere proces- en geurbeheersing mogelijk is. Om de eventuele invloed van de ondergrond zoals het eventueel opzigen van water uit de bodem, op het composteringsproces te voorkomen zijn eerst proeven uitgevoerd in stalen containers (containerproeven). De resultaten van deze proeven ten aanzien van procesverloop en eindproduct waren slecht. Het eindproduct bevatte materiaal dat nauwelijks wijzigingen had ondergaan. Als oorzaken worden vermeld de onvoldoende homogeniteit van het te composteren materiaal met als gevolg een gebrekkige luchtverdeling, de luchttoevoer zelf en de temperatuureffecten van de wanden.

Als vervolg op deze containerproeven zijn twee proeven uitgevoerd in de open lucht. In dit rapport worden alleen deze proeven beschreven op basis van gegevens ontleend aan literatuur 14.

2.2 Beginmateriaal, toeslagmateriaal, systeemkeuze

Compostering heeft plaatsgevonden volgens het principe van de statische methode. Het beginmateriaal bestond uit niet-gestabiliseerd zuiveringsslib, ontwaterd door middel van een zeefbandpers tot een gemiddeld drogestofgehalte van respectievelijk 27,1% voor proef 1 en 29,2% voor proef 2.

De toegepaste toeslagmaterialen waren:

- nieuwe houtschillen;
- gebruikte houtschillen en snippers.

De mengverhoudingen slib: verse houtschillen: gebruikte houtschillen op volumebasis waren:

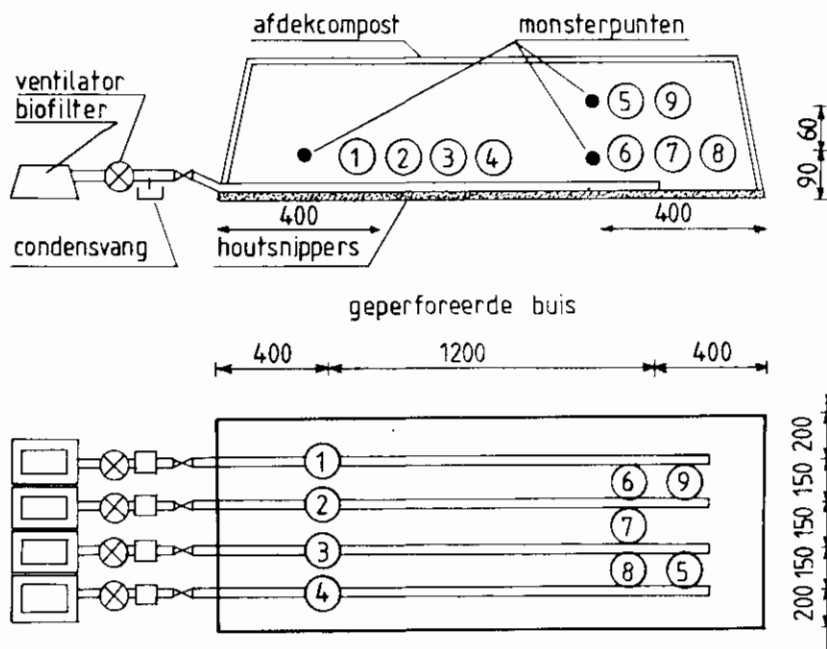
- voor proef 1 = 1 : 0,63 : 1,26
- voor proef 2 = 1 : 0,9 : 1,8.

2.3 Uitvoering

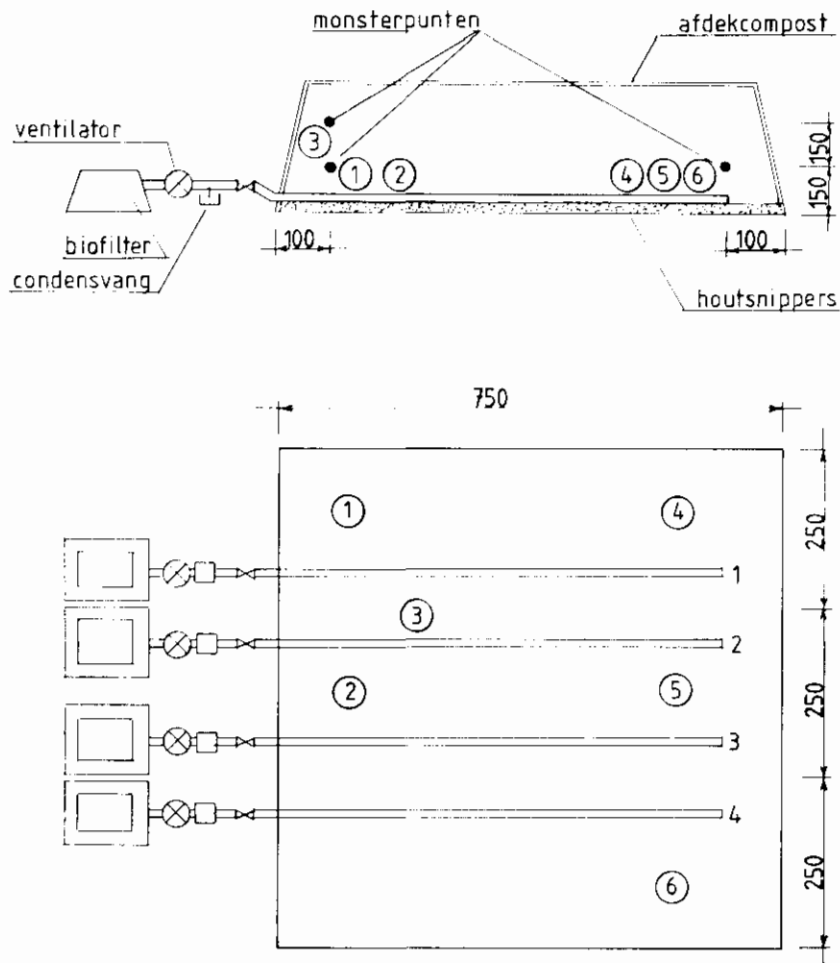
Bij proef 1 werd 159 m<sup>3</sup> slib met een gemiddeld drogestofgehalte van 27,1% gemengd met 300 m<sup>3</sup> toeslagmateriaal. Voor het mengen werd gebruik gemaakt van een wiellaadschop. Dit mengsel werd daarna nog tweemaal aan een mengbewerking onderworpen en vervolgens gebracht op een ondergrond van houtschillen en houtsnippers met een totaal laagdikte van 0,30 m.

In dit bed van toeslagmateriaal waren aluminium beluchtingsbuizen aangebracht. De beluchtingsbuizen met een diameter van 100 mm lagen met een tussenruimte van 2,0 m naast elkaar. De buizen waren voorzien van perforaties met een diameter van 0,01 m en een onderlinge afstand van 0,25 m. De totaal lengte per beluchtingsbuis bedroeg 18 m, terwijl de perforaties over 16 m daarvan waren aangebracht.





Figuur 6. Opstelling proef 1



Figuur 7. Opstelling proef 2

		slib	houtsnippers
nat gewicht	(ton)	159	90
volume	(m <sup>3</sup> )	159	300
drogestofgehalte	(%)	27	69
gewicht droge stof	(ton)	43,1	62
gloeirest	(% van d.s.)	36	
gewicht organisch stof	(ton)	27,5	
beluchting		onderdrukventilatie	
benodigde luchttoevoer per uur (16 m <sup>3</sup> lucht/uur/ton d.s.)		688 m <sup>3</sup>	
theoretisch benodigde hoeveelheid lucht		298.000	
composteringstemperatuur		61°C	

Tabel 4. Gegevens uitgangsmaterialen proef 1

		slib	houtsnippers
nat gewicht	(ton)	25	21
volume	(m <sup>3</sup> )	25	70
drogestofgehalte	(%)	29	69
gewicht droge stof	(ton)	7,3	14,5
gloeirest	(% van d.s.)	37	-
gewicht organisch stof	(ton)	4,6	-
beluchting		onderdruk/overdruk	
benodigde luchttoevoer per uur (16 m <sup>3</sup> lucht/uur/ton d.s.)		182 m <sup>3</sup>	
theoretisch benodigde hoeveelheid lucht		752.500 m <sup>3</sup>	
composteringstemperatuur		45°C	

Tabel 5. Gegevens uitgangsmaterialen proef 2

In elke leiding was een regelafsluiter geplaatst (vlinderklep met arreterinrichting). Twee leidingen werden gekoppeld aan een condensvat en vervolgens aan een ventilator. De totaallengte van de stapeling bedroeg 20,0 m, een breedte van 10 m aan de voet en circa 8,0 m aan de bovenzijde en een totale hoogte bij aanvang van 2,40 m inclusief de laag afdekcompost van 0,30 m en de onderlaag van 0,30 m. Beluchting vond plaats volgens het onderdrukprincipe. De ventilatorlucht werd via een compostfilter in de buitenlucht geloosd. De opstelling is schematisch weergegeven in figuur 6.

Proef 2 is uitgevoerd met 25 m<sup>3</sup> zeefbandpersslib met een drogestofgehalte van 29,2% waaraan 70 m<sup>3</sup> toeslagmateriaal, bestaande uit houtsnippers, werd toegevoegd. De mengbewerking werd driemaal uitgevoerd. De ondergrond had een laagdikte van 0,75 m. De stapeling werd afgedekt met 0,30 m compost (totaal 18 m<sup>3</sup>). De beluchtingsbuizen met een lengte van 6 m werden paarsgewijs naast elkaar gelegd waarbij de perforaties in de buizen versprongen ten opzichte van elkaar. De beluchtingsbuizen werden onder een helling gelegd om het daarin komende vocht beter af te voeren. Voor de opvang van dit drainagewater werden de beluchtingsbuizen voorzien van een T-stuk dat uitmondde in een emmer.

De afvoerlucht van de ventilatoren werd rechtstreeks in de buitenlucht geloosd.

De opstelling van proef 2 is weergegeven in figuur 7.

De proeven zijn uitgevoerd op een niet verharde ondergrond.

Uitvoering van de proeven vond plaats in de periode augustus-december 1982.

## 2.4 Procestechnologische parameters

Het temperatuurverloop in de stapeling is gebruikt als stuurparameter voor de beluchting. De luchthoeveelheden werden door middel van de regelafsluiters zodanig ingesteld dat de gemiddelde temperatuur in een stapeling zich bevond tussen 45°C en 60°C. Bij proef 1 werden de temperaturen gemeten door middel van thermokoppels en een lans-thermometer. Zeven thermokoppels waren verdeeld over twee horizontale meetraaien op 0,80 m boven het grondoppervlak. De afstand tussen de meetraaien onderling bedroeg 12 m. De afstand van de meetraaien tot aan de buitenzijde van de stapeling bedroeg 2,0 m. Bovendien werden twee thermokoppels aangebracht op 4,0 m boven het grondoppervlak. De plaatsen van de meetpunten zijn weergegeven in figuur 6. Bij proef 2 werd de temperatuur op zes plaatsen gemeten door middel van thermokoppels. Ook in deze opstelling werden de meetpunten verdeeld over twee meetraaien. De afstand tussen de meetraaien bedroeg 5,0 m, de afstand boven het grondoppervlak bedroeg 1,25 m, terwijl de afstand van de meetraaien tot aan de buitenzijde van de stapeling 2,0 m bedroeg. De plaatsen van de meetpunten zijn weergegeven in figuur 7.

Naast de dagelijkse temperatuurmetingen door middel van de thermokoppels, werden incidentele temperatuurmetingen verricht door middel van een lansthermometer op een diepte van ongeveer 0,50 m onder de compostlaag.

Behalve de temperaturen in de stapeling zijn gemeten:

- de hoogte van de stapelingen;
- de drukken in de aanzuigleidingen van de ventilatoren;
- het drukverschil over de ventilator;
- het debiet van de ventilator;
- dagelijkse buitentemperatuur en neerslag;
- ammoniakgehalte van de afgezogen lucht;
- bepaling zuiveringseffect van het biofilter aan de hand van ammoniakbepalingen.

De drukken in de aanzuigleiding werden als indicatie beschouwd voor de luchtweerstand van de stapeling.

## 2.5 Analyses en bepalingen

Van het beginmateriaal, het toeslagmateriaal en het eindprodukt zijn de volgende analyses verricht:

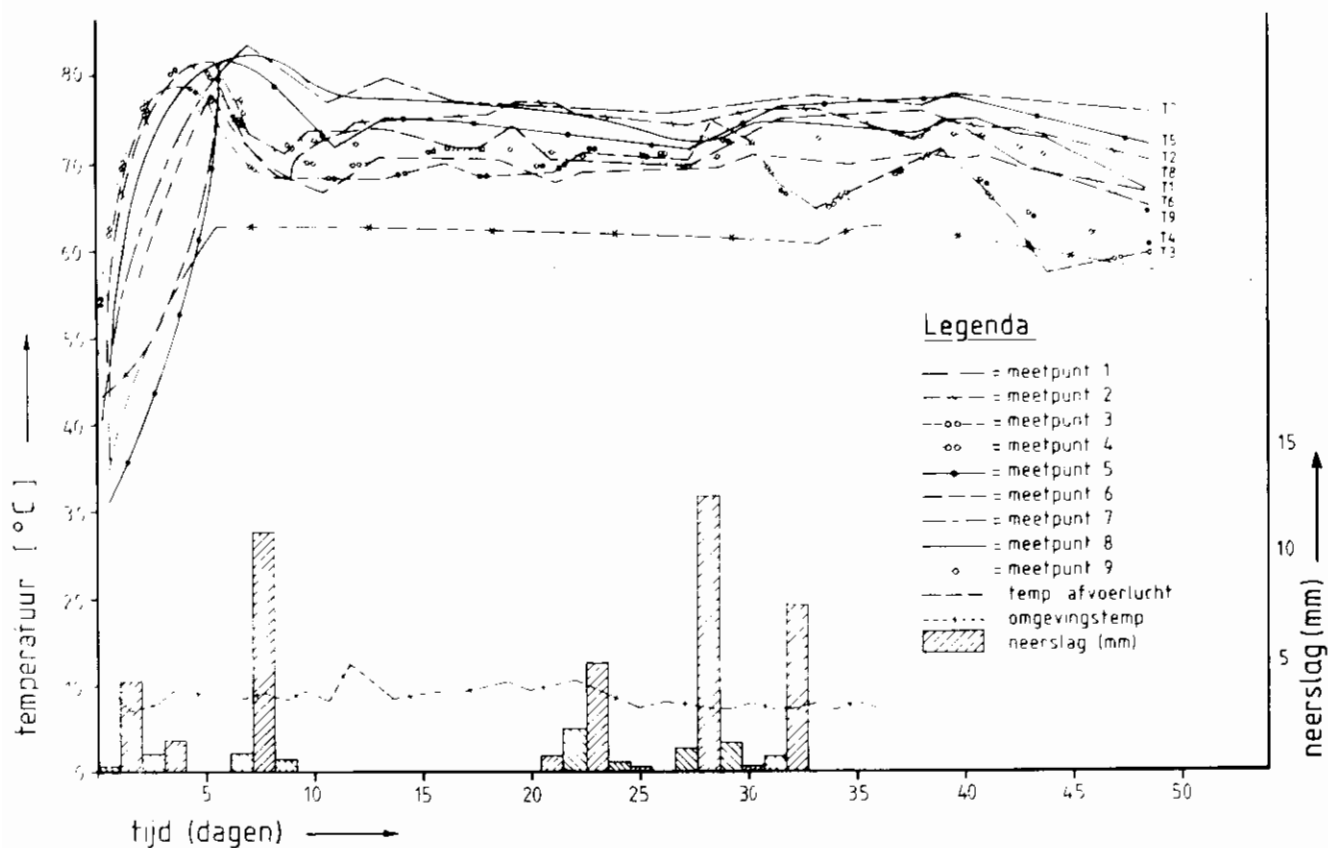
- drogestofgehalte;
- gloeiverlies;
- stikstof ( $N_{Kj}$ );
- calcium (Ca);
- totaal fosfaat;
- zuurgraad (pH).

Tijdens de proeven werden monsters uit de stapelingen genomen en geanalyseerd op stikstof (N-Kj). Voorts werden van deze monsters het drogestofgehalte, de gloeirest en de zuurgraad bepaald.

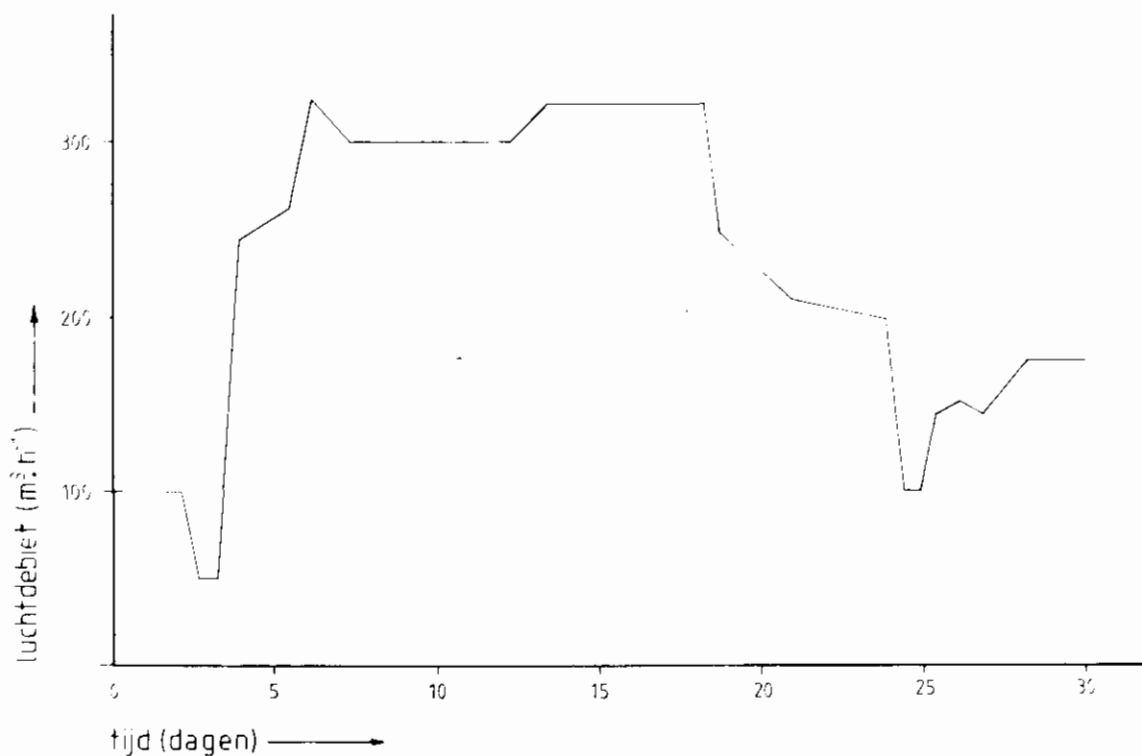
Het in de afvoerlucht aanwezige ammoniakgehalte werd bepaald door middel van Drägerbuisjes.

## 2.6 Waarnemingen

Bij proef 1 werd de beluchting verzorgd door vier ventilatoren; één kleine ventilator voor elk van de buitenste beluchtingsbuizen. Vanaf



Figuur 8. Temperatuurwaarnemingen en neerslaggegevens (proef 1)



Figuur 9. Totaal luchtdebiet (aangezogen) als functie van de tijd (proef 1)

de vierde tot en met de vierentwintigste dag waren de beide binnenste beluchtingsbuizen gezamenlijk op één grotere ventilator aangesloten. Aan het begin van de proef en vanaf de vijfentwintigste dag tot het einde van de proef waren ook de binnenste beluchtingsbuizen ieder aangesloten op een (kleine) ventilator.

De resultaten van de temperatuurwaarnemingen zijn weergegeven in de figuren 8 en 10. Uit deze figuren blijkt dat na 3 à 4 dagen de maximale temperatuur van omstreeks 80°C wordt bereikt, daarna treedt een lichte daling op. De temperaturen in de stapeling zijn gemiddeld lager naarmate de afstand tot de ventilatoren toeneemt.

Tweeëndertig dagen na aanvang van de proef bedroeg de gemiddelde temperatuur 64,8°C.

De afgevoerde luchthoeveelheden werden gemeten door middel van een meetflens. Het luchtdebiet bedroeg gemiddeld 218 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>; de temperatuur van de afvoerlucht varieerde daarbij van maximaal 76°C op de zevende dag na aanvang tot minimaal 60°C op de drientwintigste dag na aanvang. De afgevoerde hoeveelheid lucht bedroeg 167.000 m<sup>3</sup> hetgeen slechts 22% is van de theoretisch benodigde hoeveelheid op basis van vochttransport. Het totale luchtdebiet als functie van de tijd is weergegeven in figuur 9.

De luchtweerstand van de stapeling is afhankelijk van de grootte van het luchtdebiet en de porositeit van de stapeling. Acht dagen na aanvang bleek als gevolg van inklink de hoogte van de stapeling afgenomen tot ongeveer 1,50 m (zie figuur 12). De luchtweerstand bedroeg 40 tot 120 mm Wk in de leidingen aangesloten op de kleine ventilatoren en 360 tot 400 mm Wk voor de grote ventilatoren.

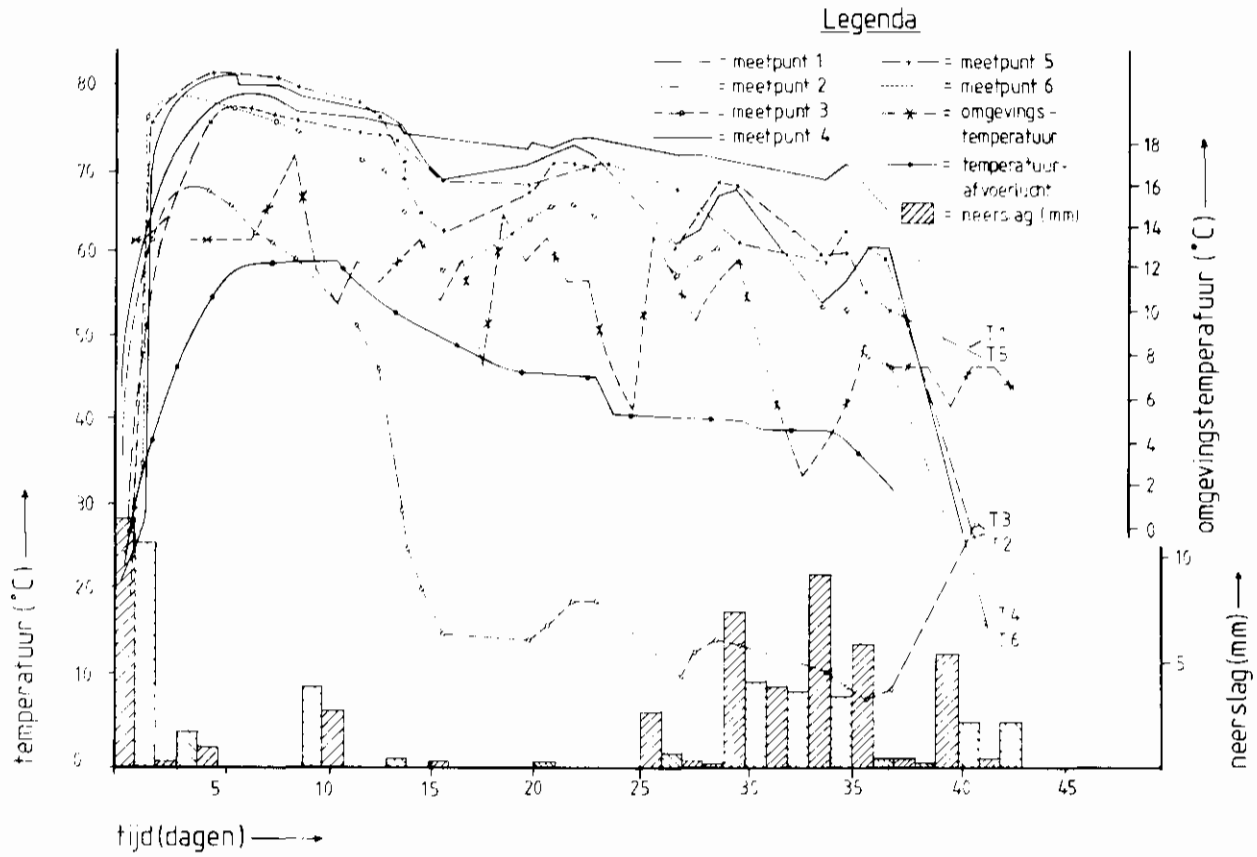
Via de afgezogen lucht werd water afgevoerd. De aangezogen lucht van de omgevingstemperatuur werd in de stapeling verwarmd, waardoor het vermogen tot opname van waterdamp toenam. Met behulp van de temperatuur van de afvoerlucht en de gemeten debieten van de afvoerlucht kon de afgevoerde hoeveelheid water berekend worden. Deze bedroeg voor proef 1 ongeveer 27,5 m<sup>3</sup>.

Bij inspectie van het inwendige van de stapeling bleek het materiaal tot een diepte van 0,50 tot 0,70 m vanaf de bovenzijde goed gecomposteerd. De gloeirest van dit materiaal varieerde van 44 tot 56% van de droge stof. Het drogestofgehalte bedroeg 70 tot 79%. Het daaronder liggende materiaal bevatte veel vocht; het drogestofgehalte was gemiddeld 46%, terwijl de gloeirest gemiddeld 45% van de droge stof bedroeg.

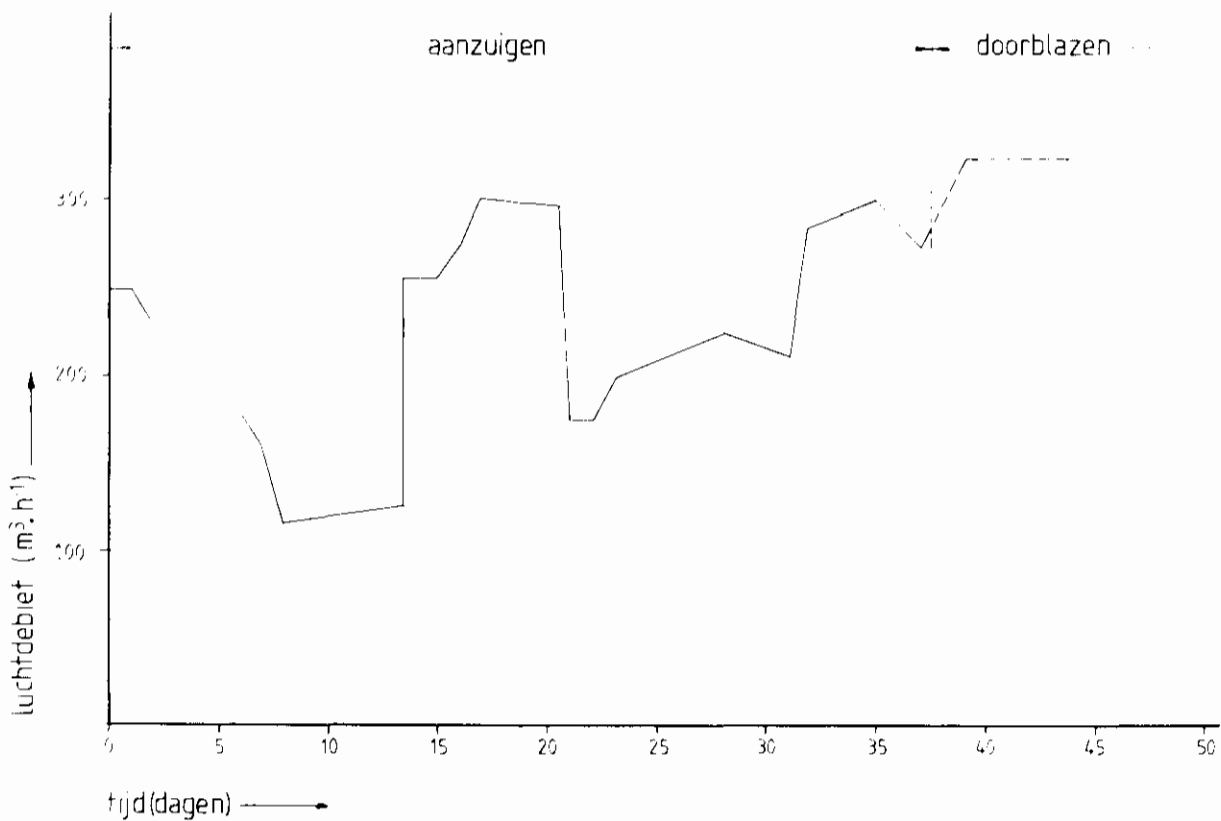
Tijdens de proef zijn de ammoniakgehalten gemeten in de afvoerlucht van de ventilatoren voor het biofilter. Dergelijke metingen werden eveneens uitgevoerd aan het oppervlak van het biofilter. De ammoniakgehalten in de afvoerlucht van de ventilatoren vanaf aanvang tot eenentwintig dagen na aanvang bedroegen meer dan 1000 ppm. De uit het biofilter tredende lucht bevatte ammoniakgehalten van minimaal 300 tot 600 ppm. Het zuiveringsrendement van het biofilter wat NH<sub>3</sub> betreft varieerde van ongeveer 35 tot 60%.

Na vijfentwintig dagen was het ammoniakgehalte in de afvoerlucht van de ventilator (voor het biofilter) afgenomen tot 250 ppm.

Het vochtgehalte van het biofilter nam voortdurend toe, waardoor het filter niet meer naar behoren kon functioneren. De meetresultaten zijn vermeld in tabel 6.



