

NN31050.85-06

1985-06

stora

Compost en zwarte grond

uit

zuiveringsslib

**Procesparameters en bedrijfsvoering
(praktijkonderzoek)**

ERF BLOTTEN
STATIEGEBOUW

1/11/88

stora

postbus 414, 2280 AK rijswijk

☎ 070 - 980.287

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

Compost en zwarte grond

uit

zuiveringsslib

Procesparameters en bedrijfsvoering
(praktijkonderzoek)



0000 0470 5659

18 JUN 1988

1/11/88

INHOUD

I - II

	Ten geleide	III
1	SAMENVATTING	1
2	INLEIDING	4
3	UITGANGSPUNTEN PRAKTIJKPROEVEN COMPOSTERING	7
3.1	Uitgangsmaterialen	7
3.1.1	slibsoorten	7
3.1.2	toeslagmaterialen	7
3.2	Toegepaste composteringmethode	8
3.3	Werkwijze	11
3.4	Procestechnologische parameters	12
3.4.1	algemeen	12
3.4.2	metingen, analyses en bepalingen	13
3.4.3	gasmetingen in de afvoerlucht	14
3.4.4	materiaalbalans	14
4	PRAKTIJKPROEVEN COMPOSTERING	16
4.1	Proevenprogramma	16
4.2	Samenvatting resultaten 1e proevenserie	18
4.2.1	proef ASH	18
4.2.2	proef USH	18
4.2.3	proef ASH 2	19
4.2.4	proef USH 2	19
4.2.5	proef ASR	19
4.2.6	proef USS	20
4.2.7	conclusies 1e proevenserie	20
4.3	Samenvatting resultaten 2e proevenserie	21
4.3.1	proef USHH	21
4.3.2	proef USHR	22
4.3.3	conclusies 2e proevenserie	23
4.4	Samenvatting resultaten 3e proevenserie	23
4.4.1	proef ASHHZ	23
4.4.2	proef ASHHB	24
4.4.3	proef USHHZ	25
4.4.4	conclusies 3e proevenserie	25
4.5	Samenvatting resultaten 4e proevenserie	26
4.5.1	proef ASHHZ	26
4.5.2	proef ASHHB	27
4.5.3	proef ASHZ	28
4.5.4	conclusies 4e proevenserie	28
4.6	Samenvatting procestechnologische parameters	29
4.6.1	temperatuur	30
4.6.2	drogestofgehalten	32
4.6.3	gloeiresten	33
4.6.4	analyses nutriënten en micro-elementen	34
4.6.5	analyses chemisch zuurstofverbruik	37
4.7	Luchthoeveelheden	38
4.8	Scheiden van toeslagmaterialen	39
4.9	Microbiologisch onderzoek	42
4.10	Alternatieve toeslagmaterialen	43
4.11	Globale kosten compostering	43

5	EINDCONCLUSIES EN AANBEVELINGEN COMPOSTERING	45
5.1	Eindconclusies	45
5.2	Aanbevelingen	47
6	UITGANGSPUNTEN PRAKTIJKPROEVEN ZWARTEGRONDBEREIDING	50
6.1	Inleiding	50
6.1.1	doel van de proeven	50
6.2	Uitgangsmaterialen	50
6.2.1	slibsoorten	50
6.2.2	toeslagmaterialen	51
6.2.3	mengverhoudingen	51
6.3	Verwerkingswijzen	51
6.4	Procescontrole	52
6.5	Materiaalbalans	53
7	PRAKTIJKPROEVEN ZWARTEGRONDBEREIDING	55
7.1	Proevenprogramma	55
7.2	Samenvatting resultaten 1e proevenserie	56
7.2.1	stapelproeven	56
7.2.2	freesproeven	56
7.2.3	conclusies 1e proevenserie	57
7.3	Samenvatting resultaten 2e proevenserie	58
7.3.1	freesproeven	58
7.3.2	conclusies 2e proevenserie	58
7.4	Globale kosten	59
8	EINDCONCLUSIES EN AANBEVELINGEN ZWARTEGRONDBEREIDING	60

BIJLAGEN:

1	Praktijkproeven compostering
2	Praktijkproeven zwartegrondbereiding
3	Fotobladen

Ten geleide

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

In een eerdere studie - Compost en zwarte grond uit zuiveringsslib 1. Systemen, technologie en ervaring (inventarisatie) - zijn de belangrijkste technische en financiële aspecten en praktijkervaringen in Nederland bijeengebracht.

Het thans voorliggende rapport beschrijft experimenten die zijn uitgevoerd om inzicht te verkrijgen in de factoren die voor bedrijfsvoering en procesoptimalisatie van belang zijn, zoals slibkwaliteit, toeslagstoffen, mengtechniek, onderhoud en bediening, kosten en beheersing van neveneffecten op het milieu.

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

In de reeks publicaties over dit onderwerp verschijnt nog een compilatie van het onderzoek dat andere instellingen - waaronder enige STORA-deelnemers - op praktijkschaal hebben uitgevoerd.

Al het experimentele werk zal worden samengevat in een STORA-richtlijn voor de techniek van het bereiden van compost en zwarte grond uit zuiveringsslib.

Rijswijk, augustus 1985.

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 prof.dr. P.G. Fohr, ir. R. Karper, drs. S.P. Klapwijk, ir. A.A. van der Koppel, dr. E.J.M. Kobus, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. J.S. Kuyper, ir. Tj. Meijer, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubink, ir. J. van Selm, drs. A.A. Wismeyer (leden)

SAMENVATTING

In experimenten op praktijkschaal zijn de compostering en de bereiding van zwarte grond uit zuiveringsslib onderzocht om inzicht te verkrijgen in de behandeling van de materialen, het benodigde materieel, de procesbehandeling en -begeleiding, de nabewerking, de uiteindelijke samenstelling en de globale kosten.

De nadruk lag daarbij sterk op de praktische aspecten van deze verwerkingsmethoden.

compostering

De compostering van het zuiveringsslib is uitgevoerd volgens de statische methode ("aerated-static-pile") waarbij geforceerde beluchting werd toegepast. De proeven zijn in de open lucht en onder overkapping uitgevoerd, waarbij gebruik is gemaakt van aëroob gestabiliseerd slib en uitgegist slib, beide geconditioneerd met polymeren en ontwaterd door middel van een zeefbandpers. De keuze van deze slibsoorten werd bepaald door de grootte van de produktie daarvan in Nederland en de landelijke behoefte aan mogelijkheden om tot alternatieve verwerking te komen.

Uit de experimenten onder praktijkomstandigheden blijkt dat toeslagmaterialen moeten beschikken over porositeitverhogende en vochtregulerende eigenschappen. Het vermogen tot vochtabsorptie kan worden gerelateerd aan het drogestofgehalte van het toeslagmateriaal dat minimaal 60% moet zijn. Voor de praktijkproeven werden geen geschikte toeslagmaterialen gevonden die beide eigenschappen in zich verenigen. Daarom is gebruik gemaakt van twee afzonderlijke toeslagmaterialen. Als porositeitsverhogende toeslagmaterialen werden toegepast versnipperde autobanden en houtblokken; als vochtregulerend toeslagmateriaal houtsnippers, houtschillen en stro. De toegepaste mengverhoudingen op volumebasis tussen slib: vochtregulerend toeslagmateriaal: porositeitverhogend toeslagmateriaal waren 1 : 2 à 2,5 : 1 à 1,5. Bij de keuze van toeslagmateriaal spelen ook de mogelijkheid en de mate van hergebruik en de kosten van aanschaf en verwerking een belangrijke rol.

Voor het mengen van vochtregulerend toeslagmateriaal met slib werd gebruik gemaakt van een stalmestverspreider. Aan het aldus ontstane mengsel werd het porositeitverhogend toeslagmateriaal toegevoegd met behulp van een hydraulische graafmachine. Het gemengde materiaal werd gestapeld op beluchtingsbuizen die in een bed van houtschillen of houtsnippers waren gelegd. De stapelingen werden afgedekt met compost en geweven kunststofdoeken. Beluchting vond plaats door middel van overdruk- of onderdrukventilatie. De voor het composteringsproces benodigde lucht kan globaal worden berekend. Uit de praktijkproeven blijkt dat aan de proeven met onderdrukbeluchting in het algemeen meer lucht werd toegevoerd dan aan de proeven met drukbeluchting. 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 parameter voor het procesverloop gehanteerd. 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 is niet bruikbaar als parameter voor de bedrijfsvoering, omdat er zich binnen de stapelingen grote temperatuurverschillen voordoen.

Het gebrek aan informatie over de chemische samenstelling van de eindproducten van de compostering is niet mogelijk gebleken monsters te nemen die statistief mochten worden geacht voor het gecomposteerde materiaal. Geconstateerd is dat concentraties van bepaalde stoffen het gevolg van de afbraak van organische stof zijn, het gevolg van de verhoging van de hoeveelheid droge stof in de mest en afdekcompost. De mate van stabilisatie van het materiaal werd bepaald door middel van de methode van de zuurstofhuik. In het algemeen neemt het chemisch zuurstof van het materiaal af tijdens composteren. Microbiologisch onderzoek heeft aangetoond dat de hygiënische betrouwbaarheid van de mest na de compostering toeneemt.

Bij het afschrijven van de voedingsmaterialen uit het gecomposteerde slib is een belangrijk aandachtspunt de drogestofgehalte van het gecomposteerde materiaal minstens 50% behoeft te zijn.

Vochtregulering van het slijm voor 60 à 70% van het oorspronkelijk vochtgehalte is noodzakelijk, wanneer het drogestofgehalte van het te zettende slijm lager is dan 50%.

Zeven bleek dat slijm met drogestofgehalten lager dan 40%.

Bij compostering van slijm is neerslag als storende invloed ervaren. Neerslag in combinatie met lage buitenluchttemperatuur kan tot verlengde verwerkingsduur door de geringe vochtopnamerend vermogen van het slijm leiden.

Van enige personen is gemeld dat er is niet gebleken. Wel kan neerslag zich aan de oppervlakte van de stapelingen verzamelen als gevolg van afstroming langs de zijkanten van de stapelingen. Mede vanwege de geringe beschikbaarheid van water wordt het aanbevolen dat de compostering op een verhard oppervlak wordt uitgevoerd.

Afhankelijk van de samenstelling van het zwaartegras kan dit bij aanbrengen van het voedingsmateriaal stankontwikkeling veroorzaken. Stankontwikkeling kan worden voorkomen tijdens het proces door onder andere ammoniak of andere stoffen op het oppervlak van de stapeling ontwijken. Bij het aanbrengen van het voedingsmateriaal op de stapelingen voorzieningen nemen om de behandeling van de in de ruimte aanbrengen van het voedingsmateriaal te verbeteren.

Bij een bedrijf met een productie van 400 ton droge stof/jaar worden de kosten gerapporteerd van het gebruik van droge stof, wanneer in de open lucht wordt gebruikt, is het gebruik wordt gemaakt van een overkapte ruimte, waarbij de prijs per ton droge stof circa f 495,-- bedraagt.

zwartegrondegrond

In experimenten op de landbouw is onderzocht of met eenvoudige middelen uit de natuur een zuiveringsslib zwarte grond kon worden bereid. Het resultaat was dat zowel een ruim toepasbare teelaarde als een zuiveringsmiddel wordt verstaan.

De zwartegrondbereiding werd uitgevoerd volgens het freesprocédé en het stapelprocédé.

Het freesprocédé omvat het opbrengen van een laag slib op een ondergrond bestaande uit toeslagmateriaal waarna het opgebrachte materiaal wordt doorgefreesd in de ondergrond.

Bij het stapelprocédé wordt het ontwaterde zuiveringsslib in een vooraf bepaalde verhouding gemengd met het toeslagmateriaal. Dit mengsel wordt vervolgens op rillen gezet die na verloop van enige tijd worden omgezet. De omzettingfrequentie hangt daarbij af van de samenstelling van het mengsel en de weersomstandigheden. Het belangrijkste verschil tussen het frees- en stapelprocédé is dat in het laatste geval direct de eindmengverhouding wordt gerealiseerd terwijl dit bij het freesprocédé gefaseerd gebeurt.

De proeven zijn uitgevoerd met uitgegist slib dat met kalk en ijzerchloride is geconditioneerd en met behulp van filterpersen ontwaterd is tot een drogestofgehalte van ca. 35% en met een mengsel van uitgegist en aëroob gemineraliseerd slib met een drogestofgehalte van 18% à 25%.

Als toeslagmateriaal is humus- en leemarm zand gebruikt vanwege de rulle structuur, de zeer goede verwerkingseigenschappen, de gunstige prijs en de ruime beschikbaarheid.

De methode van zwartegrondbereiding volgens het freesprocédé in de volle grond biedt mogelijkheden om een goede teelaarde te bereiden of mechanisch ontwaterd zuiveringsslib tot een stortbaar produkt te verwerken.

In verband met de berijdbaarheid van de volle grond bij het frezen, kan het slib slechts in een beperkte laagdikte van ca. 0,04 m worden opgebracht. Het aantal doseringen wordt bepaald door de samenstelling van de te mengen produkten, de drogestofgehalten hiervan en de eisen die aan het eindprodukt worden gesteld. Om een eindprodukt met een organisch stofgehalte van 5 à 6% te bereiden zijn circa 5 doseringen nodig. De duur van het proces bedraagt, afhankelijk van de weersomstandigheden, 4 tot 6 maanden. Het is gebleken dat met maximaal 8 à 9 doseringen in een periode van 9 maanden een produkt ontstaat dat nog juist verwerkbaar is. Om het tijdsinterval tussen de slibdoseringen te bekorten, werden tussen de freesbewerkingen die na een dosering plaatsvonden, extra freesbewerkingen uitgevoerd. Het totaal aantal freesbewerkingen bij 8 à 9 doseringen bedroeg daarom 16 à 18.

Bij zwartegrondbereiding uit zuiveringsslib verdient, vanwege de verwerkingsduur, het freesprocédé de voorkeur boven de stapelmethode ook al gaat het freesprocédé gepaard met een aanzienlijk ruimtebeslag.

Zowel het bereiden van een nuttig produkt zwarte grond als het stortbaar maken van het slib kan tegen relatief lage kosten worden uitgevoerd (respectievelijk f 180,-- en f 145,-- per ton droge stof).

In een voorgaande fase waarin literatuur en praktijkervaring werden geïnventariseerd bleek een aantal vragen nog niet beantwoord te kunnen worden.

Dit werd onder meer veroorzaakt door het feit dat de in de literatuur genoemde composteringen niet onder vergelijkbare omstandigheden waren uitgevoerd, waardoor de resultaten niet of slecht met elkaar konden worden vergeleken; van zwartegrondbereiding waren slechts beperkte literatuurgegevens bekend.

Praktijkonderzoek zou meer inzicht moeten verschaffen in de omstandigheden waaronder compostering en zwartegrondbereiding plaats moet vinden en tevens in de factoren die op de verwerkingsmethoden van invloed zijn.

Uitvoering van zulk praktijkonderzoek heeft plaatsgevonden op het terrein van de rwzi Ede II in beheer van het Zuiveringsschap Veluwe; tevens is een beperkt aantal proeven uitgevoerd in een overdekte locatie in de omgeving van deze rwzi.

De in het kader van deze studie uitgevoerde praktijkproeven hadden tot doel inzicht te verkrijgen in:

- behandeling van materiaal (te verwerken slib en toeslagmateriaal);
- benodigde materieel;
- procesbehandeling- en begeleiding (duur van het totale proces, procescontrole/beheersing, neveneffecten zoals de invloed van processen op de bodem);
- nabewerking;
- de mate van desinfectie;
- globale kosten.

De nadruk lag daarbij sterk op de praktische aspecten van de verwerkingsmethoden. Daarom zijn slechts globale bemonsteringsprogramma's uitgevoerd, bedoeld als controle op de procesgang.

Bij deze experimenten is gestreefd naar de meest eenvoudige methode van verwerking, met de minste handelingen, een laag energieverbruik en een minimaal toezicht.

Bij de keuze van een bepaalde werkwijze voor de proeven is een afweging gemaakt op grond van een aantal factoren zoals bijvoorbeeld de optredende milieu-effecten en de weersinvloeden op de verwerkingsmethode. Daarnaast moest de mogelijkheid bestaan om verschillende beginmaterialen en toeslagstoffen volgens dezelfde werkwijze te behandelen, zodanig dat een onderlinge vergelijking van de proefresultaten mogelijk zou zijn.

De keuze van het te verwerken zuiveringsslib dat bij de praktijkproeven als beginmateriaal betrokken is geweest, is in hoofdzaak bepaald door de kwantiteiten van bepaalde slibsoorten in Nederland en de behoefte om deze eventueel te composteren, c.q. tot zwarte grond te verwerken.

De ervaringen met compostering van een aantal slibsoorten zoals genoemd in de literatuur, vormden daarbij een referentiekader.

Hoewel bij de keuze van de toe te passen toeslagmaterialen meerdere factoren een rol hebben gespeeld, ging het er met name om of de gekozen toeslagmaterialen de hen toegedachte functie in het verwerkingsproces vervulden. Daarnaast is aandacht geschonken aan het eventueel afscheiden na gebruik en de mogelijkheid tot hergebruik.

Bij het vaststellen van de proefperiode speelde een belangrijke rol dat met name van de weersinvloeden op het proces weinig bekend is. Op voorhand zou verwacht mogen worden, dat onder ongunstige omstandigheden zoals lage buitentemperaturen, een hoge relatieve vochtigheidsgraad van de omringende lucht en neerslag, de compostering c.q. zwartegrondbereiding moeilijk zou kunnen verlopen. Verwerking onder gunstige omstandigheden zou mogelijk beter verlopen.

Om de compostering van verschillende soorten slib en toeslagmaterialen met elkaar te kunnen vergelijken onder gelijke weersomstandigheden, zijn meerdere proeven gelijktijdig uitgevoerd. Voor één totale verwerking van slib tot eindprodukt werd per proef een periode aangehouden van ca. 15 weken.

4 proevenseries zijn uitgevoerd met als begindata:

- oktober 1982
- maart 1983
- juli 1983
- oktober 1983

De eerste proevenserie van de zwartegrondbereiding heeft plaatsgevonden in de periode maart - december 1983; de tweede serie is uitgevoerd direct aansluitend op de eerste, de afsluiting heeft in september 1984 plaatsgevonden.

Aangezien de compostering en de zwartegrondbereiding op zich zelf staande verwerkingstechnieken zijn, worden de resultaten van de praktijkproeven in dit rapport afzonderlijk beschreven.

Als gevolg van het samenbrengen van de verslaggeving van de praktijkproeven compostering en zwartegrondbereiding is het onvermijdelijk dat enige doublures optreden.

Bij de rapportering is zowel voor de praktijkproeven compostering als voor de praktijkproeven zwartegrondbereiding de volgende volgorde aangehouden:

- uitgangspunten praktijkproeven;
- samenvatting van de resultaten van de proeven;
- eindconclusies en aanbevelingen.

In de hoofdstukken "Uitgangspunten" is geformuleerd met welke materialen de praktijkproeven zijn uitgevoerd waarbij een motivatie is gegeven van de keus van deze materialen. In dezelfde hoofdstukken is weergegeven welke verwerkingsmethoden zijn toegepast alsmede de controle op de procesvoortgang. Daartoe is gebruik gemaakt van gegevens uit de literatuur en zijn aannamen en veronderstellingen gedaan op basis van literatuurgegevens.

In de rapportering van de resultaten in de hoofdstukken "samenvatting praktijkproeven" worden de resultaten gerelateerd aan de gehanteerde uitgangspunten waarbij sommige uitgangspunten worden bevestigd en andere ontkracht.

De rapporteringen van de praktijkproeven worden afgesloten met een hoofdstuk bestaande uit twee paragrafen. In een paragraaf worden de eindconclusies weergegeven; in de andere de aanbevelingen op grond van deze conclusies.

De ervaringen en bevindingen van een proevenserie werden ingebracht bij de daarop volgende proeven.

Door de min of meer chronologische beschrijving van de resultaten van de proeven wordt tevens de ontwikkeling in de gedachtenvorming

weergegeven.

De volledige rapportering van de uitvoering van de proeven is weergegeven in bijlagen 1 en 2 voor de praktijkproeven compostering respectievelijk zwartegrondbereiding.

3 UITGANGSPUNTEN PRAKTIJKPROEVEN COMPOSTERING

3.1 Uitgangsmaterialen

3.1.1 slibsoorten -----

De keuze van het te composteren zuiveringsslib is bepaald door:

- de kwantiteit van bepaalde slibsoorten in Nederland;
- de ervaringen uit de literatuur;
- de noodzaak tot verdere verwerking door middel van compostering.

Bij de praktijkproeven werden de volgende slibsoorten betrokken:

- aëroob gestabiliseerd slib met polymeren geconditioneerd en vervolgens met een zeefbandpers ontwaterd tot een drogestofgehalte van 15 à 20%;
- anaëroob gestabiliseerd slib, met polymeren geconditioneerd en vervolgens met een zeefbandpers ontwaterd tot een drogestofgehalte van 20 à 25%.

Deze slibsoorten worden verder aangeduid als aëroob zeefbandpersslib en uitgelist zeefbandpersslib.

Indien het slib met polymeren is geconditioneerd om de filtratie-eigenschappen te verbeteren, ontstaat na de mechanische ontwatering een slibkoek, die slechts zeer langzaam verder ontwatert en rijpt. Het met polymeren geconditioneerde slib is dikwijls moeilijk verwerkbaar.

Over het composteren van slib waaraan polymeren zijn toegevoegd, zijn geen experimentele resultaten bekend.

Volgens het oorspronkelijke projectvoorstel zou ook gestabiliseerd slib, met kalk en ijzerchloride geconditioneerd en vervolgens met een filterpers ontwaterd, kunnen worden gecomposteerd. Dit met kalk- en ijzerchloride geconditioneerde slib heeft in het algemeen na ontwatering een drogestofgehalte van 30-40%. Vanwege het hoge drogestofgehalte geeft het vinden van een eindbestemming minder problemen dan bij zeefbandpersslib. Het slib afkomstig van de filterpers kan worden gecomposteerd, zoals is gebleken bij praktijkproeven die elders zijn uitgevoerd.*

3.1.2 toeslagmaterialen -----

De hoofdfunctie van de toeslagmaterialen is blijkens de literatuurstudie primair het vergroten van de porositeit van de stapeling. Secundair is de vergroting van het drogestofgehalte van de te composteren massa. Bovendien zou, wanneer een koolstofhoudend toeslagmateriaal wordt toegepast, de verhouding tussen koolstof en stikstof van het te composteren mengsel positief worden beïnvloed.

Op grond van de literatuurgegevens wordt aangenomen dat de optimale verhouding tussen voor het proces beschikbare koolstof en stikstof ligt tussen 30 en 50. Bij een verhouding kleiner dan 30 zal tijdens actieve compostering stikstofverlies optreden door de vorming van ammoniak welke door vervluchtiging uit het materiaal verdwijnt.

In de literatuur wordt een aantal toeslagmaterialen genoemd zoals:

* Compost en zwarte grond uit zuiveringsslib. 1. Systemen, technologie en ervaring (inventarisatie), Stora, september 1982

- houtsnippers;
- boomschors;
- zaagsel;
- stro;
- compost;
- heide;
- inerte toeslagmaterialen zoals rubbersnippers, plastic schijven.

Bij de keuze van de toeslagstoffen zijn de volgende criteria gehanteerd:

- de beschikbaarheid;
- kosten;
- de invloed op de kwaliteit van het eindprodukt;
- het afscheiden na gebruik;
- de mogelijkheid tot hergebruik.

Bij het aspect van de beschikbaarheid is nagegaan of leverantie gedurende een aantal jaren mogelijk was bij een relatief constant en acceptabel prijsniveau, en of afscheiding en hergebruik van deze stoffen mogelijk waren. Dit houdt in dat de waarde van deze stoffen relatief gering moet zijn, zoals het geval is voor afvalprodukten als houtsnippers, stro en heidemaaisel.

Op deze wijze zouden bovendien meerdere produkten gezamenlijk kunnen worden opgewerkt tot een nuttig produkt.

Het prijsniveau van afzefbare inerte toeslagmaterialen zou hoger mogen liggen, omdat het veelvuldige hergebruik de hogere aanschafprijs compenseert.

Uit de literatuur is bekend dat reeds gevormde compost als toeslagmateriaal gebruikt kan worden.

Aangezien hiervan de bijdrage aan de porositeit niet erg groot is, moet of een ander toeslagmateriaal worden bijgevoegd of zou de compost in een vorm moeten worden gebracht, bijvoorbeeld door pelletieren, waarbij wel het porositeitseffect zou worden verkregen.

De praktijkproeven zijn uitgevoerd met de volgende toeslagmaterialen:

- houtsnippers;
- houtschillen;
- rubbersnippers;
- houtblokken;
- stro.

Met gepelleteerde compost en geplagde grasheide (pijpestrootje) zijn geen composteringsproeven uitgevoerd maar is wel kleinschalig geëxperimenteerd (zie paragraaf 3.13 en bijlage 1, paragraaf 7).

3.2 Toegepaste composteringsmethode

De compostering van zuiveringsslib kan volgens verschillende werkwijzen worden uitgevoerd.

Een uitgebreide omschrijving van de diverse werkwijzen en composteringssystemen is weergegeven in de literatuurstudie. Indien geen gecombineerde compostering van slib met andere organische afvalstromen, zoals bijvoorbeeld huisvuil, plaatsvindt, zijn de jaarlijkse exploitatiekosten zo hoog, dat compostering met behulp van composteringsreactoren minder reëel is. Daarom is bij het uitvoeren van de praktijkproeven gekozen voor compostering volgens een open systeem. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in een geroerd en een ongeroerd systeem, respectievelijk een dynamische compostering, beter bekend

als windrowsysteem, en een "statische compostering", ook wel bekend als "aerated static pile"-methode.

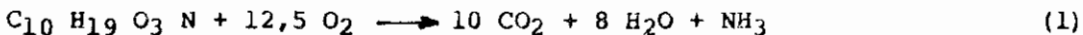
Bij de keuze tussen deze beide systemen hebben de volgende factoren meegespeeld:

- lucht- en bodemverontreiniging;
- variatie in de toeslagstoffen;
- invloed van weersomstandigheden.

Hierna volgt een korte toelichting op deze factoren die hebben geleid tot de uiteindelijke keuze.

Als negatieve milieu-effecten bij de compostering kunnen luchtverontreiniging, met name geurhinder, en bodem- en grondwaterverontreiniging worden verwacht.

Uitgaande van de stoichiometrische vergelijking voor de aërobe afbraak van organische stof:



zijn emissies in de atmosfeer te verwachten van CO_2 , NH_3 en waterdamp.

De emissies CO_2 en H_2O zullen geen nadelige invloed op het milieu uitoefenen.

De emissie van ammoniak en aminen (ammoniakachtige verbindingen) kunnen aanleiding geven tot geurhinder.

In bovenstaande vergelijking is uitgegaan van een aërobe afbraak van organisch materiaal.

De mogelijkheid bestaat echter dat zich binnen de te composteren massa anaërobe zones vormen als gevolg van een niet homogene menging van het te composteren zuiveringsslib en toeslagmateriaal en/of een ontoereikende beluchting. In dat geval kunnen ook andere stankstoffen ontstaan. De meeste stoffen die aanleiding kunnen zijn voor geurhinder zullen ontstaan tijdens de beginfase van het afbraakproces, de hydrolyse.

De emissies van de geurstoffen zullen in het algemeen beperkt zijn, zolang het materiaal, waaruit de stoffen emitteren, niet wordt geroerd.

Bij compostering volgens de zogenoemde dynamische methode zou het materiaal juist tijdens deze hydrolysefase moeten worden omgezet, waarbij hinderlijke geuremissies zijn te verwachten.

Is het composteringsproces inmiddels al zover op gang gekomen dat zich binnen de stapeling een duidelijke temperatuurverhoging manifesteert, dan zullen de emissies bovendien worden gestimuleerd.

Bij compostering volgens de statische methode wordt het materiaal tijdens het composteringsproces niet geroerd, waardoor minder emissies zijn te verwachten.

Beluchting vindt plaats door onderdruk- of overdrukventilatie.

Wanneer onderdrukventilatie wordt toegepast kan de afvoerlucht relatief eenvoudig worden gereinigd.

Een ander negatief milieu-effect dat mogelijk te verwachten is bij de compostering volgens een open systeem is eventuele bodemverontreiniging als gevolg van percolatiewater.

Dit percolaat is in principe niet afkomstig van het te composteren beginmateriaal, maar is het gevolg van neerslag.

Is binnen een stapeling de temperatuur als gevolg van de biochemische omzettingsreacties te laag om neerslag te verdampen, dan kan deze doorsijpelen naar de ondergrond.

Treedt veel neerslag op tijdens het omzetten van materiaal, wanneer wordt gecomposteerd volgens de dynamische methode, dan zal afkoeling optreden, terwijl plaatselijk bovendien de vochtinhoud van het te composteren mengsel kan toenemen.

Dit houdt in dat in een periode van langdurige regenval het materiaal niet kan worden omgezet. Indien deze periode lang zou aanhouden en het materiaal niet kan worden omgezet, bestaat de mogelijkheid dat het composteringsproces wordt verstoord als gevolg van zuurstoftekort dat zich weer manifesteert in een lagere temperatuur en de mogelijkheid van het ontstaan van (verontreinigd) percolaat. Overigens kan bij het omzetten bij de dynamische methode ook condensvorming ontstaan.

Een ander aspect bij de keuze van het composteringssysteem is het gebruik van toeslagstoffen. Bij de dynamische methode wordt als gevolg van het omzetten de porositeit (opnieuw) tot stand gebracht. Bij de statische methode moet het toeslagmateriaal de porositeit van de stapeling in stand houden.

Daarom werd als primaire functie van de toeslagstoffen gezien het voldoende poreus maken van het te composteren materiaal om luchttoetreding op willekeurige plaatsen binnen de stapelingen mogelijk te maken. Een mogelijke vochtbuffering van het toeslagmateriaal is volgens de literatuurstudie van secundair belang geacht.

Op grond van bovenstaande overwegingen zijn de composteringsproeven uitgevoerd volgens het open systeem, niet geroerd; de zogenaamde aerated static pile (verder aangeduid met statisch systeem).

Beluchting is noodzakelijk voor de zuurstofbehoefte van het composteringsproces en voor de afvoer van afbraakcomponenten en vrijkomend water.

Beluchting vindt plaats op twee verschillende wijzen nl.:

- a) door geforceerde ventilatie, zowel volgens onderdruk- als drukprincipe;
- b) door natuurlijke ventilatie.

Voor het begroten van de hoeveelheden toe te voeren lucht is er van uitgegaan, dat beluchting uitsluitend plaatsvindt door geforceerde ventilatie.

De hoeveelheid lucht nodig voor compostering van het beginmateriaal wordt berekend uit formule (1).

De zuurstofbehoefte bedraagt 2 gram O_2 per gram te oxyderen materiaal.

Bij een afbraak van 70% zal de zuurstofbehoefte ca. 1,4 gram O_2 per gram te oxyderen materiaal bedragen.

Lucht heeft bij een temperatuur van $25^{\circ}C$ en een druk van 760 mm Hg een soortelijke massa van 1,2 g/l. Uitgaande van een zuurstofconcentratie van 21 vol.% is de hoeveelheid lucht ten behoeve van de oxydatie dan 5,6 liter lucht per gram te oxyderen materiaal.

Per proef is aangegeven welke hoeveelheid lucht theoretisch benodigd is als zuurstoftoevoer voor het composteringsproces.

De hoeveelheid vocht die tijdens compostering moet worden afgevoerd bestaat uit:

- aan slib gebonden water;
- water dat vrijkomt als gevolg van compostering van organisch materiaal.

Op basis van de massabalans kan de hoeveelheid water die moet worden afgevoerd worden geformuleerd als:

$$\left(\frac{\Delta W}{d.s._s \cdot Gn._s} \right) = \left(\frac{1 - d.s._s}{d.s._s} \right) - \left(\frac{1 - gl.r._s}{1 - gl.r._p} \right) \cdot \left(\frac{1 - d.s._p}{d.s._p} \right) \quad (2)$$

Hierin is:

- ΔW = hoeveelheid vocht welke moet worden afgevoerd
- $Gn._s$ = gewicht nat slib;
- $d.s._s$ = drogestofgehalte van het slib;
- $d.s._p$ = drogestofgehalte van het eindprodukt;
- $gl.r._s$ = gloeirest slib;
- $gl.r._p$ = verwachte gloeirest eindprodukt.

De hoeveelheid water die bij geforceerde ventilatie in lucht kan worden afgevoerd, is afhankelijk van de volgende factoren:

- relatieve vochtigheid;
- temperatuur;
- druk.

Met behulp van psychrometrische- en stoomtabellen kan de vochtafvoer in lucht worden bepaald als functie van deze factoren.

Voor het begroten van de luchthoeveelheid wordt voor de specifieke vochtigheid, dat is het vochtafvoerend vermogen van de lucht, uitgegaan van een gemiddelde temperatuur binnen de stapeling van 50°C. De temperatuur van de aangevoerde lucht zoals deze bij de berekeningen is aangenomen, is per proef aangegeven.

Uit de berekeningen blijkt dat de hoeveelheid lucht benodigd voor de afvoer van vocht ongeveer 10 maal groter is dan de hoeveelheid lucht benodigd voor de zuurstoftoevoer afgezien van de weersinvloeden.

3.3 Werkwijze

De praktijkproeven voor de compostering zijn uitgevoerd op een dichte, betonnen ondergrond.

Een complete proef bestond uit:

- de aanvoer en het mengen van beginmaterialen en toeslagstoffen;
- het stapelen van het te composteren materiaal;
- de actieve composteringsfase;
- de nabewerking (zeven en narijpen dan wel narijpen en zeven).

Omdat de menging van het beginmateriaal met de betreffende toeslagstof en de manier van stapelen niet bij alle proeven op identieke wijze is uitgevoerd (afhankelijk van de eigenschappen van het toeslagmateriaal) wordt hierna een globale beschrijving gegeven van de bovengenoemde onderdelen. Voor zover noodzakelijk zal bij de beschrijving van de afzonderlijke proeven een toelichting worden gegeven.

Bij de proeven waarbij één organisch materiaal als toeslagstof werd gebruikt (houtsnippen of houtschillen) werden de beginmaterialen en toeslagmaterialen grof gemengd met een kraan, waarbij een globale mengverhouding van slib: toeslagstof werd gehanteerd van circa 1:2 op volumebasis.

Na deze grove voormenging werd dit mengsel gestort op een stalmeesterverspreider met achterwaartse lossing.

Aan de uitwerpzijde van deze stalmestverspreider zijn op twee horizontale assen, welke boven elkaar zijn geplaatst, wormvormige haspels aangebracht.

De haspels aan de boven- en onderzijde draaien tegen elkaar in. In de laadbak van de mestverspreider is een kettingtransporteur aangebracht die het materiaal naar deze haspels voert. Messen en kettingtransporteur worden aangedreven door middel van een asoverbrenging afkomstig van de aangekoppelde landbouwtrekker.

Na deze menging werd het materiaal opgenomen en nogmaals door de stalmestverspreider gevoerd. Het materiaal werd gelost op vooraf aangebrachte ventilatiebuizen.

Deze ventilatiebuizen bestonden uit dubbelwandige HDPE (hogedrukpolyethyleen) drainagebuizen met een inwendige diameter van 100 mm. Behoudens een enkele uitzondering werden de buizen gelegd op een ondergrond van dezelfde soort houtsnippers, die als toeslagmateriaal werden toegepast. Beluchting van de stapelingen geschiedde door middel van aangekoppelde centrifugaalventilatoren. De ventilator werd in- en uitgeschakeld door middel van een pauze-tijdrelais. Hiermee konden de draai- en de stoptijden onafhankelijk van elkaar worden ingesteld met een maximum van 60 minuten en een minimum van 3 minuten.

Bij de praktijkproeven is uitgegaan van een actieve composteringsperiode van ca. 6 weken. Gedurende deze periode werd het proces zo nauwkeurig mogelijk gevolgd en werden experimenten uitgevoerd om het proces te beïnvloeden.

Hierna werd een narijpsperiode in acht genomen van 7 tot 9 weken. Na deze periode werd verondersteld dat het materiaal geschikt was voor eventuele nuttige toepassingen. De narijpsperiode werd besloten dan wel vooraf gegaan door een scheiding van compost en toeslagmateriaal.

Eventuele afwijkingen in de werkwijze ten opzichte van de bovengenoemde, de toegepaste beluchtingstijden en de zeefexperimenten zijn in de rapportering van de afzonderlijke proeven opgenomen.

3.4 Procestechnologische parameters

3.4.1 algemeen

Uit de literatuurstudie bleek dat het composteringsproces voornamelijk wordt beheerst door de volgende procesfactoren:

- het vochtgehalte;
- de C/N-verhouding;
- de porositeit;
- de temperatuur.

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

Bovendien zullen tengevolge van het composteringsproces veranderingen optreden in de organische bestanddelen van het te composteren mengsel. Het organisch stofgehalte als functie van de composteringstijd zou dus informatie kunnen verschaffen over de mate waarin afbraak heeft plaatsgevonden.

Een andere mogelijkheid die het proces biedt, is het bepalen van de zuurstofopname. In dit verband is getracht om op basis van het chemisch zuurstofverbruik een inzicht te verkrijgen in de mate van stabilisatie. Op basis van uitvoerbaarheid en de reproduceerbaarheid is uiteindelijk gekozen voor de temperatuur als parameter, op basis waarvan de voortgang van het proces werd bepaald. Deze werd minimaal éénmaal per werkdag gemeten. Incidenteel zijn voor enkele proeven tussentijdse metingen verricht naar het zuurstofgehalte binnen de stapeling; eveneens incidenteel is de temperatuur van de afvoerlucht van de ventilator gemeten.

3.4.2 metingen, analyses en bepalingen

Naast de temperatuurmetingen als procescontrole zijn analyses verricht om de chemische samenstelling van het slib en het eindproduct te bepalen.

De volgende analyses zijn verricht:

- | | |
|----------------------|-----------|
| - droge stof | - koper |
| - ruw as (gloeirest) | - chroom |
| - organische stof | - zink |
| - stikstof | - lood |
| - fosfaat | - cadmium |
| - kalium | - nikkel |
| - calcium | - kwik |
| - magnesium | - arseen |
| - C-elementair | - pH |

Om een indruk te krijgen van de mate van desinfectie is een aantal microbiologische bepalingen verricht aan beginmateriaal en eindproducten. De bepalingen hadden betrekking op:

- thermotolerante bacteriën van de coligroep (als representant voor E.coli);
- bacteriën van de coligroep;
- Salmonellae.

Tevens is een indicatief microbiologisch onderzoek verricht aan materiaal van proeven van de 1e proevenserie. Het onderzoek was gericht op het voorkomen van groepen organismen in samenhang met hun temperatuurtolerantie en op het voorkomen van enkele specifieke soorten.

In samenwerking met het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne te Bilthoven is aanvullend onderzoek uitgevoerd naar het voorkomen van de volgende specifieke micro-organismen:

- thermotolerante bacteriën van de coligroep;
- Escherichia coli (E.coli);
- totale coliformen;
- faecale streptococci;
- sporen van sulfietreducerende Clostridia;
- Salmonellae;
- f-specifieke bacteriofagen;
- somatische colifagen.

Bovendien werd het aëroob koloniegetal bij 37°C bepaald.

3.4.3 gasmetingen in de afvoerlucht

Gedurende een aantal proeven zijn incidenteel metingen uitgevoerd in de omgevingslucht en de afvoerlucht van de ventilatoren. De metingen hadden betrekking op:

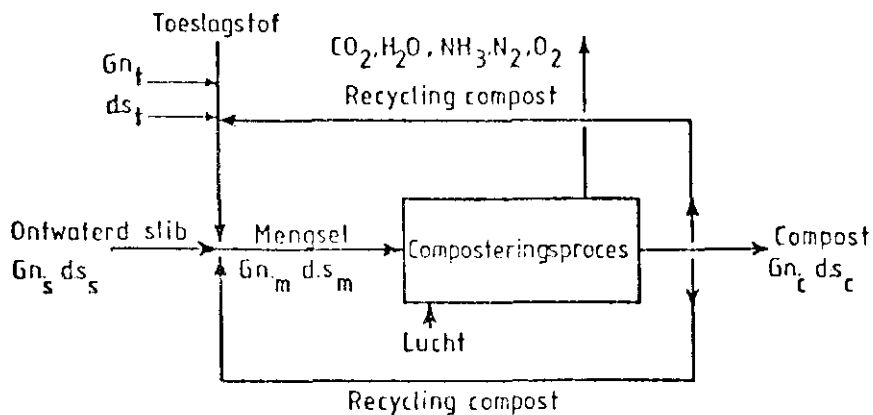
- kooldioxyde (CO₂);
- ammoniak (NH₃);
- zwavelwaterstof (H₂S).

CO₂ kan een indicatie geven van de afbraak van organische stof. De metingen werden uitgevoerd met Dräger-buisjes. Gemeten werd in de afvoerlucht van de ventilatoren en in incidentele gevallen aan het oppervlak van de stapelingen. Tegelijkertijd werden zuurstofmetingen binnen de proefopstelling verricht.

De resultaten van de metingen worden per proef gerapporteerd.

3.4.4 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

Totaal gewicht = Gn. (nat)
 drogestofgehalte = d.s.
 drogestofgewicht = Gn . d.s. = Gd. (droog)

Indices

s = slib

m = mengsel

t = toeslagmateriaal

Totaal gewicht van het te composteren mengsel:

$$Gn_m = Gn_s + Gn_t \quad (3)$$

$$\text{Drogestofgewicht} = d.s._s \times Gn_s + d.s._t \times Gn_t = d.s._m \times Gn_m \quad (4)$$

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

$$d.s._s \times Gn_s + d.s._t \times Gn_t = d.s._m (Gn_s + Gn_t) \quad (5)$$

De mengverhoudingen zijn de verhoudingen tussen de totaalgewichten nat of droog

Toeslagfactor op basis van het totaal gewicht =

$$TF_n = \frac{(\text{nat})\text{gewicht toeslagstof}}{(\text{nat})\text{gewicht slib}} = \frac{Gn.t}{Gn.s} \quad (6)$$

Substitutie in voorgaande vergelijking levert:

$$TF_n = \frac{d.s.m - d.s.s}{d.s.t - d.s.m} \quad (7)$$

De toeslagfactor op basis van het droog gewicht is:

$$TF_d = \frac{d.s.t \times Gn.t}{d.s.s \times Gn.s} \quad (8)$$

Substitutie in 3 levert dan:

$$TF_d = \frac{\frac{d.s.m}{d.s.s} - 1}{1 - \frac{d.s.m}{d.s.t}} \quad (9)$$

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

Totaalgewicht = gewicht slib + gewicht toeslagstof

$$Gn.m = Gn.s + TF_d \times Gn.s \quad (10)$$

Het drogestofgehalte van het mengsel is te berekenen of te begroten volgens:

$$d.s.m = \frac{d.s.s \times Gn.s}{(Gn.s + Gn.t)} + \frac{d.s.t \times Gn.t}{(Gn.s + Gn.t)} \quad (11)$$

Met behulp van de boven afgeleide formules is per proef een begroting gemaakt van het drogestofgehalte van het te composteren mengsel en de toeslagfactoren.

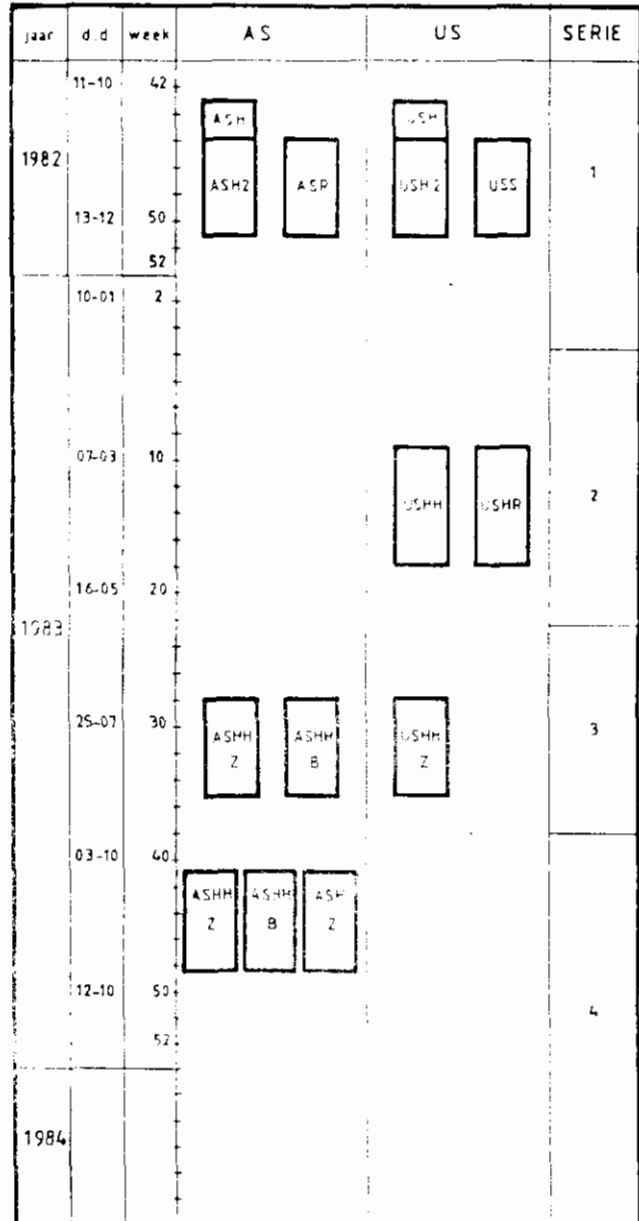
De materiaalbalans is beperkt gebleven tot gewicht, droge stof en volume. Een vochtbalans voor de stapelingen is niet mogelijk gebleken door de invloeden van neerslag. Bovendien zijn de vochtafvoeren door verdamping en ventilatie niet gemeten.

4.1 Proevenprogramma

De praktijkproeven voor de compostering zijn te onderscheiden in vier proevenseries. De eerste drie proevenseries zijn uitgevoerd in de open lucht, de laatste serie is uitgevoerd onder een overkapping om de invloed van neerslag uit te sluiten.

Verklaring afkortingen
composteringsproeven

- AS = aëroob gestabiliseerd slib
- US = uitgelist slib
- H = houtsnippers, -schillen
- HH = houtblokken en houtschillen
- S = stro
- R = rubbersnippers
- Z = onderdrukbeluchting
- B = drukbeluchting



Figuur 2 Tijdschema proeven

Proevenserie 1 bestond uit twee delen.

In deel 1 zijn twee proeven uitgevoerd waarbij het toeslagmateriaal in beide proeven hetzelfde was en het te composteren materiaal werd gevarieerd. Eén proef met aëroob gestabiliseerd slib als beginmateriaal, de andere proef met uitgelist slib als beginmateriaal.

De proeven worden aangeduid met ASH en USH. Als toeslagmateriaal werden houtsnippers gebruikt.

Beluchting vond plaats door middel van onderdrukventilatie.

De proeven werden afgedekt met een geweven luchtdoorlatend kunststofdoek. De neerslag tijdens proevenserie 1 was 85 mm.

Het tweede deel van de 1e proevenserie bestond uit:

- het toevoegen van extra toeslagmateriaal aan het eindprodukt van de proeven ASH en USH. Deze proeven werden aangeduid als ASH 2 en USH 2. De proeven werden afgedekt met een geweven kunststofdoek. Beluchting vond plaats door middel van onderdrukventilatie;
- een proef waarin een zogenaamd inert toeslagmateriaal werd gebruikt (rubbersnippers). Het beginmateriaal was aëroob gestabiliseerd slib. De proef wordt aangeduid met ASR;
- een proef waarin een sterk vochtabsorberend toeslagmateriaal werd gebruikt (stro). Het beginmateriaal bestond uit uitgestist slib. De proef werd aangeduid met USS.

De proeven ASR en USS werden afgedekt met gezeefde compost terwijl in de beluchting werd voorzien door onderdrukventilatie. De daggemiddelde buitentemperaturen bedroegen maximaal 9°C en minimaal -3°C.

Proevenserie 2 bestond uit twee proeven, aangeduid als USHR en USHH.

In beide proeven werd gebruik gemaakt van:

- hetzelfde beginmateriaal, uitgestist slib (US);
- een vochtabsorberend toeslagmateriaal, houtschillen (H);
- een "porositeitverhogend" toeslagmateriaal: bij één proef rubbersnippers (R), bij de andere proef werd gebruik gemaakt van houtblokken (H).

Beluchting van beide proeven vond plaats door onderdrukventilatie.

Tijdens de proevenserie 2 werd een neerslag gemeten van 220 mm. De daggemiddelde temperaturen van de buitenlucht waren maximaal 10°C en minimaal 2°C.

Proevenserie 3 bestond uit 3 proeven.

Bij twee proeven werd aëroob slib als beginmateriaal toegepast (AS); bij één proef uitgestist slib (US).

In alle proeven werden twee toeslagmaterialen toegepast namelijk:

- houtblokken als "porositeitverhogend" toeslagmateriaal (H)
- houtschillen als "vochtabsorberend" toeslagmateriaal (H)

Bij twee proeven met verschillende beginmaterialen (US en AS) vond beluchting plaats door onderdrukventilatie (Z), bij één proef (AS) werd drukbeluchting toegepast (B).

De uitgevoerde proeven werden aangeduid als: ASHHZ, ASHHB en USHHZ. Tijdens proevenserie 3 werd geen neerslag geconstateerd.

De daggemiddelde temperaturen waren maximaal 30° en minimaal 16°C.

Proevenserie 4 bestond uit drie proeven die zijn uitgevoerd onder een overkapping. Hierdoor werd de invloed van eventuele neerslag voorkomen.

Bij deze proeven werd gebruik gemaakt van aëroob slib als beginmateriaal (AS). Bij twee proeven werden houtblokken toegepast als "porositeitverhogend" toeslagmateriaal (H); bij één proef bleef dit achterwege.

Als vochtregulerend toeslagmateriaal werden houtschillen (H) toegepast. De beluchting van de proeven met een "porositeitverhogend" toeslagmateriaal werd uitgevoerd met onderdrukventilatie (Z) en drukventilatie (B).

Deze proeven werden aangeduid met ASHHZ en ASHHB.

De proef waarin slechts houtschillen als vochtregulerend toeslagmateriaal werd toegepast, werd belucht door middel van onderdrukventilatie. De proef werd aangeduid als ASHZ. De daggemiddelde temperaturen waren maximaal 10°C en minimaal -3°C.

In dit hoofdstuk wordt een korte samenvatting gegeven van het verloop van de proeven, de resultaten van waarnemingen en analyses, en de belangrijkste conclusies die daaruit kunnen worden getrokken.

De waarnemingen hebben betrekking op metingen en bepalingen op grond waarvan het verloop van het proces is beoordeeld.

De analyses hebben betrekking op het slib voor compostering de toeslagmaterialen en het daaruit ontstane eindprodukt. Opgemerkt wordt dat een vergelijking van de resultaten van de chemische analyse van slib- en eindprodukt niet reëel is, aangezien als gevolg van de monstername het eindprodukt niet alleen bestaat uit gecomposteerd slib doch ook resten toeslagmateriaal. De reden dat analyse van het slib toch heeft plaatsgevonden is dat hieruit een mogelijke invloed zou blijken van de samenstelling van het slib op het composteringsproces. Het eindprodukt is geanalyseerd om de toepassingsmogelijkheden te beoordelen.

Bij de microbiologische bepalingen om de mate van desinfectie vast te stellen speelt de vermenging van gecomposteerd slib en toeslagmateriaal een minder belangrijke rol.

De in de samenvatting genoemde waarden zijn alle afgerond.

4.2 Samenvatting resultaten le proevenserie

4.2.1 proef ASH (aëroob gestabiliseerd slib + houtsnippers)

Aanvoer, mengen, opbouw van stapelingen werden uitgevoerd zoals weergegeven in paragraaf 2.3. Beluchting vond plaats door onderdrukventilatie. De ventilator werd tijdgeschakeld.

Bij deze proef werden houtsnippers als toeslagmateriaal toegepast. Het vochtgehalte van dit toeslagmateriaal was dermate hoog (meer dan 60%) dat het niet vochtregulerend kon functioneren.

Als gevolg daarvan en door overvloedige neerslag, kon geen redelijke temperatuurontwikkeling tot stand komen.

Het eindprodukt was niet zeefbaar.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 1000 mg/l tot 640 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 17% tot 31%;
- gloeirest : toename van 34% tot 54% van de droge stof;
- C/N-verhouding : toename van 7 tot 40.

4.2.2 proef USH (uitgegist slib + houtsnippers)

Deze proef werd gelijktijdig en op dezelfde wijze als proef ASH uitgevoerd.

De resultaten waren identiek aan die van proef ASH, hoewel de temperatuur gemiddeld 15°C hoger was. Dit laat zich verklaren uit het drogestofgehalte van het uitgegiste slib dat hoger was dan van het aëroob gestabiliseerde slib.

Het eindprodukt was niet zeefbaar.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 960 mg/l tot 730 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 26% tot 35%;
- gloeirest : afname van 59% tot 53% van de droge stof;

- C/N-verhouding : toename van 10 tot 26.

De belangrijkste conclusies uit deze twee proeven zijn:

- neerslagbescherming door middel van het gewezen kunststofdoek voldoet slechts bij korte perioden van neerslag.
Bij langdurige regenval is deze bescherming onvoldoende;
- het vochtabsorberend vermogen van het toeslagmateriaal is te gering voor het op gang laten komen van het composteringsproces.

4.2.3 proef ASH 2 (eindprodukt ASH + extra toeslagmateriaal)

Aan het eindprodukt van proef ASH werd extra toeslagmateriaal toegevoegd om het gemiddelde drogestofgehalte te verhogen. De beluchting vond plaats door onderdrukbeluchting.

Behalve een tijdelijke toename van de temperatuur heeft dit geen vochtverwijdering tot gevolg gehad.

Het toeslagmateriaal bleek niet af te scheiden.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : nagenoeg onveranderd, van 640 mg/l tot 622 mg/l;
- drogestofgehalte : nagenoeg onveranderd, van 31% tot 32%;
- gloeirest : nagenoeg onveranderd, van 54% tot 55% van de droge stof;
- C/N-verhouding : toename van 40 tot 51.

4.2.4 proef USH 2 (eindprodukt USH + extra houtsnippers)

Het resultaat van deze proef was identiek aan dat van ASH 2.

De temperatuurontwikkeling, mogelijk in combinatie met de porositeit, was onvoldoende om grote hoeveelheden vocht af te voeren. Op grond van CO₂- en O₂-metingen in de afvoerlucht is geconcludeerd dat de afbraak van organische stof slechts in geringe mate plaatsvond.

De zuurstofconcentratie van de lucht binnen de stapeling, op een diepte van 1,5 m onder het oppervlak bleek nagenoeg constant (21,0 vol.%).

Inspectie van het inwendige van de stapeling 57 dagen na aanvang toonde geen visuele verbetering van het beginmateriaal. Het materiaal was nauwelijks zeefbaar.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : nagenoeg onveranderd, van 730 mg/l tot 694 mg/l;
- drogestofgehalte : nagenoeg onveranderd, van 35% tot 39%;
- gloeirest : onveranderd, 53% van de droge stof;
- C/N-verhouding : toename van 26 tot 51.

4.2.5 proef ASR (aëroob gestabiliseerd slib + rubbersnippers)

Deze proef werd uitgevoerd om na te gaan of de aanwezigheid van een

vochtregulerend toeslagmateriaal binnen de stapeling noodzakelijk was. Het toegepaste toeslagmateriaal, rubbersnippers, liet zich slechts mengen met het slib door middel van een kraan. Intensieve menging door middel van de stalmeestverspreider bleek niet mogelijk. De stapeling werd afgedekt met gezeefde compost.

Hoewel gedurende één à twee dagen een maximale temperatuur binnen de proefopstelling werd bereikt van circa 50°C is geen sprake geweest van een werkelijk composteringsproces of van een redelijke vochtverwijdering.

Dit wordt bevestigd door te verwaarlozen concentraties CO₂ en hoge O₂-concentraties in de afvoerlucht en binnen de stapeling.

25 dagen na aanvang bleek het beginmateriaal visueel niet veranderd te zijn.

4.2.6 proef USS (uitgegist slib + stro)

Deze proef had tot doel na te gaan of toeslagmateriaal met vermogen tot vochtabsorptie, maar met weinig "porositeitverhogende" eigenschappen het composteringsproces kon bevorderen. Menging van slib en toeslagmateriaal kwam moeizaam tot stand. De stapeling werd afgedekt met compost.

Op grond van toename van het drogestofgehalte en van de gloeirest-analyse, kan worden aangenomen dat zich bij deze proef tot 20 dagen na aanvang een redelijk composteringsproces heeft voltrokken, waarbij zowel organische stof is afgebroken als vocht is verwijderd.

Tengevolge van een voortdurende afname van de porositeit van de stapeling is het proces voortijdig tot stilstand gekomen.

Scheiding van toeslagmateriaal en gecomposteerd slib bleek niet mogelijk tengevolge van de afmetingen van het toeslagmateriaal en de aanhechting daarvan aan het gecomposteerde slib.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindproduct ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 980 mg/l tot 832 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 27% tot 47%;
- gloeirest : toename van 40% tot 57% van de droge stof;
- C/N verhouding : nagenoeg onveranderd, van 10 tot 11.

4.2.7 conclusies de proevenserie

De belangrijkste conclusies van de eerste proevenserie zijn:

- toeslagmaterialen moeten een vochtregulerend vermogen bezitten;
- toeslagmaterialen moeten in staat zijn na menging met zuiveringsslib, aan een stapeling de nodige porositeit te verschaffen;
- het afdekken van de stapeling met afdekcompost en het kunststofdoek voorkomt het indringen van kortstondige neerslag in de stapeling. Bovendien beperkt afdekcompost warmteverliezen;
- wanneer geen temperatuuroptocht ontstaat binnen de stapelingen zal de hoeveelheid vocht welke door de geforceerde beluchting wordt afgevoerd verwaarloosbaar zijn en zal geen afbraak van organische stof plaatsvinden;
- CO₂-, O₂-, en NH₃-concentraties in de afvoerlucht wijzen op afbraak van organische stof;
- het chemisch zuurstofverbruik van het slib nam in alle gevallen

af; ook wanneer geen sprake was van een goed verlopen composte-
ringsproces. Het chemisch zuurstofverbruik van het beginmateriaal
kan derhalve niet worden beschouwd als procesparameter voor het com-
posteringsproces;

- De C/N-verhouding van het eindprodukt bleek hoger dan van het
uitgangsslib.

4.3 Samenvatting resultaten 2e proevenserie

4.3.1 proef USHH (uitgelist slib + houtschillen + houtblokken).

De werkwijze werd in de 2e proevenserie uitgebreid door toepassing
van een porositeitverhogend toeslagmateriaal. Na mengen van het slib
met het vochtabsorberende toeslagmateriaal met kraan en stalmeestver-
spreider werden houtblokken of rubbersnippers als porositeitverho-
gend toeslagmateriaal aan dit mengsel toegevoegd met de kraan.

Vanwege de eigenschappen van dit materiaal was menging met de stal-
meestverspreider niet mogelijk.

Nadat het slib was gemengd met de toeslagmaterialen werd het mengsel
op de beluchtingsbuizen gestapeld.

Om een indruk te krijgen van de mogelijkheid om warmteverliezen te-
gen te gaan kreeg de proef USHH een minder langgerekte vorm dan de
proeven van de eerste serie. De stapeling kreeg nu een nagenoeg
vierkant grondoppervlak, stijle taluds en een stapelhoogte van 2,2
m. De dwarsdoorsnede van de stapeling was trapeziumvormig.

Vanwege de beperkte hoeveelheid toeslagmateriaal in proef USHR kreeg
deze proef wel een langgerekte vorm. Bij deze proef werd de ventila-
tor aangesloten in het midden van de langste zijde.

De stapelingen werden afgedekt met gezeefde compost en kunststofdoek.

Ondanks een overvloedige neerslag van 220 mm gedurende de proefpe-
riode kwam een redelijke temperatuurontwikkeling op gang. Tijdens de
actieve compostering werd de ingestelde draaitijd van de ventilator
gehandhaafd, maar werd enige malen de ventilator gedurende een aan-
tal etmalen buiten bedrijf gesteld om de temperatuur binnen de stap-
peling positief te beïnvloeden.

Na de actieve compostering is het materiaal gezeefd om de houtblok-
ken te scheiden van het vochtregulerende toeslagmateriaal tezamen
met het gecomposteerde slib. Voor de scheiding werd gebruik gemaakt
van een trilzeef. Het zeefrendement bedroeg 100%. De zeefrest werd
in depot gezet voor narijping. Na een rijpingsperiode van 3 maanden
is een beperkte hoeveelheid van dit materiaal gezeefd om een schei-
ding tot stand te brengen tussen het vochtregulerende toeslagmate-
riaal en het gecomposteerde slib. Het vochtregulerende toeslagmate-
riaal bleek voor ongeveer 50% terugwinbaar.

Van het eindprodukt werd een mengmonster genomen voor chemische ana-
lyse en voor bepaling van de mate van desinfectie.

De resultaten van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 742 mg/l tot 342 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 24% tot 54%;
- gloeirest : toename van 41% tot 59% van de
droge stof;
- C/N-verhouding : toename van 10 tot 16.

4.3.2 proef USHR (uitgelist slib + houtschillen + rubbersnipper)

De oorspronkelijke werkwijze bij het mengen en de opbouw van de stapelingen werd uitgebreid wegens het toevoegen van het porositeitsverhogende toeslagmateriaal. De stapeling werd afgedekt met gezeefde compost en kunststofdoek. Vanwege de beperkte hoeveelheid porositeitverhogend toeslagmateriaal waren de hoeveelheden te composteren slib en vochtregulerend toeslagmateriaal minder dan bij proef USHH. De afmetingen van de stapeling waren als gevolg van deze beperkte hoeveelheden gering; een grondvlak van 8,5 x 3,0 m en een stapelhoogte van 2,4 m. De taluds waren stijl zodat de dwarsdoorsnede een trapeziumvorm had.

De gemiddelde temperatuur binnen de stapeling gedurende de actieve composteringmethode bleek circa 10°C lager dan bij proef USHH. Ook hier werd de geforceerde beluchting gedurende enkele ertmalen uitgeschakeld om een te sterke afname van de temperatuur tegen te gaan.

Na de actieve compostering werd het materiaal gezeefd om het toeslagmateriaal af te scheiden. Hiertoe werd gebruik gemaakt van een trilzeef. Het zeefrendement bedroeg 100%. De zeeffractie, bestaande uit gecomposteerd slib, vochtregulerend toeslagmateriaal en afdekcompost werd, na een narijplingsperiode van ca. 3 maanden, bemonsterd. Het monster werd gezeefd en geanalyseerd op chemische samenstelling en de mate van desinfectie.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 580 mg/l tot 282 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 24% tot 55%;
- gloeirest : toename van 41% tot 69% van de droge stof;
- C/N-verhouding : toename van 10 tot 28.

Met een beperkte hoeveelheid van de zeeffracties van de tweede proevenserie zijn verdere zeefproeven uitgevoerd. De volumina en gewichten bij aanvang alsmede de scheidingsresultaten daarvan zijn weergegeven in tabel 1.

proef	te zeven		compost			zeefrest		
	volume m ³	gew ton	volume m ³	gewicht ton	d.s.- gehalte %	volume m ³	gewicht ton	d.s.- gehalte %
USHH	6	4,36	4	2,85	54,1	2	1,51	41,2
USHR	14	8,13	11	5,25	55,4	3	2,88	44

Tabel 1 Zeefresultaten 2e proevenserie

De zeeffractie bestond uit gecomposteerd slib en afdekcompost; de zeefrest bestond uit vochtregulerend toeslagmateriaal en niet (volledig) gecomposteerd slib.

In de zeeffractie was een relatief grote hoeveelheid kleine houtschilfers en -snippers afkomstig van het toeslagmateriaal. Welk aandeel dit was van het volume kon niet worden bepaald .

4.3.3 conclusies 2e proevenserie

De belangrijkste conclusies van de 2e proevenserie zijn:

- het toevoegen van een "porositeitverhogend" toeslagmateriaal naast een vochtregulerend toeslagmateriaal beïnvloedt het composteringsproces positief;
- een stapeling moet van enige omvang zijn. Te kleine stapelingen zijn gevoelig voor weersinvloeden en warmteverlies;
- het afdekken van de stapeling met gezeefde compost beperkt de afvoer van warmte;
- de stapelingen moeten zodanig van vorm zijn dat neerslag zoveel mogelijk afstroomt. De vorm van de toegepaste stapelingen van de tweede serie bevordert het indringen van vocht door neerslag vanaf de bovenzijde;
- drukbeluchting heeft een positief effect op de temperatuurontwikkeling binnen een stapeling;
- afscheiding van het porositeitverhogende toeslagmateriaal is voor 100% mogelijk. Het drogestofgehalte van het mengsel van gecomposteerd materiaal en vochtregulerend toeslagmateriaal moet dan groter zijn dan 40%;
- afscheiding van vochtregulerend toeslagmateriaal is slechts ten dele mogelijk. Het toeslagmateriaal kan voor circa 60% van het oorspronkelijk volume worden teruggewonnen. Het resterende deel van het toeslagmateriaal blijft achter in het eindprodukt;
- de C/N-verhouding van het eindprodukt is hoger dan van het beginmateriaal.