Figuur 10. Temperatuurwaarnemingen en neerslaggegevens (proef 2)



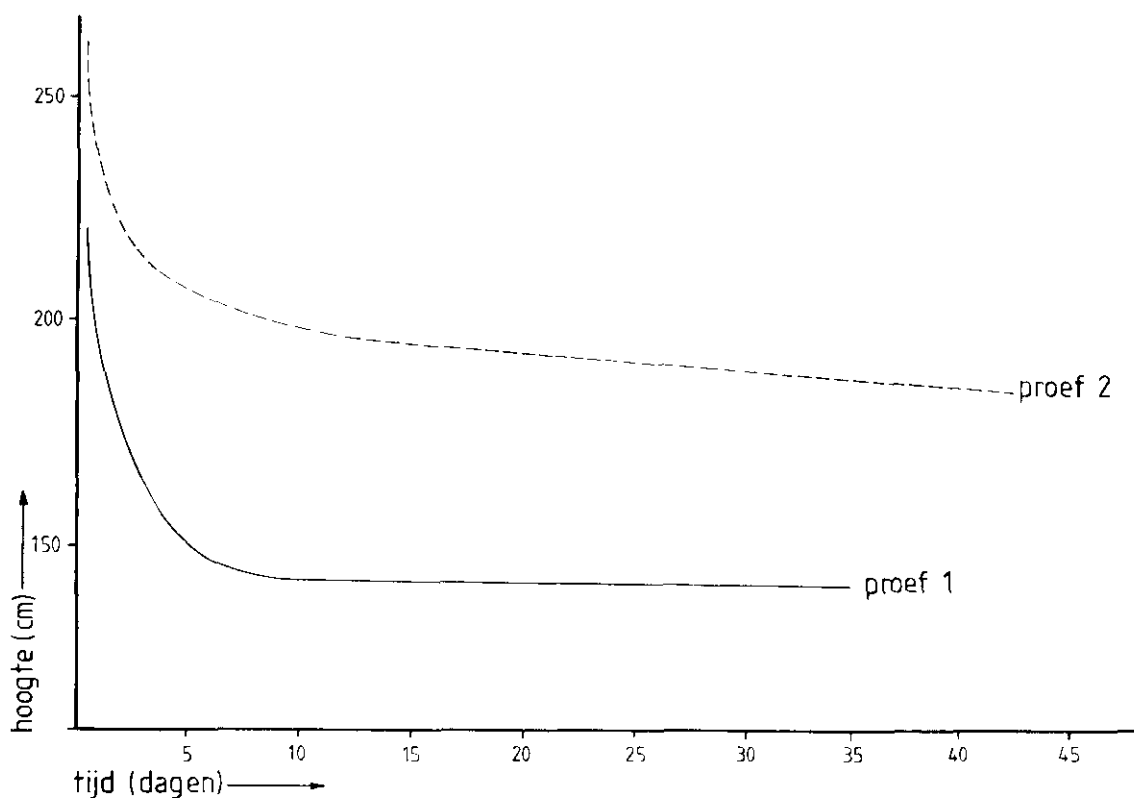
Figuur 11. Totaal luchtdebiet als functie van de tijd (proef 2)

dag	beluchtingsbuis				boven compostfilter
	1	2	3	4	
7	700	700	700	700	450
13	700	700	700	700	300
19	700	700	700	700	600
	-	(1000)	(1000)	-	(545)
21	300	700	700	400	500
	-	(1000)	-	-	(450)
25	325	350	200	200	-
26	450	400	250	250	-
28	400	50	300	150	-

Tabel 4. NH<sub>3</sub>-gehalte in de afvoerlucht en boven het compostfilter in ppm, bepaald met behulp van gaswasbuisjes. De waarden tussen haakjes zijn bepaald met behulp van een impinger. (proef 1)

dag	beluchtingsbuis			
	1	2	3	4
6	100	150	150	200
7	80	100	100	200
9	70	150	200	700
14			70	
15			70	
16			69	
29			62	
30			61	
34			48	
35			40	

Tabel 5. NH<sub>3</sub>-gehalte in de afvoerlucht in ppm, bepaald met behulp van een zwavelzuuroplossing (proef 1)



Figuur 12. Hoogte van de stapelingen als functie van de tijd

Bij proef 2 was gedurende de eerste dertien dagen na aanvang elke beluchtingsbuis voorzien van een ventilator. Vanaf de veertiende dag zijn alle beluchtingsbuizen aangesloten op één grote ventilator. Beluchting vanaf de eerste tot en met de zevenendertigste dag vond plaats volgens het onderdrukprincipe; daarna is gedurende zes dagen belucht volgens het overdrukprincipe.

Binnen een termijn van vier dagen na aanvang werd een maximum temperatuur bereikt van ongeveer 80°C, waarna de temperatuur geleidelijk afnam. Zesendertig dagen na aanvang bedroeg de temperatuur van alle meetpunten gemiddeld 58,8°C.

Na zesendertig dagen beluchting volgens het onderdrukprincipe bleek de temperatuur van de afgevoerde lucht ongeveer 33°C te bedragen. Bij een dergelijke lage temperatuur is de vochtopnamecapaciteit nagenoeg nihil. Daarom werd overgegaan op drukbeluchting. Geconstateerd werd dat de temperatuur in het inwendige van de stapeling afnam en de temperatuur vlak onder het oppervlak toenam.

Het gemiddelde luchtdebiet tijdens de proef bedroeg 218 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, terwijl de temperatuur van de afgevoerde lucht gemiddeld 45°C bedroeg. De toegevoegde hoeveelheid lucht, 219.000 m<sup>3</sup> bedroeg ongeveer 74% van de theoretisch benodigde hoeveelheid, die werd begroot op 298.000 m<sup>3</sup>. Het totaal-luchtdebiet als functie van de tijd is weergegeven in figuur 11.

Bij proef 1 werd de ventilatielucht met een concentratie van 1.000 ppm NH<sub>3</sub> in het biofilter gezuiverd, waarbij ongeveer 400 ppm werd afgevangen. De oorzaak dat het zuiveringsrendement van ongeveer 40% te wensen overliet, werd geweten aan het vochtgehalte van het biofilter. Het ammoniakgehalte in de afvoerlucht van proef 2 bedroeg bij aanvang ongeveer 200 ppm; aan het einde van de proef 40 ppm.

Bij proef 2 nam de hoogte van de stapeling af van 2,00 m tot ongeveer 1,40 m. Zie figuur 12. De weerstand in de zuigleidingen varieerde van 95 - 125 mm Wk voor de leidingen waarop de kleine ventilatoren waren aangesloten. Voor de leidingen waarop de grote ventilator was aangesloten, nam de weerstand toe van 450 - 570 mmWk. Bij drukbeluchting werd een lager weerstandsverlies geconstateerd.

De via de ventilatielucht afgevoerde hoeveelheid vocht bedroeg ongeveer 15,8 m<sup>3</sup>.

Bij inspectie van het inwendige van de stapeling bleek een laag van 0,70 m een drogestofgehalte te bevatten van ongeveer 59%. Het daaronder gelegen materiaal bleek compact te zijn en meer vocht te bevatten; het drogestofgehalte in dit materiaal varieerde van minimaal 43,7% tot 70,6% met een gemiddeld drogestofgehalte van 50%. Het gloeiverlies in de bovenste laag bedroeg gemiddeld 29,9% van de drogestof; van het daaronder gelegen materiaal 48,8% van de droge stof.

De in de afvoerlucht gemeten ammoniakgehalten waren hoger dan bij proef 1. Bij aanvang werd 260 ppm gemeten en aan het einde van de proef ongeveer 40 ppm.

## 2.7 Conclusies uit de proeven van het waterschap De Donnel

Het aantal conclusies uit deze proeven is gering.



Uit beide proeven werd geconcludeerd dat de vochtverwijdering uit de stapelingen te wensen overliet. Als belangrijkste oorzaak daarvan wordt de geringe porositeit van de stapelingen genoemd. In proef 1 was de mengverhouding tussen slib en toeslagmateriaal te gering voor een goede porositeit. Uit de resultaten van proef 2 werd geconcludeerd dat het gebruikte toeslagmateriaal niet in staat was de stapeling blijvend de beoogde structurele stabiliteit en porositeit te verschaffen. Het gebruikte toeslagmateriaal, houtschillen, had een sterke vochtabsorberende werking. Naarmate de houtschillen meer vocht opnemen, verliezen zij hun vormvastheid waardoor de porositeit in de stapeling afneemt.

De mogelijke invloed van de toepassing van reeds eerder gebruikt toeslagmateriaal is niet ter sprake gekomen. Toeslagmateriaal dient een vochtbufferende werking te hebben en dus een hoog drogestofgehalte.

Geconcludeerd wordt dat het toegepaste toeslagmateriaal niet voldoet voor compostering volgens de statische methode.

De luchthoeveelheden die aan de stapelingen werden toegevoerd, waren kleiner dan de theoretisch benodigde hoeveelheid. De mate van geforceerde beluchting werd bepaald door de optredende temperatuur in de stapelingen, die binnen het traject 45°C tot 60°C moest blijven.

De afvoer van vocht uit de stapeling via de afgezogen lucht bedroeg voor proef 1 19% van de totale hoeveelheid vocht in de stapeling; voor proef 2 was dit 58%. Mogelijk is dit veroorzaakt door een betere porositeit bij proef 2, waar de mengverhouding tussen slib en toeslagmateriaal groter was dan in proef 1.

De volumereductie afgeleid uit de afname van de hoogte van de stapelingen tijdens het composteringsproces bedroeg 36% en 30% voor proef 1 respectievelijk proef 2. De hoogte van de stapelingen nam daarbij af van 2,65 m tot 1,92 m voor proef 1, voor proef 2 van 2,20 m tot 1,45 m. De afname manifesteerde zich het sterkst gedurende de eerste tien dagen na aanvang van de compostering.

Als gevolg van het composteringsproces werd ammoniak gevormd dat via de ventilatielucht werd afgevoerd. De in deze afvoerlucht optredende concentraties varieerden van gemiddeld meer dan 700 ppm bij aanvang tot gemiddeld 225 ppm aan het einde van de compostering voor proef 1. De afvoerlucht werd gezuiverd in een biofilter.

Het biofilter kan snel doorslaan wanneer de te zuiveren lucht veel waterdamp bevat. Dit is het geval bij de compostering van vers slib waar temperaturen kunnen ontstaan en de vochtopnamecapaciteit van de lucht toeneemt. Bij veel vocht en hoge temperatuur is de absorptie van  $\text{NH}_3$  aan het materiaal van een biofilter slecht.

3.1 Algemeen

In het kader van een studie naar de optimalisatie van de rioolwaterzuiveringsinrichting Zutphen zijn proeven uitgevoerd om zuiverings-slib te composteren.

De rwzi-Zutphen is een laagbelaste actief-slibinstallatie onder Pasveercondities met een biologische capaciteit van 100.000 i.e. (wordt 125.000 i.e.) en een hydraulische capaciteit van 3.300 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (wordt 4.400 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>). Door het toepassen van een slibbelasting groter dan de nu toegepaste 0,05 kg BZV/kg slib droge stof per dag, zou het slib-eindproduct van de zuivering niet volledig worden gemineraliseerd. Verdere mineralisatie zou dan door middel van compostering moeten worden verkregen.

De composteringproeven zijn uitgevoerd op het terrein van de rwzi-Zutphen. Doel van de proeven was:

- verkrijgen van aanvullende praktische kennis over compostering van zuiveringsslib;
- verkrijgen van inzicht over de relatie tussen bedrijfsvoering van de zuiveringsinrichting en de composteerbaarheid van het surplus-slib.

Uitgevoerd zijn zeven proeven. Een overzicht van de uitgevoerde proeven is weergegeven in tabel 8. Het verslag van het onderzoek is opgenomen in de literatuurlijst onder 19.

	ZOG1	ZOG2	ZOG3	ZOG4	ZOG5	ZOG6	ZOG7
beginmateriaal	uitgegist	gedeeltelijk	aëroob	gestabiliseerd	slib		
toeslagmateriaal	hout-chips ruwe compost	hout-chips	hout-chips	hout-chips	hout-chips+ ruwe compost	hout-chips	hout-chips+
beluchttingsvorm	continu onderdruk	continu onderdruk	continu onderdruk	continu onderdruk	continu onderdruk	continu onderdruk	continu onderdruk
uitvoering	open lucht	open lucht	open lucht	open lucht	open lucht	open lucht	open lucht
periode (1983)	jan-mrt	febr-apr	febr-apr	mrt-mei	mrt-juni	mei-juli	apr-aug

Tabel 8. Overzicht proeven Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland

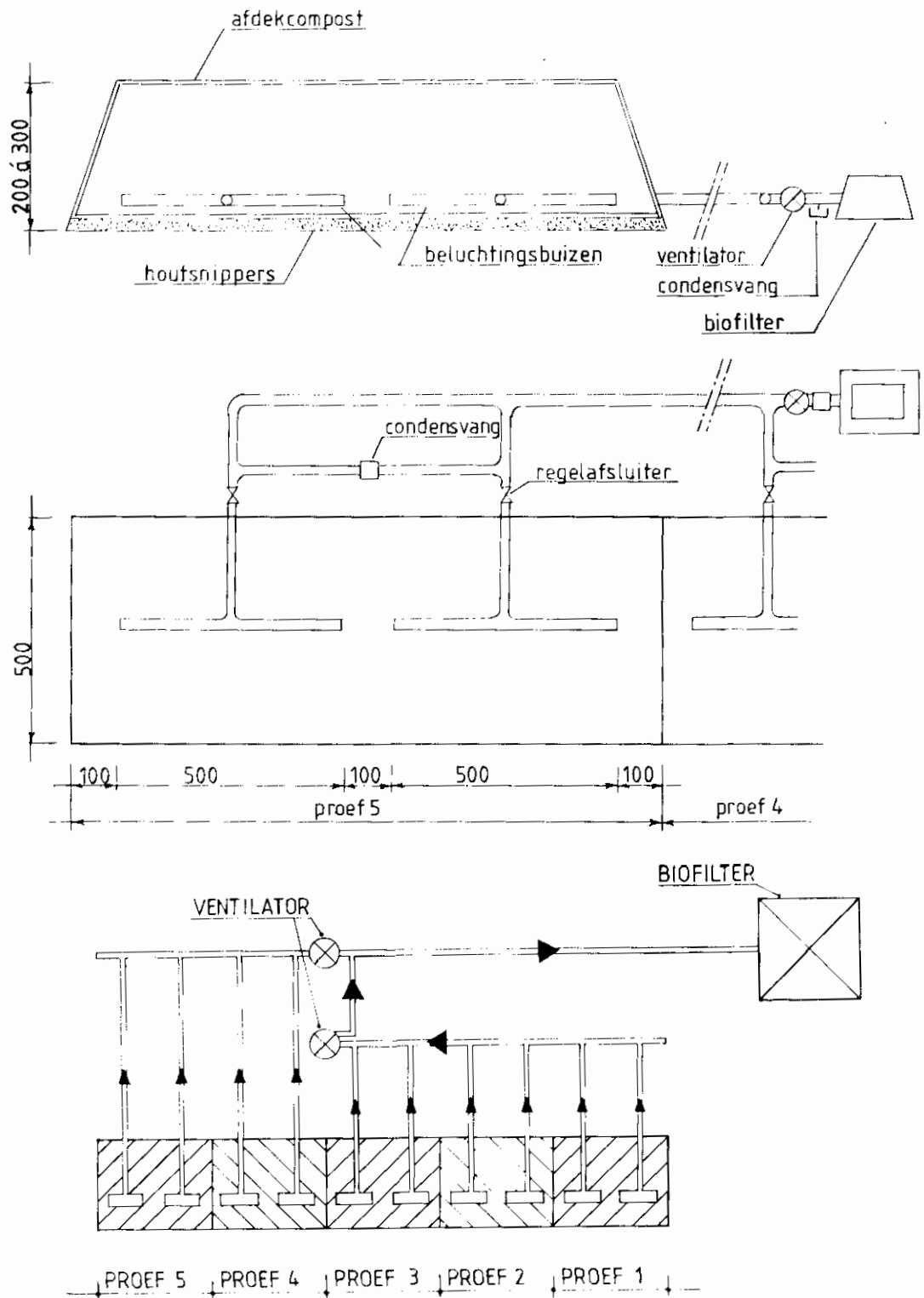
3.2 Beginmateriaal, toeslagmateriaal, systeemkeuze

Compostering heeft plaatsgevonden volgens het principe van de statische methode. Als beginmateriaal werd gebruik gemaakt van uitgegist slib (proef 1) en van gedeeltelijk aëroob gemineraliseerd slib (proeven 2 t/m 7). Het drogestofgehalte van het uitgegiste slib was 22,5%; van het aëroob gemineraliseerde slib lag het drogestofgehalte tussen 16,7% en 18,2%.

Als toeslagmaterialen zijn toegepast:

- houtchips, mengverhoudingen op volumebasis tussen slib:toeslagmateriaal = 1:1,5 tot 2,5;
- ruwe compost, mengverhouding op volumebasis tussen slib:compost = 1:1.

Alle proeven werden afgedekt met stro.



Figuur 13. Schematisch overzicht proefopstellingen

		slib	houtsnipers
nat gewicht	(ton)	30	-
volume	(m <sup>3</sup> )	30	60
drogestofgehalte	(%)	22,5	41,1
gewicht drogestof	(ton)	6,8	-
gloeirest (% van d.s.)		36,8	24,2
gewicht organische stof	(ton)	4,3	
onderdrukbeluchting		continu 140 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .	

Tabel 9. Gegevens uitgangsmaterialen proef 1

		slib	houtsnipers
nat gewicht	(ton)	25	-
volume	m <sup>3</sup> )	25	50
drogestofgehalte	(%)	18,2	32,2
gewicht drogestof	(ton)	4,6	-
gloeirest (% van d.s.)		22,6	24,2
gewicht organische stof	(ton)	3,5	
onderdrukbeluchting		continu 140 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .	

Tabel 10. Gegevens uitgangsmaterialen proef 2

		slib	houtsnipers
nat gewicht	(ton)	15	-
volume	m <sup>3</sup> )	25	50
drogestofgehalte	(%)	17,2	52,8
gewicht drogestof	(ton)	4,3	-
gloeirest (% van d.s.)		23,5	5,6
gewicht organische stof	(ton)	3,3	
onderdrukbeluchting		continu 140 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .	

Tabel 11. Gegevens uitgangsmaterialen proef 3

		slib	houtsnipers	ruwe compost
nat gewicht	(ton)	22	-	-
volume	m <sup>3</sup> )	22	33	22
drogestofgehalte	(%)	16,7	49,7	47
gewicht drogestof	(ton)	3,7	-	-
gloeirest (% van d.s.)		21,2	-	4,6
gewicht organische stof	(ton)	2,9	-	-
onderdrukbeluchting		continu 140 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .		

Tabel 12. Gegevens uitgangsmaterialen proef 4

		slib	houtsnipers
nat gewicht	(ton)	32	-
volume	m <sup>3</sup> )	32	50
drogestofgehalte	(%)	16,7	54,6
gewicht drogestof	(ton)	5,3	-
gloeirest (% van d.s.)		23,2	5,2
gewicht organische stof	(ton)	4,2	
onderdrukbeluchting		continu 175 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .	

Tabel 13. Gegevens uitgangsmaterialen proef 5

		slib	houtsnipers
nat gewicht	(ton)	-	-
volume	m <sup>3</sup> )	34	75
drogestofgehalte	(%)	17,5	68,4
gewicht drogestof	(ton)	6,0	-
gloeirest (% van d.s.)		24,1	19,6
gewicht organische stof	(ton)	4,5	
onderdrukbeluchting		continu 125 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .	

Tabel 14. Gegevens uitgangsmaterialen proef 6

		slib	houtsnipers	ruwe compost
nat gewicht	(ton)	24	-	-
volume	m <sup>3</sup> )	24	36	24
drogestofgehalte	(%)	17,2	60,3	45,1
gewicht drogestof	(ton)	4,2	-	-
gloeirest (% van d.s.)		22,4	14,0	65,5
gewicht organische stof	(ton)	3,2	-	-
onderdrukbeluchting		continu 140 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .		

Tabel 15. Gegevens uitgangsmaterialen proef 7

### 3.3

#### Uitvoering

In tegenstelling tot eerder beschreven proeven, vond het mengen van toeslagmateriaal en het te composteren slib plaats in een zogenaamde veevoedermenger.

De Nautamenger bestaat uit een verticale trechtvormige koker. In deze koker bevindt zich een wormvormige schoep, die roteert. Zuiveringsslib en toeslagmateriaal werden met behulp van een hydraulische graafmachine boven in de trechter gebracht waarna menging plaatsvond. Na menging werd de trechter aan de onderzijde gelost, waarbij het mengsel op een transportband terecht kwam. Het mengsel werd ver-

volgens door een wiellaadschop naar het niet verharde onderzoeksterrein getransporteerd.

Op het onderzoeksterrein konden gelijktijdig vijf stapelingen worden onderzocht. Door middel van twee ventilatoren, met een gezamenlijke capaciteit tussen 600 tot 1200 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> parallel opgesteld, werden de stapelingen belucht via het onderdrukprincipe.

In figuur 13 is de opstelling schematisch weergegeven. Onder elke stapeling lagen twee geperforeerde buizen van elk 5 meter lengte. De onttrekking van de lucht geschiedde via een gegalvaniseerde buis met een binnendiameter van circa 100 mm. In deze buis was buiten de ril een gat aangebracht, van waaruit de luchtmonsters werden genomen en waarin debietmetingen met een pitot-buis werden verricht. Door middel van een regelbare afsluiter werd het debiet ingesteld en constant gehouden.

Het leidingenstelsel lag onder afschot om verstopping van de buizen en belemmering van de luchtdoorlaat door gecondenseerde waterdamp te voorkomen. Per stapeling werd het condenswater opgevangen. De afgezogen lucht doorliep een biofilter met een oppervlak van circa 20 m<sup>2</sup>, gevuld met houtchips, en overkapt om neerslag te weren.

Aan de perszijde van de ventilatoren was direct voor het biofilter eveneens een condensopvang aangebracht en een meetflens.

#### 3.4 Procestechnologische parameters

De temperaturen in de stapeling, in de afgezogen lucht en in de buitenlucht zijn dagelijks gemeten.

De temperatuur in de stapelingen is door middel van een steeklans met thermokoppel op meerdere plaatsen per dag geregistreerd. Hiervan zijn de maximum en gemiddelde temperaturen in de ril vastgelegd. De temperatuur van de afgezogen lucht is direct buiten de stapelingen gemeten.

Van proef 7 zijn geen temperatuurgegevens beschikbaar. Van het materiaal uit de stapelingen werden regelmatig monsters genomen, waarvan het drogestofgehalte en de gloeirest zijn bepaald.

#### 3.5 Analyses en bepalingen

De uitgevoerde analyses en bepalingen zijn weergegeven in tabel 16.

Van het condens- en percolatiewater uit de beluchtingstuizen werden bovendien bepaald:

- het chemisch zuurstofverbruik;
- ammoniumstikstof;
- geleidbaarheid.

Om de mate van desinfectie als gevolg van het composteringsproces vast te stellen zijn de E-coli bepaald van het slib, het toeslagmateriaal en van het eindprodukt.

	slib	toeslag- mate- riaal	mengsel	compost	toeslag- materiaal na zeven	perco- laat en condens
drogestofstofgehalte	x	x	x	x	-	-
gloeirest	x	x	x	x	-	-
zuurgraad	x	-	-	-	-	x
koolstof	x	x	x	x	x	-
stikstof	x	x	x	x	x	-
fosfaat	x	-	-	x	-	-
kalium	x	-	-	x	-	-
calcium	x	-	-	x	-	-
magnesium	x	-	-	x	-	-
zink	x	-	-	x	-	x
cadmium	x	-	-	x	-	x
nikkel	x	-	-	x	-	x
kwik	x	-	-	x	-	x
lood	x	-	-	x	-	x
arseen	x	-	-	x	-	x
chroom	x	-	-	x	-	x
koper	x	-	-	x	-	x

Tabel 16. Analyses en bepalingen

### 3.6

#### Waarnemingen

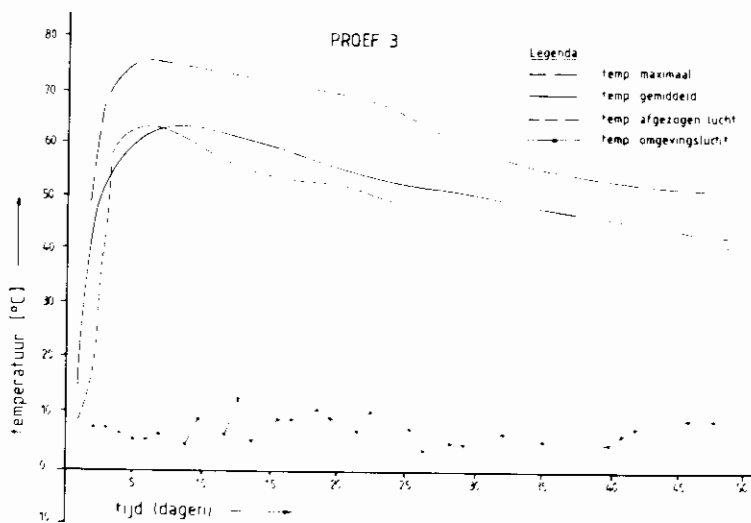
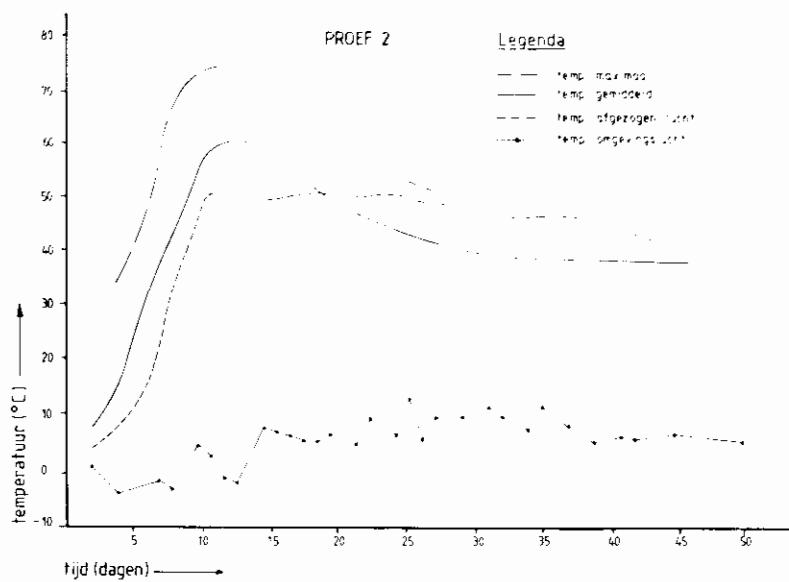
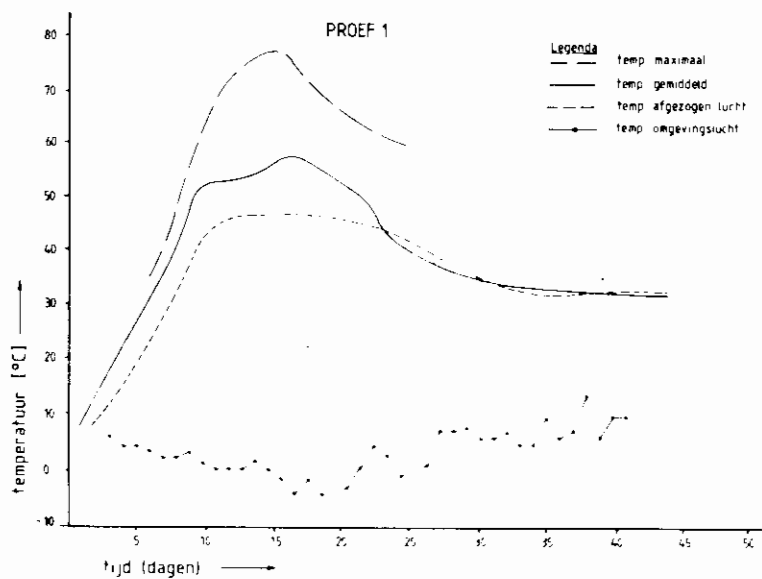
Proef 1 werd uitgevoerd met uitgegist en ontwaterd slib met een drogestofgehalte van 22,5%, van de rwzi-Etten. Het mengen van het slib en van de houtchips in een verhouding van 1 op 2 ging matig tot goed. De beluchtingsbuizen werden omstort met houtchips teneinde een gelijkmatige luchtonttrekking te bewerkstelligen en dichtslibben van de perforaties te voorkomen. De stapeling werd afgedekt met stro.

Na 45 dagen is de ril afgebroken en gezeefd. Het compostmengsel bleek vrijwel niet te zeven, door het dichtslaan (versmeren) van de zeefopeningen. Het drogestofgehalte van de nog verkregen uitgezeefde compost en chips bedroeg respectievelijk 36,5 en 34%; deze lage gehalten veroorzaakten de slechte zeefbaarheid.

Proef 2 is gestart op 10 februari 1983 en heeft een tijdsduur van 55 dagen gehad. Zeefband-ontwaterd slib van de rwzi-Zutphen en houtchips zijn gemengd in een volumeverhouding van 1 op 2. De menging van slib en hout in de mengers was slecht; veel grote slibkoeken bleven onaangetast. Deze slechte menging werd niet alleen veroorzaakt door het lage drogestofpercentage van het ontwaterde slib, maar vooral door het zeer natte toeslagmateriaal (32% droge stof). Het te composteren materiaal was daardoor aan het begin van de proef "overall" nat (25% droge stof).

Een continue beluchting met  $140 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  werd ingesteld. Tijdens de compostering is te weinig water afgevoerd, waardoor het uitzeven van de compost aan het eind van de proef geheel onmogelijk bleek.

Proef 3 is op 23 februari 1983 gestart met dezelfde samenstelling en mengverhouding als proef 2. Het toeslagmateriaal was nu aanmerkelijk droger (52% droge stof). Een goede menging van het ontwaterde slib met een drogestofgehalte van 17,2% en toeslagmateriaal werd verkregen. De compostering kwam zeer snel en intensief op gang. Opvallend was de woekering van schimmels door de gehele stapeling. Deze schimmels gaven de stapeling een wit aanzien. Na 55 dagen werd de ril opengelegd, zodat uit het interieur van de ril nog het nodige water kon verdampen. Het uitzeven van de compost ging goed. De stapeling werd continu belucht met een debiet van  $140 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .



Figuur 14. Temperatuurverloop van de proeven 1, 2 en 3



Op 9 maart 1983 is gestart met proef 4. De mengverhouding tussen slib met een drogestofgehalte van 16,7% en toeslagmateriaal bedroeg 2:3. Het drogestofgehalte van de chips bedroeg 55%. De compostering kwam snel op gang. Op 17 mei 1983 na 60 dagen is de proef beëindigd. Het uitgeven van de compost verliep matig tot slecht. De composthoop is belucht met een debiet van  $175 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

In proef 5 zijn twee toeslagmaterialen toegepast, houtchips en (on-gezeefd) gecomposteed materiaal. De mengverhouding tussen slib: hout: compost bedroeg 1:1,5:1. Het drogestofgehalte van het slib bedroeg 16,7%. De proef is op 21 maart 1983 gestart; de ril is op 20 juni 1983 afgebroken. Hoewel de temperatuur snel op gang kwam, verliep het composteringsproces traag. Ook hier verliep het zeven van het eindproduct (na 91 dagen compostering) slecht. Het beluchtingsdebiet bedroeg  $140 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

In proef 6 zijn dezelfde componenten in dezelfde mengverhouding als in proef 5 verwerkt. Het drogestofgehalte van de houtchips en gecomposteed materiaal bedroegen bij het begin van de proef respectievelijk 43 en 45%. Het slib had een drogestofgehalte van 17,2%. De proef is op 20 april 1983 gestart en werd op 22 juni 1983 voortijdig beëindigd omdat het compostmengsel in brand is gevlogen. Er heeft dan ook geen zeping van het mengsel plaatsgevonden. Het eindproduct kon niet worden geanalyseerd. Er vond continu beluchting plaats met een debiet van  $140 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

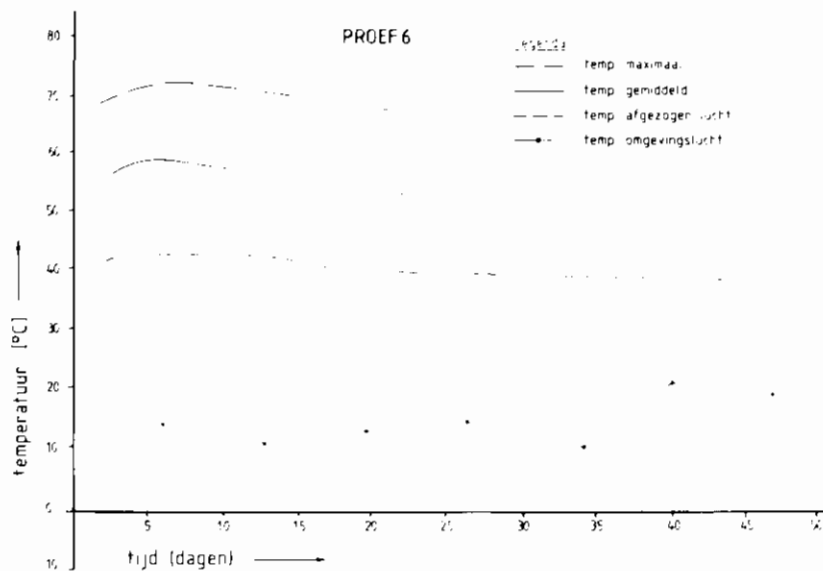
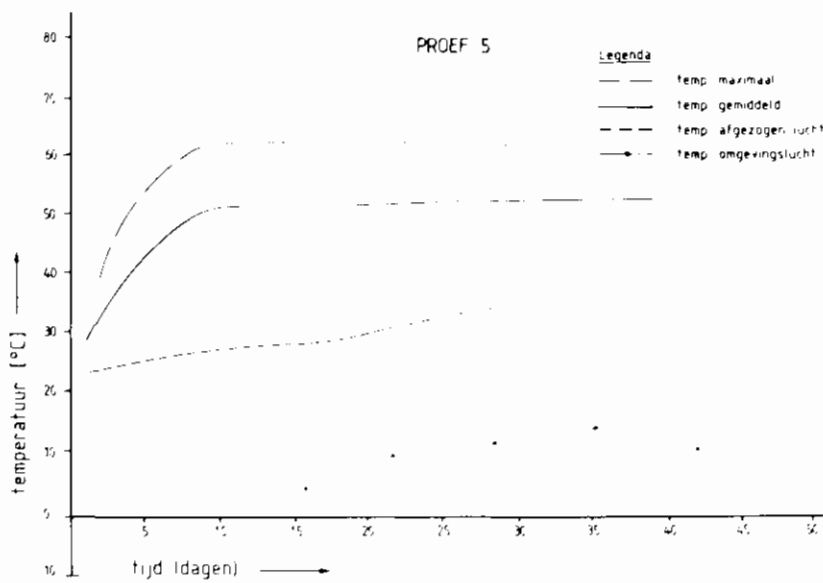
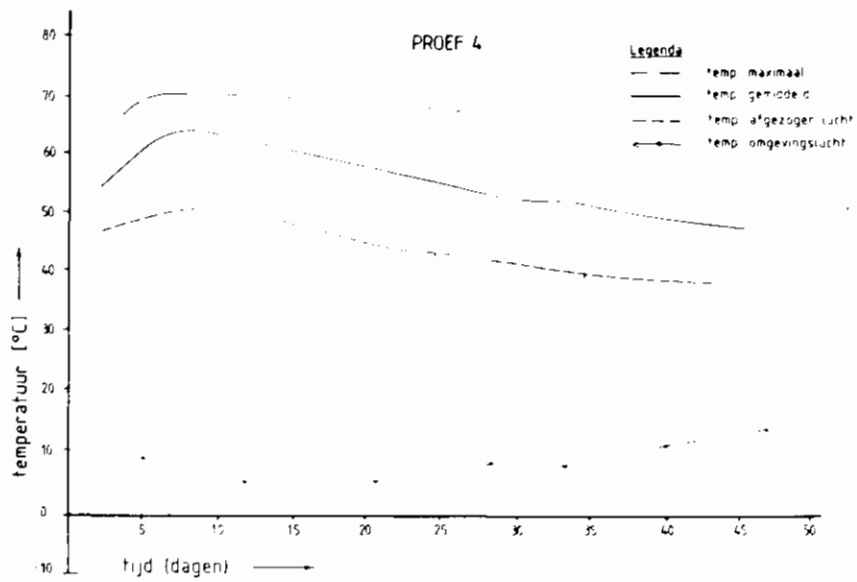
In proef 7 is gewerkt met een mengverhouding tussen slib en toeslagmateriaal van 1:2,5. De ril is niet met stro afgedekt, zoals de andere proefrillen. Het drogestofgehalte van het toeslagmateriaal bedroeg bij het begin van de proef meer dan 68% (houtchips) en van het slib 17,5%.

De compostering, gestart op 24 mei 1983, kwam zeer snel en intensief op gang. Het zeven van het compostmengsel ging goed. Op 12 juli 1983 is de stapeling (na 49 dagen composteren) afgebroken. Het drogestofgehalte van het eindproduct bedroeg 63%. Het continue beluchtingsdebiet was  $225 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

#### temperatuur

proef	1	2	3	4	5	6	7
dag waarop maximale temperatuur optrad (dag)	16	12	5	8	9-30	6	
maximale temperatuur in de stapeling (°C)	80	77	78	73	65	75	
traject gemiddelde temperatuur in de stapeling (°C)	35-55	40-55	50-60	50-65	30-55	55-62	
minimale en maximale temperatuur van de afgezogen lucht (°C)	35-47	43-52	45-60	40-52	25-37	40-45	40-55

Tabel 10. Temperatuurgegevens



Figuur 15. Temperatuurverloop van de proeven 4, 5 en 6

De temperaturen in de stapelingen, in de afgevoerde lucht en in de omgeving werden dagelijks gemeten. De gemiddelde-, de maximale en de minimale temperaturen zijn weergegeven in de figuren 14 en 15. Geconstateerd is dat over relatief korte afstanden in de stapelingen temperatuurverschillen van 10°C tot 30°C optraden.

In tabel 17 zijn de maximale temperatuur en het traject van de gemiddelde temperatuur in de stapelingen en de gemiddelde temperatuur van de ventilatielucht weergegeven.

#### drogestofgehalten

In tabel 18 zijn de drogestofgehalten weergegeven van het slib voor compostering, van het mengsel en het uitgezeefde eindproduct.

proef	gloeirest slib (% van d.s.)	gloeirest eindproduct (% van d.s.)	gloeirest toeslagmateriaal (% van d.s.)	
			voor	na
1	36,8	45,1	24,2	22,6
2	22,6	22,7	4,3	-
3	23,5	50,4	5,6	24,1
4	21,2	59,8	5,2	30,6
5	21,2	60,6	4,6	22,8
6	22,4	-	14,0	-
7	24,1	56,7	19,6	16,5

Tabel 18. Drogestofgehalten van slib, mengsel en eindproduct (ongezeefd)

#### gloeiresten

In tabel 19 zijn de gloeiresten weergegeven van het slib, de gezeefde compost als eindproduct, van het toeslagmateriaal voor gebruik en van het uit het eindproduct gezeefde toeslagmateriaal.

proef	d.s. slib	d.s. mengsel %	d.s. eind- product %	procentuele toename t.o.v. slib %	procentuele toename t.o.v. mengsel %
1	22,5	31,6	34,0*	50,1	-6,1
2	18,2	26,2	36,0*	58,8	3,6
3	17,2	30,1	58,9*	150	-7,7
4	16,7	31,5	74,0*	223	39,2
5	16,7	45,0	64,3*	249	27,9
6	17,2	43,0	60,0*	249	38,6
7	17,5	35,9	61,2*	260	47,0

\* na zeven

Tabel 19. Gloeiresten van slib, eindproduct en toeslagmateriaal

Uit de tabel blijkt dat de gloeirest van het eindproduct ongeveer 2 tot 3 maal zo groot is als de gloeirest van het slib. Uit het beperkte aantal gloeirestbepalingen van het uitgezeefde toeslagmateriaal blijkt, dat de gloeirest van het toeslagmateriaal eveneens toeneemt. Dit betekent dat ook dit toeslagmateriaal onderhevig is aan afbraak- en omzettingsprocessen.

chemische analyses

De resultaten van de chemische analyses zijn weergegeven in de tabellen 20 en 21. Hieruit blijkt dat:

- tijdens het composteren een aanzienlijke hoeveelheid stikstof verdwijnt via het percolaat, de afgezogen lucht en door verfluchtiging aan het oppervlak van de stapeling;
- bij toepassing van boomschors (een fractie van de houtchips) het mengsel wordt verrijkt met kalium en magnesium;
- het fosfaatgehalte in de eindprodukten in alle gevallen lager is dan in het slib.

		proef 1		proef 2		proef 3	
		slib	com-post	slib	com-post	slib	com-post
stikstof N <sub>kj</sub>	% d.s.	1,50	1,70	4,30	1,3	6,00	1,80
fosfaat P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% d.s.	3,60	1,40	3,20	-	4,00	1,50
calcium CaO	% d.s.	7,50	14,10	4,80	-	5,50	5,30
kalium K <sub>2</sub> O	% d.s.	0,25	0,62	0,42	-	0,41	0,58
magnesium MgO	% d.s.	0,83	0,87	0,56	-	0,44	0,58
cadmium	(mg/kg d.s.)	10	10	5	5	1	2,5
chrom	(mg/kg d.s.)	295	420	84	350	72	157
koper	(mg/kg d.s.)	1250	1100	520	600	520	330
kwik	(mg/kg d.s.)	0,1	2	0,1	2,7	0,1	2
nikkel	(mg/kg d.s.)	130	190	33	160	22	59
lood	(mg/kg d.s.)	700	600	260	290	230	155
zink	(mg/kg d.s.)	3750	3300	820	1290	690	610
arseen	(mg/kg d.s.)	2	5	2	1	5	2

Tabel 20. Chemische analyses van slib en eindprodukt (proef 1, 2, 3)

		proef 4		proef 5		proef 6		proef 7	
		slib	com-post	slib	com-post	slib	com-post	slib	com-post
stikstof N <sub>kj</sub>	% d.s.	1,10	1,40	1,1	1,3	5,8	-	6,20	1,3
fosfaat P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% d.s.	4,00	1,60	-	-	4,0	-	3,70	1,8
calcium CaO	% d.s.	4,00	2,90	-	-	5,2	-	5,30	3,5
kalium K <sub>2</sub> O	% d.s.	0,44	0,24	-	-	0,3	-	0,24	0,3
magnesium MgO	% d.s.	0,54	0,31	-	-	0,5	-	0,47	0,3
cadmium	(mg/kg d.s.)	3	2	-	-	2	-	5	4
chrom	(mg/kg d.s.)	76	88	-	-	84	-	110	105
koper	(mg/kg d.s.)	530	190	-	-	510	-	475	205
kwik	(mg/kg d.s.)	0,1	1,5	-	-	1,9	-	1,8	0,4
nikkel	(mg/kg d.s.)	24	34	-	-	14	-	20	42
lood	(mg/kg d.s.)	140	85	-	-	180	-	200	11,5
zink	(mg/kg d.s.)	630	335	-	-	750	-	860	390
arseen	(mg/kg d.s.)	2	1	-	-	2	-	3	4

Tabel 21. Chemische analyses van slib en eindprodukt (proef 4, 5, 6, 7)

Chroom en nikkel hebben in deze compost hogere gehalten dan in het slib.

Mogelijk wordt dit veroorzaakt door de methode waarop de monsters zijn verkleind. Slib is namelijk als zodanig gedestruueerd, terwijl het compostmengsel en de houtchips eerst zijn gemalen. In tabel 22 is het gehalte aan zware metalen in de houtchips weergegeven, ook hier is een grote spreiding in de gehalten waarneembaar.

houtchips	monster 1 *	monster 2 *, ***	monsters 3 **, ***
cadmium (mg/kg d.s.)	3	1	1
chroom (mg/kg d.s.)	54	19	13
koper (mg/kg d.s.)	42	24	11
kwik (mg/kg d.s.)	2,9	0,6	-
nikkel (mg/kg d.s.)	45	20	5
lood (mg/kg d.s.)	100	10	10
zink (mg/kg d.s.)	275	90	67
arseen (mg/kg d.s.)	1	1	1

Tabel 22. Gehalten aan zware metalen in toeslagmateriaal

- \* waarden in mg/kg droge stof, verkleining met slagmolen en vervolgens gedestruueerd
- \*\* houtchips als zodanig gedestruueerd
- \*\*\* monsters 2 en 3 zijn afkomstig uit eenzelfde houtopslag

Bij de compostering treedt zowel een concentratie-effect van de micro-elementen op (70% organisch materiaal verdwijnt bij composteren) als een verdunningseffect door het achterblijven van fijn houtmateriaal bij het uitzeven.

Door omzetting van organische stof kan dit concentratie-effect bij de compostering van zuiveringsslib globaal een factor 2 bedragen. Het verdunningseffect hangt af van de aard en de afmetingen van het toeslagmateriaal en tevens van de methode van uitzeven.

In het percolatiewater dat samen met het condenswater werd afgevoerd zijn uitgeloopte zware metalen aangetroffen. In tabel 23 is het concentratiebereik weergegeven. Enkele elementen komen in hoge tot zeer hoge concentraties in het percolaat voor, waarvan koper een duidelijke uitschieter vormt. Het percolaat zal dan ook gevoegd moeten worden bij de influentstroom van de zuiveringsinrichting. De massa aan metalen in het percolaat is verwaarloosbaar ten opzichte van de massa in het influent.

element	concentratiebereik
cadmium $\mu\text{g/l}$	1 - 2
chroom $\mu\text{g/l}$	3 - 16
koper $\mu\text{g/l}$	4 - 16000
kwik $\mu\text{g/l}$	0,3 - 70
nikkel $\mu\text{g/l}$	5 - 60
lood $\mu\text{g/l}$	1 - 260
zink $\mu\text{g/l}$	14 - 1450
arseen $\mu\text{g/l}$	1 - 5

Tabel 23. Gehalten aan zware metalen in een mengsel van percolaat- en condenswater

## luchthoeveelheden

Beluchting van de proeven vond plaats door middel van onderdrukventilatie.

Met behulp van debietmetingen en afsluiters zijn de debieten constant gehouden op  $140 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  voor de proeven 1, 2, 3, 5 en 6. Het beluchtingsdebiet voor proef 4 bedroeg  $175 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  en voor proef 7  $225 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . In tabel 24 zijn weergegeven:

- de hoeveelheid organische stof per proef;
- de theoretische luchthoeveelheid benodigd voor de oxydatie van 70% van de organische stof;
- de theoretische luchthoeveelheid benodigd voor oxydatie en voor de afvoer van vocht;
- de toegevoerde luchthoeveelheid.

proef	hoeveelheid droge stof slib (kg)	theoretisch benodigde hoeveelheid lucht voor oxydatie van organische stof ( $\text{m}^3$ )	berekende hoeveelheid lucht benodigd voor oxydatie en drogen ( $\text{m}^3$ )*	toegevoerde hoeveelheid lucht benodigd voor oxydatie en drogen
1	4.250	21.400	291.000	156.000
2	3.800	19.100	270.000	220.000
3	3.600	18.100	154.000	206.000
4	4.200	21.100	144.000	186.000
5	4.350	21.900	221.000	148.000
6	3.200	16.100	144.000	177.500
7	4.500	22.700	-	293.000

Tabel 24. Theoretisch benodigde en toegevoerde hoeveelheden lucht

niet gerook temperatuurgegevens beschikbaar

\* bij een constante luchttemperatuur van  $20^\circ\text{C}$  en een constante composteringstemperatuur van  $50^\circ\text{C}$

### 3.7 Conclusies uit de proeven van het Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland

In tabel 25 worden de resultaten van de composteringsproef per rij kort samengevat.

proef	1	2	3	4	5	6	7
menging slib (compost) en houtchips	+/-	-	+	+	+/-	+/-	+
uitzeven compost	+/-	-	+	+/-	-	*	+
composteringssnelheid	-	+/-	++	++	+/-	+	++
opstarttijd compostering	--	-	+	++	+	+	++

Tabel 25. Resultaten composteringsproeven

\* zeer slecht  
 - slecht  
 +/- matig  
 + goed  
 ++ zeer goed  
 -- matig slecht of niet mogelijk

De slechte resultaten van proef 1 zijn toe te schrijven aan:

- geringe potentiële energie-inhoud van het uitgegiste slib;
- lage drogestofgehalte van het compostmengsel bij aanvang van de proef.

De slechte resultaten van proef 2 ten opzichte van proef 3, welke onder dezelfde condities zijn bedreven, zijn veroorzaakt door het lage drogestofpercentage van proef 2 bij aanvang van de proefname, ten gevolge van het uitzonderlijk natte hout dat is gebruikt als toeslagmateriaal.

De belangrijkste conclusie na de eerste drie proeven was, dat het te composteren mengsel bij aanvang van de compostering een gemiddeld drogestofgehalte moet hebben van minimaal 40%. Dit kan worden bereikt door bijmenging van droog hout en gereed produkt (uitgezeefde compost) aan het slib waarvoor een volume-mengverhouding van slib en houtchips van 1:2 tot 1:3 noodzakelijk is. De mengverhouding van 1:3 zal ook het poriënvolume verhogen, waardoor een snellere compostering en betere droging wordt verkregen.

Bij de proeven 4, 5, 6 en 7 is deze hogere mengverhouding toegepast. Daarbij kan worden gesteld dat, bij een drogestofgehalte van het ontwaterde slib van circa 18% de houtchips een drogestofgehalte moeten hebben van minimaal 50%. Dit kan een overkapte opslag van het toeslagmateriaal noodzakelijk maken.

Uit de resultaten verkregen uit alle proeven kan worden gesteld dat:

- houtchips als toeslagmateriaal uitstekend blijken te voldoen; toepassing van oude compost remt de intensiteit van het composteringsproces;
- een mengverhouding slib-houtchips van 2:3 tot 2:5 volume-hoeveelheden gunstig lijkt voor een goede compostering;
- het drogestofgehalte van het toeslagmateriaal circa 50% moet bedragen;
- een hoge composttemperatuur (welke een hoge temperatuur van de ventilatielucht moet bewerkstelligen) de afvoer van water ten goede komt;
- het ammoniakgehalte en de kooldioxide- en zuurstofpercentages van de afgezogen lucht een goed inzicht geven in de snelheid en de intensiteit van het composteringsproces.

### 3.8. Voortgang composteringsonderzoek en uitvoering compostering op praktijkschaal

Op praktijkschaal wordt momenteel nader onderzoek uitgevoerd naar:

- een optimalisering van de mengverhouding en het mengprocedé bijvoorbeeld door het toevoegen van compost als toeslagmateriaal;
- optimalisering van de zeefmethode, door bijvoorbeeld al dan niet droog zaagsel toe te voegen aan het te zeven mengsel;
- optimalisering van de luchttoevoer. De debietmeting van de luchttoevoer gebeurt per ril door middel van een meetflens. De verdeling van de lucht moet per beluchtingselement worden geregeld door middel van een afsluiter;
- de eventuele invloed van de niet verharde ondergrond op het composteringsproces.

4.1 Algemeen

Door Grontmij n.v. zijn oriënterende proeven uitgevoerd om te onderzoeken of zogenoemd filterpersslib composteerbaar is.

Dit slib is ten behoeve van de ontwatering geconditioneerd met ijzerchloride en kalk. In het algemeen heeft het ontwaterde slib een hoog drogestofgehalte. De consistentie laat echter te wensen over hetgeen bij een verdere verwerking bijvoorbeeld als afdeklaag van een vuilstort, problemen met zich meebrengt. Bovendien treedt geen of nauwelijks rijping van het materiaal op. Doelstelling van de proeven was om vast te stellen of de verwerkbaarheid van filterpersslib door middel van composteren mogelijk is.

Vanwege het onderzoek naar de praktische omstandigheden zijn geen uitgebreide chemische analyses uitgevoerd. Wel zijn kwalitatieve microbiologische bepalingen verricht om een indruk te krijgen van de micro-organismen die zijn betrokken bij de compostering.

Er zijn twee proeven uitgevoerd waarbij het toeslagmateriaal werd gevarieerd (lit. 8). De proeven zijn uitgevoerd in de periode juli-november 1982.

4.2 Beginmateriaal, toeslagmateriaal, systeemkeuze

Het te composteren zuiverings-slib was afkomstig van de rioolwater-zuiveringsinrichting Garmerwolde (Groningen).

Het betrof uitgegist slib van een actief-slibinstallatie, dat na conditionering met ijzerchloride en kalk ontwaterd is met behulp van kamerfilterpersen tot een drogestofgehalte van 40% voor proef 1 en een drogestofgehalte van 32% voor proef 2.

De toegepaste toeslagmaterialen waren:

- in proef 1 verse houtsnippers;
- in proef 2 tarwestro + koolzaadstro.

De mengverhouding slib : houtsnippers in proef 1 was 1:2,5 op volumebasis. In proef 2 is gedeeltelijk tarwestro toegepast en gedeeltelijk koolzaadstro in de respectieve mengverhoudingen 1:3 en 1:2,8 op volumebasis.

De compostering is uitgevoerd volgens het principe van de statische methode in een open systeem op een geasfalteerde ondergrond. In proef 1 werd onderdrukbeluchting toegepast, in proef 2 drukbeluchting.

4.3 Uitvoering

Zowel slib als houtsnippers zijn per as aangevoerd; de hoeveelheden bedroegen resp. 16 en 50 m<sup>3</sup>. Van de totale hoeveelheid houtsnippers is 10 m<sup>3</sup> gereserveerd voor de werkvloer.

Het slib en de toeslagstof zijn allereerst op een grove wijze gemengd met een hydraulische graafmachine; de mengverhouding bedroeg circa 1:2,5.

Na deze grove menging volgde een intensievere bewerking met behulp van een stalmestverspreider. Hierdoor werden, naast een extra menging, ook de slibkoeken nog eens extra gebroken. Het resultaat van deze mengingen was een redelijk homogeen, goed stapelbaar produkt.

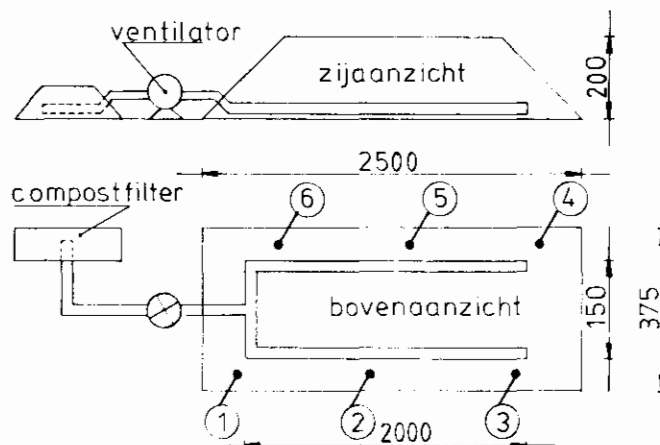


Het restant van de houtsnippers, circa 10 m<sup>3</sup> is uitgespreid als een werkvloer met afmetingen van 20 x 3,5 m. Op deze werkvloer zijn twee flexibele geperforeerde slangen uitgerold met een lengte van 20 m en een hart-op-hartafstand van 1,5 m. De slangen zijn aan één zijde afgesloten en aan de andere zijde aan elkaar gekoppeld en vervolgens verbonden met de ventilator.

Op de werkvloer is tenslotte de stapeling geformeerd met een breedte aan de basis van 3,5 m en een maximale hoogte van 1,75 m.

Het geheel is afgedekt met lucht doorlatende kunststofdoek, teneinde het intreden van overvloedige neerslag te vermijden.

De ventilator was voorzien van een toerenregelaar en een tijdschakelrelais.



① Bemonsteringspunt

Figuur 16. Opstelling proeven

Bij proef 2 werd als volgt te werk gegaan.

Het als toeslagmateriaal te gebruiken stro werd aangevoerd in:

- balen; dit om het versnijden in de praktijk te toetsen;
- pakken; gehakseld stro met een lengte van 2 à 3 cm.

Het verwerken van de balen stro vond plaats met behulp van een zogenaamde opraapsnijwagen. Het versneden stro alsmede het gehakselde stro werden na een grove voormenging met de kraan door een stalmeeststrooier gevoerd voor een intensieve menging.

Met deze bewerking werd tevens de stapeling gerealiseerd.

Hierdoor werd voorkomen, dat ten gevolge van bewerking met de kraan compactering op zou treden en diensgevolge verlies van porositeit. Gebleken is, dat het mengen van slib met gehakseld stro door middel van de kraan een zeer heterogeen mengsel oplevert, echter met onvoldoende porositeit. Om de slibkoeken te breken was het noodzakelijk om het reeds voorgemengde mengsel tweemaal door de mestverspreider te voeren.

Het ter plaatse versneden stro (lengte na bewerking met de snijwagen ca. 10-15 cm) werd op eenzelfde wijze gemengd.

Het eindprodukt was hier aanzienlijk poreuzer.

De werkelijke mengverhoudingen tussen slib en stro zijn moeilijk te bepalen. Het volume van het stro in balen of pakken is een wezenlijk andere dan nadat de balen of pakken zijn losgehaald.

De hieronder aangegeven hoeveelheden zijn dan ook slechts schattingen.

	stro (gepakt) m <sup>3</sup>	stro (los) m <sup>3</sup>	slibvolume m <sup>3</sup>	totaal composte- ringsmengsel m <sup>3</sup>
gehakseld	8	35-40	13	34-37
balen	12	20	7	32-36

Tabel 26. Volumina slib en toeslagmateriaal

Beide mengsels zijn in één stapeling verwerkt.

#### 4.4 Analyses en bepalingen

Van het beginmateriaal en het te composteren mengsel werden de volgende analyses verricht:

- drogestofgehalte;
- zuurstofgehalte;
- gloeirest;
- pH.

Tijdens de proeven werden monsters genomen voor kwalitatief microbiologisch onderzoek.

#### 4.5 Waarnemingen

Bij proef 1 trad gedurende de eerste zes dagen na aanvang een niveaudaling op van de stapeling. De hoogte nam af met ongeveer 0,30 m. De capaciteit van de ventilator nam daardoor af van 720 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, tot 520 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Gedurende de eerste tot en met de tiende dag na aanvang werd continu geventileerd tussen 08.00 en 16.00 uur. Daarna werd de ventilatie gedurende deze uren teruggebracht tot 12 minuten per uur.

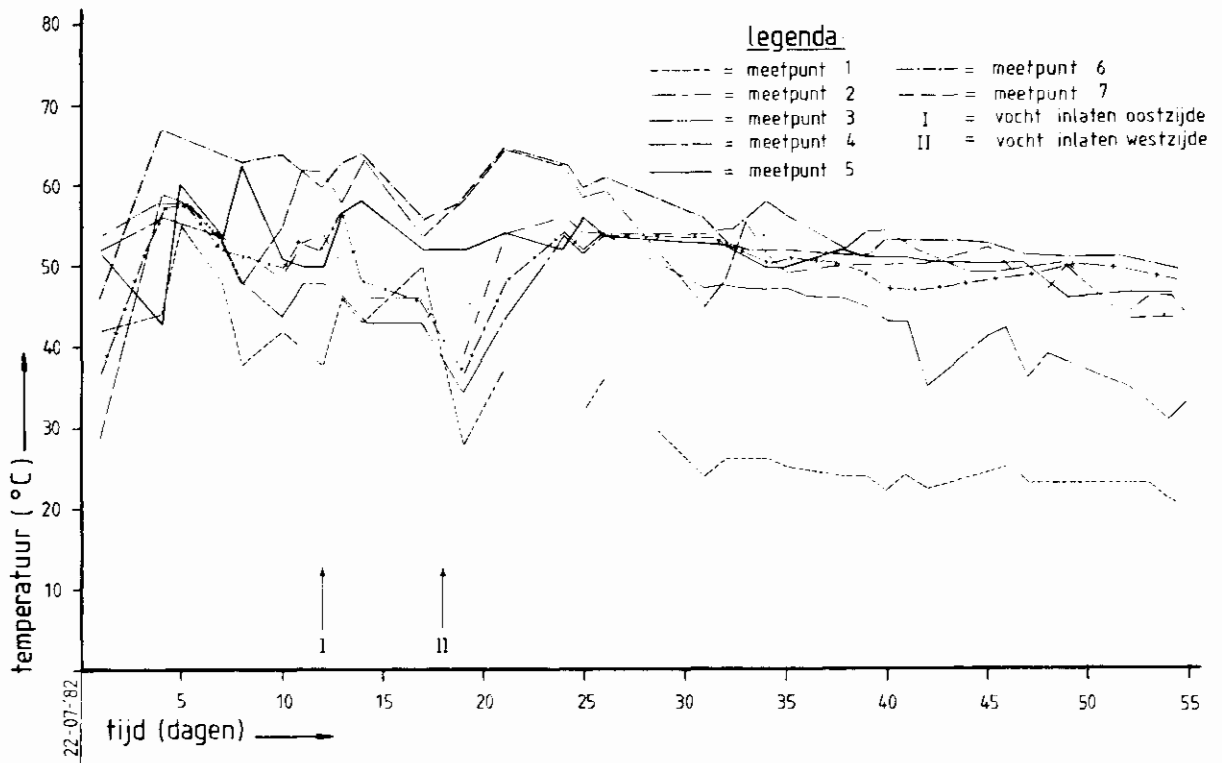
De temperatuurwaarnemingen zijn weergegeven in figuur 17.