4.4 Samenvatting resultaten 3e proevenserie

Om een beter beeld te krijgen van de temperatuurverdeling binnen een stapeling en de invloed van de beluchting op de temperatuurontwikkeling, zijn bij de 3e proevenserie meer temperatuurwaarnemingen verricht dan bij de 1e- en 2e proevenserie. Temperatuurwaarnemingen werden verricht door middel van thermokoppels. De thermokoppels waren aangebracht op stokken welke in de stapeling waren geplaatst. Per proef werden vijf van deze stokken geplaatst. Op elke stok, meetraai genoemd, werden drie thermokoppels aangebracht op verschillende hoogten. Tijdens de proefperiode trad inklink op waardoor de bovenste thermokoppels buiten de stapelingen kwamen te liggen. De waarnemingen van deze thermokoppels zijn buiten beschouwing gebleven. Voor de afdekking van de stapeling werd alleen afdekcompost gebruikt. Vanwege de weersomstandigheden (geen neerslag en hoge buitentemperaturen) werd het kunststofdoek weggelaten.

4.4.1 proef ASHHZ (aëroob gestabiliseerd slib + houtschillen + houtblokken; onderdrukbeluchting)

Deze praktijkproef werd op dezelfde wijze uitgevoerd als proef USHH van de 2e proevenserie. 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 een aantal

maien 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 CO₂- en NH₃-concentraties gemeten voor een indicatie van biochemische omzettingen binnen de stapeling.

Na een periode van 45 dagen waarna de actieve compostering als beëindigd werd beschouwd, werd het materiaal gezeefd om het porositeitverhogend toeslagmateriaal af te scheiden.

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

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

De te zeven hoeveelheid en de zeefresultaten waren:

- te zeven volume : 76 m³;
- zeef fractie (compost) : 36 m³;
- zeefrest (toeslagmateriaal + resten slib) : 40 m³.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 1089 mg/l tot 320 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 15% tot 49%;
- gloeiorest : toename van 31% tot 63% van de droge stof;
- C/N-verhouding : afname van 25 tot 15.

4.4.2 proef ASHHB (aëroob gestabiliseerd slib + houtschillen + houtblokken ----- drukbeluchting)

Hetzelfde slib en toeslagmateriaal werd toegepast in nagenoeg dezelfde verhoudingen als bij proef ASHHZ. Evenals bij andere proeven werd de ventilatie 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 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 CO₂ en NH₃ vrij kwamen die wijzen op afbraak van organische stof. Opvallend daarbij was tevens dat ondanks gemeten NH₃-concentraties die duidelijk boven de reukdrempel lagen (geurdrempel NH₃: 0,026 mg/m³) tot op een afstand van 1 meter van de stapelingen geen NH₃-concentraties meetbaar waren.

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

De te zeven hoeveelheid en de zeefresultaten waren:

- te zeven volume : 76 m³;
- zeef fractie : 40 m³;
- zeefrest (toeslag materiaal + resten slib) : 36 m³.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 1089 mg/l tot 390 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 15% tot 46%;
- gloeirest : toename van 31% tot 60% van de drogestof;
- C/N-verhouding : afname van 25 tot 12.

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

Deze proef was qua opbouw en voorzieningen gelijk aan ASHHZ. Als beginmateriaal werd uitgegist slib toegepast. De proef werd uitgevoerd als herhaling van USHH van de 2e proevenserie en ter vergelijking met ASHHZ.

Het temperatuurverloop van deze proef vertoonde een duidelijke overeenkomst met dat van ASHHZ. De gemiddelde temperatuur gedurende de composteringstijd was echter 15 à 20°C hoger dan die van de vergelijkbare proef USHH van de 2e proevenserie.

De gemeten concentraties CO₂ en NH₃ waren lager dan van ASHHZ. 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 zeef fractie bestaande uit gecomposteerd slib, vochtregulerend toeslagmateriaal en afdekcompost is, na een narijplingsperiode van 45 dagen gezeefd om het vochtregulerend toeslagmateriaal af te scheiden.

De te zeven hoeveelheid en de zeefresultaten waren:

- te zeven hoeveelheid : 85 m³;
- zeef fractie (compost) : 42 m³;
- zeefrest (toeslagmateriaal + resten slib) : 43 m³.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 760 mg/l tot 289 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 ten aanzien van 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.

4.4.4 conclusies 3e proevenserie

Uit de 3e proevenserie, welke onder ideale weersomstandigheden is uitgevoerd, konden de volgende conclusies worden getrokken:

- de compostering van aëroob gestabiliseerd en uitgegist slib is goed verlopen; door het toepassen van toeslagmaterialen voor de porositeit en voor de vochtregulatie, zijn de stapelingen voldoende poreus voor de toevoer van zuurstof en voor de afvoer van gasvormige afbraakprodukten;
- CO₂-, O₂- en NH₃-concentraties in de afvoerlucht - aan het oppervlak van de stapeling (B) of aan het uiteinde van de ventilator (Z)- wijzen op de afbraak van organische stof in de stapeling;
- het temperatuurverloop in de stapelingen kan beïnvloed worden door de duur van de geforceerde beluchting;
- de gemiddelde temperaturen bij de proeven met onderdrukbeluchting zijn hoger dan bij de proeven met drukbeluchting; bij de laatste echter is de spreiding in de temperatuurwaarnemingen kleiner;
- proef USHHZ stemt goed overeen met die uit serie 2, zeker op het punt van de C/N-verhoudingen van slib- en eindprodukten;
- de C/N-verhoudingen van de eindprodukten van de proeven met aëroob gestabiliseerd slib als beginmateriaal zijn afgenomen van 25 tot 12. De C/N-verhouding van het eindprodukt van de proef met uitgegist slib is toegenomen van 9 tot 13 ten opzichte van de C/N-verhouding van het slib;

4.5 Samenvatting resultaten 4e proevenserie

De weersomstandigheden hebben een aanzienlijke invloed op het composteringsproces; om het effect van neerslag uit te sluiten is een 4e proevenserie bestaande uit drie proeven uitgevoerd in een overdekte ruimte.

Twee proeven betroffen een herhaling van ASHHZ en ASHHB uit de 3e serie.

Omdat het toepassen van porositeitverhogend toeslagmateriaal kostenverhogend werkt, is een derde stapeling opgezet volgens het oorspronkelijke Beltsville-principe: menging met alleen vochtregulerend toeslagmateriaal en onderdrukbeluchting (ASHZ).

Aanvoer, mengen en stapelen werden op dezelfde wijze uitgevoerd als bij de 3e serie. Bij het lossen van het uitgangsmateriaal en het mengen kwam een sterke penetrante geur vrij, die na het stapelen en het aanbrengen van afdekcompost verdween. In de proeven ASHHZ en ASHZ bevond zich een compostfilter na de ventilator. Bij het mengen van ASHZ ontstond naar de omgeving een zodanige geurhinder -waarschijnlijk wegens een minder goede stabilisatie van het slib-, dat aan de afsluiting van de overdekte ruimte extra aandacht besteed moest worden. De gasvormige afbraakprodukten, zoals NH₃, kunnen te zamen met waterdamp bij langdurige blootstelling corrosief inwerken op de overkappingsconstructie.

De temperatuurmetingen vonden weer plaats met thermokoppels in de stapelingen op hoogten van 0,4 m, 1,0 m en 1,6 m boven maaiveld. Per stapeling waren vijf van deze meetraaien aangebracht.

4.5.1 proef ASHHZ (aëroob gestabiliseerd slib + houtschillen + houtblokken; onderdrukbeluchting)

Het temperatuurverloop van deze proef kwam sterk overeen met dat van ASHHZ van de 3e proevenserie.

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 waarnemingsniveau's 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 afdekcompost. Het zeefrendement bedroeg 100%. Direct daarna is de zeeffractie gescheiden in compost en toeslagmateriaal. De te zeven hoeveelheid en de zeefresultaten waren:

- te zeven volume : 51 m³;
- zeeffractie (compost) : 29 m³;
- zeefrest (toeslagmateriaal + resten slib) : 22 m³.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- 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.

4.5.2 proef ASHHB (aëroob gestabiliseerd slib + houtschillen + houtblokken; ----- drukbeluchting)

De resultaten van deze proef stemmen overeen met die van ASHHB van de derde proevenserie.

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. Evenals bij ASHHB van de 3e proevenserie trad ook hier, een gelaagdheid in temperatuur (temperatuurstratificatie) op.

De gemeten concentraties CO₂ en NH₃ wijzen erop dat afbraak van organische stof heeft plaats gevonden.

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

De te zeven hoeveelheid en de zeefresultaten waren:

- te zeven volume : 51 m³;
- zeeffractie (compost) : 31 m³;
- zeefrest (toeslagmateriaal + resten slib) : 20 m³;

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindprodukt ten opzichte van het slib waren:

- 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.

4.5.3 proef ASHZ (aëroob gestabiliseerd slib + houtschillen; onderdrukbe- beluchting)

Omdat het toepassen van porositeitverhogend toeslagmateriaal kostenverhogend werkt (aanschaf, extra mengbewerking, extra zeven) is een proef uitgevoerd volgens het oorspronkelijke Beltsville-principe. Het beginmateriaal werd slechts gemengd met vochtregulerend toeslagmateriaal, terwijl beluchting plaats vond volgens het onderdrukprincipe.

De temperatuur bleek minder homogeen verdeeld dan in de vergelijkbare proeven, waarin wel porositeitverhogend toeslagmateriaal werd toegepast.

Maximale temperaturen werden gemeten van meer dan 70°C, terwijl de minimale temperatuur tegelijkertijd 30°C was.

Dit grote temperatuurverschil tussen de verschillende meettraaien heeft zich gedurende de hele proefperiode gehandhaafd.

De temperaturen op het laagste waarnemingsniveau (0,40 m boven maai-veld) waren gedurende de proef het hoogst.

De inklink van de stapeling tijdens de periode van actieve compostering bleek aanzienlijk geringer dan van de beide andere proeven.

Na verloop van enige dagen werd een hinderlijke geur waargenomen uit het compostfilter. De geur was afkomstig van de afvoerlucht. Condenswater uit de afvoerlucht bleek eveneens deze geur te emitteren.

Het chemisch zuurstofverbruik van dit condenswater was meer dan 10.000 mg.l⁻¹, het biochemisch zuurstofverbruik 5.200 mg.l⁻¹ en de pH = 8,6.

Het micro-organisme *Bacillus cereus* werd hier aangetroffen; mogelijk werd de geur hierdoor veroorzaakt.

De resultaten van de volgende bepalingen van het eindproduct ten opzichte van het slib waren:

- chemisch zuurstofverbruik : afname van 1110 mg/l tot 410 mg/l;
- drogestofgehalte : toename van 15% tot 63%;
- gloeirest : toename van 44% tot 52% van de droge stof;
- C/N-verhouding : toename van 7 tot 10.

Benadrukt wordt dat de bovenstaande resultaten slechts betrekking hebben op een monster van de zeeffractie als eindproduct.

De zeeffractie wordt niet representatief geacht voor het gecomposteerde slib gezien het relatief grote aandeel van de afdekcompost in deze fractie.

4.5.4 conclusies 4e proevenserie

Uit de resultaten van de 4e proevenserie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- de temperatuur heeft bij alle proeven een niveau bereikt van ongeveer 70°C. Het verschil tussen maximale en minimale temperatuur is het grootst bij ASHZ waar geen porositeitverhogend toeslagmateriaal is toegepast.
In ASHHB trad temperatuurstratificatie op (evenals in ASHHB van de 3e proevenserie);
- de beluchting beïnvloedt de temperatuur. Deze invloed bleek het grootst vlak bij de ventilator. De temperatuurbeïnvloeding aan het eind van de stapeling is gering;

- stankhinder is geconstateerd bij de aanvoer, het mengen en het stapelen van aëroob gestabiliseerd slib. Na afdekking van de stapelingen met gezeefde compost verdween deze stankhinder. Tijdens het composteringsproces werd stankhinder waargenomen. Bij compostering in een overdekte en geheel of gedeeltelijk afgesloten ruimte moeten adequate maatregelen worden genomen voor de behandeling van afvoerlucht, ook in verband met corrosie;
- het materiaal van de proeven waarin porositeitverhogend toeslagmateriaal is toegepast is goed zeefbaar. Het materiaal van de proef ASHZ, waarbij het porositeitverhogend toeslagmateriaal achterwege bleef, bleek niet gezeefd te kunnen worden. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door onvoldoende porositeit van de stapeling tijdens de compostering waardoor vocht onvoldoende kon worden afgevoerd, ondanks de optredende hoge temperaturen.

4.6 Samenvatting procestechnologische parameters

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de resultaten van metingen en bepalingen van de procestechnologische parameters - om het procesverloop te beoordelen - en van de bepalingen ter beoordeling van het eindproduct ten opzichte van het te composteren zuiveringsslib.

In paragraaf 2.4 is weergegeven op welke wijze de metingen en bepalingen hebben plaatsgevonden.

Om het verloop van het proces te beoordelen is dagelijks de temperatuur in de stapelingen gemeten. Daarnaast werden van het materiaal uit de stapelingen mengmonsters genomen. Deze monsters werden gezeefd om zo veel mogelijk het toeslagmateriaal af te scheiden en vervolgens gehomogeniseerd.

In het afgezeefde slib werden de volgende bepalingen uitgevoerd:

- drogestofgehalte (om de vochtverwijdering te controleren);
- gloeirest (om afbraak van organisch materiaal te bepalen);
- chemisch zuurstofverbruik (om de mate van stabilisatie te bepalen).

De resultaten van temperatuurmetingen en bovengenoemde bepalingen geven een beeld van het verloop van het composteringsproces.

Daarnaast zijn in de afvoerlucht van de ventilatoren de concentraties aan CO₂, NH₃, O₂ gemeten.

Deze metingen werden in het algemeen tegelijk uitgevoerd met het nemen van mengmonsters uit de stapelingen.

Alleen de temperaturen en de gasconcentraties in de afvoerlucht konden direct worden gemeten en zijn daardoor bruikbaar als parameters om het proces te sturen. De overige parameters gaven slechts indirecte informatie. Dit wordt veroorzaakt door de wijze waarop de bepalingen werden uitgevoerd en de tijd welke daarmee was gemoeid; bovendien zijn de bepalingen uitgevoerd op mengmonsters.

Het verkrijgen van representatieve monsters werd 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 toegankelijkheid van een stapeling met betrekking tot het nemen van monsters. De aanwezigheid van porositeitverhogend toeslagmateriaal en de weerstand als gevolg van het inklinken bemoeilijken het nemen van monsters;
- de onvermijdelijke aanwezigheid van afdekcompost in het monster.

Nadat een mengmonster was samengesteld werd dit gezeefd om, voor zover mogelijk, een scheiding tot stand te brengen tussen toeslagmateriaal en het aan compostering onderhevig zijnde zuiveringsslib. Dit laatste werd na zeving gehomogeniseerd, waarna het drogestofgehalte, de gloeirest en het chemisch zuurstofverbruik werden bepaald. In het gehomogeniseerde monster bevonden zich naast het gecomposteerde slib, resten toeslagmateriaal en afdekkompost.

Op grond van het indirecte karakter van de bepalingen en de representativiteit van de monsters zijn het drogestofgehalte, de gloeirest en het chemisch zuurstofverbruik niet geschikt om als bedrijfsvoeringsparameters te worden toegepast. Wel kan uit de bepalingen de tendens van toe- of afname in de tijd worden afgeleid en bijdragen aan het inzicht in het verloop van het composteringsproces.

Behalve het drogestofgehalte, de gloeirest en het chemisch zuurstofverbruik bleek uit de literatuurstudie dat ook de C/N-verhouding in aanmerking komt als mogelijke parameter voor bedrijfsvoering. Zowel het koolstof- als het stikstofgehalte kunnen slechts door middel van analyse worden vastgesteld. Ook hier is dus sprake van een indirecte bepaling terwijl een verstoring van de bepaling plaatsvindt door resten toeslagmateriaal in het monster.

Op grond hiervan is ook de C/N-verhouding niet geschikt om te worden gehanteerd als parameter voor de bedrijfsvoering.

Van het slib en de eindprodukten zijn wel het koolstof- en stikstofgehalte bepaald. In paragraaf 3.5.4 wordt hier nader op ingegaan.

Naast metingen en bepalingen van de procestechnologische parameters, zijn van het te composteren slib en het eindprodukt mengmonsters samengesteld. Hiervan is eveneens het drogestofgehalte, de gloeirest en het chemisch zuurstofverbruik bepaald. Daarnaast zijn deze monsters geanalyseerd op de chemische samenstelling en is microbiologisch onderzoek uitgevoerd om de mate van desinfectie te bepalen.

4.6.1 temperatuur

Bij de praktijkproeven is de temperatuur gekozen als parameter op basis waarvan de voortgang van het composteringsproces werd bepaald. Uit de praktijkproeven kunnen conclusies worden getrokken ten aanzien van:

- de meetmethode;
- temperatuurverloop in de stapelingen;
- de geschiktheid van temperatuurmetingen als bedrijfsvoeringsparameter.

De temperaturen zijn gemeten op drie verschillende manieren:

- bij de eerste proevenserie door middel van een lans met daarin een thermokoppel. De lans werd in een stapeling gestoken waarna de temperatuur digitaal kon worden afgelezen. De metingen werden eenmaal per etmaal uitgevoerd.
- bij de tweede proevenserie door middel van een aantal, gedeeltelijk met water gevulde buizen welke aan de bovenzijde in de stapelingen werden gestoken. De onderzijde van deze buizen bevond zich nagenoeg in het midden van de stapelingen. De temperatuur van het water in deze buizen werd eenmaal per etmaal gemeten.
- bij de derde en vierde proevenserie door middel van een aantal

in de stapelingen aangebrachte thermokoppels welke waren gekoppeld aan automatische meet- en registratieapparatuur.

De gemeten temperaturen in de proeven van de eerste serie bleken slecht reproduceerbaar. Bij controlemetingen werden regelmatig verschillen gemeten van globaal 20°C ten opzichte van eerdere metingen. Dit werd veroorzaakt door de inhomogeniteit van de stapelingen. Bovendien werd het inbrengen van de lans na verloop van tijd bemoeilijkt omdat de weerstand van de stapeling toenam als gevolg van het inklinken van het materiaal.

Bij de 2e proevenserie werden, naast vochtregulerend toeslagmateriaal, ook houtblokken of rubbersnippers gebruikt als porositeitverhogend toeslagmateriaal.

Het inbrengen van de temperatuurlans werd daardoor nagenoeg onmogelijk. Daarom werd een aantal met water gevulde koperen buizen in de stapelingen aangebracht. Het water in deze buizen nam de temperatuur van de omgeving aan; deze werd daarom representatief geacht voor het te composteren materiaal. De temperaturen van het water in de buizen werden dagelijks gemeten. Tegelijkertijd werden controlemetingen uitgevoerd met een bimetaalthermometer en met een lans met thermokoppel welke digitaal kon worden afgelezen. Beiden waren permanent in de stapelingen aangebracht. Bovendien werden incidentele controlemetingen verricht op willekeurige plaatsen in de stapeling. De indirecte temperatuurwaarnemingen -van het water in de buizen- bleken niet significant te verschillen met de controlemetingen.

Uit de temperatuurmetingen van de 1e en 2e proevenserie bleken voor een representatief beeld van de temperaturen binnen de stapelingen, meer meetpunten en meer waarnemingen per meetpunt gewenst. Daarom werd in de derde serie gebruik gemaakt van continu metende thermokoppels. Per proef werden vijftien thermokoppels gebruikt, gelijkmatig verdeeld over de stapeling welke op geautomatiseerde wijze werden gemeten en waarvan de waarnemingen werden opgeslagen op een magneetband. De meetmethode zoals bij de 3e en 4e proevenserie is toegepast geeft een representatief beeld van de temperaturen.

Bij compostering op grote schaal zou deze methode kunnen worden toegepast. Daarbij zouden thermokoppels kunnen worden ingebracht met een losse aansluitmogelijkheid voor digitale temperatuuraflezing.

Uit de temperatuurwaarnemingen is gebleken dat de temperatuur zich ontwikkelt tot een maximum gedurende de eerste zeven dagen na het tot stand komen van een stapeling. Daarna neemt de temperatuur geleidelijk af. Als optimaal temperatuurtraject waarbij vocht kan worden afgevoerd en toch afbraak van organische stof plaatsvindt, is 50-55°C naar voren gekomen.

Op basis van temperatuur is het proces gestuurd en zijn de draai- en stoptijden van de ventilatoren ingesteld. Vanwege de grote temperatuurverschillen in de stapelingen, is het niet mogelijk om een exacte temperatuur te noemen waarbij de ventilatoren moeten worden in- of uitgeschakeld. Bij de praktijkproeven werd de ventilator uitgeschakeld wanneer de gemiddelde temperatuur lager was dan 50°C en de tendens vertoonde verder af te nemen. Voor het instellen van de draai- en stoptijden van de ventilator werd gekeken of de gemiddelde temperatuur, welke tijdens het draaien van de ventilator afnam, zich herstelde in de periode dat de ventilator was gestopt. Wanneer een blijvende temperatuurafname van 2 à 3°C werd geconstateerd over een aantal cycli van draaien of stoppen van de ventilator, werden de draai- en stoptijden aangepast.

De temperatuur in een stapeling van te composteren materiaal is een bruikbare parameter voor de praktische bedrijfsvoering.

Bij toepassing van drukbeluchting ontstaat temperatuurstratificatie in een stapeling. De temperaturen boven in een stapeling zijn steeds hoger dan onderin doordat de drukbeluchting de "natuurlijke ventilatie" in de stapeling, waardoor vocht en warmte via het oppervlak worden afgevoerd, bevordert. Bij onderdrukventilatie doet zich het verschijnsel voor dat op één waarnemingsniveau binnen een stapeling verschillende temperaturen worden waargenomen waardoor de maximale temperaturen niet alleen aan de bovenzijde optreden.

De natuurlijke ventilatie wordt nu tegengewerkt door de geforceerde ventilatie waardoor vocht en warmte minder snel worden afgevoerd.

De temperatuurspreiding in een stapeling kan groot zijn; er zijn verschillen geconstateerd van 55°C tussen de maximale en minimale temperatuur. Deze verschillen worden toegeschreven aan de plaats van het meetpunt ten opzichte van de beluchtingselementen en door inhomogeniteit.

4.6.2 drogestofgehalten

Om een indruk te krijgen van de toename van het drogestofgehalte als gevolg van het composteringsproces zijn in tabel 2 weergegeven:

- het drogestofgehalte van het slib voor compostering;
- het drogestofgehalte van het (gescheiden) eindproduct na compostering;
- de procentuele toename van het drogestofgehalte ten opzichte van het drogestofgehalte van niet- of onvolledig gecomposteerd slib in de zeefrest;
- de procentuele toename van het drogestofgehalte van de slibresten ten opzichte van het aanvangsdrogestofgehalte.

proef	d.s.slib %	d.s.eind- produkt %	procentuele toename %	d.s.slib in zeef- rest %	procentuele toename %
<u>1e proevenserie</u>					
ASH 2	17,3	31,4	82	-	-
USH 2	26,4	34,8	32	-	-
ASHZ	31,4	32,6	4		
USHZ	34,8	38,2	10		
USS	26,9	46,3	72	-	-
ASR	15,6	14,0	-10	-	-
gemiddeld	25,4	32,9	32		
<u>2e proevenserie</u>					
USHH	24,3	54,1	123	41,2	70
USHR	24,3	55,4	128	42,0	73
gemiddeld	24,3	54,8	126	41,6	72
<u>3e proevenserie</u>					
ASHHZ	15,3	48,8	219	44,0	180
ASHHB	15,3	46,1	201	43,4	184
USHHZ	27,8	49,2	77	45,7	64
gemiddeld	19,5	48,0	166	44,4	83
<u>4e proevenserie</u>					
ASHHZ	14,7	55,8	280	47,8	225
ASHHB	14,7	55,8	280	48,5	230
gemiddeld	14,7	55,8	280	48,3	
ASHZ	14,7	(62,5)	(325)	(46,6)	(217)

Tabel 2. Drogestofgehalten van slib, eindproduct en zeefrest

Wanneer tijdens de compostering gedurende langere tijd temperaturen van 40°C tot 60°C optreden, zal het drogestofgehalte toenemen.

De toename van het drogestofgehalte van het materiaal van de 1e proevenserie is aanzienlijk minder en wordt voornamelijk veroorzaakt door de toevoeging van toeslagmateriaal met een hoog vochtgehalte aan het slib.

De toename van het drogestofgehalte van het materiaal in de 2e proevenserie was, ondanks overvloedige neerslag, aanzienlijk beter.

Deze toename wordt veroorzaakt door een combinatie van adequate bescherming tegen neerslag, een temperatuur van 55°C binnen de stapelingen gedurende langere tijd en de aanwezigheid van porositeitverhogend toeslagmateriaal.

Hoewel het drogestofgehalte van het eindprodukt -het resultaat na zeven- van proef ASHZ sterk toeneemt, is dit in tegenspraak met de zeefresultaten. Bij het zeven bleek scheiding van slib en vochtregulerend toeslagmateriaal niet uitvoerbaar door de vochtigheid van het beginmateriaal. Het afgezeefde materiaal bestond waarschijnlijk uit afdekcompost. De resultaten van proef ASHZ blijven dan ook buiten beschouwing. In de tabel is dit weergegeven door de resultaten tussen haakjes te plaatsen.

Uit de resultaten blijkt het drogestofgehalte van slib en de zeefrest eveneens aanzienlijk groter is dan van het beginmateriaal doch minder dan van het eindprodukt.

Hoewel de procentuele toename van de drogestofgehalten van de proeven met uitgegist slib als beginmateriaal gering is, blijken de drogestofgehalten van de eindprodukten te variëren tussen 49% en 56% voor alle proeven met onderdrukbeluchting. Bij proef ASHHB van de tweede proevenserie was het drogestofgehalte van het eindprodukt 46%. De proeven van de 1e proevenserie en proef ASHZ van de 4e serie zijn daarbij buiten beschouwing gelaten.

Geconcludeerd wordt dat als gevolg van compostering onder de gekozen omstandigheden een maximaal drogestofgehalte kan worden bereikt van circa 60% onafhankelijk van het drogestofgehalte van het slib bij aanvang. Wel volgt uit de materiaalbalans (zie paragraaf 2.4.4) dat meer toeslagmateriaal moet worden toegevoegd naarmate het drogestofgehalte van het slib bij aanvang lager is.

4.6.3 gloeiresten

Van de mengmonsters uit de stapelingen zijn de gloeiresten bepaald nadat het vochtregulerend toeslagmateriaal hieruit was verwijderd. Uit de waarnemingen is slechts de tendens af te leiden dat de gloeirest toeneemt. Door de wijze van monsternamen en -behandeling kan de gloeirest niet als stuurparameter worden gehanteerd.

De gloeiresten van het te composteren slib en van het eindprodukt, dat wil zeggen een mengsel van gecomposteed slib en houtresten van het toeslagmateriaal, zijn weergegeven in tabel 3.

Worden de 1e proevenserie en proef ASHZ van de 4e serie buiten beschouwing gelaten, dan blijkt uit de tabel dat de gloeiresten van de eindprodukten variëren van 50% tot 70% van de droge stof; het gemiddelde is 60% van de droge stof.

Geconcludeerd wordt dat als gevolg van compostering afbraak van organisch materiaal plaatsvindt waarbij het eindprodukt een gloeirest kan bereiken van gemiddeld 55% à 60% van de droge stof.

proef	gloeirest slib bij aanvang (% van d.s.) (slib)	gloeirest eindprodukt (% van d.s.) (eindprodukt)
<u>1e proevenserie</u>		
ASH	34,3	53,5
USH	39,3	53,1
ASH 2	53,5	55,2
USH 2	53,1	52,5
USS	39,6	56,5
ASR	31,4	30,2
<u>2e proevenserie</u>		
USHH	41,1	58,6
USHR	41,1	69,0
gemiddeld		
<u>3e proevenserie</u>		
ASHHZ	30,7	62,7
ASHHB	30,7	60,2
USHHZ	43,8	54,1
gemiddeld		
<u>4e proevenserie</u>		
ASHHZ	26,4	52,1
ASHHB	26,4	49,6
gemiddeld		50,9
ASHZ	26,4	(53,5)

Tabel 3 Gloeirest slib en eindprodukt

4.6.4 analyses nutriënten en micro-elementen

Uit de literatuurstudie bleek de C/N-verhouding bij compostering vaak te worden gehanteerd als stuurparameter. Onduidelijk is veelal of hiermee wordt bedoeld de C/N-verhouding van het oorspronkelijk te composteren materiaal of een mengsel daarvan met het toeslagmateriaal. Behalve als procesparameter kan de C/N-verhouding worden gebruikt om de mate van stabilisatie (of rijping) van de compost uit te drukken.

Bij het begrip C/N-verhouding moet onderscheid worden gemaakt tussen:

- de C/N-verhouding als procestechnologische parameter;
- de C/N-verhouding als maatstaf voor de beoordeling van het eindprodukt.

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 door de micro-organismen wordt gebruikt voor de synthese van celmateriaal en als energiebron, of als CO₂ wordt afgevoerd. Ook stikstofverbindingen worden afgebroken om de vrijkomende stikstof te gebruiken voor het metabolisme van de micro-organismen.

Bij de afbraak van eiwitten, welke zijn opgebouwd uit koolstof en stikstofverbindingen, vindt in het algemeen eerst afsplitsing van CO₂ plaats (decarboxylering) waardoor aminen worden gevormd. De aminen zijn gemakkelijk afbreekbaar onder invloed van zuurstof.

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 opti-

maal zou verlopen. Bij kleinere C/N-verhouding zou de mineralisatie-snelheid afnemen. Door nu een (extra) koolstofbron toe te voegen zou de C/N-verhouding toenemen en het mineralisatieproces versneld worden.

In zuiveringsslib is de C/N-verhouding in het algemeen kleiner dan 30. De opvatting bestaat dat de C/N-verhouding zou kunnen worden vergroot door als toeslagmateriaal hout toe te passen.

Wanneer de C/N-verhouding wordt gebruikt om de kwaliteit van het eindprodukt te beoordelen, wordt de C/N-verhouding van het eindprodukt gerelateerd aan de C/N-verhouding van de bodem.

Gehumificeerde organische stof heeft een vrijwel constant koolstofgehalte van 58% 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 à 11, in grasland 10 à 15, in stal mest circa 20 terwijl veenmosveen een C/N-verhouding van circa 60 heeft. In "vers" organisch materiaal is de C/N-verhouding 30 à 50.

Bij de praktijkproeven zijn van het te composteren slib, de vochtregulerende toeslagmaterialen, de afdekcompost en de eindprodukten mengmonsters samengesteld welke onder meer werden geanalyseerd op koolstof en stikstof. In tabel 4 zijn deze koolstof- en stikstofconcentraties en de C/N-verhouding weergegeven.

proef	C		N		C/N		zeefrest		C/N
	(g/kg d.s.)		(g/kg d.s.)		slib	eind pro- dukt	C g/kg d.s.	N g/kg d.s.	
	slib	eind- produkt	slib	eind- produkt					
<u>1e serie</u>									
ASH	345	435	51	11	6,8	39,6	-	-	-
USH	320	395	31	15	10,3	26,3	-	-	-
ASH 2	-	470	-	9	-	51,0	-	-	-
USH 2	-	460	-	9	-	50,6	-	-	-
USS	320	310	31	28	10,3	11,1	-	-	-
ASR	-	-	53	-	-	-	-	-	-
<u>2e serie</u>									
USHH	330	190	34	12	9,7	15,8	205	12	17,1
USHR	330	282	34	10	9,7	28,0	280	15	18,7
<u>3e serie</u>									
ASHHZ	377	245	15	16	25,1	15,3	240	16	15,0
ASHHB	377	205	15	17	25,1	12,1	250	17	14,7
USHHZ	302	225	33	18	9,2	12,5	260	16	16,3
<u>4e serie</u>									
ASHHZ	395	240	59	21	6,7	11,4	315	17	18,5
ASHHB	395	215	59	20	6,7	10,8	305	16	19,1
ASHZ	395	190	59	19	6,7	10,0	295	16	18,4

Tabel 4 C/N-verhouding slib, eindprodukt en zeefrest

De C/N-verhouding van het slib blijkt te variëren tussen 10 en 25. De invloed van de toeslagmaterialen als (extra) C-bron is niet aangetoond. Het temperatuurverloop van de proef ASR, waarbij geen hout maar het inerte rubber als toeslagmateriaal werd gebruikt, zou erop kunnen duiden dat het slib voldoende koolstof bevatte om te dienen als energiebron voor de micro-organismen.