Uit de waarnemingen bleek de maximale temperatuur bereikt te zijn op de 5<sup>e</sup> en 6<sup>e</sup> dag van de proef. Op grond van afnemende temperatuur en het "droge" karakter van het composteringsmateriaal is een hoeveelheid water aan één zijde van de stapeling geïnjecteerd. De temperatuur bleek na twee dagen weer te stijgen aan deze zijde.

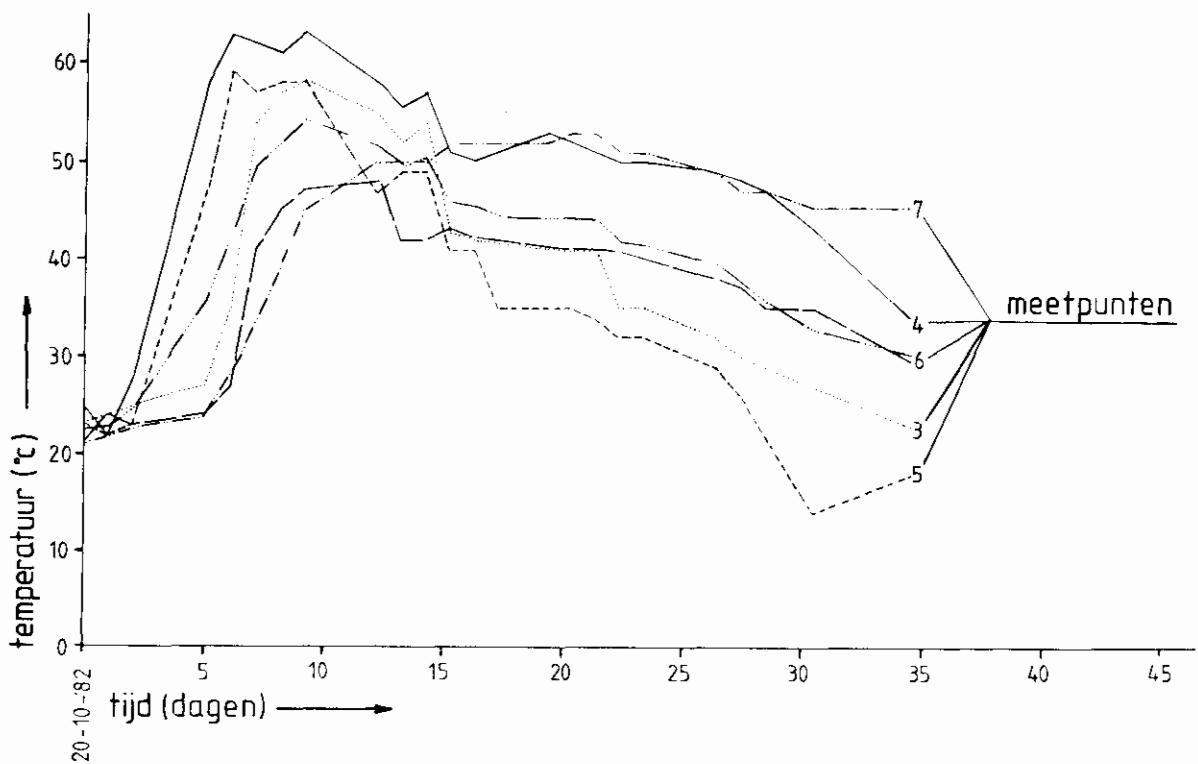
Daarop is eveneens de andere zijde van de stapeling geïnjecteerd (17 dag). Ten gevolge van deze laatste toediening van water heeft een scherpe daling van de temperatuur plaatsgevonden, waarna een toename van de temperatuur optrad. Naarmate het composteringsproces vorderde, werden de temperatuurverschillen tussen de meetpunten onderling kleiner en traden minder sterke temperatuurschommelingen op. Het uiterlijk van het composterende materiaal werd vergeleken met het oorspronkelijke materiaal.

Als referentie werd een hoeveelheid slib gebruikt dat los gestort, naast het composteringsmengsel lag. Bij de beoordeling van het uiterlijk is uitgegaan van dit basismateriaal.

Gedurende de periode waarin compostering plaatsvond, begon het basismateriaal aan de oppervlakte uit te drogen. Dit drogingsproces heeft zich voortgezet bij de slibkoeken die direct waren blootgesteld aan de weersomstandigheden. Bij de slibkoeken die min of meer tegen directe weersinvloeden waren afgeschermd bleef de uitdroging beperkt tot de oppervlakte. De slibkoeken waren slecht te breken. In gebroken slibkoeken bleken zich zwarte zones te bevinden. Het materiaal bleef hecht van samenstelling waarbij de pH in het inwendige groter bleef dan 10.



Figuur 17. Temperatuur als functie van de tijd (proef 1)



Figuur 18. Temperatuur als functie van de tijd (proef 2)

De slibkoeken van het te composteren mengsel bleken tot de zesde dag van het experiment nog een overeenkomstig gedrag te vertonen. Op de veertigste dag van het experiment bleken de slibkoeken van het te composteren mengsel gemakkelijk te breken. Zwarte zones bleken nog wel aanwezig maar waren minder. De breukvlakken waren korrelig, terwijl de structuur minder hecht was.

Op de veertigste dag is het te composteren mengsel ook losgehaald tot een diepte van 0,40 tot 1,00 m onder het oppervlak. Het mengsel bleek zeer rul, voor zover slibkoeken werden aangetroffen waren deze kleiner van afmeting en gemakkelijk te breken.

De waarnemingen met betrekking tot de biologische veranderingen bestonden uit het al dan niet aanwezig zijn van insecten in de directe omgeving van de opstelling en de aanwezigheid van grote organismen zoals wormen en micro-organismen. Op de zesde dag bleken geen insectenpopulaties van enige omvang voor te komen. Na roeren in het (relatief vochtige) filtermateriaal nam de aanwezigheid van vliegen sterk toe. Dit was eveneens het geval nadat de kunststof-afdekkolies van het te composteren mengsel waren verwijderd en vocht aan de opstelling was toegevoerd. Insecten werden niet waargenomen bij materiaal met een laag vochtgehalte.

Tijdens de meetperiode varieerde het zuurstofgehalte in de lucht binnen de stapeling van vijftien tot eenentwintig volumeprocent. Het zuurstofgehalte was minimaal bij temperaturen in de stapeling van gemiddeld 50°C.

Bij deze proeven werd kwalitatief onderzoek verricht naar de organismen die betrokken waren bij het composteringsproces. Geconstateerd werd dat op de zesde dag na aanvang zowel inwendig als uitwendig van de stapeling de slibkoeken overdekt waren met mycelium. Dit mycelium werd bemonsterd waarna uit het microbiologisch onderzoek bleek dat het mycelium behoorde tot de klasse Actinomycetes en de soort Actinomyces. Reproductie van dit organisme vindt plaats door fragmentatie van de hyfen. Door enzymatisch onderzoek kon de activiteit van cellulase worden aangetoond. Naarmate het composteringsproces vorderde, verdwenen deze organismen aan het oppervlak van de slibkoeken en diffundeerden in de slibkoeken. Bij het breken van de slibkoeken werden resten aangetroffen op de breukvlakken. Opmerkelijk daarbij is dat volgens de literatuur de optimale activiteit van dit organisme ligt bij een pH = 8. De zuurgraad van de slibkoeken had echter een pH = 11. Na vijftien dagen was de sterke overwoekering van mycelium afgenomen, hoewel zij op de breukvlakken van de slibkoeken nog wel werden aangetroffen. Het dominerende micro-organisme dat in de slibkoeken werd aangetroffen behoorde tot de soort Micromonospora waarbij cellulase werd aangetoond. Een en ander is in overeenstemming met literatuurgegevens<sup>16</sup>. Aan het eind van de proeven werden in de slibkoeken geen mycelia aangetroffen, maar grote gele en roze-oranjekleurige zone's. Beiden werden veroorzaakt door Fungi-imperfecti.

Op basis van het microbiologisch onderzoek wordt verondersteld dat bij de compostering van met kalk en ijzerchloride geconditioneerd zuiveringsslib, met een pH = 12 eerst een geleidelijke verlaging aan het oppervlak van de zuurgraad plaatsvindt door Actinomyces, waarna

	monster op dag:									
	1		6		15		30		65	
aard micro-organismen	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
psychrofiel	*	+	*	+	-	+	*	+	+	
mesofiel	*	*	+	-	*	*	+	*	*	*
thermofiel	*	*	-	-	+	*	+	-	-	-
<u>sporevormers</u>										
mesofiel	*	+	+	+	+	*	-	-	-	-
thermofiel	*	+	+	+	+	*	-	-	-	-
<u>zuurvormers</u>										
mesofiel	-	-	-	-	*	*	+	-	+	-
<u>gisten/schimmels</u>										
medium: zuur	*		*	-	-	-	*	*	-	+
: neutraal	*		*	*	+	*	+	*	+	-
: basisch	*		+	-	-	-	+	-	+	-
<u>actinomyceten</u>										
mesofiel	-	-	+	-	+	*	+	-	+	-
thermofiel	-	-	+	-	+	*	*	-	-	-
Micromonospora	-	-	-	-	*	-	+	-	+	-
Mycobacterium	-	-	-	-	-	-	+	-	*	-
Myxobacterium	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*
<u>E.-coli</u>										
Streptococcus faecalis	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-

Tabel 27. Resultaten microbiologisch onderzoek (proef 1)

a = aëroob  
b = anaëroob  
+ = aanwezig  
\* = niet aangetoond  
- = niet bepaald

gedeeltelijke afbraak plaats vindt van organisch materiaal. Geleidelijk aan vindt synthese plaats van andere micro-organismen, zoals Micromonospora die een verdere afbraak bewerkstelligen tot schimmels en andere fungi welke bij het compostingsproces voor een verdere afbraak zorgen. Een overzicht van de gedetermineerde organismen is weergegeven in tabel 27.

Stankhinder werd niet geconstateerd.

De hygiënische betrouwbaarheid van het gevormde eindproduct is bepaald door kiemgetalbepalingen van E.-coli (Enterobacteriaceae) en faecale streptococci.

Als gevolg van de kalkdosering bij de conditonering is een sterke pH-stijging opgetreden. Als gevolg daarvan heeft het slib een vorm van desinfectie ondergaan.

Daarnaast mag worden verwacht, dat ten gevolge van het compostingsproces een verdere verhoging van de hygiënische betrouwbaarheid op zal treden.

Uit de laboratoriumbepalingen bleek, dat voor compostering de volgende kiemgetallen aanwezig waren:

- E-coli: 500 per 100 gram;
- faecale streptococci: 750 per 100 gram.

Na compostering:

- E-coli: 0 per 100 gram;
- faecale streptococci: 275 per 100 gram.

De temperatuurwaarnemingen van proef 2 zijn weergegeven in figuur 20. In het algemeen bleek de temperatuur in de stapeling lager dan bij proef 1. Geforceerde beluchting vond plaats tussen 08.00 en 16.00 uur waarbij de ventilator ongeveer 15 minuten per uur in bedrijf was. Na drieëndertig dagen werd de geforceerde beluchting gestopt, aangezien de gemiddelde temperatuur lager was dan 40°C. Bij inwendige inspectie bleek dat een deel van de stapeling waarin gehakseld tarwestro als toeslagmateriaal was toegepast een drogestofgehalte van ongeveer 35% bezat. Het mengsel bestaande uit slib en gesneden koolzaadstro had een drogestofgehalte van ongeveer 50%.

De resultaten van de bepalingen aan het mengsel zijn weergegeven in tabel 28.

dagen	1	7	15	25	33
gloeirest	32	35	37	50	53
d.s.-gehalte	30	35	40	40	45
pH (kCl)	12,7	10,0	7,5	7,3	7,4

Tabel 28. Gloeirest, d.s.-gehalte en pH (proef 2)

Het eindprodukt kon niet worden gezeefd.

4.6

#### Conclusies uit de proeven van de Grontmij n.v.

Uit de proeven zijn de volgende conclusies getrokken:

- compostering van met kalk en ijzerchloride geconditioneerd zuiveringsslib dat is ontwaterd met een kamerfilterpers is mogelijk;
- stro geeft een onvoldoende blijvende porositeit aan de stapeling;
- na compostering kan stro niet van het eindprodukt worden afgezeefd;
- de als gevolg van het composteringsproces optredende temperaturen hebben een desinfecterend effect;
- de pH van het beginmateriaal neemt af van ongeveer 13 in het beginmateriaal tot ongeveer 8 in het eindprodukt;
- tengevolge van de compostering is geen stankhinder opgetreden.

5.1 Algemeen

In opdracht van de STORA zijn in het kader van het onderzoek naar de verwerkingsmogelijkheden van zuiveringsslib tot compost een aantal praktijkproeven uitgevoerd door Grontmij N.V. De eerste proeven hadden daarbij een experimenteel karakter. Op basis van de daarbij opgedane ervaringen zijn tenslotte twee series proeven uitgevoerd waarvan de resultaten hierna kort worden weergegeven.

Voor een volledig overzicht van de uitgevoerde proeven wordt verwezen naar het STORA-rapport "Compost en zwarte grond uit zuiveringsslib"<sup>6</sup>.

5.2 Beginmateriaal, toeslagmateriaal, systeemkeuze

Compostering heeft plaatsgevonden volgens het principe van de statische methode in een open systeem.

Drie van de hieronder beschreven proeven zijn uitgevoerd in de open lucht in de zomerperiode juli-augustus 1983; twee vergelijkbare proeven werden uitgevoerd onder een overkapping tijdens de winterperiode van 1983. Een overzicht van de proeven is weergegeven in tabel 29.

	ASHHZ(1)	ASHHB(1)	USHHZ	ASHHZ(2)	ASHHB(2)
beginmateriaal	aëroob gestabiliseerd slib	aëroob gestabiliseerd slib	uitgegist slib	aëroob gestabiliseerd slib	aëroob gestabiliseerd slib
toeslagmateriaal	houtblokken +houtschillen	houtblokken +houtschillen	houtblokken+houtschillen	houtblokken +houtschillen	houtblokken+houtschillen
beluchtingsvorm	onderdrukbeluchting	drukbeluchting	onderdrukbeluchting	onderdrukbeluchting	drukbeluchting
uitvoering	open lucht	open lucht	open lucht	onder overkapping	onder overkapping
periode	zomer '83	zomer '83	zomer '83	winter '83-84	winter '83-84

Tabel 29. Overzicht proeven van de STORA

Als beginmaterialen werden toegepast:

- aëroob gestabiliseerd slib, geconditioneerd met polyelektrolyten en ontwaterd door middel van een zeefbandpers tot een drogestofgehalte van 14,7% en 15,3%;
- uitgegist slib, geconditioneerd met polyelektrolyten en ontwaterd door middel van een zeefbandpers tot een drogestofgehalte van 27,8%.

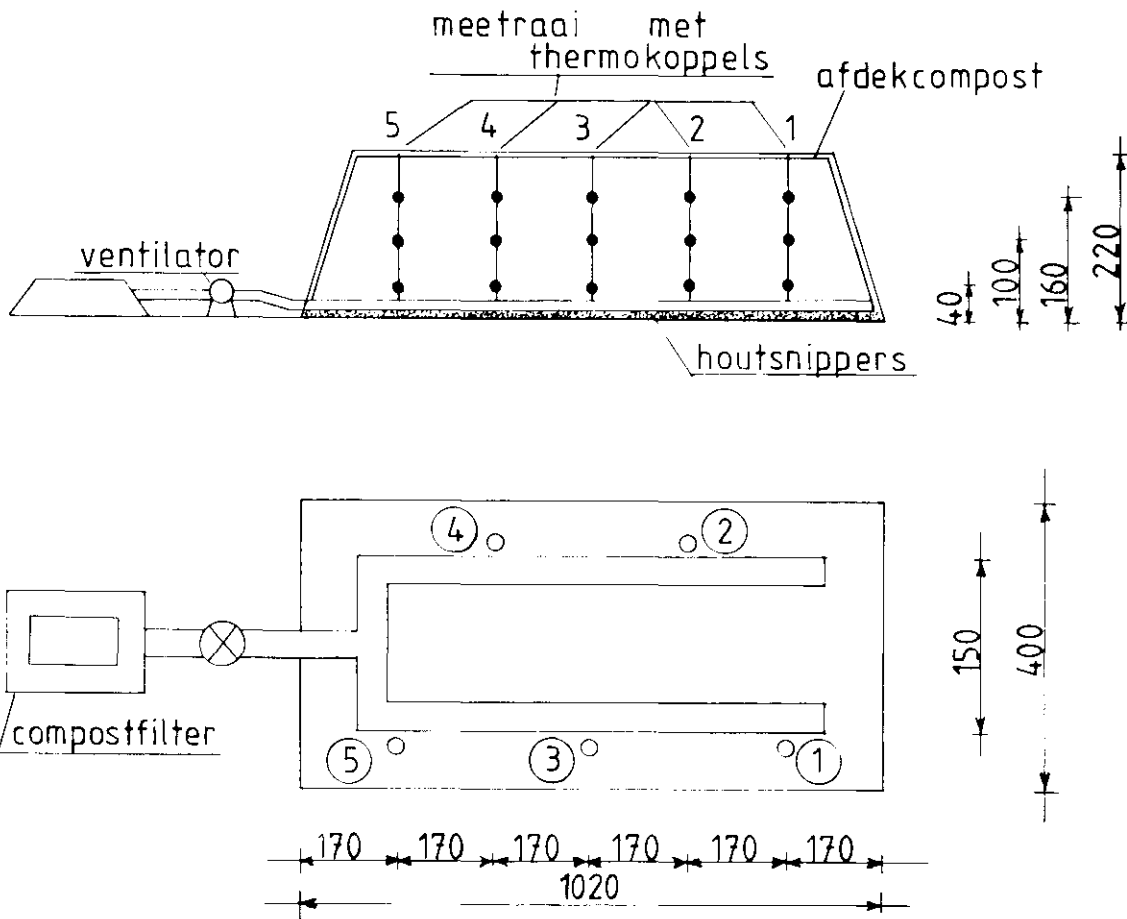
Als toeslagmaterialen zijn toegepast:

- houtblokken als porositeitverhogend toeslagmateriaal; mengverhouding slib: houtblokken variërend van 1:1 tot 1:6;
- houtschillen als vochtregulerend toeslagmateriaal; mengverhoudingen slib: houtschillen ongeveer 1:2.

5.3 Uitvoering

Uitgangsmaterialen en toeslagmaterialen werden per as aangevoerd en op de verharde ondergrond gestort. Mengen van het uitgangsmateriaal en het vochtregulerende toeslagmateriaal werd uitgevoerd met behulp van een hydraulische graafmachine en een stalmestverspreider.

Nadat menging met vochtregulerend toeslagmateriaal tot stand was gebracht werd aan dit mengsel het porositeitverhogend toeslagmateriaal toegevoegd, gemengd en vervolgens gestapeld op dubbelwandige HDPE-buizen die als beluchtingselementen werden gebruikt. De proeven in de open lucht werden uitgevoerd op het terrein van de RWZI Ede. Twee proeven zijn tijdens de winterperiode uitgevoerd in een overdekte ruimte om de invloed van neerslag uit te sluiten. De afmetingen van de ruimte waren 30 x 15 m met een hoogte van 8 m. De ruimte was aan drie zijden toegankelijk voor de aanvoer van materieel en materiaal. De verharding bestond uit straatklinkers. In verband met stankklachten door omwonenden zijn tijdens de uitvoering van de proeven twee toegangen afgesloten. Deze maatregel was voldoende ter voorkoming van stankhinder tijdens de proeven.



Figuur 19. Opstelling proeven STGRA



	AS	toeslagmateriaal houtsnippers houtblokken	
nat gewicht (ton)	22,0	6,44	-
volume (m <sup>3</sup> )	22,0	46,0	26,0
drogestofgehalte (%)	15,3	72,0	-
gewicht droge stof (ton)	3,37	4,64	-
gloeirest (in % van d.s.)	30,7	-	-
gewicht organische stof (ton)	2,34	-	-
toeslagfactoren:			
TF <sub>v</sub>	1	2,09	1,2
TF <sub>n</sub>	1	0,29	-
TF <sub>d</sub>	1	1,38	-
beluchting: onderdruk			
ventilatorcapaciteit	:	525 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	
drukverschil	:	120 mmWk	
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	13.000 m <sup>3</sup>	
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	132.300 m <sup>3</sup>	
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C	
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	20 °C	
totaal benodigde luchttoevoer	:	132.300 m <sup>3</sup>	

Tabel 30. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASHHZ(1)

	AS	toeslagmateriaal houtsnippers houtblokken	
nat gewicht (ton)	21,4	6,44	-
volume (m <sup>3</sup> )	21,4	46,0	26
drogestofgehalte (%)	15,3	72,0	-
gewicht drogestof (ton)	3,27	4,64	-
gloeirest (in % van d.s.)	30,7	-	-
gewicht organische stof (ton)	2,26	-	-
toeslagfactoren:			
TF <sub>v</sub>	1	2,15	1,22
TF <sub>n</sub>	1	0,30	-
TF <sub>d</sub>	1	1,42	-
beluchting: druk			
ventilatorcapaciteit	:	540 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	
drukverschil	:	120 mmWk	
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	12.600 m <sup>3</sup>	
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	120.140 m <sup>3</sup>	
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C	
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	20 °C	
totaal benodigde luchttoevoer	:	120.140 m <sup>3</sup>	

Tabel 31. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASHHB(1)

	AS	toeslagmateriaal houtschillen houtblokken	
nat gewicht (ton)	18	4,2	-
volume (m <sup>3</sup> )	18	35	26
drogestofgehalte (%)	14,7	78,6	-
gewicht drogestof (ton)	2,65	3,3	-
gloeirest (in % van d.s.)	26,4	-	-
gewicht organische stof (ton)	1,95	-	-
toeslagfactoren:			
TF <sub>v</sub>	1	1,94	1,4
TF <sub>n</sub>	1	0,23	-
TF <sub>d</sub>	1	1,25	-
beluchting: onderdruk			
ventilatorcapaciteit	:	525 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	
drukverschil	:	120 mmWk	
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	10.820 m <sup>3</sup>	
luchtbehoefte t.b.v. vochttoevoer	:	138.600 m <sup>3</sup>	
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C	
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C	
totaal benodigde luchttoevoer	:	138.600 m <sup>3</sup>	

Tabel 32. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASHHZ(2)

	AS	toeslagmateriaal houtschillen houtblokken	
nat gewicht (ton)	17	4,2	-
volume (m <sup>3</sup> )	17	35	26
drogestofgehalte (%)	14,7	78,6	-
gewicht drogestof (ton)	2,49	3,3	-
gloeirest (in % van d.s.)	26,4	-	-
gewicht organische stof (ton)	1,84	-	-
toeslagfactoren:			
TF <sub>v</sub>	1	2,06	1,6
TF <sub>n</sub>	1	0,25	-
TF <sub>d</sub>	1	1,33	-
beluchting: druk			
ventilatorcapaciteit	:	550 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	
drukverschil	:	120 mmWk	
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	10.200 m <sup>3</sup>	
luchtbehoefte t.b.v. vochttoevoer	:	130.200 m <sup>3</sup>	
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C	
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C	
totaal benodigde luchttoevoer	:	130.200 m <sup>3</sup>	

Tabel 33. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASHHB(2)

	US	toeslagmateriaal houtsnippers houtblokken	
nat gewicht (ton)	22,0	6,44	-
volume (m <sup>3</sup> )	22,0	46,0	24
drogestofgehalte (%)	27,8	72,0	-
gewicht drogestof (ton)	6,1	4,64	-
gloeirest (in % van d.s.)	43,8	-	-
gewicht organische stof (ton)	3,42	-	-
<b>toeslagfactoren:</b>			
TF <sub>v</sub>	1	2,09	1,09
TF <sub>n</sub>	1	0,29	
TF <sub>d</sub>	1	0,76	
<b>beluchting: onderdruk</b>			
ventilatorcapaciteit	:	525 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	
drukverschil	:	120 mmWk	
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	19.100 m <sup>3</sup>	
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	118.500 m <sup>3</sup>	
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C	
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	20 °C	
totaal benodigde luchttoevoer	:	118.500 m <sup>3</sup>	

Tabel 34. Gegevens uitgangsmaterialen proef USHHZ

#### 5.4 Procestechnologische parameters

Bij de praktijkproeven is de temperatuur gekozen als parameter op basis waarvan de voortgang van het composteringsproces werd bepaald en de draai- en stoptijden van de ventilatoren werden geregeld. Voor het meten van de temperatuur is gebruik gemaakt van thermokoppels.

Per stapeling werden vijf meetraaien, bestaande uit houten latten aangebracht loodrecht op het grondvlak. Vier meetraaien werden ten opzichte van het grondvlak in een rechthoekige vorm geplaatst. Aan elke meetraai werden drie thermokoppels bevestigd op een hoogte van 0,60, 1,20 en 1,80 m van de bodem. Bovendien waren thermokoppels aangebracht in de afvoerleidingen van de ventilatoren en op twee plaatsen in de buitenlucht. De thermokoppels werden aangesloten op een datalogger. De waarnemingen werden opgeslagen in het geheugen van de datalogger en per tien minuten per meetpunt gemiddeld. Deze waarde werd als tien-minutenwaarneming opgeslagen op een magneetband. Door middel van een beeldscherm bestond de mogelijkheid om de momentane meetwaarden direct waar te nemen.

#### 5.5 Analyses en bepalingen

Van het slib, het vochtregulerend toeslagmateriaal, het eindproduct en de zeefrest zijn de volgende analyses verricht:

- |                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| - drogestofgehalte          | - koper   |
| - ruw as                    | - chroom  |
| - organische stof           | - zink    |
| - stikstof                  | - lood    |
| - fosfaat                   | - cadmium |
| - kalium                    | - nikkel  |
| - calcium                   | - kwik    |
| - magnesium                 | - arseen  |
| - koolstof-elementair       | - pH      |
| - chemisch zuurstofverbruik |           |

Om een indruk te verkrijgen van de mate van desinfectie is een aantal microbiologische bepalingen verricht aan beginmateriaal en eindprodukten. Deze bepalingen hadden betrekking op:

- thermotolerante bacteriën van de coli-groep;
- bacteriën van de coli-groep;
- Salmonellae.

Gedurende de proefperiode zijn incidentele metingen verricht, uitgevoerd in de omgevingslucht en de afvoerlucht van de ventilator. Deze metingen hadden betrekking op:

- kooldioxyde (CO<sub>2</sub>);
- ammoniak (NH<sub>3</sub>);
- zwavelwaterstof (H<sub>2</sub>S).

De metingen zijn uitgevoerd met Dräger-buisjes.

Tegelijkertijd zijn zuurstofmetingen binnen de stapelingen verricht.

## 5.6

### Waarnemingen

proef ASHHZ(1) (aëroob gestabiliseerd slib + houtschillen + hout-  
----- blokken; onderdrukbeluchting); zomerperiode.

De temperatuurtoename van deze proef verliep zeer snel. Binnen een periode van 5 dagen na aanvang werd een maximale temperatuur van 80°C bereikt in het midden van de stapeling. De temperaturen waren maximaal op plaatsen die veraf lagen van de ventilator. De temperaturen op de plaatsen dicht bij de ventilator waren steeds lager. Het verschil tussen de gemeten maximale en minimale temperatuur per meetraai varieerde van 20 °C bij aanvang van de proef tot 35 °C aan het eind van de proefperiode. De temperatuurverschillen op de verschillende waarnemingsniveau's binnen de stapeling varieerden minder, namelijk 8 °C. Bij deze proef werden de stop- en draaitijden van de ventilator aangepast om afkoeling van de stapeling te voorkomen. Tijdens een periode van 25 dagen werden zowel in de afvoerlucht als aan het oppervlak van de stapeling CO<sub>2</sub>- en NH<sub>3</sub>-concentraties gemeten voor een indicatie van biochemische omzettingen binnen de stapeling.

Na 45 dagen werd de actieve compostering als beëindigd beschouwd en werd het materiaal gezeefd om het porositeitverhogend toeslagmateriaal af te scheiden.

Het zeefrendement bedroeg 100%. De zeeffractie werd in depot gezet voor narijping.

Na een narijplingsperiode van 45 dagen is dit materiaal verder gezeefd om gecomposteed slib en vochtabsorberend toeslagmateriaal te scheiden.

De te zeven hoeveelheid en de zeefresultaten waren:

- te zeven volume : 76 m<sup>3</sup>;
- zeeffractie (compost) : 36 m<sup>3</sup>;
- zeefrest (toeslagmateriaal + resten slib) : 40 m<sup>3</sup>.

Analyse van het eindprodukt gaf de volgende resultaten:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 1090 mg/l tot 320 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 15% tot 49%;
- gloeirest : toename van 31% tot 63% van de droge stof;
- C/N-verhouding : afname van 25 tot 15.

proef ASHHB(1) (aëroob gestabiliseerd slib + houtschillen + hout-  
----- blokken, drukbeluchting), zomerperiode.

Hetzelfde slib en toeslagmateriaal werd toegepast in nagenoeg dezelfde verhoudingen als bij proef ASHHZ(1). De ventilatie werd ingeschakeld afhankelijk van de optredende temperatuur. Beluchting vond plaats door middel van drukventilatie. Uit de temperatuurwaarnemingen blijkt dat de maximale temperatuur 70 °C bedroeg.