Van hout is bekend dat het in vergelijking met zuiveringsslib moeilijk afbreekbaar is. Dit betekent dat hoewel hout voor een groot deel uit koolstof bestaat, deze koolstof in mindere mate beschikbaar is voor het proces dan de koolstof in het slib.

Mede gebaseerd op het feit dat in de zeefresten, bestaande uit niet- of onvolledig gecomposteerd slib, nog aanzienlijke concentraties koolstof aanwezig zijn, wordt geconcludeerd dat de betekenis van hout als (extra) koolstofbron in het composteringproces van ondergeschikte betekenis is.

Wanneer de resultaten van de eerste proefenserie buiten beschouwing gelaten, dan blijken zowel het koolstof- als het stikstofgehalte van het eindprodukt lager te zijn dan van het slib voor compostering. In de zeefrest, bestaande uit niet of onvolledig gecomposteerd slib, bleken de koolstof- en stikstofgehalten van dezelfde orde van grootte te zijn als van het eindprodukt.

De C/N-verhouding van de eindprodukten ligt tussen de 11 en 16, met uitzondering van de proef USHR (C/N=28). De C/N-verhoudingen van de zeefresten waren in het algemeen slechts iets hoger, eveneens met uitzondering van de zeefrest van proef USHR.

De C/N-verhoudingen van de eindprodukten zijn van dezelfde orde van grootte als van de bouwvoor in kleigrond en grasland.

De mengmonsters van het slib, de toeslagmaterialen, de afdekcompost en de eindprodukten werden geanalyseerd op bemestende stoffen en micro-elementen.

De analyseresultaten van de materialen voor compostering werden eenduidig geacht. Het eindprodukt echter bestaat uit een mengsel van gecomposteerd slib, resten toeslagmateriaal en afdekcompost. De analyseresultaten daarvan mogen niet vergeleken worden met de analyseresultaten van het beginmateriaal.

Met betrekking tot de concentraties micro-elementen lijkt, op grond van temperatuurverloop en de toename van de gloei-rest in de eindprodukten, de conclusie gerechtvaardigd dat de in het slib aanwezige concentraties geen remmende invloed hebben gehad op de mineralisatieprocessen.

Op grond van de analyseresultaten is verder het volgende gebleken.

Van de proeven waarin geen afdekcompost werd gebruikt, zijn in het algemeen in het eindprodukt de concentraties van bemestende stoffen en micro-elementen lager dan in het slib. Dit is te verklaren door het toevoegen van toeslagmateriaal aan het slib.

Aangezien door het toevoegen van toeslagmateriaal met lage concentraties aan deze stoffen aan het slib de hoeveelheid droge stof van het te composteren mengsel toereemt, worden de concentraties van de beschouwde stoffen op basis van de droge stof in het eindprodukt lager dan in het slib.

Is in het eindprodukt een groot deel van het toeslagmateriaal aanwezig, dan zullen de concentraties lager zijn dan in het slib. De concentratieverlaging is dan alleen het gevolg van verdunning van het beginmateriaal met het toeslagmateriaal.

Een concentratieverhogend effect ontstaat als gevolg van de afbraak van organische stof en vervluchtiging van de afbraakprodukten. Afhankelijk van de mate waarin afbraak plaats vindt, nemen de con-

concentraties van stoffen die niet door vervluchtiging verdwijnen, weer toe. Stoffen die wel verdwijnen, zoals koolstof (in de vorm van CO₂) en stikstof (in de vorm van NH₃), zullen dan ten opzichte van de oorspronkelijke concentraties in lagere concentraties in het eindprodukt aanwezig zijn.

In hoeverre het verdunnend effect en het concentratieverhogend effect tegen elkaar opwegen is uit de analyses niet duidelijk geworden.

Naast eerder genoemde effecten op de concentraties van bemestende stoffen en micro-elementen in het eindprodukt is nog een andere invloed bepalend voor de concentraties in het eindprodukt. Bij nabehandeling (zeven) en bemonstering van het eindprodukt treedt vermenging op van het gecomposteerde slib met de compost die als afdeklaag van de stapelingen is gebruikt.

4.6.5 analyses chemisch zuurstofverbruik

Bij alle proeven is het chemisch zuurstofverbruik bepaald van het slib en het eindprodukt. In tabel 5 is tevens de relatieve afname van de aanvangswaarde aangegeven.

proef	CZV begin (mg.l ⁻¹)	CZV eind (mg.l ⁻¹)	afname %
<u>1e proevenserie</u>			
ASH	1000	640	36,0
USH	958	730	23,8
ASH 2	640	622	2,8
USH 2	730	694	4,9
USS	980	832	15,1
ASR	1057	720	32,0
gemiddeld	-	-	26,8
<u>2e proevenserie</u>			
USHH	742	342	53,9
USHR	980	282	71,2
gemiddeld			62,6
<u>3e proevenserie</u>			
ASHHZ	1089	320	70,6
ASHHB	1089	390	64,2
USHHZ	760	289	62,0
gemiddeld			65,6
<u>4e proevenserie</u>			
ASHHZ	1110	360	67,6
ASHHB	1110	570	48,6
gemiddeld	1110	465	58,1
{ASHZ	1110	410	63,1

Tabel 5 Chemisch zuurstofverbruik van slib en eindprodukt

De afname van het chemisch zuurstofverbruik bedraagt gemiddeld over alle proeven 51%. Worden de resultaten van de 1e proevenserie buiten beschouwing gelaten, dan bedraagt de afname 63%.

De afname van het chemisch zuurstofverbruik van het materiaal van de 1e proevenserie is aanzienlijk minder.

Er blijken geen significante verschillen tussen de gemiddelde afnamen van de 2e-, 3e- en 4e proevenserie.

Geconcludeerd wordt dat afname van het chemisch zuurstofverbruik onder alle omstandigheden zal optreden.

De afname bedroeg gemiddeld 63% bij proeven met een goede temperatuurontwikkeling waardoor het chemisch zuurstofverbruik van het eindprodukt ligt in de orde van grootte van 500 à 400 mg CZV/l.

4.7 Luchthoeveelheden

Voor de toevoer van zuurstof en voor de afvoer van vocht en afbraakcomponenten is geforceerde beluchting toegepast.

De benodigde luchthoeveelheden zijn berekend volgens paragraaf 2.2.

De toegevoerde luchthoeveelheden zijn bepaald uit de draaitijden van de ventilatoren. Berekende en toegevoerde luchthoeveelheden zijn weergegeven in tabel 6.

proef	lucht		draaiuren berekend	draaiuren gerealiseerd	procentueel verschil
	berekend m ³	toegevoerd m ³			
<u>1e proevenserie</u>					
ASH 2	154.000	196.480	293	378	29
USH 2	141.360	175.104	269	333	24
USS	113.100	153.600	215	392	82
ASR	71.130	150.101	135	285	110
<u>2e proevenserie</u>					
USHH	111.600	189.168	212	360	70
USHR	55.800	178.896	106	340	220
<u>3e proevenserie</u>					
ASHHZ	132.300	145.808	252	277	10
ASHHB	120.140	135.288	228	250	9
LSHHZ	118.000	163.185	224	310	38
<u>4e proevenserie</u>					
ASHHZ	138.600	88.651	264	168	- 36
ASHHB	130.200	24.673	248	46	- 61
(ASHZ)	94.100	80.539	179	153	+ 15)

Tabel 6 Theoretisch berekende en toegevoerde hoeveelheid lucht

De temperatuur is gehanteerd als parameter op basis waarvan de ventilatoren werden geschakeld (bedrijfsvoerings- of stuurparameter).

Het streven was een gemiddelde temperatuur binnen een stapeling te handhaven van 50-55°C. Temperatuurafname kon worden veroorzaakt door:

- koeling; dit duidt op een te grote afvoer van warmte of te grote toevoer van lucht met een lage temperatuur;
- afname van de microbiële activiteit.

Om koeling als gevolg van geforceerde beluchting te voorkomen, werden de ventilatoren tijdgeschakeld met behulp van een pauze-tijdrelais.

Tijdens het draaien van de ventilatoren nam de temperatuur af.

Wanneer de ventilatoren werden gestopt, kon de temperatuur zich herstellen. Werd na een aantal cycli van draaien en stoppen geconstateerd dat de temperatuur zich onvoldoende herstelde, werd de effectieve draaitijd verkort. Nam de temperatuur desondanks toch verder af, dan werden de ventilatoren gedurende langere tijd uitgeschakeld.

Of temperatuurafname het gevolg was van afnemende microbiële activiteit, kon niet worden vastgesteld. Uit incidentele zuurstofmetingen in de stapeling bleek dat het zuurstofgehalte minimaal 15 vol.% bedroeg, wanneer de ventilatoren gedurende langere tijd uitgeschakeld waren geweest. Deze zuurstofconcentraties kwamen in het algemeen overeen met die in de afvoerlucht van de ventilatoren.

De gemiddelde temperatuur van de proeven met drukbeluchting was lager dan van de proeven met onderdrukbeluchting. Dit resulteerde erin dat de totaal toegevoerde hoeveelheid lucht voor de proeven met drukbeluchting kleiner was dan voor de proeven met onderdrukbeluchting.

De toegevoerde hoeveelheid lucht blijkt voor alle proeven af te wijken van de berekende hoeveelheden. Het kleinste verschil tussen de theoretisch berekende en de toegevoerde hoeveelheid lucht is opgetreden bij de proeven van de 3e serie. De toegevoerde hoeveelheid lucht is bij twee proeven van de 4e serie minder dan berekend.

De verschillen tussen de berekende hoeveelheden lucht voor de proeven van de 2e, 3e en 4e serie worden voornamelijk veroorzaakt door de weersomstandigheden. Tijdens de 2e proevenserie werd 220 mm neerslag gemeten en omgevingstemperaturen van gemiddeld 9°C. Tijdens de 3e proevenserie trad geen neerslag op en waren de daggemiddelde omgevingstemperaturen 25°C.

De proeven van de 4e proevenserie vonden in een overdekte ruimte plaats; neerslag was afwezig, doch de temperatuur van de aangevoerde lucht was gemiddeld 5°C met minima van -2°C.

De toegevoerde hoeveelheid lucht aan de proeven ASHHZ en ASHZ van de 4e serie bleek duidelijk te verschillen. Het verschil wordt veroorzaakt door de afwezigheid van porositeitverhogend toeslagmateriaal in ASHZ waardoor de natuurlijke ventilatie aanzienlijk minder was dan in proef ASHHZ en daardoor meer lucht geforceerd moet worden toegevoerd.

Uit de praktijkproeven kan worden geconcludeerd dat:

- geforceerde beluchting kan worden toegepast voor de toevoer van zuurstof voor het proces en voor de afvoer van vocht en afbraakcomponenten;
- als gevolg van beluchting de temperatuur in een stapeling kan afnemen;
- de theoretisch benodigde luchthoeveelheid kan worden berekend zoals is weergegeven in paragraaf 2.2 voor de situatie dat geen neerslag optreedt en de temperatuur van de buitenlucht 25 à 30°C is. Bij neerslag - die weer moet worden afgevoerd - zal de benodigde hoeveelheid lucht groter zijn dan berekend;
- geforceerde beluchting de natuurlijke ventilatie van een stapeling kan ondersteunen (drukbeluchting) of kan belemmeren (onderdrukbeluchting);

4.8

Scheiden van toeslagmaterialen

De materialen van de 2e, 3e en 4e proevenserie zijn alle gezeefd om de porositeitverhogende toeslagmaterialen af te scheiden. Daartoe is gebruik gemaakt van een trilzeef voor het materiaal van de tweede proevenserie, en van een trommelzeef voor het materiaal van de 3e en 4e proevenserie.

In tabel 7 zijn de resultaten weergegeven.

Het te zeven materiaal werd gescheiden in een zeefrest, het porosi-

teitverhogende toeslagmateriaal, en een zeeffractie bestaande uit gecompoteerd slib, toeslagmateriaal en afdekkompost. De volumina te zeven materiaal werden geschat door het opmeten van de stapeling en berekening van de inhoud. Deze uitkomst werd gecontroleerd aan de hand van de transporten van de afgevoerde materialen.

De eindvolumina van de stapelingen waren alle minder groot dan bij aanvang van de proeven.

De volume-afname gedurende een actieve composteringperiode bedroeg gemiddeld 21%.

proef	te zeven volume		zeefrest volume		zeeffractie volume	
	m ³	%	m ³	%	m ³	%
<u>2e serie</u>						
USHH	105	100	38	36,2	67	63,8
USHR	45	100	32	48,9	23	51,1
<u>3e serie</u>						
ASHHZ	101	100	25	24,8	76	75,2
ASHHB	102	100	26	25,5	76	74,5
USHHR	109	100	24	22,0	85	78,0
<u>4e serie</u>						
ASHHZ	86	100	35	40	51	59,3
ASHHB	86	100	35	40	51	59,3
Gemiddeld		100		29,7		65,9

Tabel 7 Zeeffresultaten porositeitverhogend toeslagmateriaal

Met gedeelten van de zeeffracties van de 2e proevenserie zijn verdere zeeffproeven uitgevoerd. De volumina en gewichten bij aanvang alsmede de scheidingsresultaten daarvan zijn weergegeven in tabel 8.

proef	te zeven		compost			zeefrest		
	volume	gew	volume	gewicht	d.s.-	volume	gewicht	d.s.-
	m ³	ton	m ³	ton	gehalte %	m ³	ton	gehalte %
USHH	6	4,36	4	2,85	54,1	2	1,51	41,2
USHR	14	8,13	11	5,25	55,4	3	2,88	44

Tabel 8 Zeeffresultaten 2e proevenserie

De zeeffractie bestond uit gecompoteerd slib en afdekkompost; de zeefrest bestond uit vochtregulerend toeslagmateriaal en niet (volledig) gecompoteerd slib.

In de zeeffractie bevond zich een relatief grote hoeveelheid kleine houtschilfers en -snippers afkomstig van het toeslagmateriaal. Omdat verdere scheiding niet mogelijk was, kon niet nauwkeurig worden bepaald welk aandeel dit van het volume uitmaakte.

De zeeffracties van de proeven van de 3e en 4e serie werden volledig gezeefd met uitzondering van proef ASHZ van de vierde proevenserie. Dit materiaal was te vochtig om gezeefd te kunnen worden. De zeefgaten "smeerden" snel dicht.

De zeefresultaten zijn vermeld in tabel 9. De daarin genoemde percentages zijn afgerond.

Gemiddeld 53% van het te zeven volume, bestaat uit "compost". Deze bestaat op zijn beurt weer uit gecomposteerd slib, houtresten van het toeslagmateriaal en afdekcompost.

Als wordt aangenomen dat het volume van de afdekcompost gehandhaafd blijft tijdens de actieve compostering en het zeven, bestaat 21% van het te zeven volume uit gecomposteerd slib. Ook hierin bevinden zich uiteraard houtresten afkomstig van het toeslagmateriaal. De zeefrest bestaat merendeels uit het vochtregulerend toeslagmateriaal en voor een klein deel uit niet (volledig) gecomposteerd materiaal. De verhouding tussen de hoeveelheden toeslagmateriaal en resten beginmateriaal kon niet exact worden bepaald.

proef	te zeven volume		compost						zeefrest
			totaal		zonder afdekc.				
	m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%	% van oorspronkelijk volume
<u>3e serie</u>									
ASHHZ	76	100	36	48	16	21	40	52	87
ASHHB	76	100	40	52	18	24	36	48	78
USHHZ	85	100	42	49	19	22	43	51	94
<u>4e serie</u>									
ASHHZ	51	100	29	57	9	18	22	43	63
ASHHB	51	100	31	61	11	22	20	39	57
Gemiddeld		100		53		21		47	76

Tabel 9 Zeefresultaten op volumebasis

Het volume van de zeefrest werd vergeleken met het oorspronkelijke volume van het toeslagmateriaal. Gemiddeld is het volume van de zeefrest 76% van het oorspronkelijke volume.

De zeefrest bestaat echter niet alleen uit het vochtregulerende toeslagmateriaal doch ook uit resten beginmateriaal. Hieruit is af te leiden dat minder dan 76% van het volume toeslagmateriaal terug te winnen is.

Van de te zeven volumina, de compost en de zeefrest zijn de gewichten gemeten. Hieruit zijn de volumegewichten berekend. De resultaten daarvan zijn weergegeven in tabel 10.

Het volumegewicht van de materialen van de proeven met drukbeluchting blijkt minder te zijn dan bij onderdrukbeluchting.

Het gemiddelde volumegewicht van de compost is 442 kg/m³. Van de zeefrest is het volumegewicht gemiddeld 630 kg/m³.

Uit de zeefexperimenten blijkt dat het volume van de zeefrest van de materialen van de 4e proevenserie kleiner is dan van de 3e proevenserie. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat het materiaal van de 4e proevenserie kort na de afscheiding van het porositeitverhogende toeslagmateriaal werd gezeefd. Het materiaal van de 3e proevenserie is pas gezeefd na een narijplingsperiode van 3 maanden.

Per proevenserie gaf het materiaal van de proeven met drukbeluchting (ASHHB) de beste zeefresultaten.

Op grond van de zeefexperimenten blijkt het niet mogelijk om getalsmatige criteria op te stellen waaraan te zeven materiaal dient te voldoen.

proef	te zeven materiaal			compost			zeefrest		
	gewicht	volume	volume- gewicht	gewicht	volume	volume- gewicht	gewicht	volume	volume- gewicht
	ton	m ³	ton/m ³	ton	m ³	ton/m ³	ton	m ³	ton/m ³
3e serie									
ASHHZ	45	76	0,592	18	36	0,500	27	40	0,675
ASHHB	34	76	0,447	17	40	0,425	17	36	0,472
USHHZ	48	85	0,565	19	42	0,452	29	43	0,674
4e serie									
ASHHZ	28	51	0,555	12	29	0,414	18	22	0,727
ASHHB	25	51	0,489	13	31	0,419	12	20	0,600
Gemiddeld			0,530			0,442			0,630

Tabel 10 Zeefresultaten op gewichtsbasis

4.9 Microbiologisch onderzoek

Bij de praktijkproeven compostering is microbiologisch onderzoek verricht met als voornaamste doel inzicht te krijgen in de mate van desinfectie als gevolg van het composteringsproces.

Daartoe zijn van de volgende (groepen van) organismen de aantallen bepaald:

- thermotolerante coliformen;
- Escherichia coli (E.coli);
- totale coliformen;
- sporen van sulfietreducerende Clostridia;
- Salmonella species;
- f-specifieke bacteriofagen;
- somatische colifagen;
- faecale streptococci;
- aëroob koloniegetal bij 37°C.

Bepalingen zijn uitgevoerd door een particulier laboratorium en door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne te Bilthoven.

Voor het microbiologisch onderzoek zijn meerdere monsters van het te onderzoeken materiaal genomen om een zo representatief mogelijk beeld van de populatie te verkrijgen.

Deze monsters zijn bij elkaar gevoegd en gemengd. Uit het mengsel is een deelmonster genomen voor het uitvoeren van tellingen.

Uit de resultaten blijkt dat:

- als gevolg van het composteren reductie plaatsvindt van de totale coliformen, E.coli en thermotolerante coliformen. De reductie van thermotolerante coliformen is soms minder dan van E.coli. Een dergelijk verschil wijst op de mogelijke nagroei van coliformen zoals Klebsiella-soorten;
- faecale streptococci in aantal afnemen als gevolg van het composteringsproces; faecale streptococci zijn in grotere aantallen aanwezig in het eindproduct dan E.coli, hoewel de aanvangswaarden in dezelfde orde van grootte lagen. Dit wordt verklaard door de grotere hitteresistentie van faecale streptococci en de mogelijkheid tot nagroei;
- Salmonellae praktisch volledig worden vernietigd;
- f-specifieke bacteriofagen en somatische colifagen volledig worden vernietigd;

- de geconstateerde reducties geheel zijn toe te schrijven aan de optredende temperaturen en de tijdsduur daarvan;
- het aëroob koloniegetal bij 37°C niet geschikt is als parameter voor de beoordeling van de mate van desinfectie van zuiverings-slib.

4.10 Alternatieve toeslagmaterialen

Bij de praktijkproeven zijn de volgende toeslagmaterialen betrokken geweest:

- houtsnippers;
- houtschillen;
- houtblokken;
- rubbersnippers;
- stro.

Met geplagde heide en compost zijn oriënterende proeven uitgevoerd om inzicht te krijgen in hun toepasbaarheid als toeslagmateriaal.

Uit het oriënterende onderzoek blijkt dat geplagde grasheide niet geschikt is als toeslagmateriaal bij de compostering van zuiverings-slib om de volgende redenen:

- het zandgehalte is te hoog voor een goed verlopende compostering;
- door vorm en eigenschappen is het materiaal ongeschikt als porositeitverhogend toeslagmateriaal;
- het materiaal heeft een te hoog vochtgehalte om als vochtregulerend toeslagmateriaal te dienen.

Uit de literatuur is bekend dat met wisselende resultaten compost als toeslagmateriaal wordt gebruikt bij de compostering van zuiverings-slib. Vanwege de afmetingen van compostdeeltjes mag niet worden verwacht dat compost een porositeitverhogend effect heeft, terwijl de vochtregulerende eigenschappen afhangen van het drogestofgehalte van de compost.

Onderzocht is of het mogelijk is om door middel van het persen van de compost door een matrijs, het zogenaamde pelleteren, de compost zodanige vorm en afmetingen te geven dat het porositeitverhogende eigenschappen krijgt.

Uit het onderzoek is gebleken dat:

- pelleteren van compost mogelijk is wanneer het drogestofgehalte ongeveer 70% bedraagt;
- als gevolg van pelleteren een volumereductie optreedt van circa 20%;
- het vochtabsorberend vermogen van de pellets zeer gering is;
- de pellets niet bestand zijn tegen het uitoefenen van mechanische krachten;
- menging van pellets en ontwaterd slib geen porositeit geeft aan een stapeling van te composteren materiaal;
- uit compost gevormde pellets dus niet kunnen worden toegepast als toeslagmateriaal bij het composteren van zuiverings-slib.

4.11 Globale kosten compostering

Tijdens de praktijkproeven zijn diverse uitvoeringsmethoden, toeslagstoffen, mengverhoudingen en beluchtingssystemen toegepast. De globale kostenraming heeft betrekking op de meest succesvolle composteringsproeven. Hieraan zijn zoveel mogelijk uitgangspunten voor

de berekening ontleend; waar de informatie uit de praktijkproeven ontoereikend was, en in die gevallen waarin aanvullende informatie benodigd was voor het opschalen van de compostering, is gebruik gemaakt van ervaringen elders.

Voor de kostprijsberekening is uitgegaan van een situatie, waarin het slib van een rwzi met een capaciteit van 75.000 i.e. verwerkt moet worden. Dit betekent dat per jaar circa 1200 ton droge stof, ofwel 6.000 m³ slib met een drogestofgehalte van 20%, voor compostering beschikbaar is.

Verder is aangenomen dat als toeslagstoffen zowel vochtregulerende (houtschillen) als porositeitverhogende (houtblokken) materialen worden toegepast. Indien een geforceerde beluchting op een verharde ondergrond wordt uitgevoerd, is bij een composteringduur van 6 à 7 weken een terreinoppervlakte van 5.000 m² benodigd; in deze oppervlakte is inbegrepen de ruimte voor manoeuvreren, voor- en nabehandeling en opslagfaciliteiten.

Bij de genoemde bedrijfsomvang worden de kosten geraamd op f 440,- per ton droge stof, ofwel f 88,- per m³ ontwaterd slib. De totaal kosten kunnen in de volgende onderdelen worden gesplitst:

- terrein- en bouwkundige voorzieningen	: 10%
- mechanische en elektrische apparatuur	: 27%
- toeslagmateriaal	: 22%
- energie	: 13%
- bediening en toezicht	: 28%

Indien gebruik wordt gemaakt van een overkapping neemt de verwerkingsprijs per ton droge stof toe van f 440,- tot f 495,-.

5.1 Eindconclusies

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 composteringsproces niets gebleken.

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 2e toeslagmateriaal zoals houtblokken en rubbersnippers.

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.

Geplagde grasheide bleek niet geschikt als toeslagmateriaal voor de compostering van zuiveringsslib volgens de statische methode.

Dit geldt eveneens voor gepelleteerde compost. De pellets hebben onvoldoende vochtregulerende eigenschappen en zijn niet bestand tegen het uitoefenen van mechanische krachten.

Na beëindiging van de compostering kan het porositeitverhogende toeslagmateriaal voor 100% worden teruggewonnen; houtschillen als vochtregulerend toeslagmateriaal voor 50-60%. Stro als vochtregulerend toeslagmateriaal kon na compostering niet worden gescheiden van het eindprodukt.

De hieronder 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 de beluchtingsbuizen die op een bed van houtschillen of houtsnippers waren gelegd.

In verband met reikwijdte van de hydraulische graafmachine bleek de driehoekige vorm van de dwarsdoorsnede met een basis van 4,0 meter een praktische afmeting te zijn. Bij de trapeziumvormige doorsnede bleek het stapelen van het materiaal veel tijd in beslag te nemen. Bij deze opstelling trad wel minder warmteverlies naar de omgeving op. Een dergelijke opstelling is gevoelig voor het indringen van neerslag, omdat het bovenoppervlak niet af kan stromen.

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 proeven onder een overkapping bleek dat voor de proeven met porositeitverhogend toeslagmateriaal 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 -direct afleesbaar- is bij de praktijkproeven de temperatuur als stuurparameter gehanteerd. De temperatuurwaarnemingen zoals deze zijn verricht bij de 2e, 3e en 4e proevenserie 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 composteringproces 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 monsternamen en storing door neerslag. Wel is gebleken dat een te hoog vochtgehalte het composteringproces 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 CO_2 en 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 daarbij 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 slechts matig verlopen 2e proevenserie af met gemiddeld 27%, bij de redelijk tot goed verlopen praktijkproeven was de afname gemiddeld 63%.

De resultaten van het chemisch zuurstofverbruik van het eindproduct zijn beïnvloed door resten van toeslagmateriaal in het eindproduct, zodat ook aan deze eindresultaten geen al te grote waarde mag worden toegekend.

De gehalten aan bemestende stoffen en micro-elementen van de eindprodukten 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 eindprodukt 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 eindprodukten is toegenomen. Als opmerkelijk werd daarbij geconstateerd dat de concentratie van de als indicator-organismen aangemerkte hitte-resistente f-specifieke fagen sterker afnam dan de concentratie van micro-organismen met een lagere hitte-resistentie.

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 vochtnamecapaciteit 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 maken dat indringing in de bodem moet worden voorkomen.

Uitgaande van de compostering van de slibproductie van 6000 m³/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 m³ ontwaterd slib. Door het toepassen van een eenvoudige overkapping zal de kostprijs toenemen tot circa f 495,- per ton droge stof (f 99,- per m³ ontwaterd slib).

5.2 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten van -een beperkt aantal- praktijkproeven en de conclusies welke daaruit zijn getrokken, kunnen aanbevelingen worden opgesteld voor de uitvoering van compostering van zuiverings-slib.

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 zuiverings-slib gebruik te maken van twee toeslagmaterialen namelijk:

- vochtregulerend toeslagmateriaal; mengverhouding op basis van volume slib: toeslagmateriaal = 1:2 à 2,5. Het drogestofgehalte van het toeslagmateriaal moet minimaal 60% zijn.
- porositeitverhogend toeslagmateriaal; mengverhouding op basis van volume slib: toeslagmateriaal = 1:1 à 1,5. Gebruik kan worden gemaakt van (relatief) inerte materialen zoals nouthokken of rubbersnippers 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 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 zeefstelsysteem. Hierbij wordt in de eerste trap het porositeitverhogende toeslagmateriaal afgescheiden en in de tweede trap het vochtregulerende toeslagmateriaal.

6 UITGANGSPUNTEN PRAKTIJKPROEVEN ZWARTEGRONDBEREIDING

6.1 Inleiding

6.1.1 doel van de proeven

Het doel van de praktijkproeven was na te gaan of met eenvoudige middelen uit mechanisch ontwaterd zuiveringsslib zwarte grond bereid kon worden. Hierbij betekent het begrip zwarte grond zowel een ruim toepasbare teelaarde als ook een stortbaar produkt.

Tevens diende te worden onderzocht welke terreininrichting en welk materieel het meest geschikt is om het gestelde doel te bereiken. Tenslotte moest een inzicht in de kosten worden verkregen.

6.2 Uitgangsmaterialen

6.2.1 slibsoorten

Bij de keuze van de te verwerken slibsoorten is rekening gehouden met de volgende aspecten:

- de kwantiteit en kwaliteit van slibsoorten in Nederland;
- de beschikbaarheid van (praktijk-)gegevens;
- de noodzaak en mogelijkheden tot verdere verwerking van bepaalde slibsoorten.

Chemisch geconditioneerde, mechanisch ontwaterde slibben komen met name voor zwartegrondbereiding in aanmerking. Bovendien wordt juist van deze soort zuiveringsslib een relatief grote produktietoename verwacht. Daarnaast ontstaan er steeds meer problemen om deze slibben zonder een vorm van nabehandeling af te zetten.

De volgende slibsoorten zijn in het onderzoek betrokken:

- anaëroob gestabiliseerd slib, met kalk en ijzerchloride geconditioneerd en met behulp van filterpersen ontwaterd tot een drogestofgehalte van circa 35% (slib afkomstig van de rwzi Nieuwgraaf te Westervoort, Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland);
- een mengsel van uitgegist en aëroob gemineraliseerd slib, met polyelectrolyten geconditioneerd en met behulp van centrifuges ontwaterd tot 18 à 20% droge stof (slib afkomstig van de rwzi Harderwijk, Zuiveringsschap Veluwe).

Deze slibsoorten worden verder aangeduid als filterpersslib (FS) en centrifugeslib (CS). Voor beide soorten geldt dat zij, hoewel reeds gedeeltelijk ontwaterd, moeilijk verwerkbaar en afzetbaar zijn. Zelfs het storten levert zoveel moeilijkheden op dat deze wijze van afzet slechts zeer beperkt toepasbaar is. Door verwerking tot zwarte grond worden de verwerkings- en toepassingsmogelijkheden voor nuttig hergebruik verruimd dan wel wordt een stortbaar produkt verkregen.

Het mechanisch ontwaterde slib, dat in onbewerkte toestand slechts zeer moeizaam verder ontwaterd kan worden, ondervindt als gevolg van de zwartegrondbereiding een verregaande verbetering van ontwatering, rijping en consistentie.

6.2.2 toeslagmaterialen

Bij zwartegrondbereiding vindt geen recycling van toeslagstoffen plaats. Materiaal dat met het zuiveringsslib is gemengd, zal definitief in dit mengsel aanwezig blijven.

Derhalve worden bij zwartegrondbereiding de toeslagstoffen zodanig gekozen dat er slechts minimale hoeveelheden nodig zijn, waarbij een gunstige prijs en een ruime beschikbaarheid van groot belang zijn.

In de meeste gevallen wordt humusarm en leemarm zand gebruikt. Naast de prijs en beschikbaarheid is dit zand uitermate geschikt vanwege de rulle structuur en zeer goede verwerkingseigenschappen. Het zand bezit de tegengestelde eigenschappen van het zuiveringsslib dat rijk aan organische stof en fijne bestanddelen is en mede daardoor zo moeilijk verwerkbaar. De combinatie van "schraal" zand en "vet" slib ligt voor de hand.

6.2.3 mengverhoudingen

Bij het bepalen van de toe te passen mengverhouding tussen zuiveringsslib en toeslagstoffen spelen factoren een rol, die samenhangen met de aard en samenstelling van de te mengen componenten, als ook met de eindbestemming van het bereide produkt. Het gaat hierbij om de chemische samenstelling en fysische hoedanigheid, respectievelijk de bemestende waarde en het verontreinigingsniveau.