Het verschil tussen de maximale en minimale temperatuur nam af van 15 °C tot 8 °C aan het einde van de proefperiode. Er werden geen grote temperatuurverschillen tegelijkertijd geconstateerd. De temperaturen gemeten door de onderste thermokoppels waren voortdurend lager dan die van de bovenste thermokoppels. Het temperatuurverschil tussen onderste en bovenste thermokoppels was 10 °C.

Omdat de lucht nu niet centraal werd afgevoerd, zijn incidentele gasmetingen verricht op willekeurige plaatsen aan het oppervlak van de stapeling.

Uit deze metingen bleek dat aan het oppervlak van de stapelingen aanzienlijke concentraties CO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> vrij kwamen die wijzen op afbraak van organische stof. Opvallend daarbij was tevens dat ondanks gemeten NH<sub>3</sub>-concentraties, die duidelijk boven de reukdrempel lagen (geurdrempel NH<sub>3</sub>: 0,5 mg/m<sup>3</sup>) tot op een afstand van 1 meter van de stapelingen geen NH<sub>3</sub>-concentraties meetbaar waren.

Het materiaal van de proeven is gezeefd om het porositeitverhogende toeslagmateriaal af te scheiden. Het zeefrendement bedroeg 100%. De zeeffractie bestaande uit gecomposteerd slib, vochtregulerend toeslagmateriaal en afdekcompost, is na een narijingsperiode van 45 dagen gezeefd.

De te zeven hoeveelheid en de zeefresultaten waren:

- te zeven volume : 76 m<sup>3</sup>;
- zeeffractie : 40 m<sup>3</sup>;
- zeefrest (toeslag materiaal + resten slib) : 36 m<sup>3</sup>.

Analyse van het eindprodukt gaf de volgende resultaten:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 1090 mg/l tot 390 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 15% tot 46%;
- gloeirest : toename van 31% tot 60% van de droge stof;
- C/N-verhouding : afname van 25 tot 12.

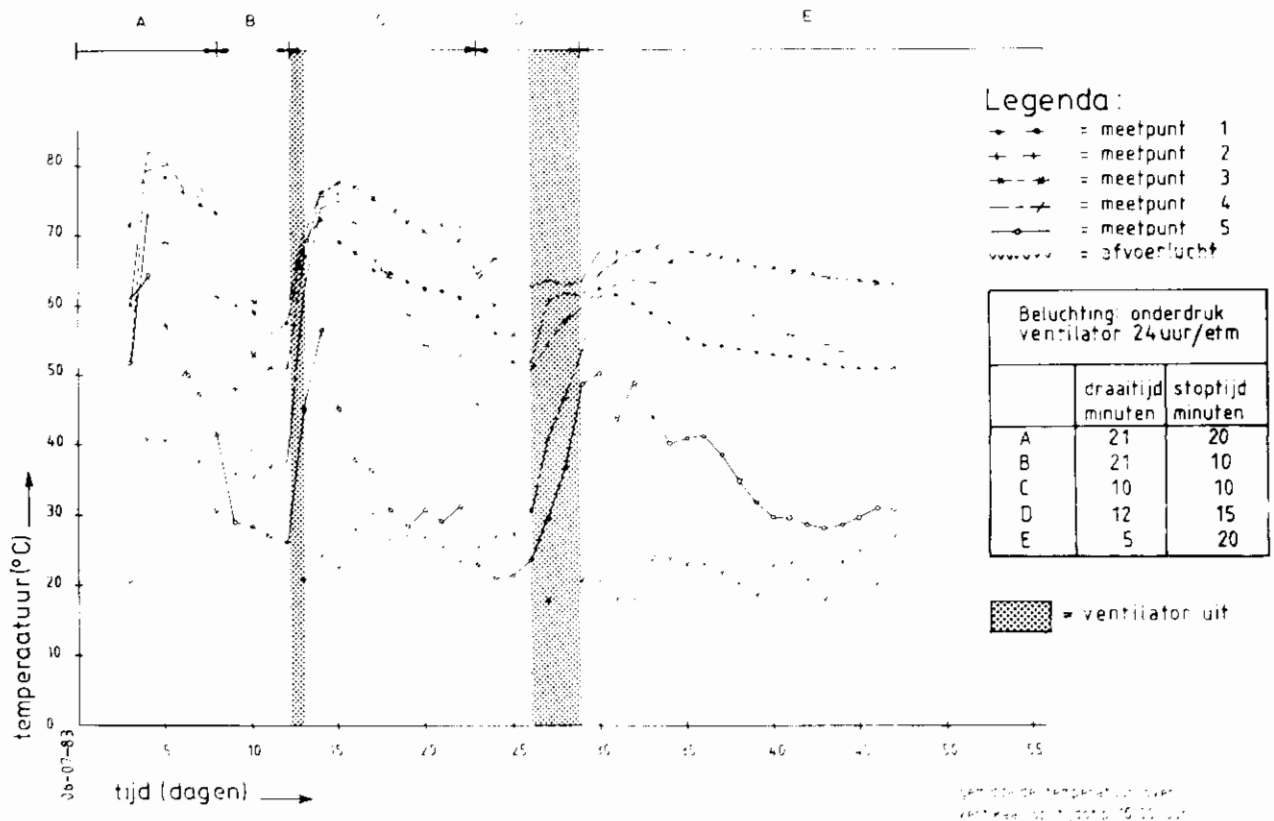
proef USHHZ (uitgegist slib + houtschillen + houtblokken; onderdruk-  
----- beluchting); zomerperiode.

Deze proef was qua opbouw en voorzieningen gelijk aan ASHHZ(1). Als beginmateriaal werd uitgegist slib toegepast.

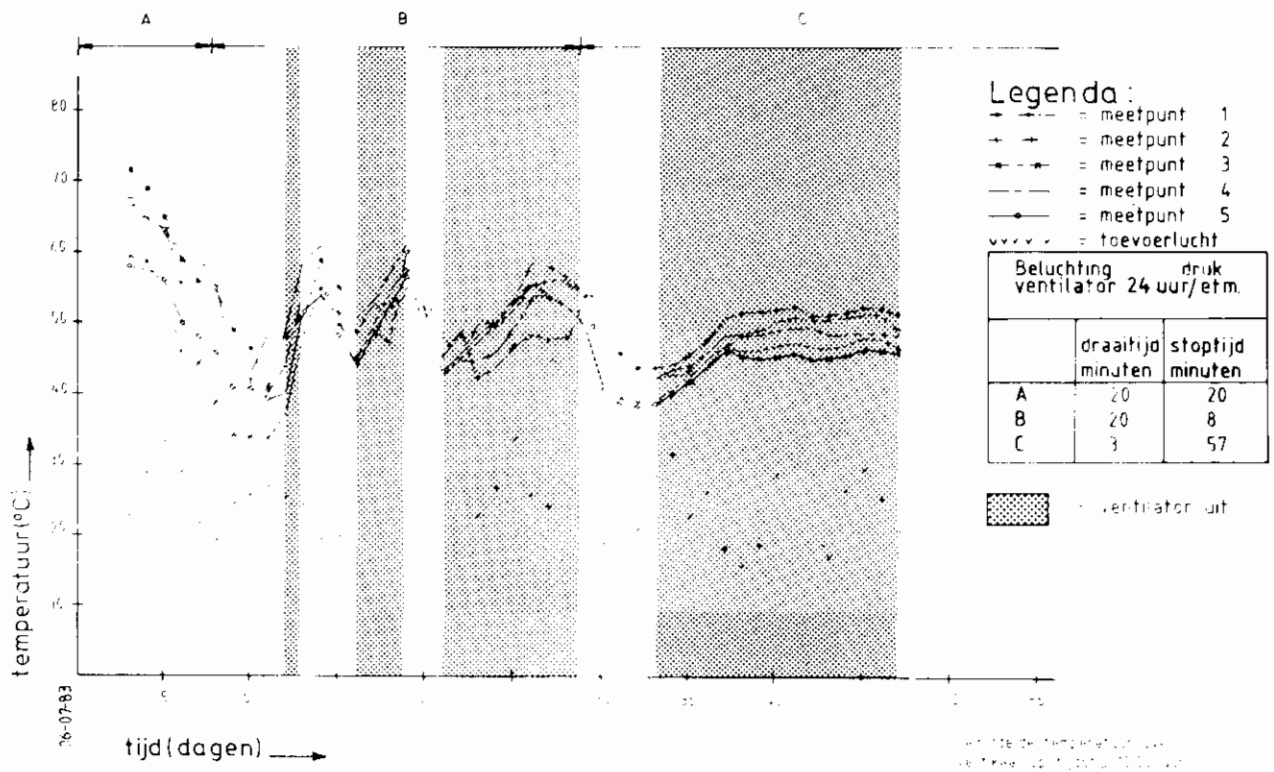
Het temperatuurverloop van deze proef vertoonde een duidelijke overeenkomst met dat van ASHHZ(1).

De gemeten concentraties CO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> waren lager dan van ASHHZ(1). Dit geldt zowel voor de concentraties in de afvoerlucht als gemeten vlak boven het oppervlak.

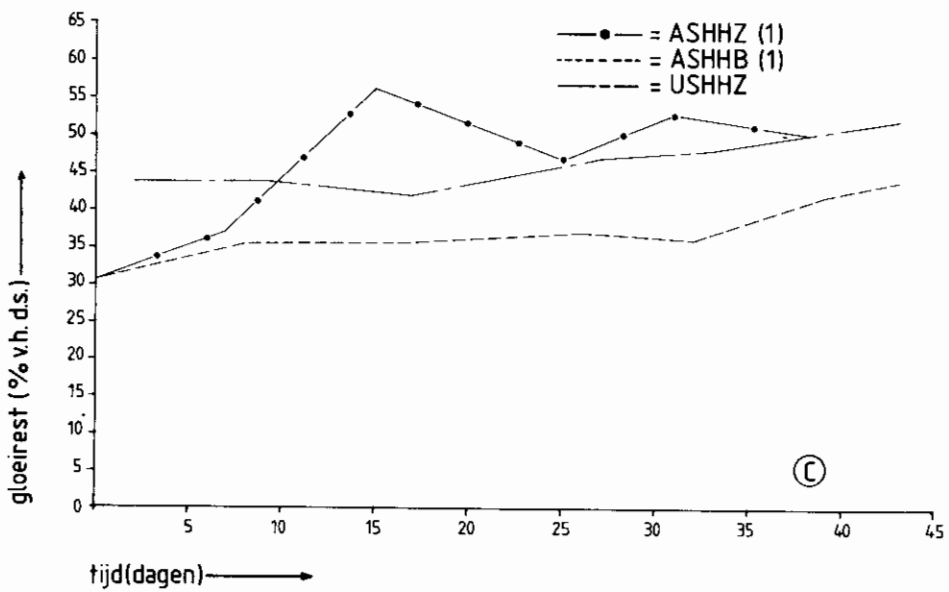
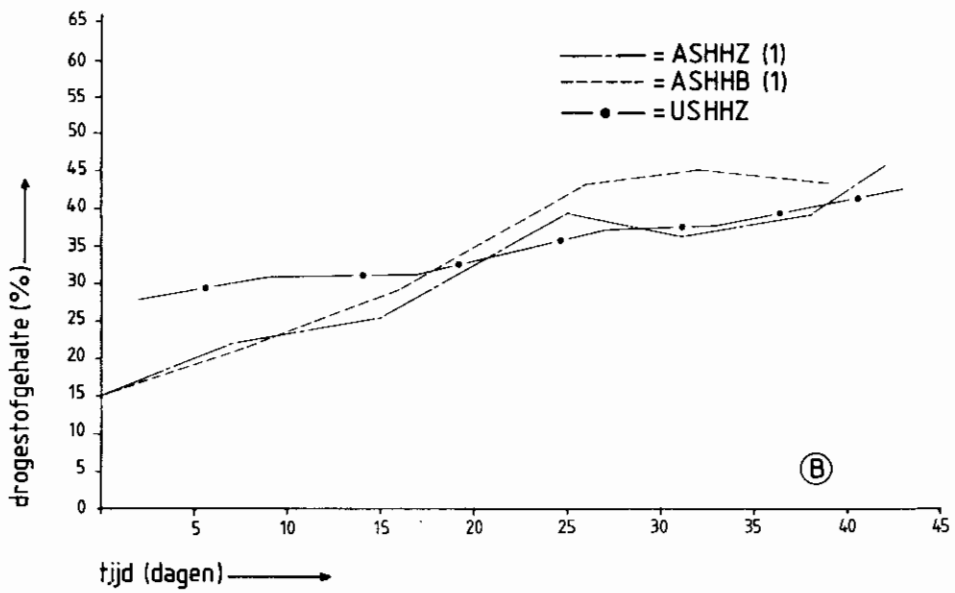
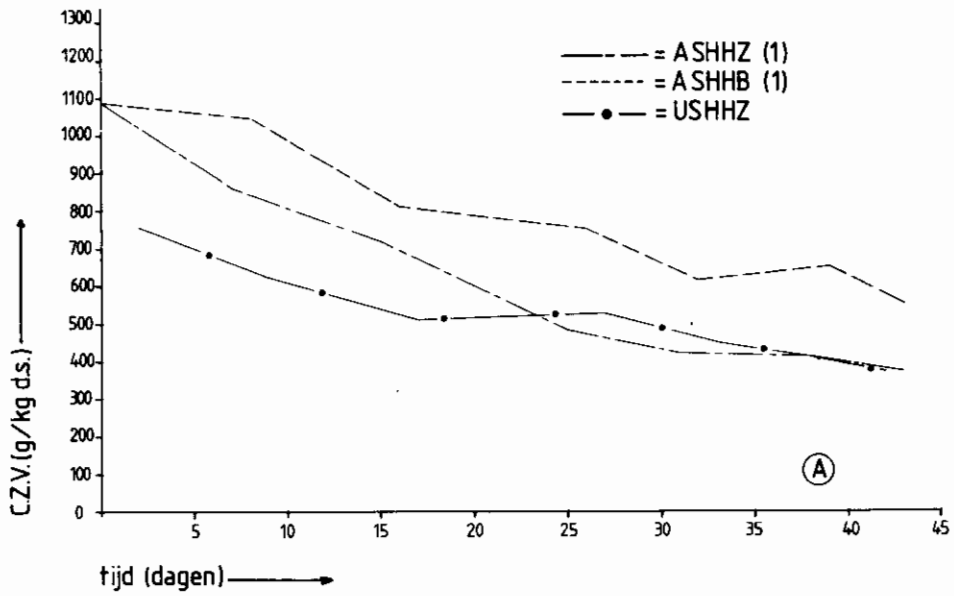
Het materiaal van de proef is gezeefd om het porositeitverhogend toeslagmateriaal af te scheiden. Het zeefrendement bedroeg 100%. De zeeffractie bestaande uit gecomposteerd slib, vochtregulerend toeslagmateriaal en afdekcompost is, na een narijingsperiode van 45 dagen gezeefd om het vochtregulerend toeslagmateriaal af te scheiden.



Figuur 20. Temperatuurwaarnemingen proef ASHHZ(1)



Figuur 21. Temperatuurwaarnemingen proef ASHHB(1)



Figuur 22. Het chemische zuurstofverbruik (A), het drogestofgehalte (B) en de gloeirest (C) als functie van de composteringstijd.

De te zeven hoeveelheid en de zeefresultaten waren:

- te zeven hoeveelheid : 85 m<sup>3</sup>;
- zeef fractie (compost) : 42 m<sup>3</sup>;
- zeefrest (toeslagmateriaal + resten slib) : 43 m<sup>3</sup>.

Analyse van het eindprodukt gaf de volgende resultaten:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 760 mg/l tot 290 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 28% tot 49%;
- gloeirest : toename van 44% tot 54% van de droge stof;
- C/N-verhouding : toename van 9 tot 13.

De mate van desinfectie in het eindprodukt gemeten aan de thermotolerante bacteriën van de coligroep en de Salmonellae bleek toegenomen. De concentratie E.coli in het onderzochte monster bleek groter dan in het slib. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in rekolonisatie of infecties van het monster.

proef ASHHZ(2) (aëroob gestabiliseerd slib + houtschillen + houtblokken; onderdrukbeluchting); winterperiode; onderoverkapping.

Het temperatuurverloop van deze proef kwam sterk overeen met dat van ASHHZ(1) die 's zomers uitgevoerd werd.

Mede als gevolg van de zeer geringe beluchtingstijden bij aanvang kwam de temperatuur vrij snel op een maximum van ongeveer 80°C.

De minimale temperatuur welke gelijktijdig met de maximale temperatuur werd waargenomen bedroeg 57°C. Het grootste temperatuurverschil dat werd waargenomen bedroeg 55°C.

De temperaturen op de drie waarnemingshoogten in de stapeling varieerden minder sterk. De maximale verschillen bedroegen 10°C.

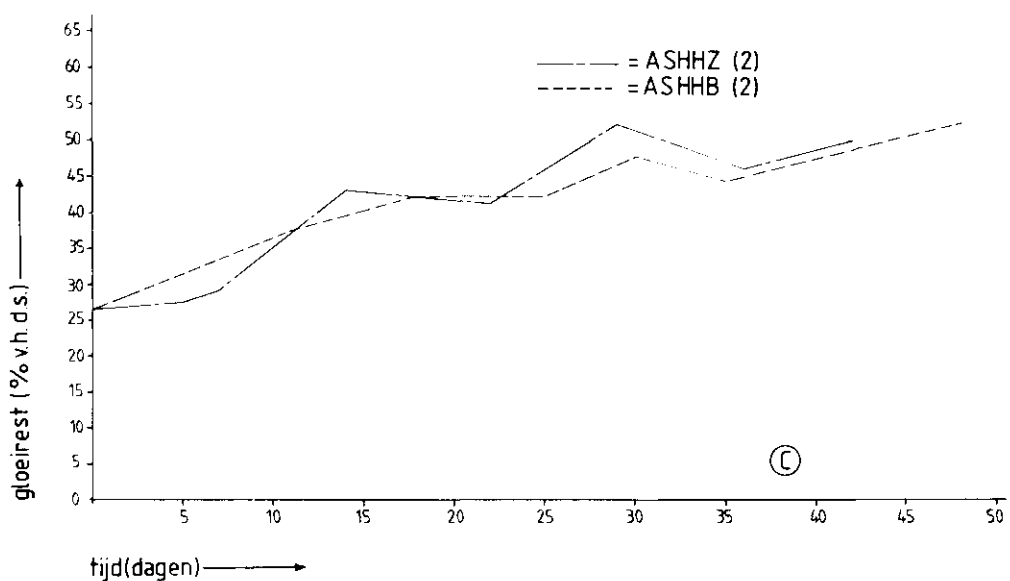
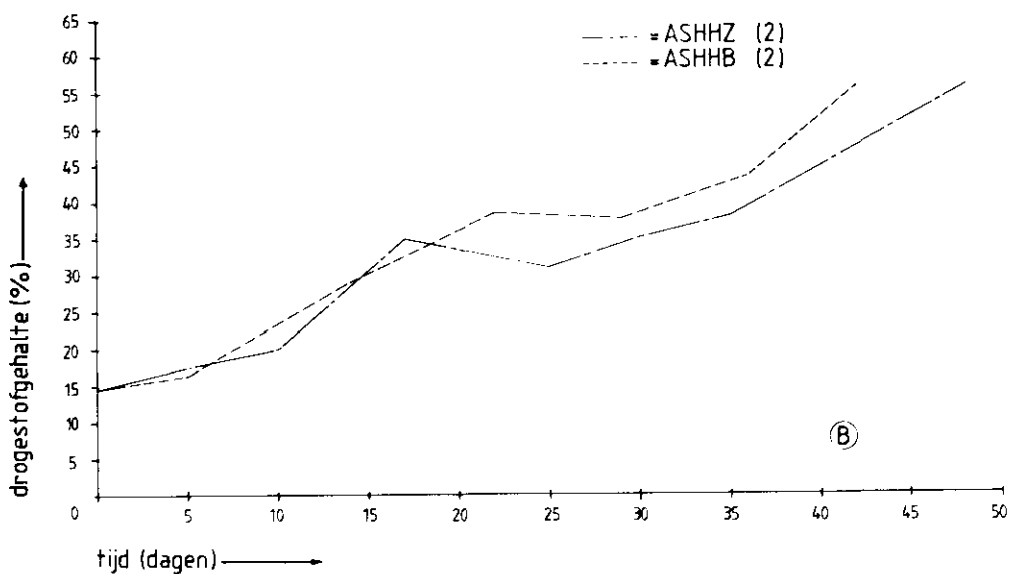
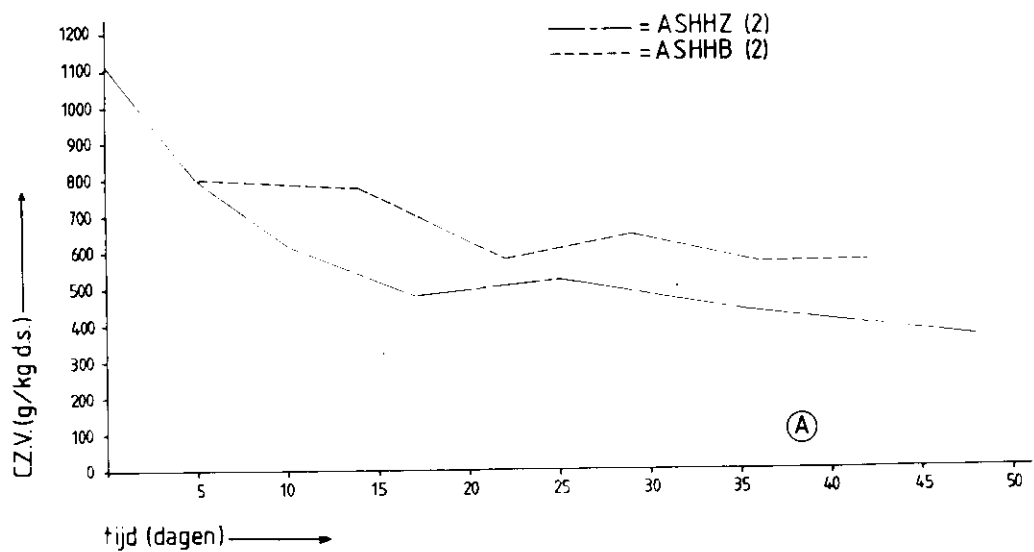
Na het beëindigen van de beluchting werd het materiaal gezeefd om een scheiding tot stand te brengen tussen het porositeitverhogende toeslagmateriaal en gecomposteerd slib, vochtregulerend toeslagmateriaal en afdekkompost. Het zeefrendement bedroeg 100%. Direct daarna is de zeef fractie gescheiden in compost en toeslagmateriaal. De te zeven hoeveelheid en de zeefresultaten waren:

- te zeven volume : 51 m<sup>3</sup>;
- zeef fractie (compost) : 29 m<sup>3</sup>;
- zeefrest (toeslagmateriaal + resten slib) : 22 m<sup>3</sup>.

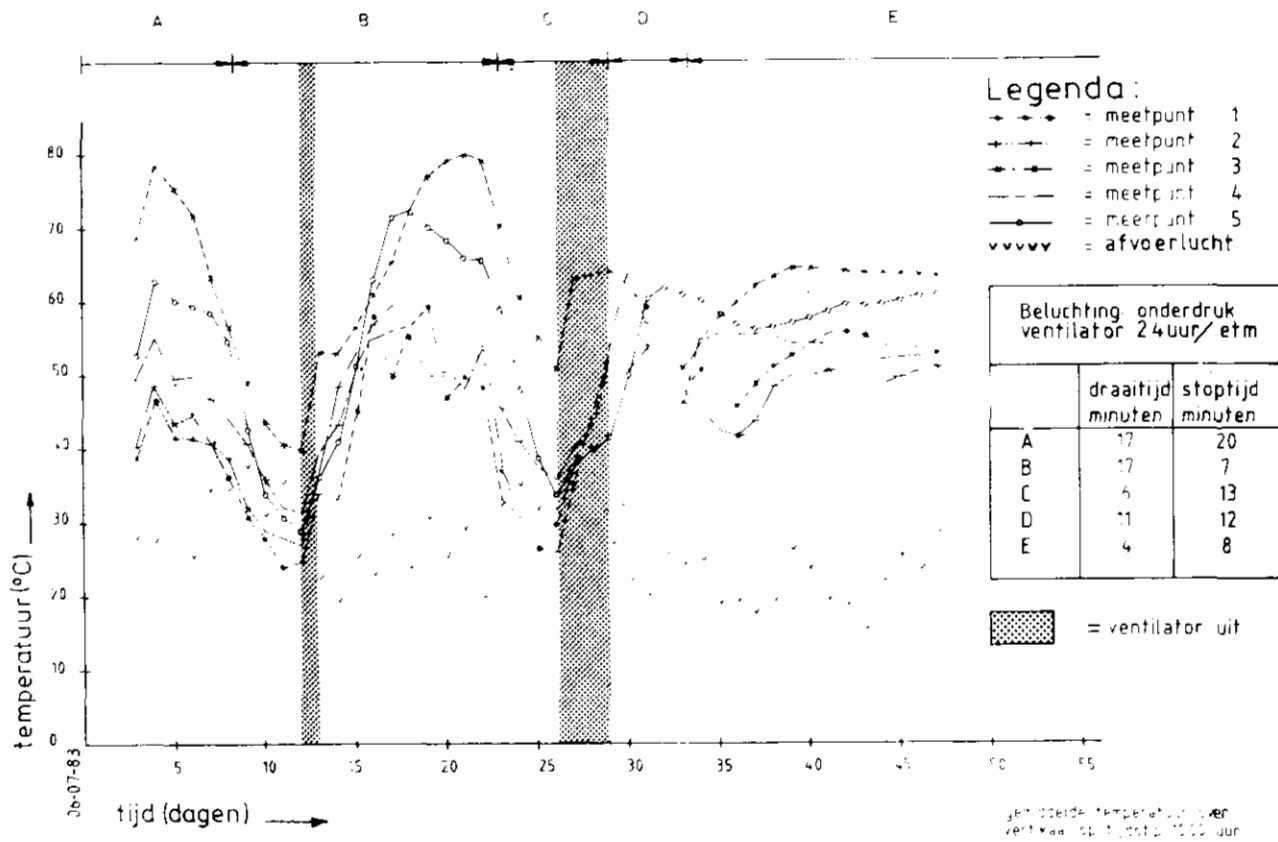
Analyse van het eindprodukt gaf het volgende resultaat:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 1110 mg/l tot 360 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 15% tot 56%;
- gloeirest : toename van 26% tot 48% van de droge stof;
- C/N-verhouding : toename van 7 tot 11.

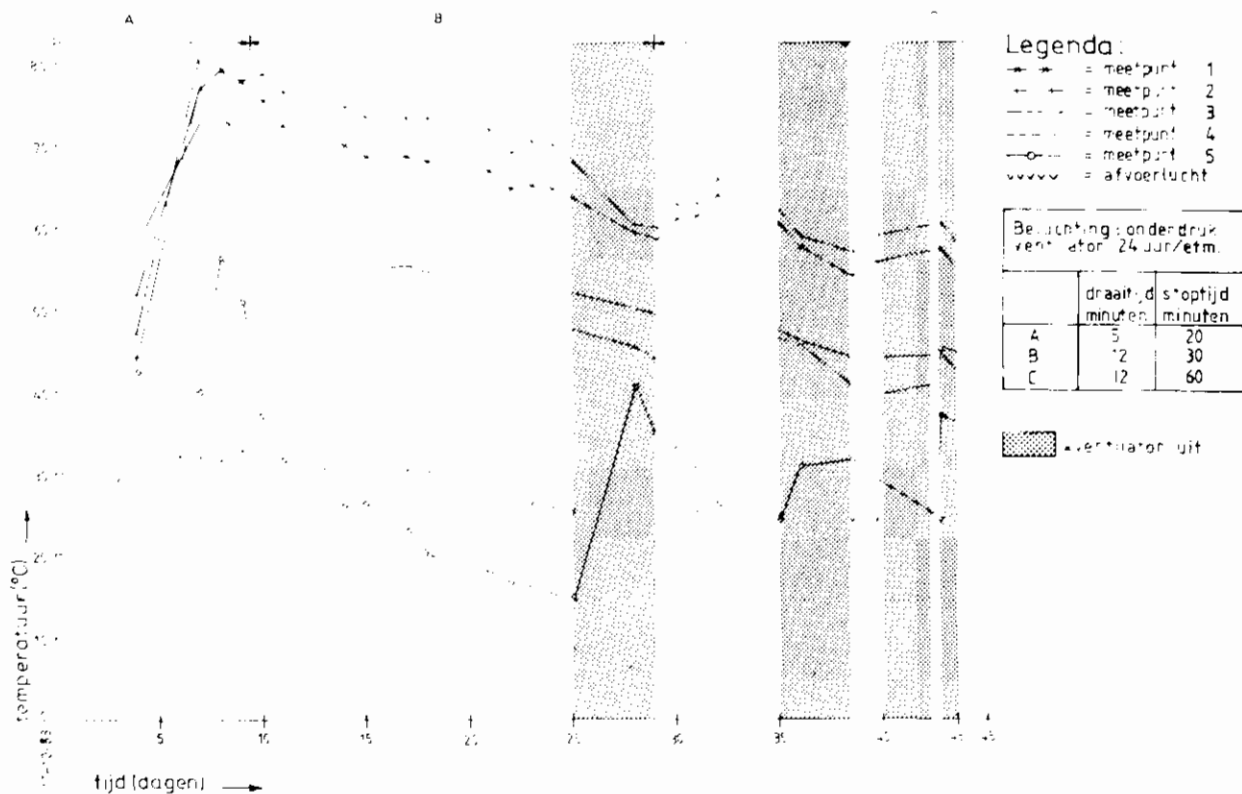




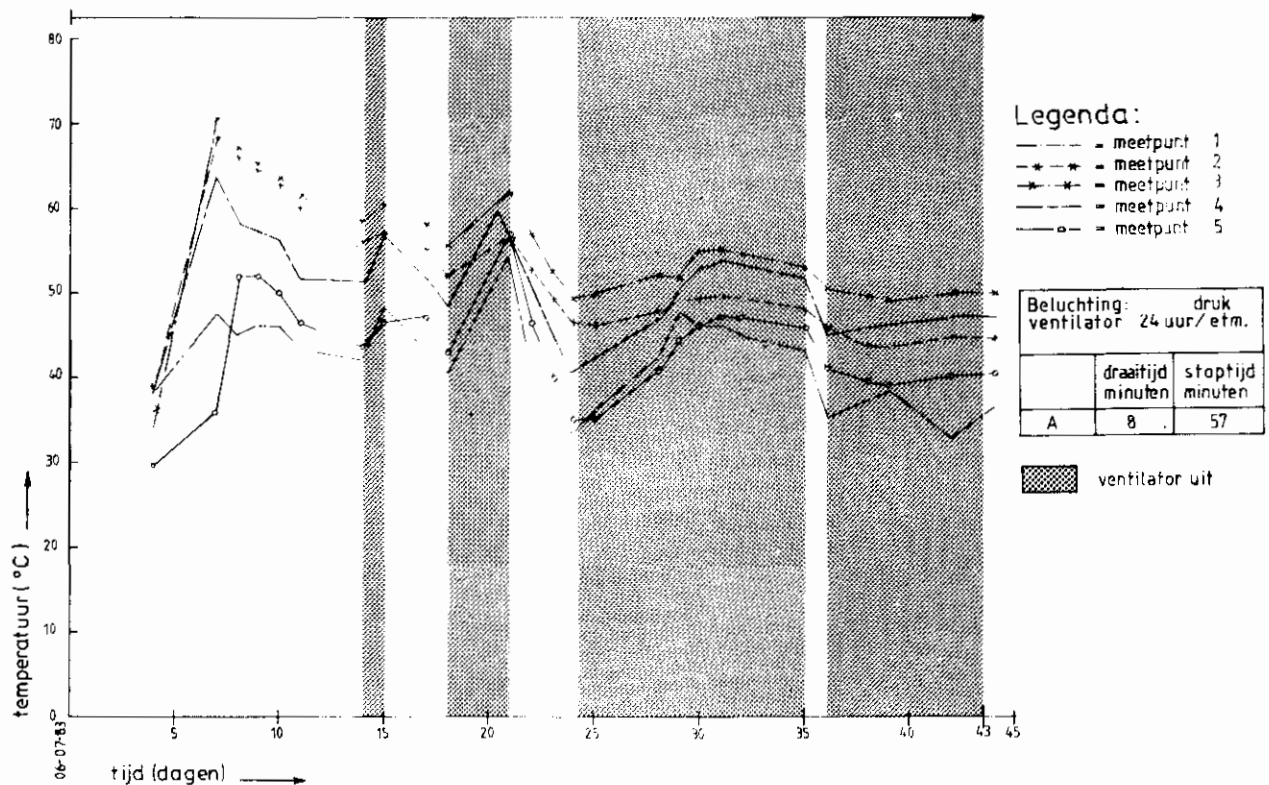
Figuur 23. Het chemische zuurstofverbruik (A), het drogestofgehalte (B) en de gloeirest (C) als functie van de composteringstijd.