Voor de fysische eigenschappen van de beginmaterialen is uitgegaan van de feitelijke kenmerken van het toegepaste slib en zand; voor de chemische karakterisering, met name de gehalten aan zware metalen, is gebruik gemaakt van landelijke gemiddelden, teneinde de toepasbaarheid van de verzamelde gegevens zo ruim mogelijk te maken.

De berekening van de toegepaste mengverhoudingen komt bij de beschrijving van de betreffende proeven aan de orde.

6.3 Verwerkingswijzen

Bij de keuze van de verwerkingsmethoden voor de praktijkproeven is rekening gehouden met de reeds beschikbare ervaring, welke tijdens de inventarisatiefase is verzameld. Als randvoorwaarden golden verder nog dat de uitvoeringsmethode eenvoudig en praktisch moest zijn, uitvoerbaar met normaal beschikbare werktuigen en de inrichting van het benodigde terrein slechts minimale voorzieningen mocht vergen.

Op grond hiervan zijn twee typen van zwartegrondbereiding geselecteerd:

- de zogenaamde stapelmethode, waarbij zuiveringsslib en toeslagmateriaal na menging met een hydraulische graafmachine op rillen worden gezet; deze rillen worden regelmatig omgezet ter bevordering van het rijpings- en stabilisatieproces;
- de zogenaamde freesmethode, waarbij het slib wordt verspreid over een zandpakket en vervolgens door middel van een landbouw-frees wordt gemengd met de toplaag van dit zandpakket; bij deze vollegrondsmethode vindt om uitvoeringstechnische en proces-technologische redenen het opbrengen van de totale hoeveelheid zuiveringsslib plaats in meerdere deelcharges; evenals bij de stapelmethode wordt het mengsel diverse malen omgezet.

Het principe van de stapelproeven is eenvoudig, evenals de benodigde voorzieningen en uitvoering. Het mechanisch ontwaterde slib wordt in een vooraf bepaalde mengverhouding door middel van een hydraulische graafmachine met de toeslagstof gemengd.

Afhankelijk van de aard van de te mengen materialen en de gewenste mengverhouding kan een eerste grove menging worden gedaan door een intensievere bewerking, bijvoorbeeld door gebruik te maken van een mengwiel of een stalmestverspreider. Met deze bewerking kan het mengsel filterperskoeken is een intensievere bewerking om het mengsel van grote brokken te verkleinen.

Het mengsel wordt vervolgens op rillen gezet, waarbij de relatieve relatie in basisbreedte als hoogte wordt toegepast. De frequentie van de rillen is afhankelijk van de samenstelling van het mengsel en de meteorologische omstandigheden. Het mengsel wordt eveneens met een hydraulische graafmachine uitgevoerd en wordt aangevuld met de eerder genoemde hulpaanbevelen. Het is gewaarschuwd om handelingen op een verharde ondergrond uit te voeren om onder andere weersomstandigheden te kunnen werken.

Het freesprocédé bestaat uit het opbrengen van een eerste laag slijtters dikke laag ontwaterd zuiveringsslib op een ondergrond, bereid uit toeslagmateriaal. Het opbrengen vindt plaats met gebruik van een stalmestverspreider, waarna het feitelijke mengen wordt uitgevoerd door met een hakenfrees het slijtlaagje door te snijden in een circa 0,2 m dik pakket van de ondergrond. Ter homogenisering van het mengsel en ter bevordering van de rijpingsprocessen wordt de freesbewerking één of meerdere malen herhaald. De gewenste eindmengverhouding wordt bereikt door de beschreven opbreng- en freesbewerking naar behoefte te herhalen.

Een belangrijk verschil tussen de stapel- en freesproeven is dat in het eerste geval direct de eindmengverhouding wordt gerealiseerd, terwijl bij het freesprocédé de definitieve mengverhouding indirect wordt bereikt. Een ander verschil is de toegepaste stapelhoogte en laagdikte welke respectievelijk 0,75 à 1,50 en 0,20 à 0,37 m bedraagt. Dit heeft aanzienlijke gevolgen voor de bereikbare oppervlakte per hoeveelheid te verwerken slib.

6.4 Procescontrole

Het proces van zwartegrondbereiding uit zuiveringsslib is voorlopig een ontwaterings- en rijpingsproces. Factoren die dit proces beïnvloeden zijn:

- aard en samenstelling van het slib en toeslagmateriaal;
- weersinvloeden;
- laagdikte van het mengsel en de daarmee samenhangende afmetingen van het mengsel;
- homogeniteit van het mengsel, afmetingen van de slijtters en slijtlaagjes;
- frequentie van omzetten c.q. andere bewerkingen.

Een aantal van deze factoren is tijdens de verschillende proefopstellingen bewust beïnvloed: keuze van de materialen, rijpings- en ontwateringsproefopstelling en de frequentie van de handelingen; andere factoren zijn bij proeven in de open lucht uiteraard niet te beïnvloeden.

Het procesverloop is vooral beoordeeld met behulp van de volgende maatregelen en waarnemingen. Bij deze beoordelingen zijn de volgende punten van belang:

pervlakkig aan de buitenzijde beoordeeld, als ook dieper onder het oppervlak met behulp van boringen en het graven van profielkuiltjes. Tijdens deze waarnemingen is gelet op aspecten als:

- veranderingen in structuur, zoals het uiteenvallen van brokken en het ontstaan van een poriënstructuur;
- het voorkomen van (micro-)biologische activiteit, zoals bacteriekolonies en mycelium van schimmels;
- kleurverschillen in het materiaal, welke kunnen duiden op verschil in droging en rijping;
- het ontstaan van vegetatie.

Voornamelijk aan de hand van bovengenoemde waarnemingen is de voortgang van de handelingen bepaald, zoals het tijdstip van omzetten en het moment voor het opbrengen van een volgende slibcharge.

Ter bepaling van de toe te passen mengverhoudingen is het van belang een inzicht te verkrijgen in de chemische samenstelling van zowel het zuiveringsslib als de toeslagmaterialen. Daartoe zijn de uitgangsprодукten aan een chemische analyse onderworpen.

Door tevens de eindprodukten te analyseren wordt een inzicht verkregen in eventuele veranderingen in de chemische samenstelling. Deze analyse verschaft bovendien informatie over de toepassingsmogelijkheden van de zwarte grond.

Derhalve zijn zowel de beginmaterialen (slib en toeslagstof) als ook het eindprodukt (zwarte grond) geanalyseerd op de volgende parameters:

- | | |
|--------------------------|-----------|
| - droge stof | - koper |
| - ruw as/organische stof | - chroom |
| - stikstof | - zink |
| - fosfaat | - lood |
| - kalium | - kwik |
| - calcium | - cadmium |
| - magnesium | - arseen |
| - pH | - nikkel |

Tevens is van alle monsters de granulaire samenstelling bepaald. In een beperkt aantal monsters van de eindprodukten is de relatie tussen vochtgehalte en vochtspanning onderzocht, waarmee pF-curves zijn geconstrueerd, die deze relatie weergeven.

Tussen de begin- en eindbemonstering zijn nog monsters genomen om inzicht te verkrijgen in de afbraak van organische stof en eventuele pH-schommelingen. Ook is een aantal malen het zuurstofgehalte in de poriënruimte van de slibmengsels gemeten.

6.5 Materiaalbalans

Het hanteren van een materiaalbalans is noodzakelijk bij het vaststellen van de toe te passen mengverhouding. Er kan een balans worden opgesteld op basis van organische stof, maar ook op basis van gehalten aan bepaalde componenten. Dit laatste is bijvoorbeeld het geval als aan het eindprodukt milieuhygiënische eisen worden gesteld. Aangezien deze toetsing plaatsvindt op basis van concentraties in de droge stof, zal de mengverhouding (en daarmee de materiaalbalans) op drogestofbasis worden bepaald.

$$C_s \cdot G_s + C_t \cdot G_t = C_p (G_s + G_t) \quad (12)$$

Hierin is:

C = concentratie (mg/kg d.s.)

G = gewicht (kg d.s.)

indices

s = slib

t = toeslagstof

p = produkt

In vergelijking (12) is ervan uitgegaan, dat er tijdens het zwarte-grondbereidingsproces geen droge stof wordt afgebroken of verwijst. Deze veronderstelling is niet geheel juist, aangezien er toch enige afbraak van organische stof plaatsvindt; echter gelet op de te bereiken nauwkeurigheid bij het mengen, kan de genoemde afwijking als acceptabel worden beschouwd.

De concentraties aan zware metalen in slib en toeslagmateriaal zijn gegeven feiten, het gehalte aan deze stoffen in het eindprodukt is een te stellen eis; het uitgangsgewicht van het toeslagmateriaal wordt ook als een vaststaand gegeven beschouwd (onder meer afhankelijk van het type zwartegrondbereiding en de beschikbare ruimte). De variabele factor in vergelijking (12) is derhalve de factor G_s : het gewicht van het slib op drogestofbasis.

Vergelijking (12) kan dan als volgt worden geschreven:

$$G_s = \frac{C_p \cdot G_t - C_t \cdot G_t}{C_s - C_p} \quad (13)$$

Na invoering van de drogestofgehalten van de beginmaterialen en de daarbij behorende volumegewichten, kunnen de te mengen hoeveelheden in volume-eenheden worden uitgedrukt, hetgeen voor de praktische uitvoering van het mengen noodzakelijk is.

7.1

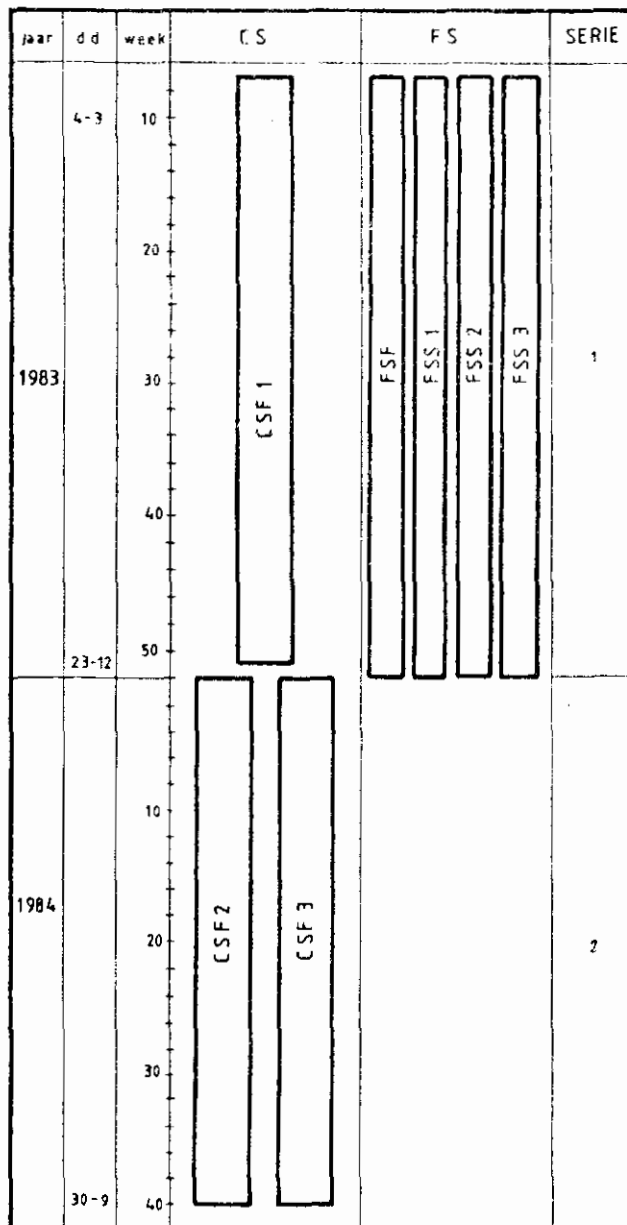
Proevenprogramma

De zwartegrondproeven zijn in twee series verdeeld, alle uitgevoerd op de locatie Ede in de open lucht.

In figuur 3 is het onderzoekprogramma schematisch weergegeven.

Verklaring afkortingen:

CS = centrifugeslib
 FS = filterpersslib
 Z = zand
 S = stapelproef
 F = freesproef



Figuur 3 Tijdschema zwartegrondproeven

- In de eerste serie zijn vijf experimenten uitgevoerd, namelijk:
- drie stapelproeven met filterpersslib, waarbij verschillende mengverhoudingen en stapelhoogten zijn toegepast (resp. FSS, FSS 2 en FSS 3);
 - een freesproef met centrifugeslib in de volle grond (CSF 1);
 - een freesproef met filterpersslib in de volle grond (FSF 1).

Bij alle experimenten is zand als toeslagstof gebruikt, terwijl het doseren en mengen is uitgevoerd met behulp van een hydraulische

graafmachine en een stalmestverspreider, aangevuld met een hakenfrees voor de freesproeven.

De 2e serie bestond uitsluitend uit freesproeven, waarbij centrifugeslib in de volle grond is gemengd met zand. De volgende twee experimenten zijn te onderscheiden:

- een freesproef, gericht op het bereiden van een rijk voedzaam produkt zwarte grond (CSF 2);
- een freesproef met als uitgangspunt het gebruik worden van centrifugeslib (CSF 3).

Het materieel bestond wederom uit een hydraulische graafmachine, een stalmestverspreider en een hakenfrees. Gezien de ervaringen uit de eerste proevenserie is overigens wel van een ander type verspreider gebruik gemaakt.

7.2 Samenvatting resultaten de proevenserie

7.2.1 stapelproeven

De drie stapelproeven FSS 1, FSS 2 en FSS 3 zijn qua opzet gelijk. Filterpersslib is met behulp van een hydraulische graafmachine en een stalmestverspreider gemengd met leemarm, humusarm zand. Hierbij zijn volumeverhoudingen tussen zand en slib toegepast, variërend van 2:1 bij de proef FSS1 en 1:1 voor de proeven FSS 2 en 3.

Deze mengsels zijn op een verharde ondergrond op rillen gezet, waarvan de basisbreedte varieerde van 3 tot 4 m en de hoogte van 0,75 tot 1,50 m.

Om een homogene menging te verkrijgen en de rijping te bevorderen zijn de stapelingen met een frequentie van 1 maal per 2 1/2 weken omgezet. Hiervoor is hetzelfde materieel gebruikt als voor het leggen.

Bij visuele beoordeling en bij zuurstofmetingen in de porieënruimte bleek dat reeds op een diepte van 0,2 m beneden het oppervlak van de stapelingen anaërobie optrad.

Zowel uit tussentijdse beoordelingen als uit de eindbeoordeling blijkt nagenoeg geen afbraak van organische stof te zijn opgetreden. Driekwart jaar na aanvang van de proeven werden nog steeds slijbbrakjes waargenomen.

Uit de chemische analyses van de beginmaterialen en de eindproducten blijken er chemisch gezien geen significante veranderingen in het mengsel te zijn opgetreden, met name niet in de gehalten aan zware metalen. Dit geldt met name voor de mengsels met een 1:1 mengverhouding; bij de proef met een mengverhouding van 2:1 worden voor een aantal parameters in de eindanalyse hogere concentraties aangetroffen dan op basis van berekening zouden mogen worden verwacht.

7.2.2 freesproeven

De freesproeven FSF en CSF 1 zijn in de volle grond uitgevoerd op twee proefvelden met elk een oppervlakte van 600 m². Het opbrengen van het slib is uitgevoerd met een stalmestverspreider met achterwaartse lossing; voor het frezen is een trekker met een hakenfrees gebruikt. Filterpersslib (proef FSF) en centrifugeslib (CSF 1)

zijn twee maal in een laag van 0,07 à 0,08 m opgebracht en doorgefreesd in 0,15 m van het onderliggende zandpakket. In beide gevallen was derhalve sprake van een volumeverhouding tussen slib en zand van 1:1.

Behalve het frezen direct na het opbrengen van het slib is ook nog enige malen extra gefreesd.

De gekozen uitvoeringswijze bleek problemen op te leveren bij het opbrengen van de eerste als ook bij de tweede slibdosering; het opbrengen van centrifugeslib met behulp van een stalmestverspreider verliep zeer traag, terwijl bovendien het berijden van de proefvelden met een stalmestverspreider niet goed mogelijk was.

In het begin van de proefperiode is veel overlast ondervonden van het natte weer. Als gevolg hiervan moest het opbrengen van de tweede dosering centrifugeslib bijna 3 maanden worden uitgesteld. Bovendien was de ontwatering van de proefvelden zo gebrekkig dat in deze regenrijke periode de grondwaterstand tot dicht aan het maaiveld reikte. Na deze natte periode is de verwerking voorspoedig verlopen.

Er is tijdens de proefperiode weinig organische stof afgebroken. Uit de chemische analyses bleek voor proef CSF 1 een duidelijke overeenkomst tussen de berekende samenstelling van het eindprodukt en de uit laboratoriumonderzoek verkregen concentraties.

Bij de proef met het filterpersslib bleek voor vrijwel alle parameters een hogere waarde uit de analyse dan uit de berekening. Dit wijst erop dat een minder dik zandpakket is doorgefreesd dan in de berekening is ingevoerd.

De eindprodukten zijn visueel bodemkundig beoordeeld; hierbij bleek dat in beide gevallen homogene produkten zijn gevormd. Er waren geen duidelijk herkenbare slibbrokken meer aanwezig. Een slibgeur werd nog wel geconstateerd.

Bij onderzoek naar de vochtbindende eigenschappen van de zwarte grond bleek een goede overeenkomst tussen de bereide zwarte grond en natuurlijk gevormde zwarte grond met een vergelijkbaar gehalte aan organische stof en vergelijkbare korrelgrootte.

7.2.3 conclusies le proevenserie

Bij zwartegrondbereiding uit zuiveringsslib verdient het freesprocédé de voorkeur boven de stapelmethode. Het frezen gaat echter wel gepaard met een aanzienlijk ruimtebeslag.

Uitvoeringstechnisch zijn nog enige aanpassingen gewenst, met name ten aanzien van de wijze van opbrengen van het slib.

Een duidelijke afbraak van organische stof is niet waargenomen. Bovendien vindt weinig afvoer van andere componenten plaats, zoals meststoffen en zware metalen. Dit betekent dat vooraf op basis van de samenstelling van de uitgangprodukten en de toe te passen mengverhouding een redelijke schatting kan worden gemaakt van de kwaliteit van het eindprodukt.

De vocht karakteristiek van de goed gemengde materialen komt overeen met de eigenschappen van natuurlijk gevormde zwarte grond. Aangezien er echter sprake is van relatief vers organisch materiaal moet rekening worden gehouden met enige afbraak in de eerste jaren na verwerking; hierdoor zullen de vochtbindende eigenschappen van de bereide

zwarte grond enigszins kunnen teruglopen.

7.3 Samenvatting resultaten 2e proevenserie

7.3.1 freesproeven

De freesproeven CSF 2 en CSF 3 zijn uitgevoerd op twee proevelden met elk een oppervlakte van 325 m². Het opbrengen van het slib is uitgevoerd met een stalmestverspreider met zijwaartse lossing; voor het frezen is een trekker met hakenfrees gebruikt. Bij proef CSF 2 is 5 maal een laag slib met een gemiddelde dikte van 0,04 m opgebracht en doorgefreesd in 0,17 à 0,18 m van het onderliggende zandpakket. Op volumebasis betekende dit een mengverhouding tussen slib en zand van 1,2:1.

Bij proef CSF 3 is na deze eerste 5 doseringen nog driemaal een laag slib opgebracht met een dikte van 0,04 m en doorgefreesd. Bij deze proef is een mengverhouding tussen slib en zand bereikt van 1,9:1.

Behalve het frezen direct na het opbrengen van het slib is tussen de diverse doseringen telkens minimaal 1 keer extra gefreesd; met het rijker worden van het mengsel waren meer tussentijdse bewerkingen nodig.

Omdat bij deze werkwijze de stalmestverspreider niet over maar langs de te bewerken percelen reed, hebben zich met het opbrengen geen problemen voorgedaan. Door de slibdosering aan beide zijden van het perceel uit te voeren, bleek een strooibreedte van 10 m haalbaar.

Het steeds weer doorfreen van een nieuwe sliblaag verliep probleemloos tot aan de laatste dosering van proef CSF 3. Als gevolg van het rijke slib-zandmengsel was de berijdbaarheid slecht, terwijl tevens werd geconstateerd dat met het frezen de onderste 3 à 5 cm van het mengsel niet meer kon worden bereikt.

Tijdens het bereidingsproces is 16 à 20% van de organische stof afgebroken. Uit de chemische analyses blijkt verder dat de berekende samenstelling van de eindprodukten goed overeenkomt met de analyse-resultaten. Bij de berekening is ervan uitgegaan dat er geen afvoer van componenten optreedt. Bij een visueel/bodemkundige beoordeling van de zwarte grond is vastgesteld dat het materiaal uit proef CSF 2 als een humeuze, kleiige zandgrond kan worden gekarakteriseerd.

Een slibgeur is nauwelijks meer waargenomen. De zwarte grond uit proef CSF 3 kon worden omschreven als een humeuze tot humusrijke lichte zavel. In dit produkt was het zuiveringsslib duidelijk herkenbaar.

7.3.2 conclusies 2e proevenserie

Als gevolg van de aanpassingen in de uitvoeringswijze, is de bereiding van zwarte grond met de freesmethode in de 2e proevenserie beter verlopen dan in de eerste opzet. Het opbrengen van het slib werd niet meer bemoeilijkt door een slechte berijdbaarheid van het terrein, aangezien het opbrengen plaatsvond vanaf de zijkanten van het freesveld.

De bereiding van zwarte grond met een beperkt organisch stofgehalte van 5 à 6% (proef CSF 2) is in circa 5 maanden, met een beperkt aantal handelingen en zonder uitvoeringstechnische problemen verlopen. Het experiment, waarbij onderzocht is tot hoe ver men met de freesmethode kan gaan om een stortbaar produkt te maken, is voortgezet tot op volumebasis een mengverhouding van slib en zand van circa 2:1 was bereikt; daarna was geen goede menging meer mogelijk. Deze volumeverhouding van 2:1 kwam overeen met een mengverhouding op drogestofbasis van 1:4.

Aangezien er tijdens het proces nog slechts een klein gedeelte van de organische stof is afgebroken, mag een verdere afbraak worden verwacht. Uit de chemische analyses van het begin- en eindprodukt blijkt dat de samenstelling van de zwarte grond vooraf met een redelijke nauwkeurigheid kan worden berekend.

De zwarte grond uit proef CSF 2 is bodemkundig gezien potentieel een ruim toepasbaar produkt. Wanneer in dit materiaal door verdere rijping en het ontstaan van bodemleven en beworteling een goede lucht- en waterhuishouding is ontstaan (een proces dat ook nog circa een half jaar in beslag zal nemen) is verwerking als teelaarde mogelijk.

Bij het stortbaar maken van zuiveringsslib is bij de gerealiseerde mengverhouding de uiterste grens bereikt. De verwerkingsmethode leent zich niet voor een nog rijker mengsel.

7.4

Globale kosten

De globale kosten voor zwartegrondbereiding zijn, gelet op de slechte resultaten van de stapelproeven, alleen berekend voor het freesprocédé.

Indien wordt uitgegaan van een beschikbare terreinoppervlakte van 1 ha, kan op jaarbasis 2.400 m³ slib met een drogestofgehalte van 20% (overeenkomend met 480 ton droge stof) worden verwerkt tot een nuttig toepasbare zwarte grond. Een dergelijke slibproduktie komt vrij bij een rwzi met een capaciteit van 25.000 à 30.000 i.e.

Bij een eenvoudige terreininrichting, een kostprijs voor mengzand van f 15,- per m³ en afzetmogelijkheden voor het bereide produkt binnen een straal van 10 à 15 km vanaf de verwerkingsplaats, bedraagt de verwerkingsprijs per ton droge stof f 220,-. Dit komt overeen met f 44,- per m³ ontwaterd slib en met f 35,- per m³ zwarte grond.

Indien op een terrein van dezelfde omvang zuiveringsslib verwerkt wordt tot een stortbaar produkt, kan op jaarbasis 2.800 m³ ontwaterd slib worden verwerkt, ofwel 580 ton slib op drogestofbasis. De verwerkingskosten bedragen in dit geval f 175,- per ton droge stof, overeenkomend met f 35,- per m³ ontwaterd slib. In deze kostprijs zijn niet de eventuele stortgelden begrepen. Hierdoor kunnen totaal-kosten voor het stortbaar maken en storten van het slib hoger worden dan in geval van bereiding van zwarte grond. Locale omstandigheden als afzetmarkt, stortmogelijkheden en -kosten zullen in elk geval afzonderlijk moeten worden beschouwd.

Uit de praktijkproeven is gebleken dat zowel filterperskoeken als met polymeren geconditioneerd centrifuge- of zeefslib tot zwarte grond verwerkt kan worden.

Een strikte voorwaarde om een goed eindproduct te verkrijgen is het werken in een zeer beperkte laagdikte van 0,20 à 0,25 m. Bij toediening van een grotere laagdikte treedt snel anaërobie op, waardoor het rijpingsproces tot stilstand komt. Bovendien kan in deze situatie geen vocht door verdamping worden afgevoerd.

Indien wordt uitgegaan van de beperkte laagdikte is verwerking "in de volle grond" mogelijk. Het mengen van zuiverings-slib met het oecologisch materiaal zand kan op een doeltreffende wijze worden uitgevoerd met een trekker met hakenfrees. Hiertoe moet eerst het slib op het door te mengen zandpakket worden gedoseerd, waarna het frezen kan plaatsvinden. Om dit frezen goed te laten verlopen is het noodzakelijk om het slib in dunne lagen (teikens maximaal 0,25 m) op te brengen.

Voor het opbrengen is een systeem noodzakelijk, waartoe de opbreng-apparatuur niet op het freesveld behoefte te rijden; een stelactieve spreider met zijwaartse lossing voldoet hieraan. Bij aanwezigheid van harde filterperskoeken is het wenselijk om voorafgaand aan de dosering de slibkoeken te verkrummelen.

Het aantal doseringen van telkens 0,04 m wordt bepaald door de samenstelling van de te mengen produkten, de drogestofgehalten hiervan en de eisen die aan het eindproduct worden gesteld.

Indien wordt uitgegaan van zuiverings-slib met 20% droge stof, waarvan 60% uit organisch materiaal bestaat, en humus- en leemrijke zand, dan zijn 5 doseringen mogelijk om een eindproduct met goede toepassingmogelijkheden te bereiden. Dit product bevat dan 5 à 8% organische stof. Dit proces zal afhankelijk van de weersomstandigheden 4 tot 6 maanden in beslag nemen.

Een andere mogelijkheid is om, uitgaande van dezelfde materialen, te streven naar een maximale mengverhouding, waarbij er nog sprake is van een op een stortplaats verwerkbaar product. Het is gebleken dat met maximaal 8 à 9 doseringen in een periode van circa 9 maanden een product ontstaat dat nog verwerkbaar is.

De methode van slibverwerking volgens het freesprocédé in de volle grond, biedt dus mogelijkheden om een goede teelaarde te bereiden, terwijl het ook perspectieven biedt om mechanisch ontwaterd zuiverings-slib tot een stortbaar product te verwerken.

Bij de bereiding van zwarte grond als teelaarde blijkt, na de produktieperiode van 4 à 6 maanden, het materiaal chemisch en granulair de juiste samenstelling te hebben; het product heeft dan nog een verdere rijping en structuurvorming nodig om als echte zwarte grond te kunnen worden beschouwd. Dit laatste proces, waarbij bodemleven en doorworteling een belangrijke rol spelen, kan worden bespoedigd door de zwarte grond zo snel mogelijk van een vegetatie te voorzien.

Zowel het bereiden van een nuttig product zwarte grond als het stortbaar maken van het slib kan tegen relatief lage kosten worden uitgevoerd (respectievelijk f 180,- en f 145,- per ton droge stof). Uit de kostprijsberekening blijkt dat zwartegrondbereiding al op kleine schaal tot de mogelijkheden behoort.

BIJLAGE 1

DE PRAKTIJKPROEVEN COMPOSTERING

INHOUD

1	DE PRAKTIJKPROEVEN COMPOSTERING	1
1.1	le proevenserie	1
1.1.1	deel 1 van de le proevenserie	1
1.1.2	uitvoering proef ASH	1
1.1.3	waarnemingen proef ASH	1
1.1.4	uitvoering proef USH	5
1.1.5	waarnemingen proef USH	5
1.1.6	conclusies deel 1 van de le proevenserie	8
1.2	deel 2 van de le proevenserie	9
1.2.1	aanvoer, mengen, opbouw en voorzieningen	10
1.2.2	uitvoering proef ASH 2	10
1.2.3	waarnemingen proef ASH 2	11
1.2.4	uitvoering proef USH 2	14
1.2.5	waarnemingen proef USH 2	14
1.2.6	uitvoering proef USS	16
1.2.7	waarnemingen proef USS	17
1.2.8	uitvoering proef ASR	20
1.2.9	waarnemingen proef ASR	22
1.2.10	conclusies uit de le proeveserie	25
1.3	2e proevenserie	27
1.3.1	aanvoer, mengen, opbouw en voorzieningen	28
1.3.2	uitvoering proef USHH	30
1.3.3	waarnemingen proef USHH	30
1.3.4	uitvoering proef USHR	32
1.3.5	waarnemingen proef USHR	34
1.3.6	zeefproeven	35
1.3.7	zeven met trommelzeef	35
1.3.8	zeven met doekzeef	36
1.3.9	analyses	36
1.3.10	conclusies uit de 2e proevenserie	39
1.4	3e proevenserie	40
1.4.1	aanvoer, mengen, opbouw en voorzieningen	41
1.4.2	uitvoering proeven	41
1.4.3	waarnemingen	44
1.4.4	zeefproeven	55
1.4.5	conclusies uit de derde proevenserie	55
1.5	Vierde proevenserie	58
1.5.1	aanvoer, mengen, opbouw en voorzieningen	58
1.5.2	uitvoering proeven	59
1.5.3	waarnemingen	61
1.5.4	zeefproeven	71
1.5.5	conclusies uit de vierde proevenserie	73

INHOUD

1.6	Statistische bewerking van de temperatuurwaarnemingen	74
1.6.1	algemeen	74
1.6.2	24-uurs gemiddelde temperatuur	74
1.6.3	frequentieverdeling temperatuurwaarnemingen	75
1.7	Microbiologisch onderzoek	76
1.7.1	algemeen	76
1.7.2	indicatief microbiologisch onderzoek	76
1.7.3	mate van desinfectie	79
1.7.4	resultaten	81
1.7.5	conclusie	85
1.8	Onderzoek alternatieve toeslagmaterialen	86
1.8.1	geplagde heide	86
1.8.2	compost	87
1.9	Globale kosten compostering	89

1 DE PRAKTIJKPROEVEN COMPOSTERING

1.1 1e Proevenserie

De eerste proevenserie is in twee onderdelen uitgevoerd:

deel 1: compostering van aëroob gestabiliseerd slib (AS) en uitgesteerd slib (US), waarbij houtsnippers (H) als toeslagmateriaal werden gebruikt. De proeven ASH en USH;

deel 2: toevoegen van extra toeslagmateriaal aan de twee proeven in uitvoering; het uitvoeren van een composteringsproef met aëroob gestabiliseerd slib als uitgangsmateriaal en rubbersnippers als toeslagmateriaal, respectievelijk de proeven ASH 2, USH 2 en ASR.

Daarnaast is een composteringsproef uitgevoerd met uitgesteerd slib en stro als toeslagmateriaal, de proef USS.

1.1.1 deel 1 van de 1^e proevenserie

Oktober 1982 werd als tijdstip van aanvang gekozen in de verwachting dat de composteringsproeven plaats zouden vinden in een periode waarin de weersomstandigheden overwegend ongunstig zouden zijn voor open compostering (veel neerslag, lage buitentemperatuur).

Met het gelijktijdig uitvoeren van de proeven (ASH en USH) werd beoogd een indruk te verkrijgen van de mogelijkheid tot composteren van twee verschillende uitgangsmaterialen met hetzelfde toeslagmateriaal.

Van uitgesteerd slib is als gevolg van de anaërobe gisting een gedeelte van de organische stof afgebroken, waardoor een hoeveelheid koolstof aan de organische stof is onttrokken. Daarom heeft dit slib potentieel een lagere energie-inhoud dan het aëroob gestabiliseerde slib. In principe kan dit ertoe leiden dat, wanneer onder gelijke condities wordt gecomposteerd, verschillen ontstaan tussen het composteringsproces van het ene en het andere uitgangsmateriaal.

1.1.2 uitvoering proef ASH

Aanvoer, mengen en stapelen van het materiaal heeft plaatsgevonden op de wijze zoals beschreven in 2.3.