Figuur 24. Temperatuurwaarnemingen proef USHHZ



Figuur 25. Temperatuurwaarnemingen proef ASHHZ(2)



Figuur 26. Temperatuurwaarnemingen proef ASHHB(2)

proef ASHHB(2) (aëroob gestabiliseerd slib + houtschillen + houtblokken; drukbeluchting); winterperiode; onder overkapping.

De resultaten van deze proef stemmen overeen met die van ASHHB(1) die in de zomerperiode werd uitgevoerd.

De temperatuur nam toe tot maximaal 70°C. De minimale temperatuur tegelijkertijd bedroeg 45°C.

Het verschil tussen maximale en minimale temperatuur nam geleidelijk af van 25°C bij aanvang tot 15°C aan het einde van de proef.

De temperatuurverschillen tussen de verschillende waarnemingshoogten namen af van 25°C bij aanvang tot 10°C aan het eind van de proef. In beide ASHHB-proeven trad een temperatuurstratificatie op.

De gemeten concentraties CO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> wijzen op afbraak van organische stof.

Na de composteringsperiode van 6 weken is het materiaal gezeefd waarbij het porositeitsverhogend toeslagmateriaal werd afgescheiden. Het zeefrendement bedroeg 100%. Direct daarna is door zieving een scheiding tot stand gebracht tussen gecomposteerd slib en vochtregulerend toeslagmateriaal.

De te zeven hoeveelheid en de zeefresultaten waren:

- te zeven volume : 51 m<sup>3</sup>;
- zeef fractie (compost) : 31 m<sup>3</sup>;
- zeefrest (toeslagmateriaal + resten slib) : 20 m<sup>3</sup>.

Analyse van het eindproduct gaf het volgende resultaat:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 1110 mg/l tot 570 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 15% tot 56%;
- gloeirest : toename van 31% tot 44% van de droge stof;
- C/N-verhouding : toename van 7 tot 11.

	slib	toeslag- materiaal	afdek- compost	eind- produkt	zeefrest
<u>chemische analyses</u>					
d.s.-gehalte (g/kg.d.s.)	15,3	78,0	65,0	48,8	44,0
stikstof (g/kg.d.s.)	15	2,8	20	16	16
fosfaat (g/kg.d.s.)	9,8	0,9	14,3	27	24
kalium (g/kg.d.s.)	7,8	0,7	2,4	3,0	3,0
calcium (g/kg.d.s.)	26,8	3,2	23,0	27,0	28
magnesium (g/kg.d.s.)	9,2	0,3	2,3	3,0	3,3
koolstof- elementair (g/kg.d.s.)	377	360	-	245	240
koper (mg/kg d.s.)	394	17	470	400	370
chrom (mg/kg d.s.)	176	3,4	150	165	135
zink (mg/kg d.s.)	2215	73	1400	1500	1350
lood (mg/kg d.s.)	403	15	530	415	350
cadmium (mg/kg d.s.)	8,8	1,1	14,0	13,0	11,0
nikkel (mg/kg d.s.)	125,0	3,2	110,0	9,9	87,0
kwik (mg/kg d.s.)	2,6	0,1	-	1,7	1,4
arseen (mg/kg d.s.)	3,3	0,2	-	2,1	2,6
<u>microbiologische bepalingen</u>					
bacteriën van de coliegroep (/g d.s.)	2,5.10 <sup>6</sup>	-	-	10	-
thermotolerante bacteriën van de coliegroep (E-coli) (/g d.s.)	5,2.10 <sup>4</sup>	-	-	0,2	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0,2	-

Tabel 35. Resultaten analyses proef ASHHZ(1)

	slib	toeslag- materiaal	afdek- compost	eind- produkt	zeefrest
<u>chemische analyses</u>					
d.s.-gehalte (g/kg d.s.)	15,3	78,0	65,0	46,1	43,4
stikstof (g/kg d.s.)	15,0	2,8	20	17	17
fosfaat (g/kg d.s.)	9,8	0,9	14,3	31	23
kalium (g/kg d.s.)	7,8	0,7	2,4	2,8	2,3
calcium (g/kg d.s.)	26,8	3,2	23,0	36	3,2
magnesium (g/kg d.s.)	9,2	0,3	2,3	4,0	3,6
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	377	360	-	205	250
koper (mg/kg d.s.)	394	17	470	555	425
chrom (mg/kg d.s.)	176	3,4	150	170	110
zink (mg/kg d.s.)	2215	73	1400	1750	1450
lood (mg/kg d.s.)	403	15	530	540	390
cadmium (mg/kg d.s.)	8,8	1,1	14,0	14,0	9,2
nikkel (mg/kg d.s.)	125,0	3,2	110,0	91,0	63,0
kwik (mg/kg d.s.)	2,5	0,1	-	3,1	2,8
arseen (mg/kg d.s.)	3,3	0,2	-	3,3	2,9
<u>microbiologische bepalingen</u>					
bacteriën van de coliegroep (/g d.s.)	2,5.10 <sup>6</sup>	-	-	5	-
thermotolerante bacteriën van de coliegroep (E-coli) (/g d.s.)	5,2.10 <sup>4</sup>	-	-	8,8.10 <sup>2</sup>	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0,2	-

Tabel 36. Resultaten analyses proef ASHHB(1)

	slib	toeslag- materiaal	afdek- compost	eind- produkt	zeefrest
<u>chemische analyses</u>					
d.s.-gehalte (g/kg d.s.)	14,7	78,0	77,0	55,8	47,8
stikstof (g/kg d.s.)	59,0	2,8	18,0	21,0	17,0
fosfaat (g/kg d.s.)	36,0	0,9	37,0	37,0	19,0
kalium (g/kg d.s.)	3,8	0,7	2,9	3,5	2,6
calcium (g/kg d.s.)	35,0	3,2	42,0	42,0	21,0
magnesium (g/kg d.s.)	7,1	0,3	3,4	4,3	2,7
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	395	360	210	240	315
koper (mg/kg d.s.)	415	17	540	565	255
chrom (mg/kg d.s.)	200	3,4	230	240	104
zink (mg/kg d.s.)	2800	73	1800	2050	1250
lood (mg/kg d.s.)	295	15	540	525	195
cadmium (mg/kg d.s.)	11,0	1,1	18,0	18,0	7,2
nikkel (mg/kg d.s.)	310,0	3,2	120,0	185,0	135,0
kwik (mg/kg d.s.)	3,0	0,1	1,8	3,0	1,1
arsen (mg/kg d.s.)	2,9	0,2	3,3	3,4	1,6
<u>microbiologische bepalingen</u>					
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	1,1.10 <sup>7</sup>	-	-	15	-
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	3,1.10 <sup>6</sup>	-	-	8,8.10 <sup>2</sup>	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0,2	-

Tabel 37. Resultaten analyses proef ASHHZ(2)

	slib	toeslag- materiaal	afdek- compost	eind- produkt	zeefrest
<u>chemische analyses</u>					
d.s.-gehalte (g/kg d.s.)	14,7	78,0	77,0	55,8	48,5
stikstof (g/kg d.s.)	59,0	2,8	18,0	20,0	16,0
fosfaat (g/kg d.s.)	36,0	0,9	37,0	36,0	18,0
kalium (g/kg d.s.)	3,8	0,7	2,9	2,9	2,4
calcium (g/kg d.s.)	35,0	3,2	42,0	39,0	22,0
magnesium (g/kg d.s.)	7,1	0,3	3,4	3,7	2,5
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	395	360	210	215	305
koper (mg/kg d.s.)	415	17	540	555	340
chrom (mg/kg d.s.)	200	3,4	230	235	125
zink (mg/kg d.s.)	2800	73	1800	1900	1150
lood (mg/kg d.s.)	295	15	540	500	210
cadmium (mg/kg d.s.)	11,0	1,1	18,0	16	7,1
nikkel (mg/kg d.s.)	310,0	3,2	120,0	140	100,0
kwik (mg/kg d.s.)	3,0	0,1	1,8	1,6	1,1
arsen (mg/kg d.s.)	2,9	0,2	3,3	3,6	1,4
<u>microbiologische bepalingen</u>					
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	1,0.10 <sup>7</sup>	-	-	2,2.10 <sup>4</sup>	-
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	3,1.10 <sup>6</sup>	-	-	1,9.10 <sup>5</sup>	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0,2	-

Tabel 38. Resultaten analyses proef ASHHB(2)

	slib	toeslag- materiaal	afdek- compost	eind- produkt	zeefrest
<u>chemische analyses</u>					
d.s.-gehalte (g/kg d.s.)	27,8	78,0	65,0	49,2	45,7
stikstof (g/kg d.s.)	33,0	2,8	20,0	18,0	16,0
fosfaat (g/kg d.s.)	38,0	0,9	14,3	30,0	23,0
kalium (g/kg d.s.)	1,1	0,7	2,4	2,7	2,4
calcium (g/kg d.s.)	56,0	3,2	23,0	36,0	30,0
magnesium (g/kg d.s.)	6,5	0,3	2,3	3,7	3,3
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	302	360	-	225	260
koper (mg/kg d.s.)	766	17	470	520	415
chromium (mg/kg d.s.)	126	3,4	150	155	110
zink (mg/kg d.s.)	2558	73	1400	1700	1400
lood (mg/kg d.s.)	867	15	530	535	385
cadmium (mg/kg d.s.)	9,9	1,1	14,0	13,0	9,3
nikkel (mg/kg d.s.)	53,6	3,2	110,0	86,0	64,0
kwik (mg/kg d.s.)	8,4	0,1	-	2,5	2,6
arseen (mg/kg d.s.)	6,83	0,2	-	2,6	2,3
<u>microbiologische bepalingen</u>					
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	7,5.10 <sup>6</sup>	-	-	10	-
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	1,8.10 <sup>4</sup>	-	-	1,3.10 <sup>5</sup>	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0,2	-

Tabel 39. Resultaten analyses proef USHHZ

Resultaten microbiologisch onderzoek

De resultaten van het microbiologisch onderzoek voor de verschillende experimenten zijn weergegeven in de tabellen 40 en 41.

Uit de resultaten blijkt dat een reductie van het aantal thermotolerante coliformen optreedt. Eenzelfde verloop is zichtbaar in de E.coli-concentratie. Bij de proeven ASHHZ(2) en ASHHB(2) blijkt het kiemgetal van de thermotolerante coliformen echter duidelijk hoger te zijn dan dat voor E.coli. Dit zou erop kunnen wijzen dat bij deze proeven mogelijk nagroei van coliformen, bijvoorbeeld Klebsiella-soorten, is opgetreden.

Het aantal totale coliformen onderging eveneens een reductie die min of meer gelijk verloopt met die voor de thermotolerante coliformen. Gezien het geringe verschil in aantallen van beide groepen in het beginmateriaal, was dat geheel conform de verwachting.

De faecale streptococci blijken ook in de loop van het composteeringsproces aanzienlijk in aantal af te nemen. Uit de resultaten van de verschillende proeven blijkt bovendien dat de faecale streptococci in de meeste gevallen in grotere aantallen in het eindprodukt aanwezig zijn dan E.coli.

proef	ASBHZ(1)			
	C <sub>0</sub>	C <sub>e,1</sub>	C <sub>e,2</sub>	
			2	1
thermotolerante coli	5,2.10 <sup>4</sup>	-	8.10 <sup>0</sup>	1,3.10 <sup>5</sup>
E. coli	-	*	8.10 <sup>0</sup>	-
totale coli	2,5.10 <sup>6</sup>	-	-	10 <sup>1</sup>
faecale streptococci	-	*	8.10 <sup>0</sup>	-
sporen sulfietred. clostrid.	-	5.10 <sup>5</sup>	7.10 <sup>2</sup>	-
Salmonella	1,6.10 <sup>1</sup>	*	*	0,2
f-specifieke bacteriofagen	-	*	*	-
somatische colifagen	-	*	*	-
aëroob kolonietal	-	> 3.10 <sup>7</sup>	> 2.10 <sup>7</sup>	-

proef	ASBHB(1)		
	C <sub>0</sub>	C <sub>e,2</sub>	
		2	1
thermotolerante coli	5,2.10 <sup>4</sup>	2.10 <sup>1</sup>	8,8.10 <sup>2</sup>
E. coli	-	2.10 <sup>1</sup>	-
totale coli	2,5.10 <sup>6</sup>	-	5.10 <sup>0</sup>
faecale streptococci	-	1.10 <sup>3</sup>	-
sporen sulfietred. clostrid.	-	3.10 <sup>3</sup>	-
Salmonella	1,6.10 <sup>1</sup>	*	0,2
f-specifieke bacteriofagen	-	*	-
somatische colifagen	-	1.10 <sup>1</sup>	-
aëroob kolonietal	-	> 2.10 <sup>7</sup>	-

proef	USHHZ			
	C <sub>0</sub>	C <sub>e,1</sub>	C <sub>e,2</sub>	
			2	1
thermotolerante coli	1,8.10 <sup>6</sup>	-	4.10 <sup>1</sup>	1,3.10 <sup>5</sup>
E. coli	3.10 <sup>3</sup>	4.10 <sup>1</sup>	-	-
totale coli	7,5.10 <sup>6</sup>	-	10 <sup>1</sup>	10
faecale streptococci	-	2.10 <sup>2</sup>	8.10 <sup>1</sup>	-
sporen sulfietred. clostrid.	-	9.10 <sup>5</sup>	2.10 <sup>3</sup>	-
Salmonella	1,6.10 <sup>1</sup>	*	*	0,2
f-specifieke bacteriofagen	-	*	*	-
somatische colifagen	-	*	*	-
aëroob kolonietal	-	> 3.10 <sup>7</sup>	> 2.10 <sup>7</sup>	-

Tabel 40. Resultaten van het microbiologisch onderzoek

C<sub>0</sub> concentratie in het uitgangsmateriaal  
C<sub>e,1</sub> concentratie in het eindprodukt (november 1983)  
C<sub>e,2</sub> concentratie in het eindprodukt (januari 1984)  
\* niet aangetoond; detectielimiet ca. 5/g d.s. voor Salmonella spp. en somatische colifagen en ca. 100/g d.s. voor f-specifieke bacteriofagen  
- niet bepaald  
1 resultaten bepalingen RIVM  
2 resultaten bepalingen Centrilab

proef	ASHHZ(2)				
	C <sub>0</sub>		C <sub>1</sub>	C <sub>e</sub>	
	1	2	1	1	2
thermotolerante coli	-	3,1.10 <sup>6</sup>	-	4,4.10 <sup>2</sup>	8,8.10 <sup>2</sup>
E. coli	9.10 <sup>6</sup>	-	*	*	-
totale coli	-	1,1.10 <sup>7</sup>	1,5.10 <sup>1</sup>	*	-
faecale streptococci	4.10 <sup>6</sup>	-	5.10 <sup>1</sup>	9.10 <sup>2</sup>	-
sporen sulfietred. clostrid.	2.10 <sup>6</sup>	-	3.10 <sup>1</sup>	2.10 <sup>3</sup>	-
Salmonella	9.10 <sup>3</sup>	1,6.10 <sup>1</sup>	*	*	0,2
f-specifieke bacteriëfagen	8.10 <sup>4</sup>	-	*	*	-
somatische colifagen	4.10 <sup>6</sup>	-	*	*	-
aëroob kolonietal	> 3.10 <sup>8</sup>	-	> 2.10 <sup>7</sup>	> 2.10 <sup>7</sup>	-

proef	ASHHB(2)				
	C <sub>0</sub>		C <sub>2</sub>	C <sub>e</sub>	
	1	2	1	1	2
thermotolerante coli	-	3,1.10 <sup>6</sup>	-	1.10 <sup>3</sup>	1,9.10 <sup>5</sup>
E. coli	9.10 <sup>6</sup>	-	4.10 <sup>1</sup>	2.10 <sup>1</sup>	-
totale coli	-	1.10 <sup>7</sup>	2,2.10 <sup>4</sup>	-	2,2.10 <sup>4</sup>
faecale streptococci	4.10 <sup>6</sup>	-	7.10 <sup>0</sup>	2.10 <sup>3</sup>	-
sporen sulfietred. clostrid.	2.10 <sup>6</sup>	-	1.10 <sup>2</sup>	5.10 <sup>2</sup>	-
Salmonella	9.10 <sup>3</sup>	1,6.10 <sup>6</sup>	*	*	0,2
f-specifieke bacteriëfagen	8.10 <sup>4</sup>	-	*	*	-
somatische colifagen	4.10 <sup>6</sup>	-	*	*	-
aëroob kolonietal	> 3.10 <sup>8</sup>	-	> 2.10 <sup>7</sup>	> 2.10 <sup>7</sup>	-

Tabel 41. Resultaten van het micro-biologisch onderzoek

- C<sub>0</sub> concentratie in het uitgangsmateriaal.
- C<sub>1</sub> concentratie na 17 dagen.
- C<sub>2</sub> concentratie na 16 dagen.
- C<sub>3</sub> concentratie na 9 dagen.
- C<sub>e</sub> concentratie in het eindproduct na zeven in januari 1984 niet aangetoond; detectielimiet ca. 1/g d.s. voor Salmonella species en somatische colifagen en ca. 100/g d.s. voor f-specifieke bacteriëfagen.
- niet bepaald
- 1 resultaten bepalingen FIVM
- 2 resultaten bepalingen Centrilao

Aangezien bekend was dat het beginmateriaal kleinere hoeveelheden streptococci dan E.coli bevatte, werd de reeds in andere onderzoeken<sup>1</sup> aangetoonde grotere hitteresistentie van de faecale streptococci door deze resultaten bevestigd. Bij de proeven ASHHZ(2) en ASHHB(2) blijkt de eindconcentratie van de streptococci hoger dan de concentratie na zeventien resp. zestien dagen na aanvang van het composteringsproces. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de bacteriën niet homogeen in het onderzochte materiaal aanwezig waren. Ook kan tijdens het zeven van het eindproduct besmetting zijn opgetreden door op de zeef achtergebleven kiemen, afkomstig van een voorgaande zieving van materiaal, waarin zich streptococci hebben bevonden. Tenslotte zou ook nagroei in de latere fasen van het composteringsproces tot hogere aantallen kunnen leiden.



Ondanks hun vrij grote hitteresistentie blijken de bacteriesporen ook een vrij sterke reductie te hebben ondergaan, met name in de proeven ASHHZ(2) en ASHHB(2).

Salmonella blijkt in alle experimenten volledig te worden vernietigd. Gezien de eindconcentraties van E.coli, die indicatief wordt geacht voor het gedrag van pathogene darmorganismen zoals Salmonella, en de verhouding van de kiemgetallen van E.coli en Salmonella in het beginmateriaal zou Salmonella ook niet aanwezig mogen zijn in het eindprodukt.

Opmerkelijk is dat de concentratie van Salmonella in het beginmateriaal van ASHHZ(2) en ASHHB(2) volgens het onderzoek van het RIVM aanzienlijk hoger is dan volgens het door Centrilab uitgevoerde onderzoek. Ook in dit geval zullen de heterogene verdeling van Salmonella in vast materiaal, de bemonstering en de aan het bacteriologisch onderzoek inherente spreiding van de resultaten, oorzaak van deze verschillen kunnen zijn.

De f-specifieke bacteriofagen worden in alle proeven volledig vernietigd. Bij een gemiddelde proeftemperatuur van 55°C is de decimale reductiewaarde voor de f-specifieke bacteriofagen 198 minuten. Om het aantal bacteriofagen bij aanvang ( $8 \cdot 10^4$  in de 2e serie) terug te brengen tot nul, is 5 maal de decimale reductie nodig, hetgeen overeenkomt met 990 minuten bij 55°C. De decimale reductiewaarden is de tijd in minuten die nodig is om het aantal micro-organismen van een bepaalde soort met een factor 10 te reduceren bij een temperatuur van t°C.

De geconstateerde reducties zijn dus geheel toe te schrijven aan de optredende temperaturen en de tijdsduur daarvan. Dit resultaat is in tegenspraak met de bevindingen van Burge<sup>2</sup>.

Burge gebruikt de f-specifieke bacteriofagen als indicator-organisme om de mate van desinfectie te bepalen bij compostering van zuiverings-slib. De hitteresistentie van f-specifieke bacteriofagen is groter dan van de overige onderzochte organismen. Dit zou betekenen dat wanneer geen f-specifieke bacteriofagen worden aangetoond, geen van de andere onderzochte organismen aanwezig zou moeten zijn. Deze zijn echter wel geconstateerd.

Ook de somatische colifagen ondergaan, boven verwachting, een zeer sterke reductie.

Het aëroob koloniegetal bij 37°C geeft voor alle proeven een hoge waarde die niet duidelijk wordt beïnvloed door het composteringproces. Geconcludeerd moet worden dat deze parameter niet geschikt is voor de beoordeling van de mate van desinfectie van zuiverings-slib als gevolg van compostering.

## 5.7 Conclusies uit de proeven van STORA

De beginmaterialen bij de praktijkproeven compostering volgens de statische methode waren aëroob gestabiliseerd slib en uitgegist slib, beide geconditioneerd met polymeren en ontwaterd door middel van een zeefbandpers.

Beide slibsoorten kunnen gecomposteerd worden, waarbij het beginmateriaal door afbraak van organische stof wordt gestabiliseerd en vocht wordt afgevoerd. Daarbij is van enige invloed van de polymeren op het composteringproces niets gebleken.

Compostering in de buitenlucht met geforceerde beluchting bleek mogelijk. Neerslag werd daarbij als meest storende invloed ervaren. Het mengen en de opbouw van een stapeling, alsmede het afbreken van een stapeling en het zeven werden bemoeilijkt tijdens perioden van langdurige neerslag. Neerslag in combinatie met lage temperatuur van de omgevingslucht - die de vochtopnamecapaciteit van de ventilatielucht negatief beïnvloedt - verlengt de totale verwerkingsduur. Bij het afbreken van de stapelingen werd geen percolatie geconstateerd. Op grond daarvan zal geen vervuiling van de bodem optreden. Wel kan neerslag bij het afstromen zich aan de voet van de stapeling verzamelen. Door de afstroming langs afdekcompost kan deze neerslag een vervuilingsgraad bereiken die het noodzakelijk maakt dat indringing in de bodem moet worden voorkomen.

De resultaten van de praktijkproeven bevestigen het uitgangspunt dat toeslagmaterialen over porositeitverhogende eigenschappen moeten beschikken. Gebleken is dat van even groot belang moet worden geacht dat toeslagmateriaal vochtregulerende eigenschappen heeft. Dit betekent dat het materiaal tot vochtabsorptie in staat moet zijn. Van effectieve vochtabsorptie is sprake wanneer het drogestofgehalte van houtschillen als toeslagmateriaal minimaal 60% is.

Vochtregulerend toeslagmateriaal in de vorm van houtsnippers alleen gaf onvoldoende blijvende porositeit aan een stapeling, ook wanneer de verhouding slib: toeslagmateriaal op volumebasis 1:3 bedroeg. Daarom werd gebruik gemaakt van een tweede toeslagmateriaal zoals houtblokken.

Het toepassen van dit porositeitverhogende, toeslagmateriaal naast vochtregulerend toeslagmateriaal bleek het composteringsproces te bevorderen.

De invloed van de C/N-verhouding op het proces is niet uit de proeven gebleken en wordt onwaarschijnlijk geacht.

Na beëindiging van de compostering kan het porositeitverhogende toeslagmateriaal voor 100% worden teruggewonnen; houtschillen als vochtregulerend toeslagmateriaal voor 50-60%.

De toegepaste werkwijze bij de aanvoer en het mengen van beginmaterialen en toeslagmaterialen voldeed.

Nadat beginmateriaal en vochtregulerend toeslagmateriaal intensief waren gemengd met de stalmestverspreider, werd het porositeitverhogend toeslagmateriaal hier doorheen gemengd met behulp van een kraan. Het gemengde materiaal werd gestapeld op beluchtingsbuizen die op een bed van houtschillen of houtsnippers waren gelegd.

In verband met de reikwijdte van de hydraulische graafmachine bleek de driehoekige vorm van de dwarsdoorsnede met een basis van 4,0 meter een praktische afmeting te zijn.

In de toegepaste statische methode van compostering werd de luchttoevoer voor het proces en voor de afvoer van afbraakcomponenten gerealiseerd door middel van geforceerde beluchting met overdruk en onderdruk; hierbij is de vochtafvoer maatgevend.

Bij de beluchting met onderdruk bedroeg de voor het proces noodzakelijke hoeveelheid lucht in het algemeen meer dan de theoretisch berekende hoeveelheid. Bij de proeven met overdrukbeluchting was de toegevoerde hoeveelheid lucht gelijk of minder dan de berekende hoeveelheid.

Bij de proeven welke zijn uitgevoerd onder een overkapping bleek dat de toegevoerde hoeveelheid lucht kleiner was dan de theoretisch berekende hoeveelheid. De mate van porositeit van een stapeling is van invloed op de hoeveelheid toe te voeren lucht.

Op grond van praktische overwegingen is bij de praktijkproeven de temperatuur als stuurparameter gehanteerd. De temperatuurwaarnemingen zoals deze zijn verricht, hebben een redelijk beeld geleverd van het temperatuurverloop in de stapelingen op grond waarvan geforceerde beluchting kan worden gestuurd. Gebleken is dat er binnen de stapelingen grote temperatuurverschillen kunnen optreden, zeker in geval van onderdrukbeluchting. Beoordeling van het verloop van het composteringsproces door middel van de bepaling van het koolstof- en stikstofgehalte en de verhouding tussen deze elementen is niet mogelijk gebleken.

Ook het vochtgehalte was niet bruikbaar als procestechnologische parameter, wegens problemen bij monstername.

Gebleken is dat een te hoog vochtgehalte het composteringsproces negatief beïnvloedt. Het in de literatuur genoemde vereiste drogestofgehalte van minimaal 40% in het te composteren mengsel lijkt in grote lijnen juist.

Tijdens de compostering werden  $\text{CO}_2$  en  $\text{NH}_3$  afgevoerd via de afvoerlucht en het oppervlak van de stapelingen. De concentraties van deze componenten varieerden daarbij sterk.

Het slib bij aanvoer en ammoniak en aminen (ammoniakachtige verbindingen) tijdens het proces gaven aanleiding tot stankhinder.

Stankhinder bij compostering wordt sterk bepaald door de mate en wijze van de aan de compostering voorafgaande stabilisatie van het slib.

De mate waarin stabilisatie van het slib tijdens compostering heeft plaatsgevonden is aan de hand van het chemisch zuurstofverbruik bepaald.

Het chemisch zuurstofverbruik nam, bij de redelijk tot goed verlopen praktijkproeven af met gemiddeld 63%.

De resultaten van het chemisch zuurstofverbruik van het eindproduct zijn beïnvloed door resten van toeslagmateriaal in het eindproduct.

De gehalten aan bemestende stoffen en micro-elementen van de eindproducten werden sterk beïnvloed door de aanwezigheid van de van elders aangevoerde afdekcompost in de onderzochte monsters. Het is niet mogelijk gebleken monsters te nemen die representatief mogen worden geacht voor het gecomposteerde beginmateriaal.

Op grond van de analyses wordt wel geconstateerd dat de volgende effecten kunnen optreden:

- verhoging van concentraties als gevolg van de afbraak van organische stof;
- verlaging van concentraties als gevolg van verhoging van de hoeveelheid droge stof door toeslagmaterialen en afdekcompost.

De C/N-verhouding van het eindproduct ligt in dezelfde orde van grootte als in de bouwvoor van kleigrond en grasland namelijk 10-15.

Uit de resultaten van het microbiologisch onderzoek is gebleken dat de hygiënische betrouwbaarheid van de eindproducten is toegenomen. De mate van desinfectie -welke kan worden gekarakteriseerd door de reductie van de pathogene micro-organismen- is afhankelijk van de temperatuur en de blootstellingstijd en wordt uitgedrukt als de decimale reductiewaarde.

In de literatuur wordt gesuggereerd dat een bevredigende reductie van pathogene micro-organismen wordt verkregen door het toepassen van vijftien maal de decimale reductiewaarde voor het (indicator) organisme met de grootste hitteresistentie. Als indicator-organisme wordt de f-specifieke bacteriofaag genoemd.

Uit het temperatuurverloop van de proeven blijkt dat aan dit criterium is voldaan.

Uit de microbiologische bepalingen blijkt dat de indicator-organismen in de onderzochte monsters een aanzienlijke reductie hebben ondergaan. Op grond daarvan wordt geconcludeerd dat de hygiënische betrouwbaarheid van de eindprodukten is toegenomen.

In tegenstelling tot de literatuurgegevens zijn in de onderzochte monsters wel micro-organismen met een lagere hitteresistentie aangetroffen (feacale streptococcon) terwijl het indicator-organisme met een grotere hitteresistentie (f-specifieke bacteriofaag) niet werd aangetroffen.

Uit de resultaten van de proeven ASHHZ(1) en USHHZ blijkt dat gedurende de opslag van het gezeefde eindprodukt nog een verdere reductie van het aantal kiemen plaatsvindt. Zelfs het aantal sporen blijkt nog te verminderen.

Uitgaande van de compostering van een slibproduktie van 6000 m<sup>3</sup> per jaar met een drogestofgehalte van 20% (rwzi 75.000 i.e.) is een kostprijsberekening opgesteld.

De kosten voor compostering in de open lucht bedragen globaal f 440,- per ton droge stof hetgeen overeenkomt met f 88,- per m<sup>3</sup> ontwaterd slib. Door het toepassen van een eenvoudige overkapping zal de kostprijs toenemen tot circa f 495,- per ton droge stof (f 99,- per m<sup>3</sup> ontwaterd slib).

#### Aanbevelingen op basis van de STORA-proeven

Op basis van de resultaten van de proeven en de conclusies welke daaruit zijn getrokken, kunnen aanbevelingen worden opgesteld voor de uitvoering van compostering van zuiveringsslib.

Compostering van zuiveringsslib in de "buitenlucht" is mogelijk. De tijd welke met de compostering is gemoeid, is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Incidentele slibcompostering zou dan ook bij voorkeur in het zomerseizoen uitgevoerd moeten worden. Wanneer wordt overwogen om min of meer continu slib te composteren, wordt aanbevolen dit onder een overkapping te doen.

Vanwege de behandeling van het materiaal (aanvoer, mengen, opnemen, enz.), de afstroming van neerslag van het oppervlak en de mogelijkheid dat het composteringsproces onvoldoende op gang komt waardoor neerslag kan percoleren- wordt aanbevolen compostering op een gesloten verharde ondergrond uit te voeren.

Aanbevolen wordt om bij de compostering van zuiveringsslib gebruik te maken van twee toelagmaterialen namelijk:

- vochtregulerend toelagmateriaal; mengverhouding op basis van volume slib: toelagmateriaal = 1:2 a 2,5. Het drogestofgehalte van het toelagmateriaal moet minimaal 60% zijn;
- porositeitverhogend toelagmateriaal; mengverhouding op basis van volume slib: toelagmateriaal = 1:1 a 1,5. Gebruik kan worden gemaakt van (relatief) inerte materialen zoals houtblokken met afmetingen van ca. 0,30 x 0,10 x 0,10 m.

Het is niet ondenkbaar dat er materialen bestaan welke zowel vochtregulerende als porositeitverhogende eigenschappen in zich bergen. Echter de keuze voor de toe te passen materialen wordt in hoge mate bepaald door de kosten van afschaf, de beschikbaarheid en de mogelijkheden tot hergebruik.

Het mengen van slib met vochtregulerend toeslagmateriaal moet intensief gebeuren. Na deze intensieve menging kan porositeitverhogend toeslagmateriaal worden toegevoegd waarna het mengsel kan worden gestapeld op de beluchtingsbuizen.

Bij niet permanente compostering kunnen als beluchtingsbuizen dubbelwandige HDPE-buizen worden toegepast. Dit materiaal is redelijk bestand tegen de optredende temperaturen en bovenbelasting. Deze zijn meerdere malen te gebruiken. Bij min of meer continue compostering zou overwogen kunnen worden om een meer duurzame constructie toe te passen.

Bij de keuze van materiaal moet rekening worden gehouden met het feit dat via deze buizen lucht met onder andere ammoniak wordt afgevoerd.

Om een zo gelijkmatig mogelijke luchtverdeling te bevorderen, wordt aanbevolen de buizen op een bed van fijn toeslagmateriaal te plaatsen.

Per stapeling kunnen meerdere beluchtingsbuizen worden aangebracht. De minimale afstand tussen de buitenzijde van de stapeling en de beluchtingsbuizen moet niet kleiner zijn dan 1,50 m om kortsluitstroming te voorkomen.

Bij compostering in de buitenlucht moet de vorm van de stapeling de afstroming van neerslag bevorderen; de stapelingen bij voorkeur afdekken met compost - om warmteverliezen tegen te gaan - en luchtdoorlatend kunststofdoek - ter bevordering van de afstroming van neerslag.

Bij stapelingen met een lengte van meer dan 10 m verdient het aanbeveling de ventilator aan te sluiten in het midden van een stapeling of meerdere ventilatoren op tegenovergestelde plaatsen van de beluchtingsbuizen te installeren.

Aanbevolen wordt de beluchting door middel van ventilatoren te sturen aan de hand van een gemiddelde temperatuur in een stapeling van 50-55°C. De ervaring is dat eerder teveel dan te weinig lucht wordt toegevoerd. Het verdient aanbeveling om het beluchtingssysteem zodanig in te richten dat naar keuze druk- of onderdrukventilatie kan worden toegepast. Bij drukventilatie kan mogelijk een snellere afvoer van vocht plaatsvinden. Indien mogelijk moet beluchting overdag plaatsvinden; het inbrengen van relatief koude lucht gedurende de nacht dient te worden beperkt.

Vanwege de inhomogeniteit van een stapeling moeten op meerdere plaatsen temperatuurwaarnemingen worden verricht, bij voorkeur op diepten van minimaal 1 meter. Daartoe kan gebruik worden gemaakt van met water gevulde buizen waarvan de temperatuur wordt gemeten of van thermokoppels.

In verband met het opnemen en transporteren van de materialen verdient het aanbeveling om voor het afscheiden van toeslagmaterialen gebruik te maken van een tweetraps zeefstelsel. Hierbij wordt in de eerste trap het porositeitverhogende toeslagmateriaal afgescheiden en in de tweede trap het vochtregulerende toeslagmateriaal.

BIJLAGE 2

REKENVOORBEELDEN  
BELUCHTING

## REKENVOORBEELDEN BELUCHTING

### Uitgangspunten

- de luchtstroming wordt vertikaal verondersteld. Dit betekent van boven naar beneden bij onderdrukbeluchting of van beneden naar boven bij drukbeluchting. Luchttoe- of afvoer via de zijkanten van de stapeling worden verwaarloosd;
- de temperatuur van de afvoerlucht wordt aangenomen op 50°C;
- de temperatuur van de omgevingslucht wordt aangenomen op 20°C;
- materiaal beluchtingsbuizen is staal; wrijvingsfactor  $f = 0,0195$
- doorlaatcoëfficiënt  $K_p = 0,6$
- constante voor snelheidshoogteverandering voor lucht  $K = 1,7$  voor onderduk-beluchting;  $K = 1,5$  voor drukbeluchting
- te composteren hoeveelheid slib:  $30 \text{ m}^3$
- drogestofgehalte slib: 19%
- toeslagmateriaal bestaat uit verse houtsnippers. Bij een minimale mengverhouding ontstaat de minste porositeit hetgeen resulteert in een groter weerstandsverlies;
- lengte stapeling = 20 m, breedte = 1,5 m, hoogte: 2 m aan de basis;
- diameter beluchtingsbuizen 0,1 m;
- geforceerde beluchting wordt toegepast gedurende 35 dagen. De ventilator wordt tijd- of temperatuurgeschakeld, waardoor de effectieve draaitijd van de ventilator varieert van 12 tot 8 uur per etmaal;
- ombedding van de beluchtingsbuizen in een laag verse houtsnippers met dikte 0,5 m;
- afdekking van de stapeling met gebruikte houtsnippers; laagdikte 0,5 m;
- bij onderdrukbeluchting wordt de lucht afgevoerd via een compostfilter met een grondoppervlak van  $2,5 \text{ m}^2$ , en een hoogte van 1,5 m. Filtermateriaal is gezeefde compost.

### Bepalen van de benodigde luchthoeveelheid

Uit figuur 38 blijkt dat de benodigde hoeveelheid lucht bij een drogestofgehalte van het slib ongeveer  $33000 \text{ m}^3$  lucht/ton d.s. bedraagt. De hoeveelheid lucht die moet worden toegevoerd bedraagt:  $(30 \times 0,25) \times 33000 \text{ m}^3 = 188100 \text{ m}^3$ .

Bij aanvoer van deze lucht van de ventilator gedurende 12 uur per etmaal is het debiet  $447 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .

Bij een effectieve draaitijd van de ventilator van 8 uur per etmaal is het debiet  $671 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 11,2 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .

Per meter beluchtingsleiding is het debiet:  $q = \frac{11,2}{20} = 0,56 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Bepalen drukverliezen over de stapeling bij onderdrukbeluchting

- Bepalen van de lichtsnelheid in het grondvlak

lengte: 20 m

breedte: 1,5 m

oppervlak aan/uitstroming: 30 m<sup>2</sup>

$$V = \frac{Q_2}{A} = \frac{11,2}{30} = 0,37 \text{ m.min}^{-1}$$

- drukverlies over te composteren mengsel volgens formule 11:

$$\Delta p_1 = C_p H^j v^n$$

C<sub>p</sub>, j en n volgens tabel 6 van het hoofdrapport levert

$$\Delta p_1 = (5,03 \cdot 10^{-1})(2)^{1,47}(0,37)^{1,47} = 0,32 \text{ cm w.k.}$$

- drukverlies over grondvlak volgens formule 11:

$$\Delta p_2 = (3,13 \cdot 10^{-2})(0,5)^{1,08}(0,37)^{1,74} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ cm w.k.}$$

- drukverlies over afdeklaag volgens formule 11:

$$\Delta p_3 = (9,74 \cdot 10^{-1})(0,5)^{1,54}(0,37)^{1,39} = 0,08 \text{ cm w.k.}$$

- drukverlies bochtstuk = 0,60 cm w.k.

- drukverlies over de beluchtungsleiding.

De drukverliezen veroorzaakt door de stapeling, grondlaag en afdeklaag worden geschematiseerd tot een "vervangend" drukverlies, waarna het totaal oppervlak van de perforaties wordt bepaald.

$$A_p = \frac{q}{(765)(K_p)(\Delta P)^{1/2}} = \frac{0,56}{(765)(0,6)(0,41)^{1/2}} = 0,0019 \text{ m}^2$$

Dit betekent dat bij een beluchtungsbus met een inwendige diameter van 0,10 m het gezamenlijk oppervlak van de perforaties 0,0019 m<sup>2</sup> per strekkende meter moet bedragen.

Voor het bepalen van de druk- en debietverdeling wordt gebruik gemaakt van figuur 8 van het hoofdrapport. De daarvoor benodigde parameters zijn:

$$C_v = \left( \frac{1}{64} \right) \left( \frac{1}{K_p^2 K^3} \right) \left( \frac{16 S^2}{A_p} \right) = \frac{1}{64} \cdot \frac{1}{(0,6)^2 (1,7)^3} \cdot 0,0195 \left( \frac{0,314}{0,019} \right)^2 = 0,096$$

$$C_c = \frac{f \cdot x}{2 \cdot K \cdot D} = \frac{0,0195 \cdot 20}{2 \cdot 1,7 \cdot 0,1} = 1,15$$



Uit de stromingsverdeling blijkt dat de verdelingscoëfficiënt te klein is. De verdelingscoëfficiënt kan worden vergroot door een grotere diameter van de beluchtingsbuis toe te passen of door het terugbrengen van het oppervlak van de perforaties per eenheid van buislengte.

Wanneer het oppervlak van de perforaties wordt teruggebracht tot  $1/4$  zal  $A_p$  gelijk worden aan  $0,00046 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$  en de verdelingscoëfficiënt  $C_v$  toenemen tot 1,56.

Uit figuur 8 in het rapport blijkt bij deze waarde voor  $C_v$  de stromingsverdeling

$$\frac{Q_x}{q_0 \cdot x} = 1,38$$

Het debiet aan het begin van de beluchtingsleiding is:

$$q_0 = \frac{Q_x}{1,38 \cdot x} = \frac{11,2}{1,38 \cdot 20} = 0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

De drukverdeling over de beluchtingsleiding  $\frac{P_x}{P_0} = 3,25$

$$P_0 = \left[ \frac{q_0}{(765)(0,6)(A_p)} \right]^2 = \left[ \frac{0,40}{(765)(0,6)(0,00046)} \right]^2 = 3,59 \text{ cm w.k.}$$

$P_x = 3,25 \times 3,59 = 11,66 \text{ cm w.k.}$  aan het einde van de beluchtingsleiding. Het drukverlies over de leiding bedraagt  $11,66 - 3,59 = 8,0 \text{ cm w.k.}$

- De verdeling van het debiet over de leiding wordt bepaald uit figuur 37c. Uit de figuur blijkt dat  $q_x = 1,85 \cdot q_0$  aan het einde van de leiding. Deze relatief grote waarde indiceert dat de verdeling van het debiet minder gelijkmatig over de leiding is verdeeld. Voor een meer gelijkmatige stromingsverdeling zou de verdelingscoëfficiënt  $C_v$  nog verder toe moeten nemen. Dit is te realiseren door meerdere beluchtingsbuizen toe te passen.

- drukverlies over het compostfilter

$$V = \frac{11,2}{2,5} = 4,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\Delta p = C_p H_j V^0 = (3,16 \cdot 10^{-1})(1,5)^{1,66}(4,5)^{1,47} = 6,5 \text{ cm w.k.}$$

- drukverlies over aansluitleiding compostfilter: 0,60 cm w.k.

Totaal drukverlies:  $0,32 + 2,6 \cdot 10^{-3} + 0,08 + 0,6 + 11,66 + 6,5 + 0,6 = 19,76 \text{ cm w.k.}$

BIJLAGE 3

PRAKTIJKERVARINGEN  
ZWARTEGRONDBEREIDING

## INHOUD

1	ZWARTE GROND UIT VLOEIBAAR ZUIVERINGSSLIB (V en M/IMAG)	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Uitvoering	1
1.3	Waarnemingen	3
1.4	Kosten	4
1.5	Conclusies	6
2	ZWARTE GROND UIT STEEKVAST ZUIVERINGSSLIB (Zuiveringsschap Veluwe)	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Uitvoering	7
2.3	Waarnemingen	8
2.4	Conclusies	8
3	ZWARTE GROND UIT STEEKVAST ZUIVERINGSSLIB (STORA/GRONTMIJ N.V.)	10
3.1	Inleiding	10
3.2	Uitvoering	10
3.3	Waarnemingen	12
3.4	Kosten	13
3.5	Conclusies	14
4	ZWARTEGRONDBEREIDING OP BEDRIJFSSCHAAL (Rutte recycling)	16
4.1	Inleiding	16
4.2	Uitvoering	16
4.3	Waarnemingen	17
4.4	Kosten	18
4.5	Conclusies	18

# 1 ZWARTE GROND UIT VLOEIBAAR ZUIVERINGSSLIB (V EN M/IMAG)

## 1.1 Inleiding

In twee series proeven op semi-praktijkschaal zijn de mogelijkheden nagegaan om vloeibaar zuiveringsslib door menging met grof zand te ontwateren en op die wijze zwarte grond te produceren, als afdekgrond voor vuilstorten. Doelstelling van de experimenten was 1.000 mm nat slib te kunnen verwerken in een pakket van 0,2 m humusarm grof zand. Het organische stofpercentage van de zo ontstane zwarte grond zou dan 6% bedragen. Op langere termijn loopt dit gehalte aan organische stof terug tot ongeveer 4% door verdergaande mineralisatie.

Het onderzoek is door het IMAG (Instituut Mechanisatie Arbeid en Gebouwen te Wageningen) uitgevoerd in opdracht van het toenmalige Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne<sup>3</sup>. De proeflocatie bevond zich op het terrein van de rwzi Ede II, in beheer bij het Zuiveringsschap Veluwe.

## 1.2 Uitvoering

De proeven zijn uitgevoerd in de periode half april tot half november 1982.

Als uitgangsmateriaal is zuiveringsslib gebruikt, afkomstig van de rwzi's Ede I en Ede II. Op de rwzi Ede I komt aëroob gestabiliseerd slib vrij. In het tweede geval betreft dit uitgegist slib uit een oxydatiebedinstallatie. Als toeslagmateriaal werd zand gebruikt, afkomstig uit een winput in de omgeving.

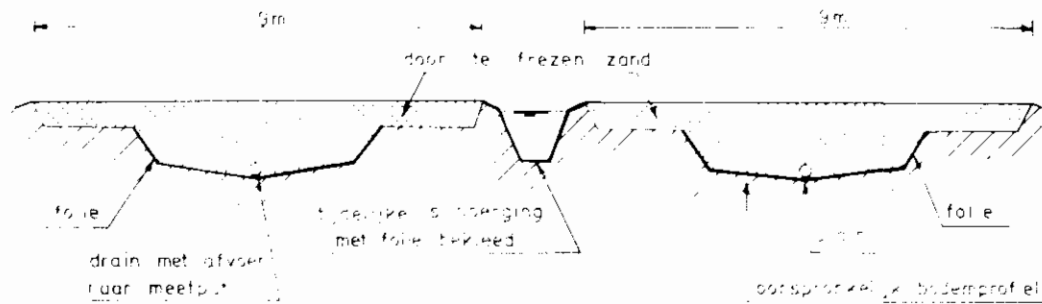
Voor de uitvoering is gebruik gemaakt van het freesprocédé, op basis van ervaringen met het in de grond brengen van dierlijke mest.

Het proefveld bestond uit twee percelen A en B, elk met een oppervlakte van 500 m<sup>2</sup>. In ieder perceel werden op een gedeelte van 5 bij 10 m alle bemonsteringen uitgevoerd. Deze monsterplaatsen waren midden in de proefvelden gesitueerd om geen hinder te ondervinden van verstoringen door de aan- en uitloop van het materieel, waarmee de proeven werden uitgevoerd. Ter plaatse van deze vakken van 5 bij 10 m was als onderafdichting een kunststoffolie aangebracht, alsmede drainagebuizen om het percolaat te kunnen opvangen en afvoeren naar een verzamel- en meetput.

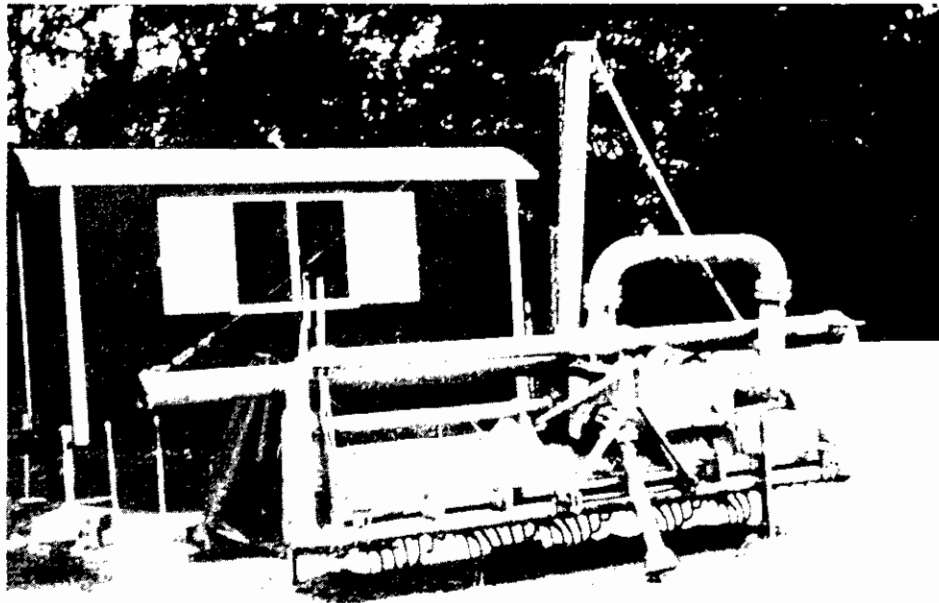
De beide percelen waren gescheiden door een met kunststoffolie beklede sloot, die diende als voorraadbassin voor het in te frezen slib. De percelen waren voorzien van een pakket zand ter dikte van 0,4 m, waarvan de bovenste 0,2 m bedoeld was om het slib door te frezen terwijl de onderste helft diende als drainerende werkvloer. In figuur 1 is de inrichting van het proefterrein in een dwarsdoorsnede weergegeven.

Op het opgebrachte zandpakket werden, afgestemd op de spoorbreedte van het toe te passen materieel, rijbanen gestabiliseerd. In een voorafgaand, oriënterend onderzoek was de bereikbaarheid van het terrein zonder rijbanen een zwak punt gebleken.

De menging van slib en zand werd uitgevoerd met behulp van een frees, waarop een zelfaanzuigende mengmestpomp was gebouwd. Door deze pomp werd het slib uit de sloot gezogen en in de door de frees opgeworpen grond geïnjecteerd. De pomp en de frees waren op een normale landbouwtrekker gemonteerd. In figuur 2 is deze apparatuur weergegeven.



Figuur 1. Dwarsdoorsnede van het proefveld



Figuur 2. Freesinjetour met pomp

Per keer werd 25 mm vloeibaar slib door de grond gemengd. Bij verdere proeven was vastgesteld dat bij grotere doseringen de ontwatering slecht verliep en er verslumping optrad. Het opbrengen van het slib werd indien mogelijk meerdere malen per week uitgevoerd, waarbij een constante werkdiepte van 5,1 m is toegepast. Op perceel B werd tussen twee injecties altijd een cultivatorbewerking uitgevoerd; op perceel A alleen indien dit nodig was.

In totaal werd er tijdens de proeven 1035 mm slib zijnbeteerd, hetgeen overeenkomt met 42.470 kg droge stof voor de totale proeflocatie.

Beide toegepaste slibsoorten (het aerobisch gestabiliseerde slib van Ede I en het uitgedroogde slib van Ede II) zijn twee keer gemiddeld. In tabel 1 staan de slibaanstellingen weergegeven.

datum	1982	25 - 5 II*	25 - 5 I*	23 - 8 II*	22 - 11 I*
ruwe as	g/kg d.s.	339	389	394	383
org.stof	g/kg d.s.	661	611	606	607
stikstof	g/kg d.s.	53	32	56	53
fosfaat	g/kg d.s.	46	22	44	41
kalium	g/kg d.s.	3,3	2,0	3,7	2,6
calcium	g/kg d.s.	64	47	62	56
magnesium	g/kg d.s.	6,5	6,9	7	6,5
koper	mg/kg d.s.	415	245	390	360
chrom	mg/kg d.s.	150	73	105	94
zink	mg/kg d.s.	1500	1900	1400	1450
lood	mg/kg d.s.	325	505	375	345
cadmium	mg/kg d.s.	7,2	4,9	8,3	6,8
nikkel	mg/kg d.s.	28	28	24	26

Tabel 1. Samenstelling van de toegepaste slibsoorten

\* I slib rwzi Ede I  
 \* II slib rwzi Ede II

Aanvullend zijn nog vier analyses uitgevoerd met betrekking tot de aanwezige zware metalen. De resultaten van deze analyses zijn in tabel 2 opgenomen.

datum	1982	6 - 4 II*	5 - 7 II*	6 - 7 I*	30 - 9 II*
koper	mg/kg	365	360	210	325
chrom	mg/kg	85	75	50	65
zink	mg/kg	1720	1560	1960	1160
lood	mg/kg	375	380	550	315
cadmium	mg/kg	6,4	7	5	6
nikkel	mg/kg	31	25	30	20

Tabel 2. Zware metalengehalten in de toegepaste slibsoorten

\* I slib rwzi Ede I  
 \* II slib rwzi Ede II

### 1.3 Waarnemingen

Zoals eerder vermeld zijn de waarnemingen, bemonsteringen en analyses niet op de gehele proefvelden van 500 m<sup>2</sup> uitgevoerd, doch per proefveld op een locatie van 50 m<sup>2</sup>.

Op beide percelen was de mengverhouding op volumebasis gelijk, namelijk 20 m<sup>3</sup> zand: 103,5 m<sup>3</sup> vloeibaar slib. In tabel 3 staat de samenstelling weergegeven van het uitgangsmateriaal (zand) en van het eindprodukt.

De hoeveelheden aan- en afgevoerd water worden vermeld in tabel 4. Alle onderdelen, ook de neerslag en de verdamping, zijn in de praktijk gemeten. De vochtbalans blijkt op circa 10% niet sluitend te krijgen.

		uitg.mat.	zwarte grond	
		perceel A + B	perceel A	perceel B
d.s.	%	95,0	65,3	69,1
ruwe as	g/kg d.s.	998	931	945
org.stof	g/kg d.s.	2	69	55
stikstof	g/kg d.s.	0,1	3,5	2,6
fosfaat	g/kg d.s.	0,2	4,7	4,2
koper	mg/kg d.s.	2,1	47,5	37,3
chrom	mg/kg d.s.	9,1	25,9	24,6
zink	mg/kg d.s.	8,5	199,1	176,6
lood	mg/kg d.s.	3,0	56,2	44,1
cadmium	mg/kg d.s.	0	0,7	0,6
nikkel	mg/kg d.s.	4,4	7,2	5,8

Tabel 3 De samenstelling van het uitgangsmateriaal (zand) en de zwarte grond

aanvoer in mm		afvoer in mm	
	perceelen A en B		perceel A   perceel B
via slib	1.535	via verdamping	464   464
via neerslag	497	via percolaat	706   786
		in de grond	150   150
totaal	1.527	totaal	1.314   1.400

Tabel 4. De vochtbalans

De eindbalans, het overzicht van alle aan- en afgevoerde materialen wordt getoond in tabel 5. Bij deze eindbalans wordt opgemerkt dat de aan- en afgevoerde hoeveelheden voor een deel op schattingen berusten en analysecijfers van verschillende laboratoria komen. Met het beoordelen van de verschillen moet daarmee rekening worden gehouden.

#### 1.4 Kosten

Voor de kostenschatting is uitgegaan van een verwerkingscapaciteit van 10.000 m<sup>3</sup> slib (4% d.s.) per jaar, hetgeen overeenkomt met 400 ton droge stof ofwel de slibproductie van 25.000 inwonerequivalenten. Hiervoor is een terrein benodigd van circa 1 ha, voorzien van rijpaden en slibbassins. Bij deze bedrijfsomvang moet jaarlijks 2.000 m<sup>3</sup> schoon zand worden aangevoerd en 2.500 m<sup>3</sup> zwarte grond worden afgevoerd over een afstand van maximaal 10 km. Verder is aangenomen dat iedere 10 jaar 0,4 m ondergrond moet worden vervangen, waarbij ook de rijbanen opnieuw gelegd moeten worden. Tevens wordt er van uitgegaan dat een kunststoffolie met bijbehorende leidingen moet worden aangebracht.

De totale kosten bestaan uit een aandeel dat samenhangt met de perceelsaanleg en een aandeel, voortvloeiend uit de wijze van opbrengen van het slib. Indien de zwart-grondbereiding wordt uitgevoerd met behulp van een op een trekker gemonteerde frezinjecteur, bedragen de jaarlijkse kosten f 175.400,-. Bij een verwerkingscapaciteit van 400 ton droge stof per jaar komt dit overeen met circa f 440,- per ton droge stof. In tabel 6 is de kostenopbouw weergegeven.

		aanvoer			
		zand	slib	totaal	
ruwe as	kg	26452	1558	28009	
org. stof	kg	79	2645	2725	
stikstof	kg	--	217	217	
fosfaat	kg	5	145	150	
koper	g	58	1519	1577	
chroom	g	236	385	621	
zink	g	231	6505	6736	
lood	g	79	1401	1480	
cadmium	g	0	27	27	
nikkel	g	119	110	229	
		afvoer			verschil (%)
		percolaat	zwarte grond	totaal	
ruwe as	kg	--	28609	28609	- 2
org. stof	kg	1	1891	1892	+ 31
stikstof	kg	3	98	101	+ 5
fosfaat	kg	0	136	136	+ 9
koper	g	1	1293	1294	+ 1
chroom	g	0	770	770	- 24
zink	g	6	5729	5735	+ 15
lood	g	0	1529	1529	- 3
cadmium	g	0	20	20	+ 26
nikkel	g	2	198	200	+ 13

Tabel 5. De eindbelans, herleid voor 100 m<sup>2</sup>

Indien wordt overgegaan tot een verdergaande mechanisatie van de zwartegrondbereiding, blijven de kosten van de perceelsaanleg gelijk, doch nemen de kosten voor het opbrengen van het slib af.