De beluchtingsbuizen werden rechtstreeks op de verharding gelegd waarop het te composteren materiaal werd gestapeld.

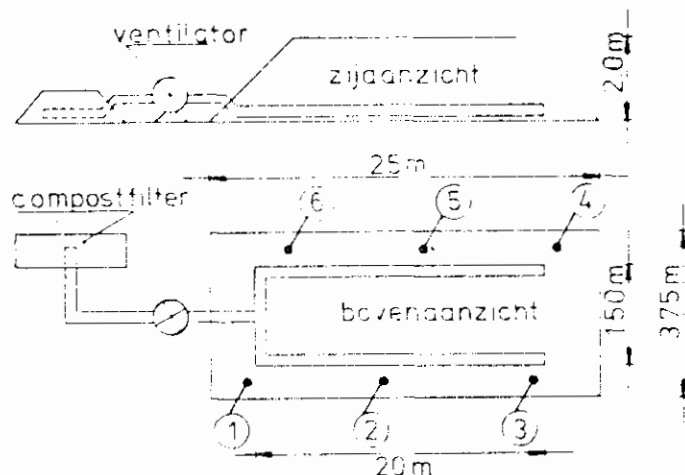
De stapelingen werden afgedekt met een gewezen (luchtdoorlatende) kunststofdoek om het indringen van vocht als gevolg van neerslag tegen te gaan.

De ventilator stond gedurende de composteringsperiode gedurende 24 uur per dag ingeschakeld. Door middel van een tijd-relais werd de draai- en stoptijd geregeld. De draaitijd bedroeg 8 minuten gevolgd door een stoptijd van 24 minuten. De eerste vijftien dagen is onderdrukbeluchting toegepast; daarna is overgegaan op drukbeluchting. De materiaalgegevens zijn samengevat in tabel 1.

1.1.3 waarnemingen proef ASH

De temperatuurmetingen zijn weergegeven in figuur 2. Uit de figuur bleek de temperatuur gedurende de eerste 3 à 4 dagen toe te nemen,

daarna nam de temperatuur geleidelijk af.



① Bemonsteringspunt

Figuur 1. Opstelling proef ASH

	AS	toeslagmateriaal houtsnippers
nat gewicht (ton)	20,0	9,6
volume (m ³)	20,0	48,0
drogestofgehalte (%)	17,3	38,5
gewicht drogestof (ton)	3,5	3,7
gloeirest (in % van ds)	34,3	-
gewicht organische stof (ton)	2,27	-
Toeslagfactoren:		
TF _v	1	2,40
TF _n	1	0,48
TF _d	1	1,06
<u>beluchting: onderdruk</u>		
ventilatorcapaciteit	:	525 m ³ .h ⁻¹
drukverschil	:	120 mmWk
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	12.600 m ³
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	155.800 m ³
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C
totaal benodigde luchttoevoer	:	155.800 m ³

Tabel 1. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASH

De gemeten CO₂- en NH₃-concentraties in de afvoerlucht van de ventilator waren verwaarloosbaar. De zuurstofconcentratie in de afvoerlucht bleef nagenoeg constant.

Gedurende de composteringperiode zijn monsters van het materiaal genomen. De monsters werden met behulp van een schudzeef gescheiden in toeslagmateriaal en slibmateriaal.

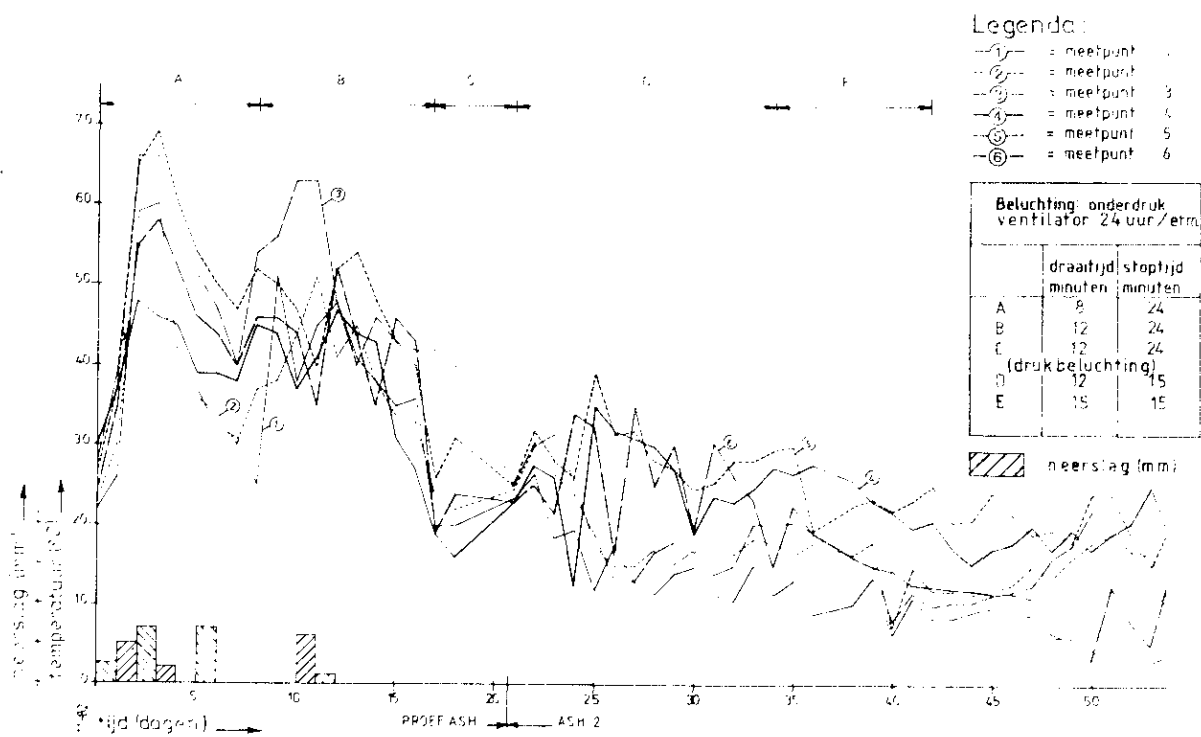
Van het slibmateriaal werden het chemisch zuurstofverbruik, het drogestofgehalte en de gloeirest bepaald.

De waarnemingen als functie van de composteringstijd zijn weergegeven in tabel 2.

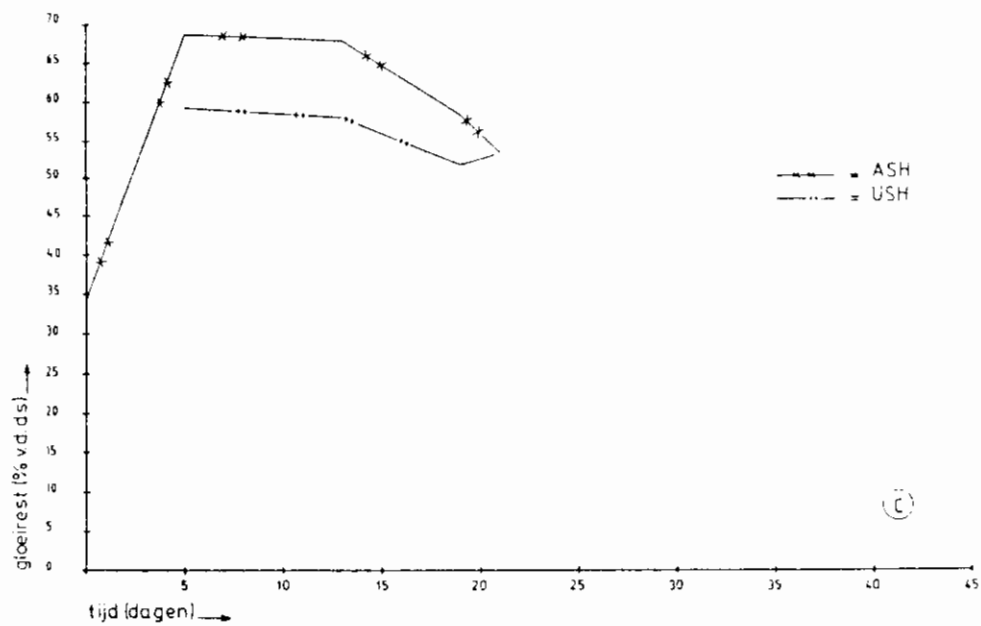
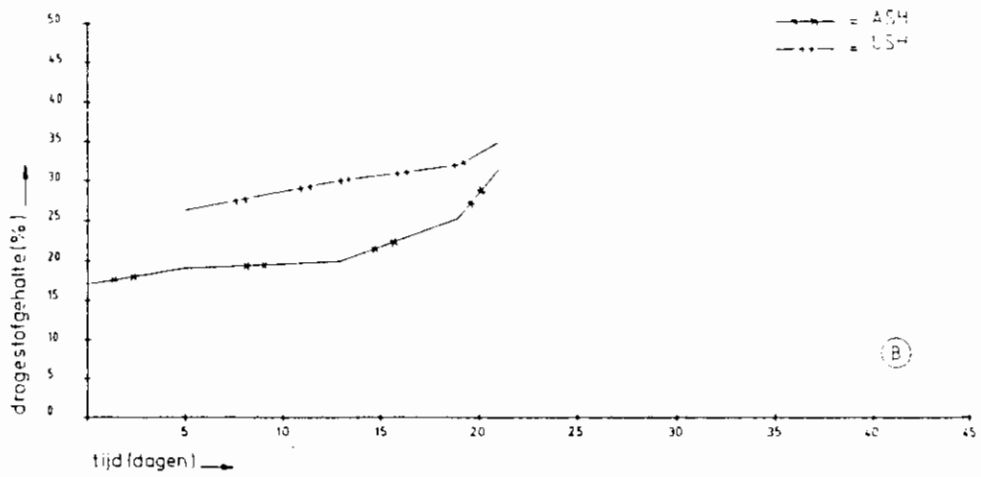
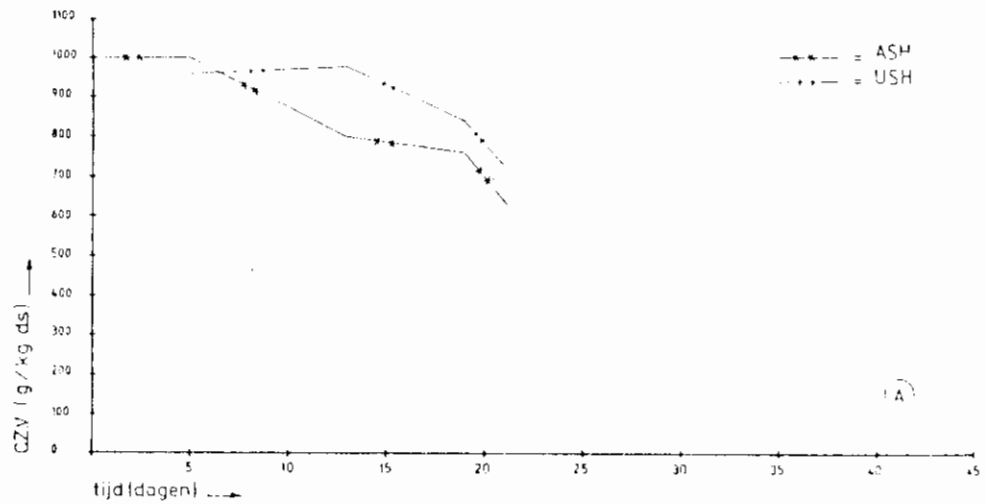
De hoogte van de stapeling bleek gedurende de eerste drie à vier dagen af te nemen als gevolg van klink. De daling bedroeg 0,30 - 0,40 m. Na deze vier dagen bleef de hoogte nagenoeg constant.

composteringstijd dagen	0	5	13	19	21
uitgangsmateriaal					
CZV (mg/l)	1000	1000	800	760	640
d.s.-gehalte (%)	17,3	19,4	20,1	25,7	31,4
gloeirest (% van d.s.)	34,3	68,7	68,0	58,4	53,5
zuurgraad (pH)	7,3	-	7	-	6,5
afvoerlucht					
CO ₂ (vol.%)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
NH ₃ (ppm)	0	0	-	0	-
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	21,0	20,0	21,0	19,0	21,0

Tabel 2. Resultaten waarnemingen proef ASH



Figuur 2. Temperatuurwaarnemingen proef ASH



Figuur 3. Het chemisch zuurstofverbruik (A), het drogestofgehalte (B) en de gloeirest (C) als functie van de composteringstijd

Tijdens aanvoer, mengen en opbouw van de stapeling van de proef ASH werd een 'actief-slib'-geur waargenomen.

Na het gereed komen van de stapeling werd tot 4 à 5 dagen na aanvang een "fermentatie-geur" waargenomen, tot op een afstand van circa 250 m benedenwinds.

De geur kwam vrij aan de bovenzijde van de stapelingen en incidenteel uit de afvoerlucht van de ventilator van de proef ASH.

Door omwonenden werden geen klachten geuit met betrekking tot stankhinder. De geur kon overigens niet duidelijk worden gedefiniëerd als bijvoorbeeld ammoniak, zwavelwaterstof of mercaptanen. Alle metingen dienaangaande waren negatief.

	Slib	toeslag- materiaal	eind- produkt
<u>chemische analyses</u>			
d.s.-gehalte (g/kg d.s.)	17,3	38,5	31,4
stikstof (g/kg d.s.)	51,0	1,1	11,0
fosfaat (g/kg d.s.)	38,0	0,8	8,6
kalium (g/kg d.s.)	5,2	0,7	1,4
calcium (g/kg d.s.)	4,1	3,0	11,0
magnesium (g/kg d.s.)	9,0	0,4	2,1
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	345	370	435
koper (mg/kg d.s.)	430	15	100
chromium (mg/kg d.s.)	215	2	67
zink (mg/kg d.s.)	2100	105	505
lood (mg/kg d.s.)	455	20	110
cadmium (mg/kg d.s.)	15,0	2,0	2,8
nikkel (mg/kg d.s.)	245,0	3,2	52,0
kwik (mg/kg d.s.)	3,3	-	0,9
arsen (mg/kg d.s.)	3,6	0,4	1,1
<u>microbiologische bepalingen</u>			
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	4,0.10 ⁶	-	8,5.10 ⁵
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	5,1.10 ⁵	-	4,0.10 ⁵
Salmonella (/g d.s.)	10	-	1,6

Tabel 3. Resultaten analyses proef ASH

1.1.4 Uitvoering proef USH

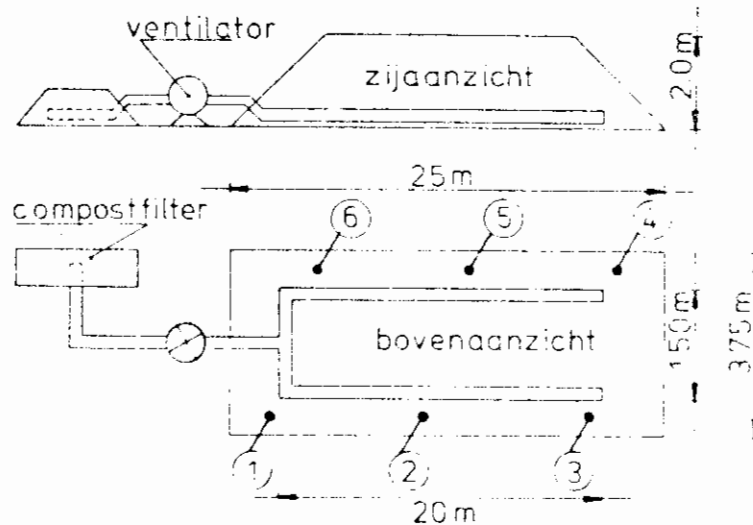
Aanvoer, mengen en stapelen van het uitgangsmateriaal heeft plaatsgevonden op de wijze zoals beschreven in hoofdstuk 2.3 van het rapport.

De stapeling was identiek aan ASH en is afgedekt met het gewezen luchtdoorlatend kunststofdoek. De plaats van de bemonsteringspunten is weergegeven in figuur 4.

In tabel 4 zijn de materiaalgegevens samengevat.

1.1.5 Waarnemingen proef USH

Deze proef werd gelijktijdig met en op dezelfde wijze uitgevoerd als proef ASH.



① Bemonsteringspunt

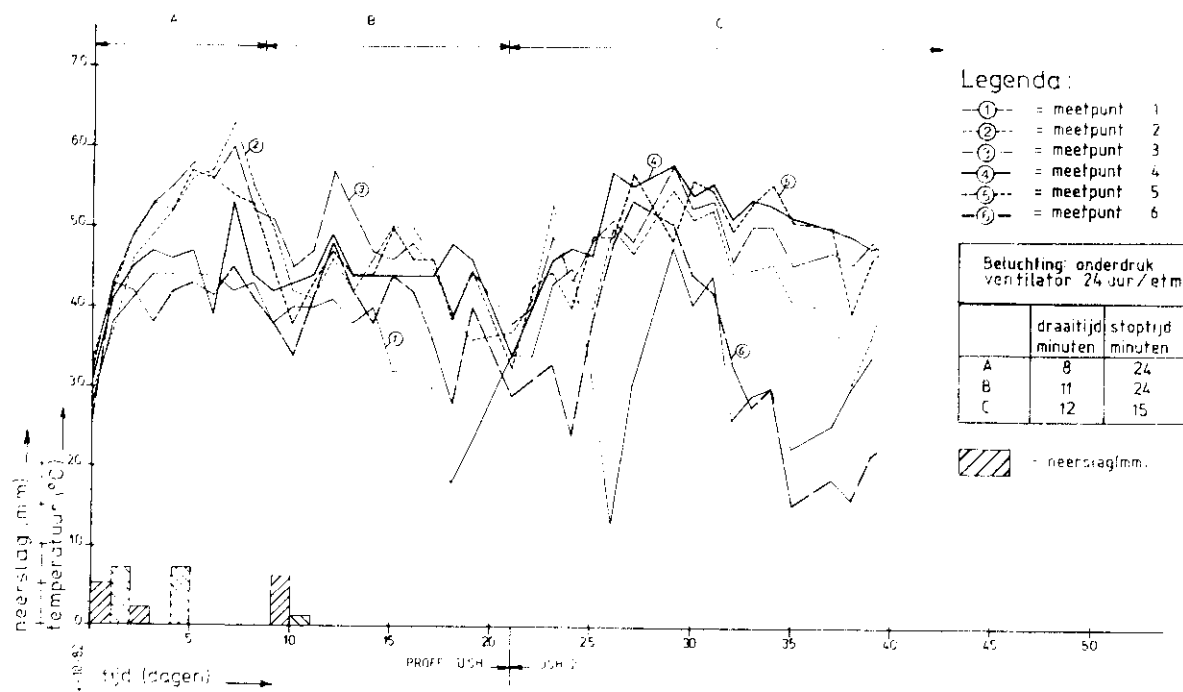
Figuur 4. Opstelling proef USH

	US	toeslagmateriaal houtsnippers
nat gewicht (ton)	25,0	10,0
volume (m ³)	25,0	50,0
drogestofgehalte (%)	24,8	38,5
gewicht drogestof (ton)	6,2	3,9
gloeirest (% van d.s.)	41,5	-
gewicht organische stof (ton)	3,63	-
toeslagfactoren:		
TF _v	1	2,00
TF _n	1	0,40
TF _d	1	0,63
<u>beluchting: onderdruk</u>		
ventilatorcapaciteit	:	525 m ³ .h ⁻¹
drukverschil	:	120 mmWk
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	20.150 m ³
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	137.300 m ³
gemiddelde composterings temperatuur	:	50 °C
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C
totaal benodigde luchttoevoer	:	137.300 m ³

Tabel 4. Gegevens uitgangsmaterialen proef USH

composteringstijd dagen	5	13	19	21	25
<u>uitgangsmateriaal</u>					
CZV (mg/l)	958	980	840	730	-
d.s.-gehalte (%)	26,4	30,1	32,0	34,8	-
gloeirest (% van d.s.)	59,3	58,0	52,0	53,1	-
zuurgraad (pH)	7,0	7,0	6,8	6,9	-
<u>afvoerlucht</u>					
CO ₂ (vol.%)	2,0	0,5	0,5	0,5	1,5
NH ₃ (ppm)	-	-	-	-	-
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	19,0	15,0	17,5	21,0	18,5

Tabel 5. Resultaten waarnemingen proef USH



Figuur 5. Temperatuurwaarnemingen proef USH

	Slib	toeslag- materiaal	eind- produkt
<u>chemische analyses</u>			
d.s.-gehalte (g/kg.d.s.)	26,4	28,5	24,8
stikstof (g/kg.d.s.)	31,0	1,1	15,0
fosfaat (g/kg.d.s.)	38,0	0,8	15,0
kalium (g/kg.d.s.)	2,0	0,7	1,2
calcium (g/kg.d.s.)	68,0	3,0	10,0
magnesium (g/kg.d.s.)	8,8	0,4	3,9
koolstof- elementair (g/kg.d.s.)	320	370	345
koper (mg/kg d.s.)	855	15	395
chrom (mg/kg d.s.)	105	2	60
zink (mg/kg d.s.)	2500	105	1100
lood (mg/kg d.s.)	790	20	325
cadmium (mg/kg d.s.)	12,0	2,0	5
nikkel (mg/kg d.s.)	75,0	3,2	37,0
kwik (mg/kg d.s.)	11,0	-	4,4
arsen (mg/kg d.s.)	4,1	0,4	3,1
<u>microbiologische bepalingen</u>			
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	$1,8 \cdot 10^5$	-	$4,0 \cdot 10^6$
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	$3,0 \cdot 10^4$	-	$1,0 \cdot 10^4$
Salmonella (/g d.s.)	10	-	5

Tabel 6. Resultaten analyses proef USH

De resultaten waren identiek, hoewel de temperatuur gemiddeld iets hoger was. Dit is verklaarbaar uit het drogestofgehalte van het uitgegiste slib dat hoger was dan bij het aëroob gestabiliseerde slib. Het eindprodukt was niet zeefbaar.

Het chemisch zuurstofverbruik van het eindprodukt was met 23,8% afgenomen ten opzichte van het slib bij aanvang, de gloeirrest nam af met 10,5%.

1.1.6 conclusies deel 1 van de 1e proevenserie

Op grond van het temperatuurverloop en de drogestofgehalten werd verondersteld dat het vochtgehalte in beide stapelingen remmend werkte op een continue compostering.

Geen duidelijk verschil was merkbaar tussen de proeven ASH en USH.

Het wijzigen van de draairichting van de ventilator had hier geen merkbaar effect.

De toegepaste kunststofdoeken waarmee de stapels waren afgedekt, voldeden redelijk als bescherming tegen neerslag. Verondersteld werd echter dat, zonder extra maatregelen, in de beginfase van de compostering de opgewekte warmte te snel zou zijn afgevoerd.

Op grond van deze conclusie werd besloten aan beide proeven extra toeslagmateriaal toe te voegen om het drogestofgehalte van het te composteren mengsel te verhogen.

De vervolgprouven zijn onder de afkorting ASH 2 en USH 2 voortgezet

in het tweede onderdeel van de eerste proevenserie.

1.2

Deel 2 van de le proevenserie

In onderdeel 2 zijn vier proeven tegelijkertijd uitgevoerd, waarvan twee een voortzetting zijn van onderdeel 1.

De benaming en toegepaste materialen van de proeven zijn weergegeven in tabel 7.

proef materiaal	ASH 2	USH 2	ASR	USS
slib	aëroob gestabiliseerd	uitgegist	aëroob gestabiliseerd	uitgegist
toeslagmateriaal	houtsnippers	houtsnippers	rubbersnippers	stro
afdek materiaal	kunststofdoek	kunststofdoek	compost	compost

Tabel 7. Gegevens proeven deel 2 van de le proevenserie

De proeven ASH 2 en USH 2 dienden daarbij als referentie voor de proeven ASR en USS.

Van deze laatste proeven werden ten opzichte van de referentieproeven de toeslagmaterialen gevarieerd.

Uit de literatuurstudie bleek dat de potentiële energie-inhoud van de te composteren mengsels vaak wordt gekwantificeerd door middel van het C/N-quotiënt.

Door het toevoegen van toeslagmaterialen met een relatief hoog C-gehalte, zou de verhouding tussen C en N worden beïnvloed met als mogelijk gevolg een snellere compostering.

Bovendien ontstaat door het toevoegen van toeslagmateriaal een porreuzer mengsel dat toegankelijker is voor de toevoer van zuurstof en waaruit de vluchtige afbraakcomponenten zonder veel weerstand afgevoerd kunnen worden.

Teneinde zich een indruk te kunnen vormen van de validiteit van deze veronderstellingen werden de volgende toeslagmaterialen toegepast:

- houtsnippers: hiervan wordt verondersteld dat zij voor een belangrijk deel bestaan uit koolstof. Uit de literatuurgegevens blijkt dat op een voldoende bijdrage aan de porositeit van het te composteren mengsel mag worden gerekend wanneer de verhouding slib:toeslagmateriaal = 1:2 à 2,5 (volumebasis);
- rubbersnippers: van rubber wordt verondersteld dat dit zich inert zal gedragen en het C/N-quotiënt van het te composteren mengsel niet zal beïnvloeden.

Voor de proef is gebruik gemaakt van versneden autobanden van synthetisch rubber, afmetingen circa 10 x 10 cm;

- stro: stro is in sommige delen van ons land een veel voorkomend materiaal dat tegen relatief geringe kosten kan worden verkregen.

Het heeft een hoog drogestofgehalte, terwijl werd verondersteld dat het zich op vrij eenvoudige wijze zou laten mengen met zuiveringsslib.

aanvoer, mengen, opbouw en voorzieningen

Het toeslagmateriaal dat werd toegevoegd was identiek aan het materiaal dat tijdens het eerste onderdeel was gebruikt. Na een grove dosering en menging met een kraan werd nogmaals een mengbewerking met behulp van een mestverspreider uitgevoerd. Vervolgens werd het materiaal op de beluchtingsbuizen gestapeld. De verkregen stapelingen hadden de volgende afmetingen:

- lengte : 20 m;
- breedte: 4 m;
- hoogte : 2 m.

Vanwege de reeds eerder geconstateerde inklink werd een stapelhoogte van 2,0 m als maximum aangehouden.

In afwijking van het eerste deel werd onder de beluchtingsbuizen een werkvloer van houtsnippers geformeerd.

De laagdikte bedroeg 0,30 m. De hart op hart-afstand van de beluchtingsbuizen werd verkleind tot 1,30 m.

Bij de proef met rubbersnippers is de menging van uitgangsmateriaal en toeslagmateriaal alleen uitgevoerd met een kraan. Menging met behulp van de mestverspreider bleek niet mogelijk doordat de rubbersnippers te veerkrachtig waren en werden weggeslingerd.

Vanwege de beperkte hoeveelheid slib en toeslagstoffen waren de afmetingen van deze stapeling beperkter: lengte x breedte x hoogte = 10 x 3,5 x 1,5 m.

Bij de laatste uitgevoerde proef van de eerste proevenserie werd tarwestro als toeslagmateriaal toegepast.

Het stro werd in balen aangevoerd. Deze balen werden met behulp van een opraaisnijwagen losgehaald en gehakseld.

Het losse stro werd vervolgens eerst gemengd met behulp van de kraan en daarna verder gemengd met de mestverspreider. Deze verkleining van het toeslagmateriaal voldeed redelijk om het uitgangsmateriaal goed te mengen met het toeslagmateriaal. Dit mengsel werd direct door de mestverspreider gelost boven de beluchtingsbuizen om het indrukken van de stapeling door manipulatie met de kraan zoveel mogelijk te voorkomen. Om deze reden heeft de stapeling ook andere afmetingen gekregen dan de overige proeven (stapelhoogte 1,60 m).

Het tijdsverloop tussen de eerste grove menging en de tweede bewerking met de mestverspreiders was ca. zestien uur. In deze periode werd door het stro reeds een hoeveelheid vocht uit het slib geabsorbeerd, waardoor de materialen beter aan elkaar "hechtten". De tweede menging is hierdoor positief beïnvloed.

1.2.2 uitvoering proef ASH 2

Het te composteren materiaal van de proef ASH 2 bestond uit het eindprodukt van de proef ASH aangevuld met extra toeslagmateriaal. De afmetingen en vorm van de stapeling voldeden aan figuur met uitzondering van de stapelhoogte, die circa 2,30 m was. Op basis van de drogestofbepaling is het gewicht van het uitgangsmateriaal bekend.

De gegevens en aannamen zijn vermeld in tabel 8 waarbij is uitgegaan van de oorspronkelijke gegevens van het slib.

	AS	toeslagmateriaal houtsnippers
nat gewicht (ton)	20	13,2
volume (m ³)	20	66,0
drogestofgehalte (%)	17,3	38,5
gewicht drogestof (ton)	3,5	5,1
gloeirest (in % van d.s.)	34,3	-
gewicht organische stof (ton)	2,27	
Toeslagfactoren:		
TF _v	1	3,30
TF _n	1	0,66
TF _d	1	1,46
<u>beluchting: onderdruk</u>		
ventilatorcapaciteit	:	525 m ³ .h ⁻¹
drukverschil	:	120 mmWk
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	12.600 m ³
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	155.800 m ³
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C
totaal benodigde luchttoevoer	:	155.800 m ³

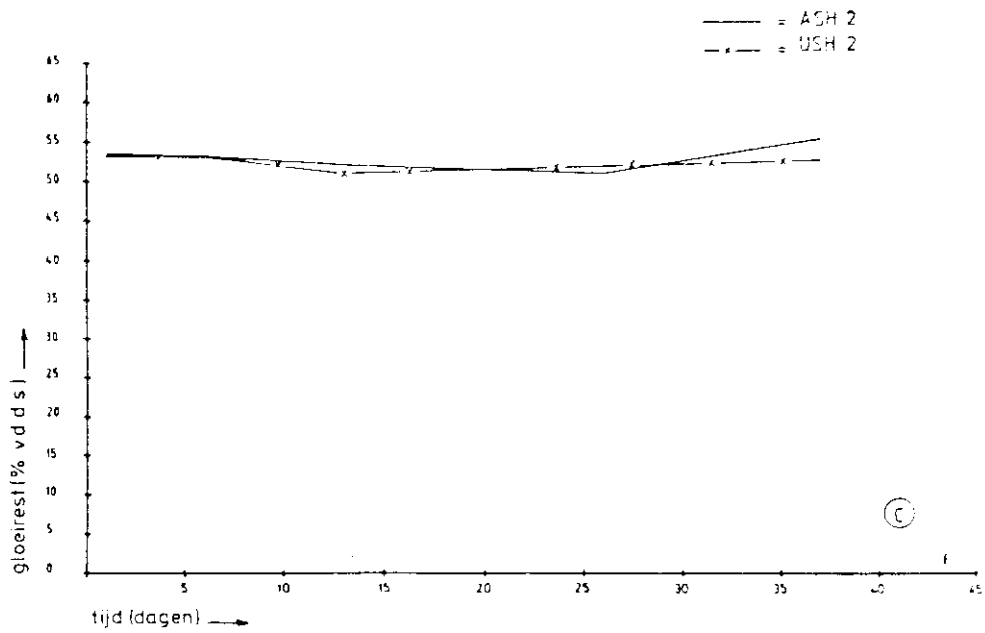
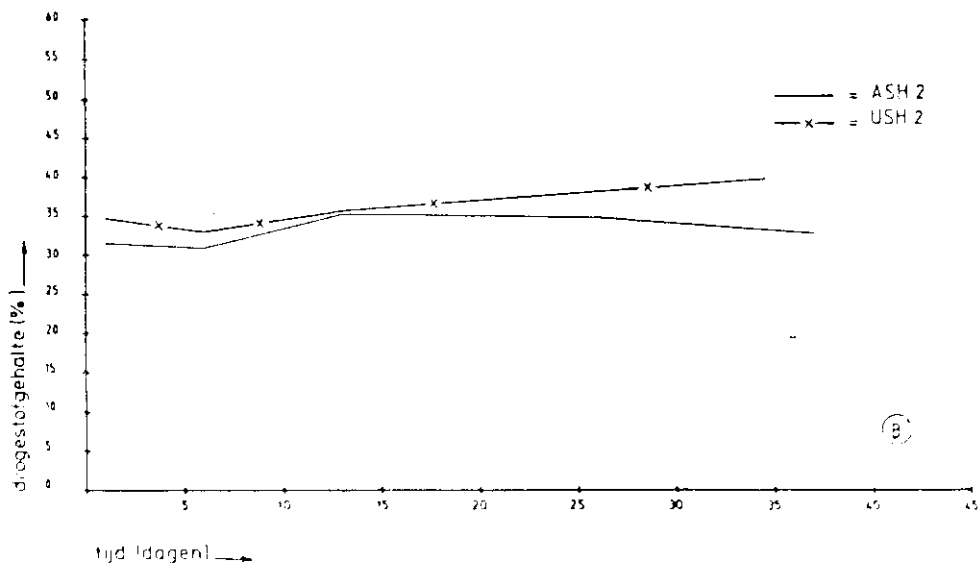
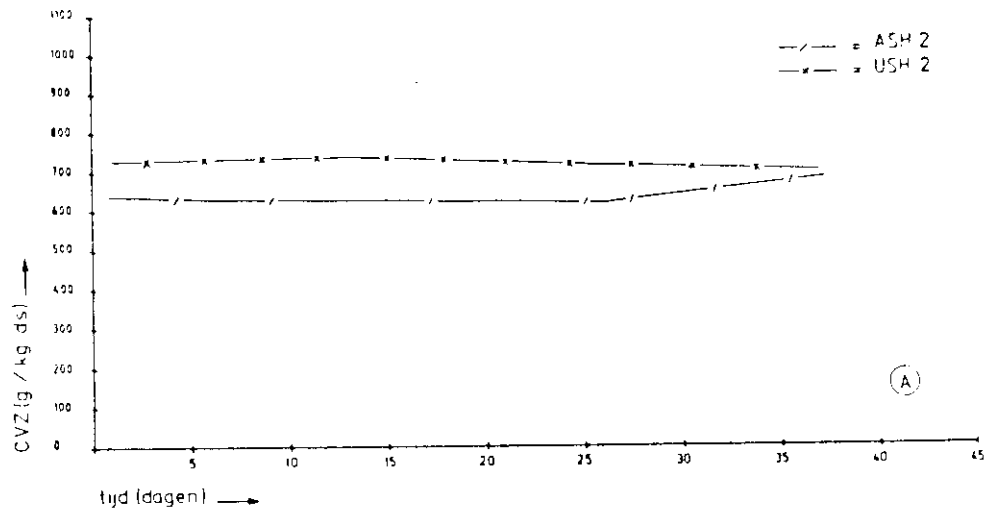
Tabel 8. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASH 2

1.2.3 waarnemingen proef ASH 2

De hoeveelheid lucht welke werd toegevoerd aan ASH en ASH 2 bedroeg 198.480 m³, 29% meer dan de berekende hoeveelheid.

Na het stapelen van het te composteren materiaal werd een vrij sterke temperatuurtoename waargenomen die echter weer vrij snel afnam. Het verlengen van de draaitijd gedurende enkele dagen had geen waarneembare temperatuurverhoging tot gevolg. Omdat geen verdere temperatuurverhoging werd geconstateerd, is de beluchting 6 weken na aanvang gestaakt.

Bij deze proef werden kunststofdoeken als afdek materiaal gebruikt. Hoewel deze zeker voldoen ten aanzien van het tegenhouden van vocht gedurende een korte tijd van neerslag, treedt gedurende langere periodes van neerslag toch vochtdoorslag op. Gedurende de periode waarin het compostingsproces verondersteld werd zich te voltrekken, en aan het eind daarvan is geen merkbare verandering van het materiaal geconstateerd.



Figuur 6. Het chemisch zuurstofverbruik (A), het drogestofgehalte (B) en de gloeirest (C) als functie van de composteringstijd

composteringstijd dagen	1	6	13	26	eind- produkt
<u>uitgangsmateriaal</u>					
CZV (mg/l)	640	630	629	622	676
d.s.-gehalte (%)	31,4	31,0	35,3	34,7	32,6
gloeirest (% van d.s.)	53,5	53,0	52,0	50,9	55,2
zuurgraad (pH)	5,9	-	5,7	-	5,9
<u>afvoerlucht</u>					
CO ₂ (vol.%)	0,5	-	0,5	-	0,5
NH ₃ (ppm)	-	-	-	-	-
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0

Tabel 9. Resultaten waarnemingen proef ASH 2

	Slib	toeslag- materiaal	eind- produkt
<u>Chemische analyses</u>			
d.s.-gehalte (g/kg d.s.)	31,4	38,5	32,6
stikstof (g/kg d.s.)	11,0	1,1	9,2
fosfaat (g/kg d.s.)	8,6	0,8	6,9
kalium (g/kg d.s.)	1,4	0,7	1,1
calcium (g/kg d.s.)	11,0	3,0	9,1
magnesium (g/kg d.s.)	2,1	0,4	1,8
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	435	370	470
koper (mg/kg d.s.)	100	15	84
chrom (mg/kg d.s.)	67	2	53
zink (mg/kg d.s.)	505	105	415
lood (mg/kg d.s.)	110	20	90
cadmium (mg/kg d.s.)	2,8	2,0	1,4
nikkel (mg/kg d.s.)	52,0	3,2	43,0
kwik (mg/kg d.s.)	0,9	-	0,7
arsen (mg/kg d.s.)	1,1	0,4	0,6
<u>microbiologische bepalingen</u>			
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	8,5.10 ⁵		7,3.10 ⁵
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	4,0.10 ⁵		1,6.10 ²
Salmonella (/g d.s.)	1,6		0,2

Tabel 10. Resultaten analyses proef ASH 2

.4 uitvoering proef USH 2

Het te composteren materiaal van de proef USH 2 bestond uit het eindprodukt van de proef USH aangevuld met extra toeslagmateriaal. De afmetingen en vorm van de stapelingen voldeden aan figuur 4 met uitzondering van de hoogte die circa 2,30 m bedroeg. Op basis van de drogestofbepaling van het eindprodukt is het gewicht van het uitgangsmateriaal berekend. Dit is vermeld in tabel 11.

	US	toeslagmateriaal houtsnipper
nat gewicht (ton)	25,0	14,0
volume (m ³)	25,0	70,0
drogestofgehalte (%)	24,8	38,5
gewicht droge stof (ton)	6,2	5,4
gloeirest (% van d.s.)	41,5	-
gewicht organische stof (ton)	3,63	-
toeslagfactoren:		
TF _v	1	2,80
TF _n	1	0,56
TF _d	1	0,87
beluchting: onderdruk		
ventilatorcapaciteit	:	525 m ³ .h ⁻¹
drukverschil	:	120 mmWk
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	20.150 m ³
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	137.300 m ³
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C
totaal benodigde luchttoevoer	:	137.300 m ³

Tabel 11. Gegevens uitgangsmaterialen proef USH 2

1.2.5 waarnemingen proef USH 2

De temperatuurontwikkeling was te gering om grote hoeveelheden vocht af te voeren. Op grond van de gemeten CO₂- en O₂-metingen in de afvoerlucht is geconcludeerd dat de afbraak van organische stof slechts in geringe mate plaatsvond.

De zuurstofconcentratie van de lucht binnen de stapelingen, op een diepte van circa 1,5 m onder het oppervlak bleek redelijk constant (21,0 vol.%).

Inspectie van het inwendige van de stapeling zevenenvijftig dagen na aanvang toonde geen visuele verbetering van het materiaal. Het materiaal was nauwelijks zeefbaar. Met uitzondering van de Salmonella-concentratie welke was gereduceerd, bleken de concentraties van de overige indicator-organismen nauwelijks afgenomen.

De concentraties van de bemestende stoffen en van de micro-elementen in het eindprodukt bleken met gemiddeld 77% (standaardafwijking 8%) ten opzichte van het slib afgenomen als gevolg van verdunning met toeslagmateriaal.

Alleen C-elementair is toegenomen hetgeen, evenals bij de proef ASH, is toe te schrijven aan algengroei.

Het N-gehalte is niet meer afgenomen dan de concentraties van overige geanalyseerde stoffen. De C/N-verhouding nam toe van 10,3 tot 50,5 in het eindprodukt.

composteringstijd dagen	1	6	13	26	eind- produkt
<u>uitgangsmateriaal</u>					
CZV (mg/l)	730	-	737	-	694
ds-gehalte (%)	34,8	33,0	35,7	-	38,9
gloeirest (% van d.s.)	53,1	53,1	51,0	-	52,5
zuurgraad (pH)	7,3	6,1	6,8	-	6,1
<u>afvoerlucht</u>					
CO ₂ (vol.%)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
NH ₃ (ppm)	0	0	0	0	0
H ₂ S (ppm)					
O ₂ (vol.%)	21	21	19	17,5	21

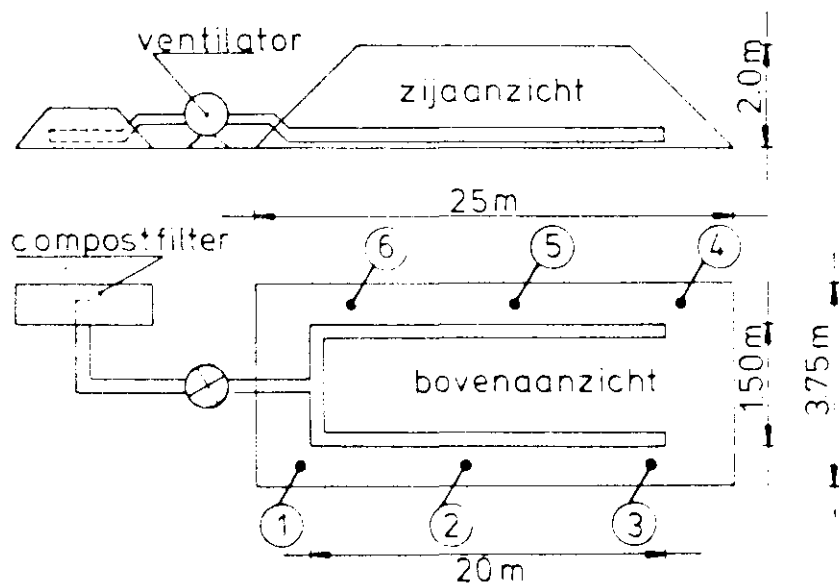
Tabel 12. Resultaten waarnemingen proef USH 2

	Slib	toeslag- materiaal	eind- produkt
<u>Chemische analyses</u>			
drogestof (g/kg d.s.)	34,8	38,5	38,2
stikstof (g/kg d.s.)	15,0	1,1	9,1
fosfaat (g/kg d.s.)	15,0	0,8	6,4
kalium (g/kg d.s.)	1,2	0,7	0,7
calcium (g/kg d.s.)	30,0	3,0	16,0
magnesium (g/kg d.s.)	3,9	0,4	1,9
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	395	370	460,0
koper (mg/kg d.s.)	355	15	150
chrom (mg/kg d.s.)	60	2,0	27
zink (mg/kg d.s.)	1100	105	460
lood (mg/kg d.s.)	325	20	135
cadmium (mg/kg d.s.)	5,0	2,0	2,2
nikkel (mg/kg d.s.)	37,0	3,2	20,0
kwik (mg/kg d.s.)	4,4	-	1,5
arseen (mg/kg d.s.)	3,1	0,4	1,6
<u>microbiologische bepalingen</u>			
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	4,0.10 ⁶	-	2,2.10 ⁶
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	1,0.10 ⁴	-	1,5.10 ⁴
Salmonella (/g d.s.)	5	-	0,1

Tabel 13. Resultaten analyses proef USH 2

1.2.6 uitvoering proef USS

De gegevens van het te composteren materiaal zijn weergegeven in tabel 14. Voor het volume van het toelagmateriaal is het volume aangehouden zoals dit werd bepaald bij aanvoer van het materiaal.



① Bemonsteringspunt

Figuur 7. Opstelling proef USS

	USS	toelagmateriaal stro
nat gewicht (ton)	20	2,75
volume (m ³)	20	25-50
drogestofgehalte (%)	24,8	86,3
gewicht drogestof (ton)	4,96	2,37
gloeirest (in % van ds)	41,5	-
gewicht organische stof (ton)	2,90	-
toelagfactoren:		
TF _v	1	1,25-2,5
TF _n	1	0,14
TF _d	1	0,48
beluchting: onderdruk		
ventilatorcapaciteit	:	525 m ³ .h ⁻¹
drukverschil	:	120 mmWk
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	16.120 m ³
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	113.100 m ³
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C
totaal luchttoevoer	:	113.100 m ³

Tabel 14. Gegevens uitgangsmaterialen proef USS

Het mengen van toeslagmateriaal en uitgangsmateriaal door de mestverspreider moest meerdere malen herhaald worden om tot een bevredigend resultaat te komen.

1.2.7 waarnemingen proef USS

Na mengen en stapelen maakte de stapeling een volumineuze indruk. Gedurende tien dagen na aanvang van de beluchting trad een sterke inklink op waardoor de hoogte van de stapeling afnam tot 1,20 m. Het insteken van de temperatuurlans kostte meer moeite dan bij de proeven met houtsnippers als toeslagmateriaal.

De mate van inklink werd voornamelijk geweten aan de afmetingen en de structuur van het toeslagmateriaal.

Gedurende de actieve composteringsperiode werd zowel via de afvoerlucht van de ventilator als aan het oppervlak van de stapeling water afgevoerd door verdamping. De afvoer van de vochtige lucht door het compostfilter had de volledige verzadiging met vocht hiervan tot gevolg.

Hierdoor nam de weerstand aan de perszijde van de ventilator toe.

Om dit te voorkomen is tussen stapeling en ventilator een condensvat aangebracht. Het condenswater werd regelmatig afgetapt. Deze maatregel bleek voldoende effectief.

De via het compostfilter afgevoerde lucht was verzadigd met waterdamp, terwijl de temperatuur van de afvoerlucht de temperatuur in het compostfilter deed toenemen tot circa 40°C.

Na zeven dagen trad een temperatuurdaling op, weer gevolgd door een geringe toename. De temperatuurverdeling in de stapeling was ongelijkmatig. Gemiddeld bleken de temperaturen aan de ene lange zijde hoger dan aan de andere lange zijde.

Het chemisch zuurstofverbruik van het uitgangsmateriaal nam af van 980 mg.l⁻¹ tot 825 mg.l⁻¹.

De temperatuur bleek, na een snelle opbouw tot maximaal 70°C, af te nemen tot een gemiddelde van 45°C. Na een periode van veertien dagen nam de temperatuur voortdurend af.

Drieëntwintig dagen na aanvang werd met een grondboor de stapeling bemonsterd. Het materiaal werd visueel beoordeeld en geanalyseerd op drogestofgehalte, gloeirest en chemisch zuurstofverbruik.

De structuur van het slib was als zodanig niet herkenbaar.

Veertig dagen na aanvang werd een tweede observatie uitgevoerd. De temperatuur was inmiddels zeer sterk afgenomen, terwijl de afdekcompost door neerslag volledig met water was verzadigd. Hierdoor was een zodanig hoge bovenbelasting ontstaan dat de hoogte van de stapeling op enkele plaatsen minder was dan 1,00 m.

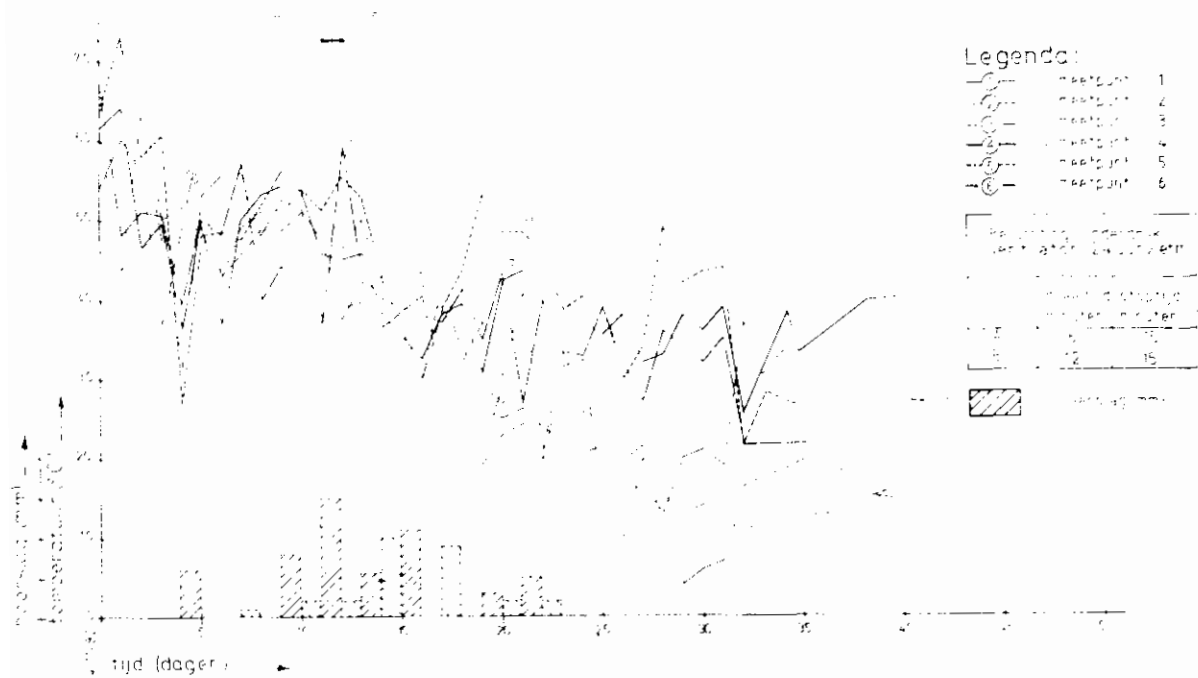
Na verwijdering van de afdekcompost bleek het verkregen materiaal aan de bovenzijde geheel met vocht te zijn verzadigd tot op een diepte van 0,30 m tot 0,50 m.

De drogestofgehalten bleken in het algemeen afgenomen met 10%-20% ten opzichte van die tijdens de observatie op de drieëntwintigste dag.

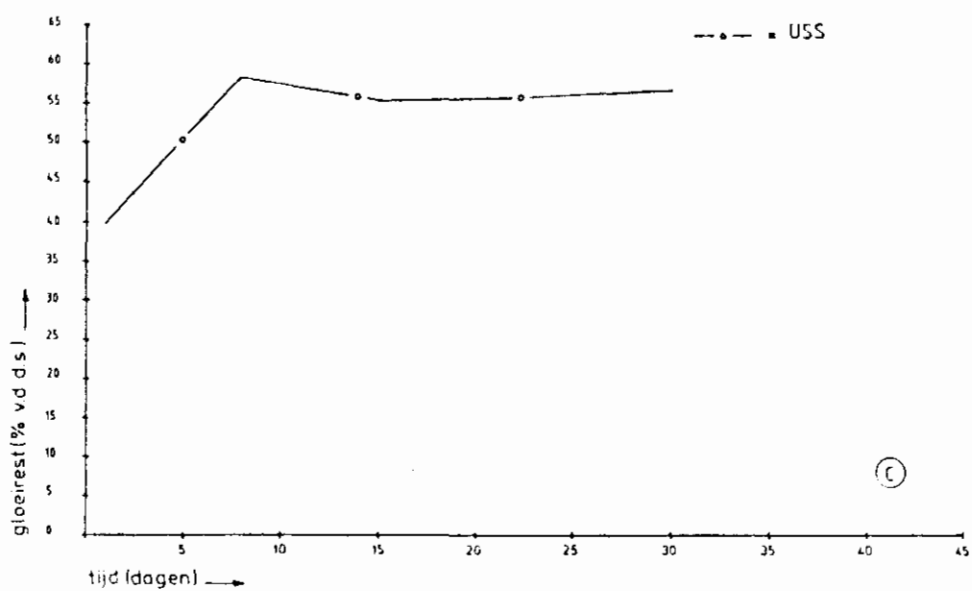
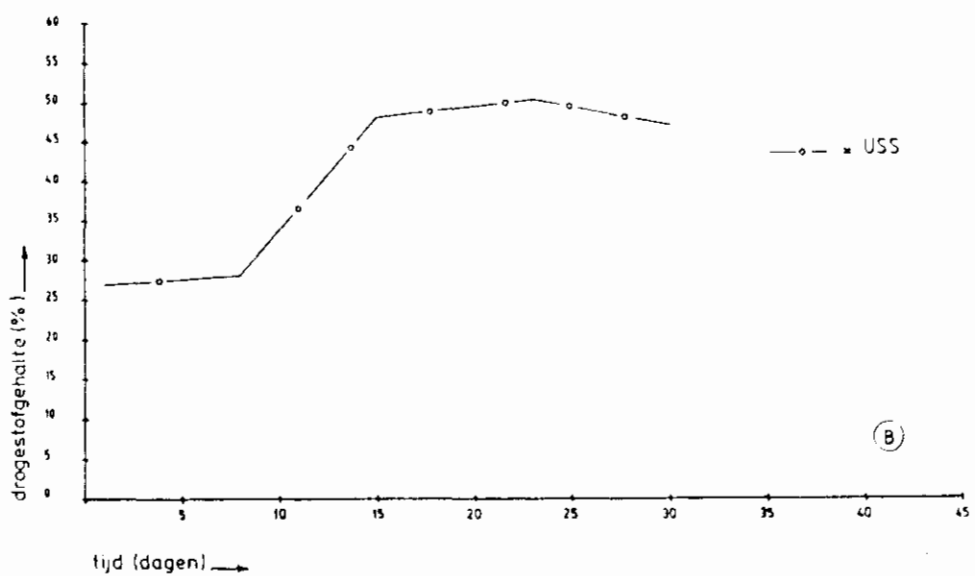
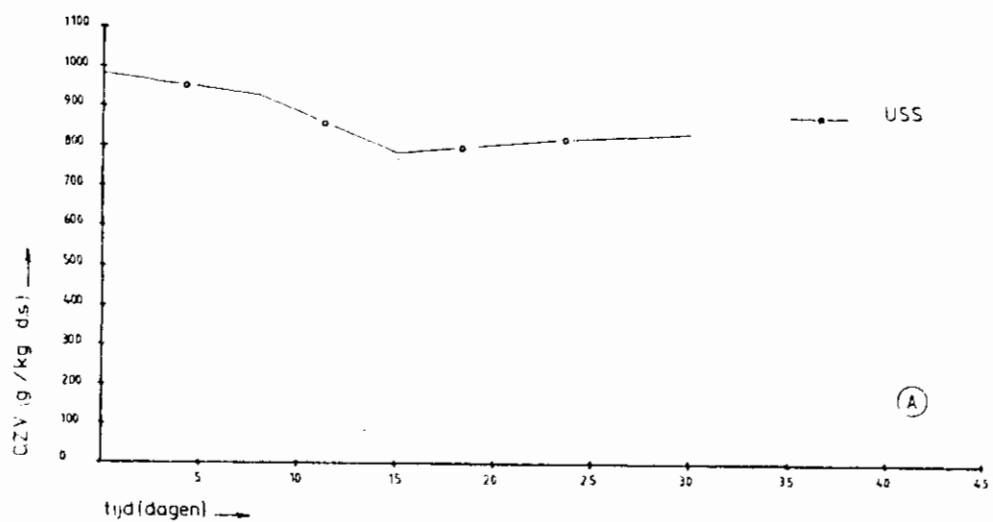
De afvoerlucht bleek dezelfde temperatuur te hebben als de omgevingstemperatuur terwijl de hoeveelheid condensvocht verwaarloosbaar klein was.

composteringstijd dagen	1	8	15	23	30	eind- produkt
<u>uitgangsmateriaal</u>						
CZV (mg/l)	980	925	781	815	-	832
d.s.-gehalte (%)	26,9	28,2	47,9	50,4	-	46,3
gloeirest (% van d.s.)	39,6	58,3	55,3	55,7	-	56,5
zuurgraad	7,3	7,0	-	7,0	-	6,1
<u>afvoerlucht</u>						
CO ₂ (vol.%)	3,0	2,5	1,5	0,5	-	-
NH ₃ (ppm)	0	0	0	0	0	0
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	17,5	15,5	21	21	21	21

Tabel 15. Resultaten waarnemingen proef USS



Figuur 8. Temperatuurwaarnemingen proef USS



Figuur 9. Het chemisch zuurstofverbruik (A), het drogestofgehalte (B) en de gloeirest (C) als functie van de composteringstijd

	slib	eind- produkt
<u>chemische analyses:</u>		
d.s.-gehalte (g/kg d.s.)	26,9	46,3
stikstof (g/kg d.s.)	31	28
fosfaat (g/kg d.s.)	35	32
kalium (g/kg d.s.)	1,7	4,8
calcium (g/kg d.s.)	61	57
magnesium (g/kg d.s.)	8,6	7,7
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	320	310
koper (mg/kg d.s.)	875	770
chroom (mg/kg d.s.)	115	110
zink (mg/kg d.s.)	2500	2150
lood (mg/kg d.s.)	790	690
cadmium (mg/kg d.s.)	11,0	9,8
nikkel (mg/kg d.s.)	93,0	69
kwik (mg/kg d.s.)	9,4	6,0
arsen (mg/kg d.s.)	4,1	2,8
<u>microbiologische bepalingen</u>		
bacteriën van de coli-groep (/g d.s.)	$6 \cdot 10^6$	$3,9 \cdot 10^5$
thermotolerante bacteriën van de coli-groep (E-coli) (/g d.s.)	$3,3 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^2$
Salmonella (/g d.s.)	0,9	0,2

Tabel 16. Resultaten analyses proef USS

Uit de toename van de gloeirest en de waargenomen CO₂-concentraties in de afvoerlucht blijkt dat er toch enige afbraak van organisch materiaal heeft plaatsgevonden.

Het was niet mogelijk het eindprodukt te scheiden in toeslagmateriaal en gecomposteerd uitgangsmateriaal.

Conclusies uit proef USS

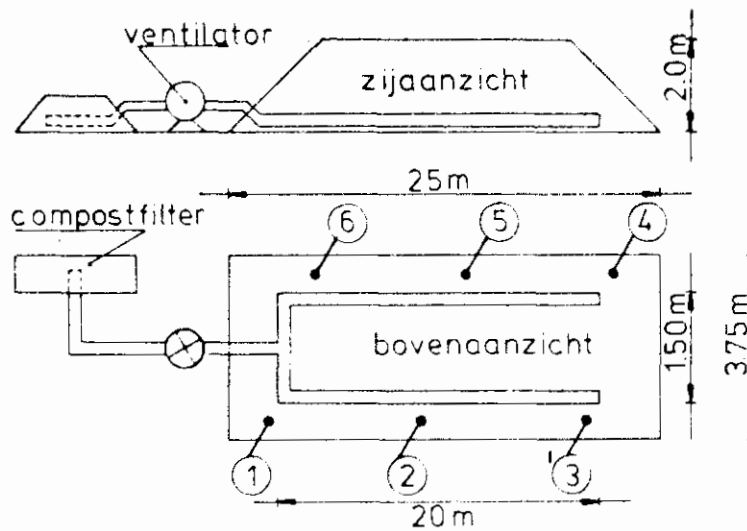
- stro als toeslagmateriaal zal het composteringsproces van zuiveringsslib positief beïnvloeden. Dit vindt zijn oorzaak in de vochtbufferende werking van het toeslagmateriaal;
- door de geringe afmetingen van stro en de structuur zal de stapeling sterk inklinken waardoor de porositeit van de stapeling sterk afneemt. Tengevolge daarvan zal het composteringsproces worden verstoord, de temperatuur zal dalen en de vochtverwijdering zal afnemen;
- de afvoer van vocht via de ventilator en het compostfilter zal het vochtgehalte in het compostfilter en daardoor de luchtweerstand doen toenemen. Het plaatsen van een condensvat in de afvoerleiding van de ventilator voor het compostfilter kan dit voorkomen.

1.2.8 uitvoering proef ASR

Bij deze proef werden rubbersnippers als toeslagmateriaal gebruikt. Aangezien de rubbersnippers niet in staat zijn om vocht te absorberen is slechts de toeslagfactor op basis van het volume aangehouden. De gegevens van de materialen zijn vermeld in tabel 17.

In tegenstelling tot de proeven waarbij een toeslagmateriaal is gebruikt dat niet-inert is, zoals hout en stro, is voor de proef ASR

alleen de gerealiseerde volumeverhouding gegeven.



① Bemonsteringspunt

Figuur 10. Opstelling proef ASR

	AS	toeslagmateriaal rubbersnippers
nat gewicht (ton)	10	17
volume (m ³)	10	25
drogestofgehalte (%)	15,6	100
gewicht drogestof (ton)	1,56	17
gloeirest (% van d.s.)	31,4	-
gewicht organische stof (ton)	1,07	-
toeslagfactor TF _v	1	2,5
<u>beluchting: onderdruk</u>		
ventilatorcapaciteit	:	525 m ³ .h ⁻¹
drukverschil	:	120 mmWk
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	5.950 m ³
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	71.130 m ³
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C
totaal benodigde luchttoevoer	:	71.130 m ³

Tabel 17. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASR

Omdat het toeslagmateriaal een afzonderlijke component blijft binnen de stapeling en het drogestofgehalte van het te composteren mengsel nauwelijks door rubber wordt beïnvloed, zou het onjuist zijn de toeslagfactoren op basis van de massabalans te schatten. Het toeslagmateriaal is niet in staat om vocht op te nemen en verschaft uitsluitend porositeit aan de stapeling.

Vanwege het oriënterende karakter van de proef is in eerste instantie gebruik gemaakt van de op dat moment leverbare hoeveelheid rubbersnippers.

1.2.9 waarnemingen proef ASR

Na mengen en stapelen ontstond een stapeling welke voldoende poreus was voor luchttoetreding. Menging van uitgangsmateriaal en toeslagmateriaal was alleen mogelijk door middel van een kraan. Tijdens de actieve composteringsperiode nam de temperatuur binnen de stapeling toe tot 50°C, daarna nam de temperatuur sterk af. De beluchtingstijd is een aantal malen gevarieerd. In de afvoerlucht werden geen CO₂-concentraties van enige betekenis gemeten, terwijl ook uit de analyse niet is gebleken dat de organische stof werd afgebroken.

	slib	eind- produkt
<u>chemische analyses</u>		
d.s.-gehalte (g/kg d.s.)	15,6	14,0
stikstof (g/kg d.s.)	53	-
fosfaat (g/kg d.s.)	35	-
kalium (g/kg d.s.)	4,8	-
calcium (g/kg d.s.)	31	-
magnesium (g/kg d.s.)	8,6	-
koolstof- elementair (g/kg d.s.)		
koper (mg/kg d.s.)	405	-
chrom (mg/kg d.s.)	180	-
zink (mg/kg d.s.)	2050	-
lood (mg/kg d.s.)	455	-
cadmium (mg/kg d.s.)	10	-
nikkel (mg/kg d.s.)	190	-
kwik (mg/kg d.s.)	3,4	-
arsen (mg/kg d.s.)	3,2	-
<u>microbiologische bepalingen</u>		
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	3,2.10 ⁶	4,2.10 ⁶
thermotolerante bacteriën van de coli-groep (E-coli) (/g d.s.)	1,8.10 ⁵	2,1.10 ⁵
Salmonella (/g d.s.)	1,6	1,2

Tabel 18. Resultaten analyses proef ASR

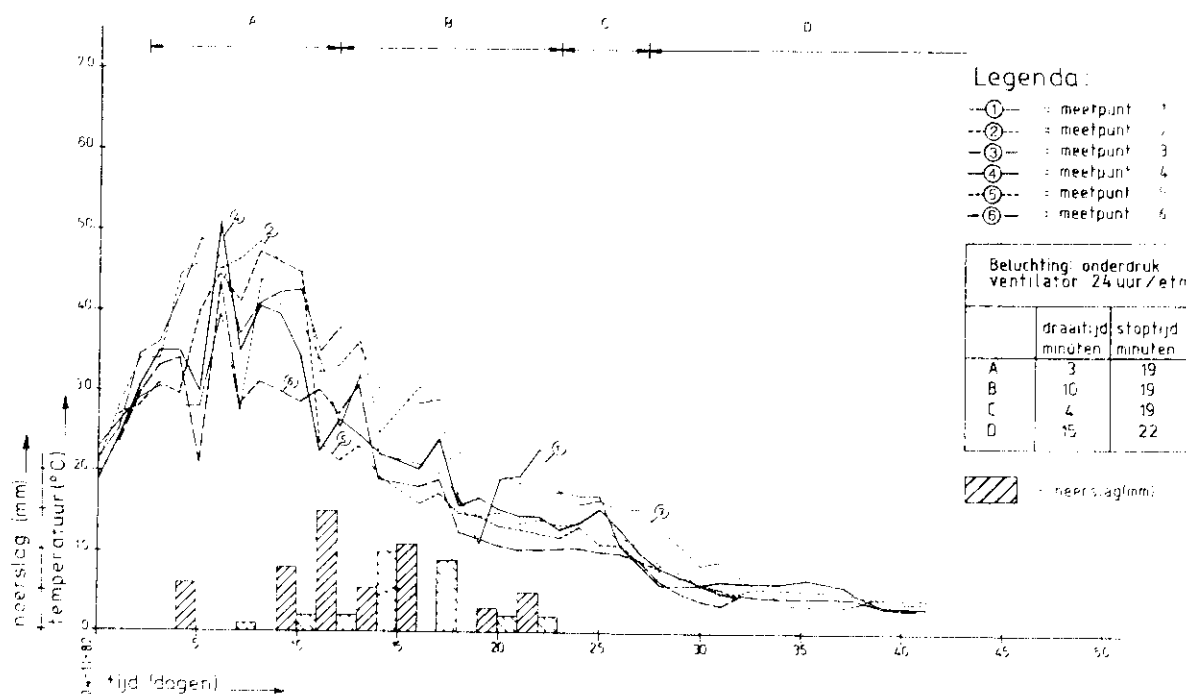
Het chemisch zuurstofverbruik nam wel af van 1057 mg/l tot 720 mg/l. Aangezien het verloop van de proef onbevredigend was, is de chemische analyse van het eindprodukt achterwege gelaten.