De totale jaarlijkse kosten bedragen dan f 137.900,--, ofwel circa f 345,-- per ton droge stof slib.



onderdeel		jaarlijkse kosten in gld.
perceelsaanleg (1)		
- annuïteit terrein	f	7.000,--
- afvoer zwarte grond	f	15.000,--
- aanvoer zand	f	30.000,--
- wisselen ondergrond (10%/jaar)	f	600,--
- folie met leidingen	f	18.000,--
	f	70.600,--
uitvoeringstechniek (2)		
- loonkosten	f	30.000,--
- onderhoud werktuigen	f	15.000,--
- inventaris	f	55.000,--
- onderhoud rijpaden	f	4.500,--
	f	104.500,--
totaal (1) + (2)	f	175.100,--

Tabel 6. Jaarlijkse kosten zwartegrondbereiding

#### 1.5 Conclusies

In 0,2 m grof zand kan 1000 mm nat slib worden verwerkt tot zwarte grond. Onder normale weersomstandigheden kan deze bewerking 1 maal per jaar worden uitgevoerd. Met een freesinjecteur kunnen zand en slib goed gemengd worden, mits uitgegaan wordt van niet te grote hoeveelheden slib per keet (25 mm). Rijpaden zijn noodzakelijk indien de freesinjecteur door een landbouwtrekker wordt voortbewogen; een alternatief wordt gevormd door het aanbrengen van rails, waarop een lorrie met de freesinjecteur kan worden voortbewogen.

Het grootste deel van de met het slib aangevoerde vaste bestanddelen wordt in de zwarte grond vastgelegd; een klein deel wordt afgebroken of afgevoerd met het percolaat (stikstof en fosfaat). Er is dan ook slechts sprake van een geringe verontreiniging van de ondergrond. De geproduceerde zwarte grond kan worden omschreven als een matig humeuze zandgrond, geschikt voor bijvoorbeeld het afdekken van vuilstorten.

Voor deze methode van slibverwerking is per 25.000 inwonerequivalenten een oppervlakte van 1 ha benodigd. Uitgaande van 2.000 m<sup>3</sup> zand wordt dan jaarlijks 2.500 m<sup>3</sup> zwarte grond bereid.

Afhankelijk van de inrichting van het terrein (lorrie en rails of rijpaden) worden de verwerkingskosten per ton droge stof slib geraamd op f 240,- of f 440,-.

2 ZWARTE GROND UIT STEEKVAST ZUIVERINGSSLIB (Zuiveringsschap Veluwe)

2.1 Inleiding

In een serie proeven op semi-technische schaal is onderzocht of steekvast ontwaterd slib van diverse samenstellingen gemengd kan worden met zand met behulp van een landbouwgrondfrees. De geproduceerde zwarte grond zou kunnen dienen als afdekgrond op vuilstortplaatsen.

De proeven zijn in 1982 door het Zuiveringsschap Veluwe (in overleg met het IMAG) uitgevoerd op het terrein van de rwzi Ede I.

2.2 Uitvoering

Voor het onderzoek werd een droogbed gebruikt met afmetingen van 17 bij 30 m. Dit droogbed was in 6 banen met elk een breedte van circa 2,8 m verdeeld.

Als uitgangsmateriaal zijn de volgende slibsoorten toegepast:

- filterpersslib uit Renkum, geconditioneerd met ijzerchloride en ongebluste kalk;
- centrifugeslib uit Harderwijk, geconditioneerd met polymeren;
- droogbeddenslib uit Harderwijk.

Als toeslagmateriaal is zand gebruikt.

De drie slibsoorten werden elk over twee banen uitgereden, waarvoor een stalmestverspreider is ingezet. De slibdosering vond in twee fasen plaats. De samenstelling en de hoeveelheden zijn weergegeven in respectievelijk tabel 7 en tabel 8.

		% d.s.	gloeirest %
filterpersslib	1e dosering	38,83	54,47
	2e dosering	31,38	59,25
centrifugeslib	1e dosering	20,67	49,09
	2e dosering	18,69	49,35
droogbeddenslib	1e dosering	35,80	65,18
	2e dosering	51,86	59,82
zand		89,94	99,15

Tabel 7. Drogestof- en gloeirestpercentage van gebruikte slibsoorten en toeslagmateriaal

		m <sup>3</sup> slib/ m <sup>2</sup> opp.	kg nat gew./ m <sup>3</sup> slib	kg d.s./ m <sup>2</sup>
filterpersslib	1e dosering	0,126	800	39
	2e dosering	0,126	800	32
centrifugeslib	1e dosering	0,073	1000	15
	2e dosering	0,088	1000	16,5
droogbeddenslib	1e dosering	0,084	900	27
	2e dosering	0,101	900	47

Tabel 8. Omvang slibdoseringen

In het optrengen werd het slib door het onderliggende zand getreest. Bij drie van de zes banen zijn zogenaamde aansaanders gebruikt. Dit zijn driehoekige metalen platen die, met de punt naar beneden gericht, voren in de grond trekken, zodat tussen deze voren ruggen ontstaan. Het doel van deze handeling was om de afvoer van regenwater te bevorderen teneinde de droging van het slib zandmengsel te versnellen. Deze handeling is zowel na de eerste als na de tweede slibdosering uitgevoerd.

Tussen de slibdoseringen zijn alle proefvelden éénmaal extra gefreesd en met een cultivator bewerkt om de grond los te maken en korstvorming tegen te gaan.

De proeven zijn in de zomerperiode onder zeer gunstige omstandigheden uitgevoerd. Als gevolg hiervan kon de tweede slibdosering reeds drie weken na de eerste charge worden opgebracht.

Op basis van vuistregels uit de praktijk - organische stofgehalte van het eindproduct lager dan 8% en ongeveer 50% verlies aan organische stof - moet de mengverhouding op volume-basis tussen slib en zand circa 1:1 bedragen. Bij een freesdiepte van 0,2 m bedraagt deze dan 1 op 6,3 op drogestoffbasis. Hiervan uitgaande bleek het voldoende twee slibdoseringen op te brengen en door te frezen.

Tijdens de proeven is nagegaan of de rijsnelheid van de trekker, waarop de frees was gemonteerd, of het toerental van de frees van invloed waren op het mengresultaat.

#### 2.3 Waarnemingen

uit de proeven is gebleken dat bij toepassing van lage rijsnelheden en hoge toerentalen van de frees de beste menging wordt bereikt. Het verschil was vooral goed waarneembaar bij de relatief droge uitgangsmaterialen: filterpersslib en droogbeddenaflib. Bij de harde filterperskoeken viel bovendien op dat zelfs na het intensieve doorfrezen nog kluiten ter grootte van enkele centimeters aanwezig waren.

Alle proefvelden zijn zowel na de eerste slibdosering als na de tweede bemonsterd. De monsters zijn onderzocht op het drogestofgehalte en de gloeirest. De resultaten van deze bepalingen zijn in tabel 9 weergegeven.

Bij deze resultaten kan opgemerkt worden, dat de grote verschillen, binnen eenzelfde slibsoort, waargenomen, voor een groot deel zijn veroorzaakt door onhomogeniteit van de mengsels dat, door de variatie in werkwijze,

bovendien geven de analyseresultaten slechts een inzicht in de direct na menging bereikte verhoudingen tussen slib en toetsagmateriaal. Ewaliteits cijfers van mengsels, waarin een verdere afbraak van organische stof is opgetreden, zijn niet beschikbaar.

#### 2.4 Conclusies

Voorontwaterd slib (20-40% d.s.) kan met zand gemengd worden met behulp van een landbouwfrees. Éénmaal frezen geeft een onvoldoende menging van zand en slib. Na een sterke indroging van de bovenlaag geeft een tweede maal frezen een veel beter mengresultaat.

De verwerkingsopereert per oppervlakte-eenheid en per tijdseenheid van deze slibverwerkingsmethode wordt groter geacht dan die van droogbedden.

		% d.s.		% gloeirest	
		1e dos.	2e dos.	1e dos.	2e dos.
filterslib	zonder aanaarders LS	70,8		89,8	
			52,9		82,7
	zonder aanaarders HS	63,9		84,8	
centrifugeslib	met aanaarders LS	67,0		86,4	
			68,9		87,3
	met aanaarders HS	69,6		89,3	
droogbeddensl.	zonder aanaarders LS	64,0		91,0	
			76,2		87,8
	zonder aanaarders HS	51,6		85,4	
	met aanaarders LS	71,6		94,6	
			59,4		93,7
	met aanaarders HS	58,6		89,9	
	zonder aanaarders LS	79,2		95,2	
			75,6		92,4
	zonder aanaarders HS	70,0		92,4	
	met aanaarders LS	72,2		96,6	
			84,3		90,5
	met aanaarders HS	65,3		90,1	

Tabel 9. Drogestofgehalten en gloeiresten van monsters, direct genomen na de slibdoseringen

LS = lage snelheid

HS = hoge snelheid

Opm. direct na de tweede dosering is alleen met lage snelheid gefreesd

Over de kwaliteit van het eindprodukt en de invloed van de gevolgde methode op de bodem kunnen geen uitspraken worden gedaan, wegens het ontbreken van analyses van het eindprodukt.

De oriënterende proeven waren te kleinschalig om op een verantwoorde wijze een raming van de uitvoeringskosten op praktijkschaal te kunnen opstellen.

### 3.1 Inleiding

In experimenten op praktijkschaal is onderzocht of met eenvoudige middelen uit mechanisch ontwaterd zuiveringsslib zwarte grond kan worden bereid. De experimenten hadden tot doel het bereiden van een ruim toepasbaar produkt zwarte grond en als afgeleide hiervan het stortbaar maken van mechanisch ontwaterd slib. Hierbij is tevens onderzocht welke terreininrichting en welk materieel het meest geschikt zijn voor dit doel.

De experimenten zijn uitgevoerd door Grontmij n.v. in opdracht van de STORA<sup>6</sup>. Er is gebruik gemaakt van dezelfde onderzoekslocatie als in het V en M-IMAG-experiment op de rwzi Ede II.

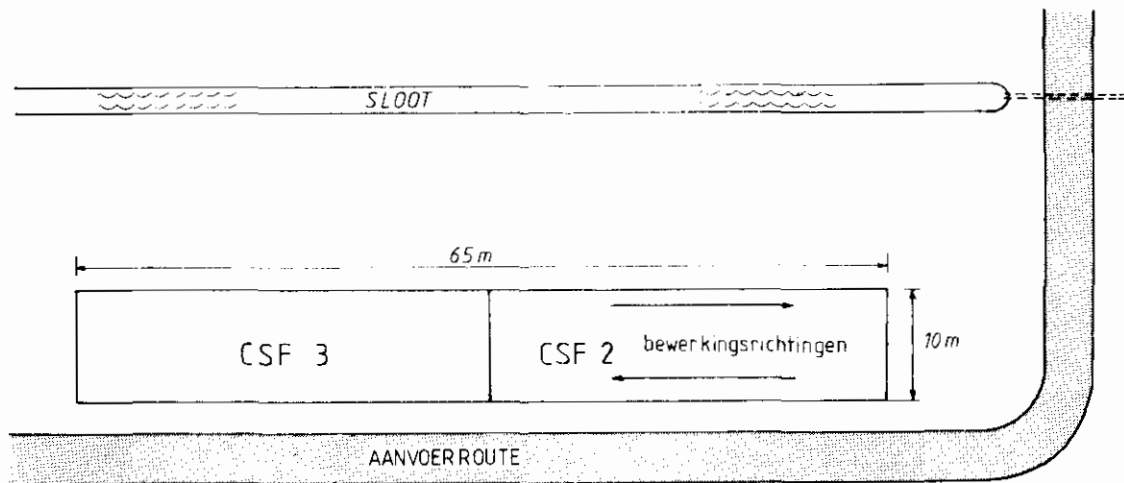
In een oriënterende fase is zowel met het freesprocédé (zoals in de proeven van het Zuiveringsschap Veluwe), als ook met een menging in rillen, onderzoek uitgevoerd. Bij deze laatste methode is ontwaterd zuiveringsslib door een hydraulische graafmachine met zand gemengd en op rillen van 1,5 à 2 m hoogte gezet; deze rillen werden diverse malen omgezet om de menging te bevorderen en zuurstof te laten toetreden. Gezien de matige resultaten, die met deze methode zijn behaald, is de aandacht tijdens de proeven vooral gericht op het freesprocédé.

### 3.2 Uitvoering

De keuze van de te bewerken slibsoorten is bepaald door de hoeveelheden van de vrijkomende slibsoorten in Nederland, de beschikbare kennis van het slib en de noodzaak tot alternatieve verwerking. Geëxperimenteerd is met een mengsel van uitgegist en aëroob gemineraliseerd slib dat met behulp van een centrifuge en - in een later stadium van de proeven - met een zeefbandpers is ontwaterd tot 18 à 25% droge stof. Dit uit Harderwijk afkomstige slib was met polymeren geconditioneerd.

Als toeslagmateriaal werd zand gebruikt.

De freesexperimenten zijn in de open lucht, in de volle grond uitgevoerd (geen verharde ondergrond). Hiertoe waren twee proefvelden ingericht met elk een lengte van 32,5 m en een breedte van 10 m; in figuur 3 is deze inrichting weergegeven. Op de gedraineerde ondergrond werd 0,25 m toeslagmateriaal (zand) aangebracht.



Figuur 3. Inrichting terrein freesproeven

Voor het opbrengen van het slib werd een stalmestverspreider met zijwaartse lossing gebruikt. Hierbij heeft men met de opbrengapparaat niet over het freesveld te rijden. Bij oriënterende proeven was namelijk gebleken dat bij een achterlosser problemen ontstaan zoals het wegdrukken van slib door de wielen van de freestrekker en het verzakken van de zware opbrengapparaat.



Figuur 4. Opbrengen van slib

De tijdsintervallen tussen de verschillende doseringen werden vooral bepaald door de weersomstandigheden. De toegevoerde hoeveelheden zand en slib staan in tabel 10 weergegeven.

		zandhoeveelheden							
		volume (m <sup>3</sup> )	gew.nat (kg)	d.s. (%)	gew.dr. (kg)	volume (m <sup>3</sup> )	gew.nat (kg)	d.s. (%)	gew.dr. (kg)
totaal		58	99.760	88,8	88.600	58	99.760	88,8	88.600
dosering		slibhoeveelheden							
		CSF 2				CSF 3			
(nr. en datum)		volume (m <sup>3</sup> )	gew.nat (kg)	d.s. (%)	gew.dr. (kg)	volume (m <sup>3</sup> )	gew.nat (kg)	d.s. (%)	gew.dr. (kg)
1	21-12-'83	14	13.580	18,1	2.460	14	13.580	18,1	2.460
2	14-02-'84	14,5	14.070	15,5	2.180	14,5	14.070	15,5	2.180
3	08-03-'84	13	12.520	17,8	2.230	13	12.520	17,8	2.230
4	22-03-'84	14,5	14.060	19,3	2.710	14,5	14.060	19,3	2.710
5	09-05-'84	13,5	13.020	22,1	2.880	13,5	13.020	22,1	2.880
6	15-06-'84	-	-	-	-	14	13.590	21,6	2.940
7	12-07-'84	-	-	-	-	13	12.350	27,8*	3.430
8	30-08-'84	-	-	-	-	14,5	14.440	28,7*	4.140
totaal		69,5	67.250		12.460	111	107.630		22.970

Tabel 10. Hoeveelheden uitgangsmaterialen freesproeven

\* hoger drogestofgehalte, gezand, zie tabel 10 en 11 voor zand- en slijfinhoud.

### 3.3 Waarnemingen

De uiteindelijke mengverhouding tussen zand en slib op volumebasis is bij proef CSF2 1:1,2 en bij proef CSF3 1:1,9. Op drogestofbasis bedragen de mengverhoudingen 7,1:1 resp. 3,9:1.

Aan de uitgangsmaterialen zand en slib zijn de in tabel 11 weergegeven analyses uitgevoerd.

parameter	uitgangsmaterialen	
	zand	slib
pH	(-)	6,0
drogestof	(%)	88,8
org.stof	(% van d.s.)	0,2
stikstof	(g/kg d.s.)	0,2
fosfaat	(g/kg d.s.)	0,3
kalium	(g/kg d.s.)	0,3
calcium	(g/kg d.s.)	0,5
magnesium	(g/kg d.s.)	0,6
koper	(mg/kg d.s.)	1,7
chrom	(mg/kg d.s.)	0,2
zink	(mg/kg d.s.)	0,7
lood	(mg/kg d.s.)	2,1
cadmium	(mg/kg d.s.)	0,1
nikkel	(mg/kg d.s.)	1,9
kwik	(mg/kg d.s.)	0,1
arsen	(mg/kg d.s.)	0,6

Tabel 11. Chemische samenstelling uitgangsmaterialen.

Het opbrengen van het slib op de gekozen wijze voldeed uitstekend. Het doorfreen van de (dunne) lagen slib leverde geen problemen op, tot aan de laatste dosering van proef CSF3 waarbij het proefveld niet meer bereikbaar was voor de trekker met de frees.

De aangebrachte drainage voldeed goed zodat het terrein te allen tijde bereikbaar bleef. De tijdsduur tussen de verschillende doseringen werd in het begin van de proef (in de winter) vooral bepaald door de weersomstandigheden. Door extra freesbewerkingen is geprobeerd de intervallen zoveel mogelijk te bekorten. Naarmate het organisch stofgehalte van het mengsel toenam, waren meer tussentijdse freesgangen noodzakelijk: slechts 1 in het begin tot 3 à 4 tegen het einde van proef CSF3.

Bij tussentijdse visuele beoordelingen bleek dat na elke dosering steeds een homogeen mengsel was verkregen. Op reuk, visueel en bij zuurstofmetingen in de poriënruimte werd geen anaërobie geconstateerd. Bij de eindbeoordeling werd de zwarte grond uit proef CSF2 beoordeeld als een humeuze, kleiige zandgrond, enigszins slempgevoelig en nog niet uitgerijpt. Het materiaal van proef CSF3 kwam overeen met een humeuze tot humusrijke lichte zavel die als gevolg van het hogere lutumgehalte minder slempgevoelig was. De rijpingstoestand was nog duidelijk minder dan bij proef CSF2, wat goed verklaarbaar was gezien het recenter inbrengen van vers slibmateriaal.

Bij de eindbeoordeling zijn monsters genomen en geanalyseerd. De resultaten van de analyses staan in tabel 12 waar ze vergeleken worden met theoretisch berekende waarden. De berekende waarden zijn gebaseerd op de mengverhoudingen en de analyseresultaten van de uitgangsmaterialen.

parameter	eindprodukten			
	CSF 2		CSF 3	
	berekening	analyse	berekening	analyse
org. stof (% van d.s.)	6,7	4,7	11,1	9,5
stikstof (g/kg d.s.)	4,5	2,7	7,3	3,6
fosfaat (g/kg d.s.)	12,0	11,3	19,8	13,4
kalium (g/kg d.s.)	0,4	0,3	0,5	0,3
calcium (g/kg d.s.)	7,0	2,4	11,3	4,3
magnesium (g/kg d.s.)	1,0	0,6	1,3	0,7
koper (mg/kg d.s.)	36	26	59	38
chrom (mg/kg d.s.)	19	25	28	33
zink (mg/kg d.s.)	159	133	262	189
lood (mg/kg d.s.)	32	30	52	40
cadmium (mg/kg d.s.)	0,3	0,3	0,5	0,5
nikkel (mg/kg d.s.)	7	5,4	10	6,5
kwik (mg/kg d.s.)	0,4	0,2	0,6	0,4
arseen (mg/kg d.s.)	1,3	1,7	1,8	2,4

Tabel 12 Samenstelling eindprodukten

### 3.4

#### Kosten

Hier volgen enkele globale kosten van de zwarte grondbereiding door middel van het freesprocédé. Twee situaties worden berekend namelijk de situatie waarbij wordt uitgegaan van het bereiden van een ruim toepasbaar produkt zwarte grond en de situatie waarbij mechanisch ontwaterd slib stortbaar gemaakt wordt.



In de eerste situatie wordt verondersteld dat 2 verwerkingscycli per jaar kunnen worden uitgevoerd. Voor de verwerking van een slibproductie van 25.000 à 30.000 i.e. per jaar, overeenkomend met 2400 m<sup>3</sup> slib (bij 20% d.s. = 480 ton droge stof) is een bruto oppervlakte van 1 ha nodig. Er wordt geen verharding aangebracht, wel eventueel drainage.

Voor de tweede situatie wordt ervan uitgegaan dat er 1 1/3 verwerkingscyclus per jaar kan plaatsvinden, waardoor men in staat is om 2800 m<sup>3</sup> slib per jaar per hectare te verwerken (bij 20% d.s. = 560 ton droge stof).

Voor beide situaties wordt verondersteld dat zand in de nabijheid verkrijgbaar is. De volgende kostenberekening op jaarbasis kan dan worden opgesteld:

	situatie 1	situatie 2
- 1 ha terrein, incl. drainage, afwatering en ontsluiting	f 16.500,--	f 16.500,--
- bodembeschermende maatregelen	f 18.000,--	f 18.000,--
- zand, incl. aanvoer	f 36.000,--	f 24.000,--
- aanvoer en opslag slib	PM	PM
- opbrengen slib	f 16.200,--	f 18.900,--
- freesbewerkingen	f 9.750,--	f 13.000,--
- onvoorzien	f 3.550,--	f 4.600,--
	+ _____	+ _____
Totaal	f100.000,--	f 95.000,--

Per ton droge stof komt dit voor situatie 1 overeen met circa f 210,-- per ton droge slib ofwel f 42,-- per m<sup>3</sup> ontwaterd slib. Voor situatie 2 zijn deze bedragen f 170,-- resp. f 34,-- (bedragen zijn exclusief B.T.W.).

Deze bedragen mogen slechts als prijsindicaties worden beschouwd.

### 3.5 Conclusies

De verwerking van centrifugeslib tot een ruim toepasbare zwarte grond is met behulp van de toegepaste werkwijze goed mogelijk. Na circa vijf maanden werd het gewenste organische stofgehalte van vijf à zes procent bereikt. Het blijkt ook mogelijk te zijn om binnen circa negen maanden een goed stortbaar produkt te verkrijgen met een organisch stofgehalte van 9 à 10%. Dit produkt is te "rijk" aan fijne, vochtbindende bestanddelen om als multifunctionele teelaarde dienst te kunnen doen.

Bij de toediening van slib blijkt een homogene menging mogelijk, mits per dosering niet meer dan 0,04 m slib wordt opgebracht.

Beide eindprodukten waren nog niet uitgerijpt zodat verwacht kan worden dat verdere afbraak van het organisch stofgehalte in beide eindprodukten zal plaatsvinden.

Wel dient opgemerkt te worden dat de grond uit proef CSF2 op basis van chemische en granulaire samenstelling als een goede teelaarde beschouwd kan worden, maar dat deze grond pas een goed groeimilieu voor planten vormt als door verdere rijping, door bodemleven en beluchting een goede structuur en een goede lucht- en waterhuishouding is ontstaan.

De globale kosten van de bereiding van een ruim toepasbaar produkt zwarte grond bedragen f 180,-- per ton droge stof slib. Voor het stortbaar maken van mechanisch ontwaterd slib is dit f 145,-- per ton droge stof slib.

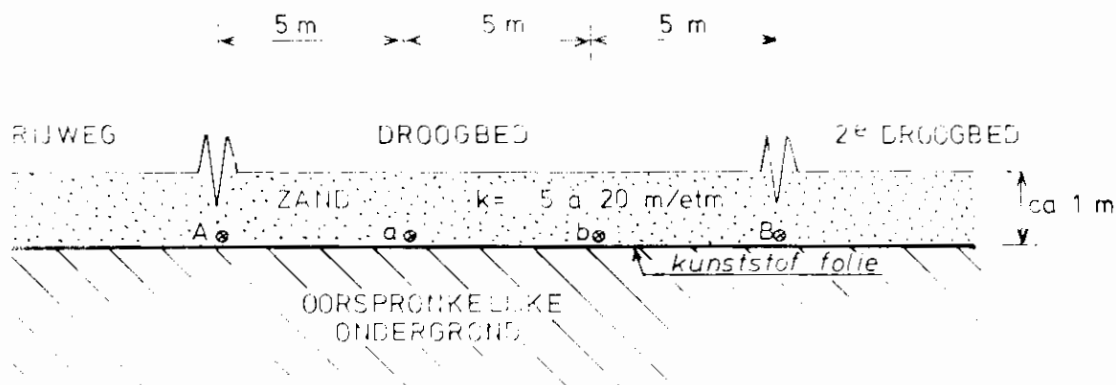
## 4 ZWARTEGRONDBEREIDING OP BEDRIJFSSCHAAL (Rutte Recycling)

### 4.1 Inleiding

Door Rutte Recycling B.V. te Halfweg wordt op bedrijfsschaal vloeibaar zuiveringsslib verwerkt tot zwarte grond. Deze activiteit wordt uitgevoerd op een terrein waar ook zwartegrondbereiding uit steekvast ontwaterd slib en compostering van zuiveringsslib plaatsvinden. Omdat vooral de zwartegrondbereiding uit vloeibaar slib reeds een aantal jaren op grote schaal wordt uitgevoerd, is de aandacht met name op deze activiteit gericht.

### 4.2 Uitvoering

Het slib wordt op droogbedden gebracht. De droogbedden zijn als volgt geconstrueerd: op de oorspronkelijke ondergrond wordt een kunststoffolie aangebracht. Hierop is een drainerend zandpakket, met een drainagesysteem aangebracht. Er worden langs de droogbedden greppels aangelegd, die precies boven een drain liggen. De greppels hebben een bergende functie (zie figuur 5).



Figuur 5. Schematische inrichting van de gebruikte droogbedden

Het slib wordt op een natuurlijke wijze ontwaterd; met het oogpunt op stankoverlast kunnen uitsluitend gestabiliseerde slibsoorten worden verwerkt.

Uitgegist slib, afkomstig uit oxydatiebedden leent zich goed voor natuurlijke ontwatering. Uitgegist slib, afkomstig uit actief-slibinstallaties, of carouselslib, lenen zich ook, maar in mindere mate, voor natuurlijke ontwatering.

Voordat het slib opgebracht wordt, wordt, afhankelijk van de aard van het slib en de bestemming van het eindprodukt, een onderlaag van hulpprodukten aangebracht (b.v. champignonmest of een ander landbouwafval).

Het slib wordt laagsgewijs opgebracht op een bol of hellend oppervlak zodat daar een versnelde waterafvoer kan plaatsvinden.

Tijdens deze ontwatering op de droogbedden vindt ook een initiële rijping plaats. Bij het ruimen van de bedden wordt het slib gemengd met de hulpprodukten, waarna het materiaal op een windrow verder kan rijpen. Probleem is vast te stellen of het mengsel voldoende gerijpt is. Dit punt wordt bereikt als er geen anaërobie meer aanwezig is in het mengsel. Het zuurstofgehalte dient hiervoor als indicatie. In de praktijk wordt als criterium gehanteerd dat het zuurstofgehalte van

de lucht in de poriën van het mengsel, op enkele dm diepte in de stapeling gemeten, meer dan 10% moet bedragen.

Na het rijpingsproces kan de menging met het toeslagmateriaal plaatsvinden. Hiervoor wordt een mengmachine gebruikt. Deze bestaat uit twee bunkers die ieder aan de onderzijde geledigd kunnen worden met behulp van een transportband.

De bunkers worden gevuld met de te mengen componenten. De mengverhouding kan geregeld worden door instelling van de snelheid van de twee transportbanden. Tevens kunnen in deze installatie door middel van een doseerinrichting kunstmeststoffen worden toegevoegd om eventueel ontbrekende plantenvoedende elementen aan te vullen. Het grondmengsel wordt tevens vermalen zodat het eindproduct homogeen is wat afmetingen betreft.

#### 4.3

#### Waarnemingen

Er is een schatting gemaakt voor de vochtbalans van de droogbedden (zie tabel 13).

aanvoer:		afvoer:	
slib	2250 mm/jaar	infiltratie	450 mm/jaar
neerslag	750 mm/jaar	verdamping	650 mm/jaar
	3000 mm/jaar	vocht in afgevoerde slib	450 mm/jaar
		opp. afvoer	1450 mm/jaar
			3000 mm/jaar

Tabel 13. Vochtbalans (geschat) voor de droogbedden

Alle gemaakte schattingen zijn gebaseerd op metingen, behalve de oppervlakte-afvoer die berekend is door de aan- en afvoerbalans in overeenstemming te brengen. De oppervlakte-afvoer is dus de grootste afvoerpost.

In tabel 14 is een voorbeeld gegeven van de samenstelling van door Rutte Recycling bereide zwarte grond.

Deze samenstelling is uiteraard sterk afhankelijk van de kwaliteit van de uitgangsprодукten en de toegepaste mengverhouding.

component	hoeveelheid
droge stof (%)	75,2
organische stof (% d.s.)	6,5
stikstof (g/kg d.s.)	2,1
fosfaat (g/kg d.s.)	2,7
kalium (g/kg d.s.)	0,5
zink (mg/kg d.s.)	150
lood (mg/kg d.s.)	37
koper (mg/kg d.s.)	34
cadmium (mg/kg d.s.)	0,8

Tabel 14. Samenstelling eindproduct zwarte grond (voorbeeld)

#### 4.4 Kosten

De belangrijkste kostenfactoren zijn:

- inrichting bedrijf: - terrein (+ 1,6 ha/100.000 i.e.)
- bodembescherming
- drainage
- waterzuivering
- verhardingen en overige infrastructuur
- machinepark: - tankauto
- laadschop
- menginstallatie
- toeslagstoffen: - zand
- organisch materiaal
- aanvullend mestprodukten
- kwaliteitscontrole: - grondstoffen
- tijdens het productieproces
- eindprodukt

Ook de omvang van de slibverwerking, de efficiëntie en de ligging en de bodemgesteldheid van het terrein zijn van belang voor de kosten.

Indien 200.000 ton zwarte grond per jaar wordt geproduceerd bedragen de kosten ongeveer f 10,--/m<sup>3</sup> nat slib of f 200,-- a f 250,-- per ton d.s. slib. Hierin zijn de aanvoerkosten van het slib niet verwerkt.

#### 4.5 Conclusies

Om vloeibaar zuiverings-slib tot zwarte grond te verwerken is veel ruimte nodig. Er kan met een eenvoudige terreininrichting en gangbaar materieel worden gewerkt. Bij de methode, zoals deze door Rutte Recycling wordt toegepast is het essentieel over grote hoeveelheden organische toeslagmaterialen te beschikken.

Bij een grootschalige aanpak - de verwerking van de slibproductie van enkele honderdduizenden i.e.'s per jaar - bedragen de kosten circa f 200,-- a f 250,-- per ton droge stof slib.