Het slecht verlopen van het composteringsproces wordt toegeschreven aan het ontbreken van een vochtbufferende werking in het toeslagmateriaal.

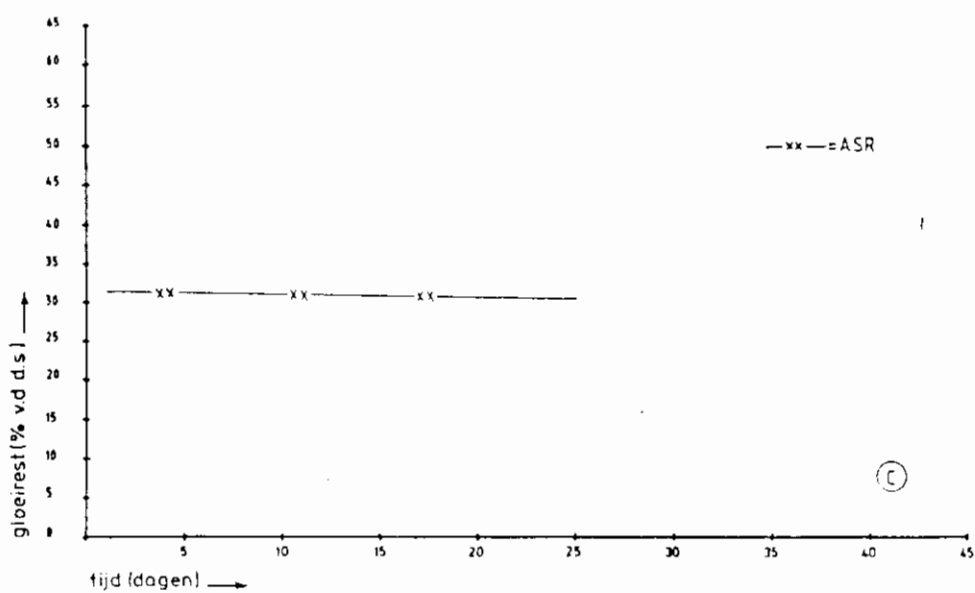
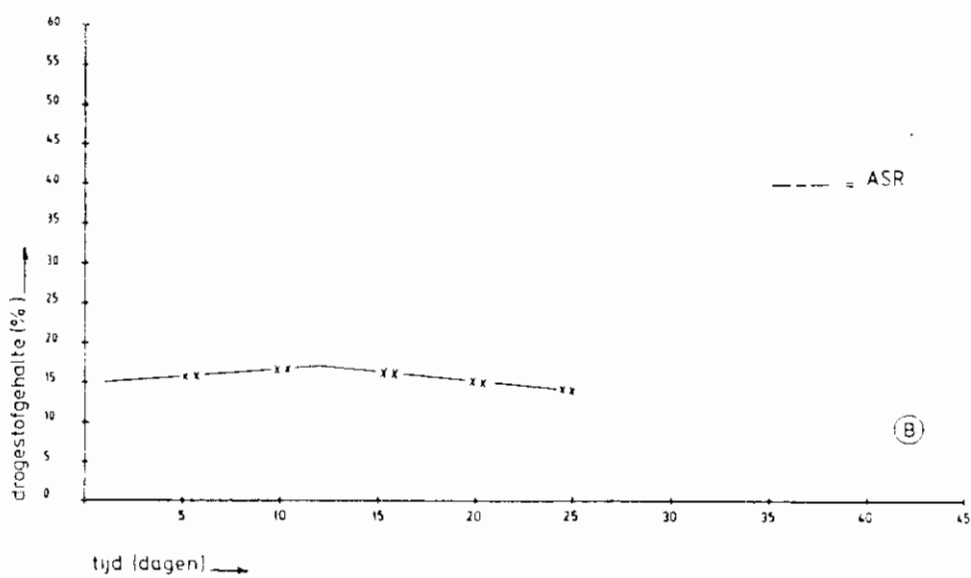
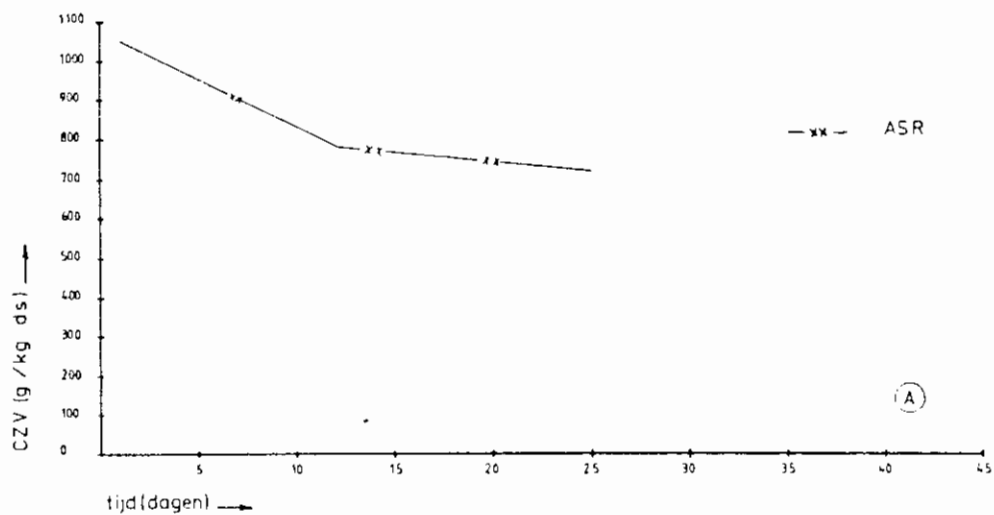
Uitgangsmateriaal en toeslagmateriaal konden na afloop van de proef niet van elkaar worden gescheiden door middel van zeven.

composteringstijd dagen	1	5	12	eind- produkt
<u>uitgangsmateriaal</u>				
CZV (mg/l)	1057	-	780	720
d.s.-gehalte (%)	15,6	-	17,2	14,0
gloeirest (% van d.s.)	31,4	-	-	30,2
zuurgraad (pH)	7,0	-	-	7,0
<u>afvoerlucht</u>				
CO ₂ (vol.%)	-	1,0	-	-
NH ₃ (ppm)	-	-	-	-
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	21	21	21	21

Tabel 19. Resultaten waarnemingen proef ASR



Figuur 11. Temperatuurwaarnemingen proef ASR



Figuur 12. Het chemisch zuurstofverbruik (A), het drogestofgehalte (B) en de gloeirest (C) als functie van de composteringstijd

1.2.10 conclusies uit de le proevenserie

Uit de resultaten van de praktijkproeven van onderdeel twee van de eerste proevenserie kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

Vochtgehalte en porositeit

Het vochtgehalte c.q. het drogestofgehalte van het te composteren materiaal (uitgangsmateriaal en toeslagmateriaal) is op zichzelf van beperkte betekenis als procesparameter.

De mengverhouding van uitgangsmateriaal en toeslagmateriaal wordt meer bepaald door de vereiste porositeit van de stapeling dan door het gewenste vochtgehalte van de stapeling. Dat het toeslagmateriaal ook een vochtabsorberend vermogen moet bezitten blijkt duidelijk uit de resultaten van de proeven met hout als toeslagmateriaal, en de proeven met stro respectievelijk rubber als toeslagmateriaal.

Het vochtgehalte van de houtsnippers was relatief hoog, 60-65%, in vergelijking met stro, met een vochtgehalte van hoogstens 20%.

Hoewel de porositeit van de proeven ASH en USH zowel tijdens de eerste als het tweede deel aanzienlijk groter was dan van de proef USS, bleek de actieve compostering bij deze laatste proef zich beter te voltrekken dan bij de proeven met houtsnippers. Het actieve composteringsproces nam echter duidelijk af in intensiteit bij de proef met stro als toeslagmateriaal toen de porositeit als gevolg van inklink afnam.

Dit houdt dus in dat als het vochtabsorberend vermogen van het toeslagmateriaal onvoldoende is, de actieve compostering zich niet zal voltrekken. Is de porositeit van de stapeling onvoldoende om in de zuurstofbehoefte te voorzien en kan geen of onvoldoende afvoer van vocht door middel van ventilatie plaatsvinden dan zal de actieve compostering zich eveneens niet voltrekken.

Deze conclusie wordt bevestigd door de resultaten van de proef met rubber als toeslagmateriaal. Rubber bezit geen vochtabsorptievermogen, terwijl de porositeit van deze stapeling groter was dan van de overige proeven. Hoewel hier een temperatuurontwikkeling optrad die duidde op het vrijkomen van de potentieel in het uitgangsmateriaal aanwezige energie, nam deze binnen een relatief korte tijd toch weer af, ondanks de goede porositeit.

Samenvattend kan worden gesteld dat de negatieve eindresultaten in deze serie zijn veroorzaakt door:

- te geringe porositeit van de stapeling (proef USS);
- te hoog vochtgehalte van het toeslagmateriaal (proeven ASH en USH);
- geen vochtbufferende werking van het toeslagmateriaal (proef ASR).

Afdek materiaal

De toegepaste luchtdoorlatende kunststofdoeken tegen het indringen van neerslag hebben redelijk aan de verwachtingen voldaan. Gebleken is echter dat de bescherming tegen langdurige neerslag toch onvoldoende is. Door warmte-uitstraling kan de temperatuur afnemen waardoor het composteringsproces wordt verstoord.

Om dit warmteverlies door uitstraling tegen te gaan moet de stapeling worden afgedekt door bijvoorbeeld compost. Door de opname van vocht in combinatie met een geringe procestemperatuur zal de bovenbelasting van een uitsluitend met compost afgedekte stapeling echter

toenemen bij neerslag van enige betekenis. Deze bovenbelasting kan de porositeit van een stapeling negatief beïnvloeden. Daarom moet de compostafdeklaag worden afgedekt met een kunststofdoek.

Proefopstelling

De gerealiseerde stapelingen waren driehoekig in doorsnede met een lengte van 20 m. De breedte aan de basis bedroeg 3,5 m tot 4,0 m en de stapelhoogte werd gevarieerd van 2,20 m tot 1,60 m na aanvang. Tengevolge van inklinken nam de hoogte van de stapelingen af tijdens de periode direct na aanvang. Uitzondering hierop vormde de proef ASR waarbij de hoogte constant bleef.

De gekozen vorm van de stapelingen bleek, na inklinken, waarbij de driehoekige dwarsdoorsnede werd afgeplat, gevoelig voor neerslag. Verwacht werd dat het toepassen van een toeslagmateriaal dat qua vorm en grootte vergelijkbaar is met rubbersnippers, dit kon onder-
vangen.

Mengverhouding

Voor de verhouding tussen het te composteren slib en het toe te voegen toeslagmateriaal zal in de praktijk veelal worden uitgegaan van volumeverhoudingen.

De mengverhoudingen tussen slib en toeslagmateriaal zijn geschat. De uiteindelijk gerealiseerde waarden voor de mengverhoudingen bleken in alle gevallen significante afwijkingen te vertonen ten opzichte van de berekende waarden.

In het algemeen zal de noodzakelijke mengverhouding tussen uitgangsmateriaal en toeslagmateriaal in belangrijke mate worden bepaald door de bijdrage aan de porositeit van de stapeling en het vochtabsorberende vermogen.

Mengen en opbouw stapelingen

De gekozen werkwijze voor het mengen en de opbouw van de stapelingen voldeed.

Ondanks de intensieve menging bij de proeven met houtsnippers als toeslagmateriaal, bleek bij het ruimen van de stapelingen de menging van de materialen toch nog niet optimaal te zijn geweest.

Temperatuurmetingen

Bij de temperatuurmetingen bleken ondanks de gefixeerde monsterpunten toch soms onverklaarbare temperatuurverschillen op te treden. Door de temperatuur op enkele centimeters afstand van het oorspronkelijke monsterpunt te meten en te vergelijken met de temperatuur van meetpunten daarom heen, werden verschillen geconstateerd welke in enkele gevallen meer dan 20°C bedroegen. De onderlinge afstand van de meetpunten bedroeg daarbij vaak niet meer dan 5 cm.

Dit betekent dat de temperatuurverdeling binnen een stapeling niet gelijkmatig is.

De temperatuur in het te composteren materiaal was steeds het hoogst in het midden van de stapelingen ten opzichte van de lengte en het laagst bij de ventilator gedurende de totale periode. Aan het eind van de stapeling, het verst verwijderd van de ventilator, waren de temperatuurvariaties minder. Deze temperatuurverdeling wordt veroorzaakt door de geforceerde beluchting .

Weerstandsmetingen ventilatoren

De luchtweerstand van de ventilator, uitgedrukt als drukverlies, is het grootst bij de perforatie in de beluchtingsbuizen.

Bij voldoende porositeit zoals bij de proeven ASR, ASH en USH, bleek het drukverlies gedurende de proefperiode nagenoeg constant op ongeveer 100 mm Wk. Bij afname van de porositeit (proef USS), nam het drukverlies toe tot 150 mm Wk. Afvoer van vocht met de ventilatielucht zal het vochtgehalte van een compostfilter en de weerstand ervan doen toenemen. Het aanbrengen van voorzieningen b.v. een tussengeschakeld condensvat, om dit tegen te gaan is noodzakelijk.

Bemonsteringen en analyses

Het slib, de toeslagmaterialen en de eindprodukten zijn bemonsterd. De monsters werden geanalyseerd op bemestende stoffen, micro-elementen en de mate van desinfectie.

Tijdens de periode van actieve compostering werden monsters genomen, waarvan het chemisch zuurstofverbruik, drogestofgehalte en de gloei-rest zijn bepaald.

De bepalingen van het chemisch zuurstofverbruik zijn beïnvloed door resten van het toeslagmateriaal die in het monster achtergebleven waren. Uit de resultaten blijkt dat het chemisch zuurstofverbruik in alle gevallen is afgenomen, ook wanneer geen sprake was van temperatuurontwikkeling. Deze methode om de mate van stabilisatie van compost te bepalen, wordt daarom minder betrouwbaar geacht. Het drogestofgehalte geeft slechts een indicatie van de toestand op het moment van monsternamen. De niet-homogene verdeling binnen de stapeling beïnvloedt de resultaten sterk evenals neerslag.

De afbraak van organische stof wordt beter geïndiceerd door de metingen van CO_2 , NH_3 en O_2 in de afvoerlucht.

Uit de analyseresultaten van koolstof en stikstof blijkt dat de concentratie van deze stoffen of de verhouding daartussen, niet geschikt zijn als procesparameter. Dit wordt onder meer veroorzaakt door het verschil in het totale koolstofgehalte van slib en toeslagmateriaal en de voor het proces beschikbare koolstof. Bovendien is gebleken dat de resultaten beïnvloed worden door de samenstelling van het monster. Door in het monster aanwezige resten van toeslagmateriaal of afdekcompost kan geen correcte vergelijking gemaakt worden tussen de chemische samenstelling van het slib en het eindprodukt.

1.3 2e proevenserie

Op basis van de resultaten en conclusies van de eerste proevenserie zijn wijzigingen aangebracht in de uitvoering van de tweede serie.

Deze wijzigingen hielden in:

- toepassing van twee toeslagmaterialen per proef; één toeslagmateriaal voor voldoende porositeit en één toeslagmateriaal met vochtregulerende eigenschappen;
- de vorm van de stapeling. Bij de eerste proevenserie waren de stapelingen langgerekt met driehoekige doorsnede. De invloed van de ventilator was op het verst gelegen punt nauwelijks waarneembaar. Bij de tweede proevenserie is gekozen voor een stapeling met een rechthoekig grondoppervlak en een trapeziumvormige doorsnede;
- afdekking van de stapelingen door middel van afdekcompost om warmteverliezen door uitstraling tegen te gaan en kunststofdoeken als neerslagpreventie;

- temperatuurtrajectmetingen, op vaste plaatsen.

Gezien de geconstateerde geuroverlast van aëroob gestabiliseerd slib tijdens de eerste proevenserie, werd voor de proeven in de tweede serie alleen uitgegist slib als beginmateriaal toegepast.

Als toeslagmateriaal om porositeit binnen de stapelingen te handhaven zijn toegepast:

- houtblokken; deze houtblokken waren afkomstig van de houtindustrie (klompenmakerij, enz.). De daarbij vrijkomende resten kunnen worden beschouwd als afval. Vanwege de houtsoort (wilgen, populieren, essen) wordt dit materiaal nauwelijks als brandstof gebruikt. De afmetingen waren globaal lengte x breedte x dikte = 30 x 15 x 10 cm;
- rubbersnippers; in de eerste proevenserie bleek dat deze voldoende porositeit kunnen geven. De afmetingen waren globaal lengte x breedte = 10 x 10 cm.

Het toeslagmateriaal gebruikt tijdens de eerste proevenserie bezat een laag vochtabsorberend vermogen. Enerzijds kwam dit door het hoge vochtgehalte van dit materiaal, anderzijds mogelijk door de vorm van het gesnipperde hout. Gunstig is een materiaal dat een sterke overeenkomst vertoont met gehakseld stro qua afmeting en eigenschappen, maar dat wèl na gebruik van het eindprodukt kan worden afgescheiden. Hieraan voldoen houtschillen met een lengte van 3 à 4 cm, een dikte van 0,2 tot 0,5 mm en een breedte tot 1 cm. Dit produkt komt vrij bij het schillen van rondhout.

Simultaan zijn de volgende twee proeven uitgevoerd:

- uitgegist slib als beginmateriaal, houtblokken voor de structuur van de stapeling en houtschillen voor de vochtregulatie binnen de stapeling. Deze proef werd USHH genoemd;
- uitgegist slib als beginmateriaal, rubbersnippers voor de structuur van de stapeling en houtschillen voor de vochtregulatie binnen de stapeling. Deze proef wordt verder aangeduid met USHR.

1.3.1 aanvoer, mengen, opbouw en voorzieningen

Uitgangsmaterialen en toeslagmaterialen werden per as aangevoerd en op de verharde ondergrond gestort. Mengen van het uitgangsmateriaal en het vochtregulerende toeslagmateriaal werd uitgevoerd zoals beschreven in 2.3. Na dosering van de materialen met behulp van de kraan en het tweemaal per proef mengen met behulp van de stalmeesterverspreider, werd het structuurleverende toeslagmateriaal (houtblokken of rubbersnippers) toegevoegd en gemengd met behulp van de kraan. Na deze menging werd het materiaal gestapeld op de beluchtingsbuizen. De mengverhoudingen zijn weergegeven in tabel 20.

1.3.2 uitvoering proef USHH

De afmetingen van de proef USHH waren:

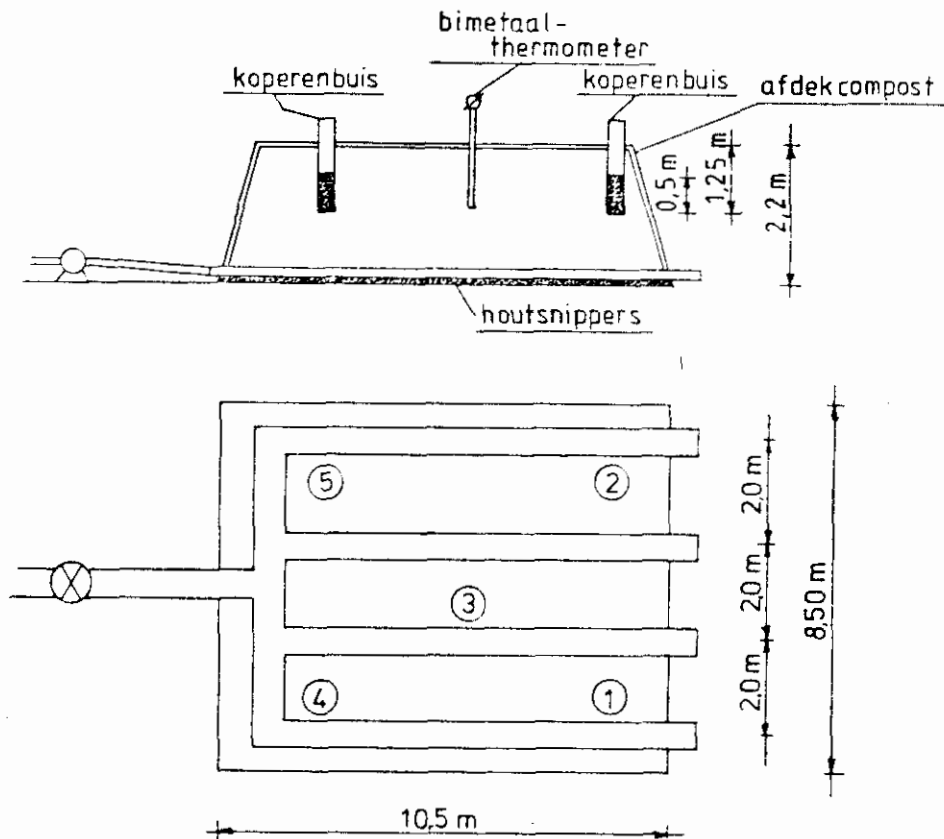
Rechthoekig grondoppervlak van 8,5 x 10,50 m

Oppervlak van de dwarsdoorsnede trapeziumvormig

Hoogte direct na stapeling: 2,40 m.

De beluchtingsbuizen waarop het te composteren materiaal werd gestapeld waren aan elkaar gekoppeld volgens een zogenaamde vorkconstruc-

tie. De buizen waren 10,75 m lang en werden aan de uiteinden afgesloten. De onderlinge afstand tussen de buizen bedroeg hart op hart 2 m.



② $1\frac{1}{5}$ Bemonsteringspunten temperatuur

Figuur 13. Uitvoering proef USHH

	US	toeslagmateriaal	
		houtsnippers	houtblokken
nat gewicht (ton)	20	7,05	-
volume (m ³)	20	47	38
drogestofgehalte (%)	24,3	60	-
gewicht drogestof (ton)	4,86	4,23	-
gloeirest (in % van d.s.)	41,1	-	-
gewicht organische stof (ton)	2,86	-	-
toeslagfactoren:			
TF _v	1	2,35	1,9
TF _n	1	0,35	-
TF _d	1	0,87	-
<u>beluchting: onderdruk</u>			
ventilatorcapaciteit	:	525 m ³ .h ⁻¹	
drukverschil	:	120 mmWk	
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	15.900 m ³	
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	111.600 m ³	
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C	
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C	
totaal benodigde luchttoevoer	:	111.600 m ³	

Tabel 20. Gegevens uitgangsmaterialen proef USHH

Gedurende de eerste zeven dagen na het gereed komen van de stapeling werden de temperaturen op identieke wijze gemeten als tijdens de eerste proevenserie. Circa één week na aanvang bleek tengevolge van inklink de hoogte van de stapeling afgenomen met circa 0,40 m. Ook door de aanwezigheid van het structuurleverende toeslagmateriaal waren de stapelingen minder toegankelijk voor de temperatuurmeetlans. Bovendien werden (bij beide proeven) aan de bovenzijde van de stapelingen aanzienlijk hogere temperaturen gemeten. Om deze redenen is overgegaan op een andere wijze van temperatuurmeting. In de stapeling werden vijf koperen buizen aangebracht vanaf de bovenzijde van de stapeling. De koperen buizen met een lengte van 1,25 m waren aan de onderzijde afgesloten en vervolgens voor 0,5 m gevuld met water. De temperatuurmetingen vonden plaats door dagelijks de temperatuur van het water in de buizen te meten. De gemeten temperaturen werden representatief geacht voor de temperatuur in de stapeling op een hoogte van 1 m boven maaiveld tot aan de bovenzijde van de stapeling. In het midden van de stapeling werd een direct afleesbare bimetaal-thermometer aangebracht. Deze thermometer was eveneens voorzien van een lans. De onderkant van deze lans werd in de stapeling gebracht tot op dezelfde diepte als de met water gevulde buizen. Incidenteel werden temperatuurmetingen verricht vanaf de zij-kanten en aan de bovenzijde.

In tegenstelling tot de aanpak bij de eerste serie werd eerst drie dagen na het gereed komen van de stapelingen begonnen met ventileren. De eerste dagen bevond zich voldoende zuurstof in de stapelingen om in de behoefte van het proces te kunnen voorzien. Een te vroeg inschakelen van de ventilator zou de vrijkomende warmte te snel afvoeren en het actieve compsteringsproces verstoren. Hoewel de temperatuur na het starten van de beluchting toenam werd deze gevolgd door een geleidelijke afname.

De temperatuurdaling manifesteerde zich het sterkst bij het meetpunt het dichtst gelegen bij de ventilator. Omdat werd verondersteld dat de temperatuurdaling het mogelijke gevolg was van de ventilatie, werd deze tijdelijk gestopt.

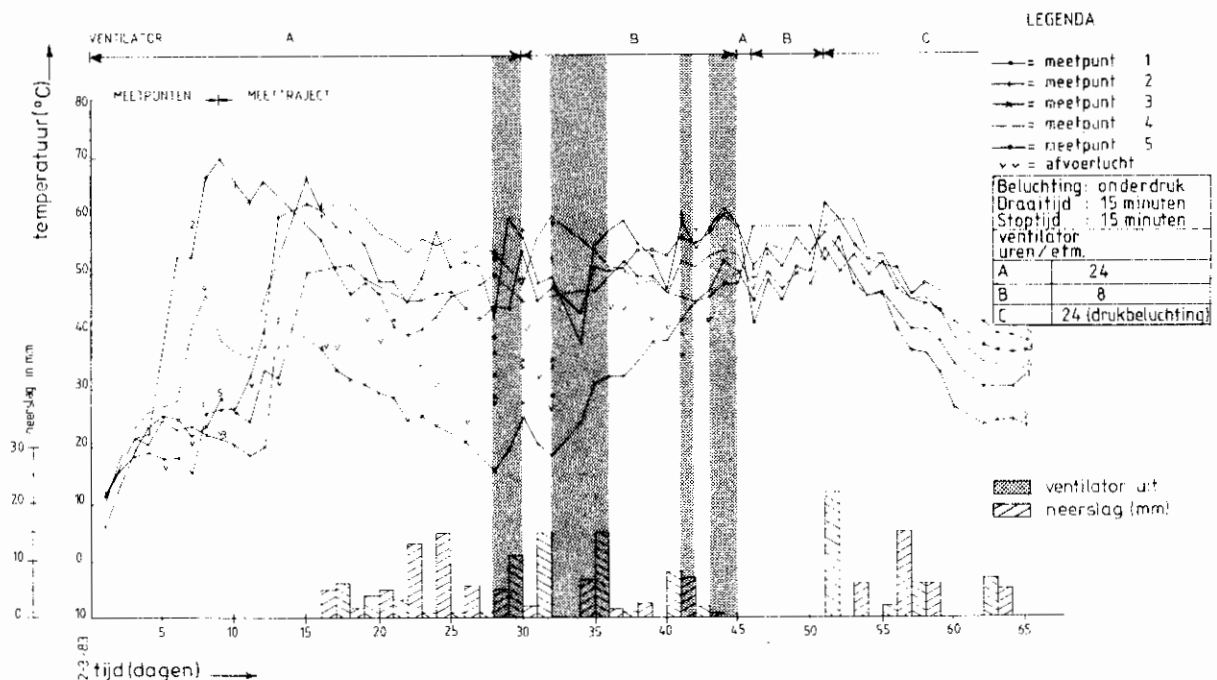
Na een toename van de gemiddelde temperatuur gedurende een periode van vierentwintig uur na het uitschakelen van de ventilator, bleek gedurende een periode van nogmaals vierentwintig uur de gemiddelde temperatuur af te nemen. Omdat er werd verondersteld dat dit mogelijk het gevolg was van zuurstoftekort, werd besloten om de ventilator gedurende acht uur per dag in te schakelen. Hierdoor werd voorkomen dat de lage temperatuur van de buitenlucht gedurende de nacht de temperatuur binnen de stapeling te sterk zou beïnvloeden.

In figuur 14 is aangegeven dat nog een aantal malen de ventilator gedurende een aantal perioden van vierentwintig uur uitgeschakeld is geweest. Vijfenvertig dagen na aanvang werd de ventilator weer ingeschakeld na achtenveertig uur buiten bedrijf te zijn geweest.

Tengevolge van een storing heeft de ventilator toen vierentwintig uur van dat etmaal gefunctioneerd volgens het programma vijftien minuten aan en vijftien minuten uit. Uit de temperatuurwaarnemingen blijkt dat de gemiddelde temperatuur binnen de stapeling als gevolg hiervan sterk afneemt. Na het opheffen van de storing nam de temperatuur weer toe.

composteringstijd dagen	0	6	12	18	27	29	31	35	40	45	eind- pro- dukt
<u>uitgangsmateriaal</u>											
CZV (mg/l)	742	-	680	-	590	-	-	420	-	-	342
d.s.-gehalte (%)	24,3	-	28,2	-	32,0	-	-	41,0	-	-	54,1
gloeirest (%van d.s.)	41,1	-	42,5	-	42,5	-	-	52,5	-	-	58,6
zuurgraad (pH)	6,9	-	6,3	-	6,3	-	-	6,4	-	-	6,4
<u>afvoerlucht</u>											
CO ₂ (vol.%)	0,5	3,0	4,5	2,0	1,0	2,5	2,0	3,5	0,5	0,5	1,5
NH ₃ (ppm)	-	0	100	75	0	150	0	0	0	0	0
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	21,0	18,0	16,0	17,0	19,0	19,0	19,0	17,5	21,0	21,0	19,0

Tabel 21. Resultaten waarnemingen proef USHH



Figuur 14. Temperatuurwaarnemingen proef USHH

	slib	toeslag- materiaal	afdek- compost	eind- produkt	zeefrest
<u>chemische analyses</u>					
d.s.-gehalte (g/kg d.s.)	24,3	60,0	79,8	54,1	41,2
stikstof (g/kg d.s.)	34,0	2,8	11,0	12,0	12,0
fosfaat (g/kg d.s.)	37,0	0,9	25,0	15,0	20,0
kalium (g/kg d.s.)	1,0	0,7	2,0	1,1	1,6
calcium (g/kg d.s.)	57,0	3,2	28,9	23,0	31,0
magnesium (g/kg d.s.)	6,7	0,3	3,5	2,2	3,3
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	330	360	-	190	205
koper (mg/kg d.s.)	810	17	240	325	370
chrom (mg/kg d.s.)	135	3,4	155	78	110
zink (mg/kg d.s.)	2450	73	915	1050	1300
lood (mg/kg d.s.)	825	15	360	355	435
cadmium (mg/kg d.s.)	10,0	1,1	15,0	0,6	14,0
nikkel (mg/kg d.s.)	57,0	3,2	75,0	33,0	58,0
kwik (mg/kg d.s.)	8,7	0,1	1,6	1,8	3,0
arseen (mg/kg d.s.)	2,0	0,2	3,8	2,8	3,5
<u>microbiologische bepalingen</u>					
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	$2,1 \cdot 10^6$	-	-	$4,3 \cdot 10^5$	-
thermotolerante bacteriën van de coli-groep (E-coli) (/g d.s.)	$7,5 \cdot 10^4$	-	-	$3,2 \cdot 10^5$	-
Salmonella (/g d.s.)	0,9	-	-	0,1	-

Tabel 22. Resultaten analyses proef USHH

De spreiding in gemeten temperaturen van de diverse meettrajecten werd steeds geringer, doch na vijftig dagen na aanvang bleek de gemiddelde temperatuur weer af te nemen. Omdat inmiddels een periode van meer dan tweeënveertig dagen was verstreken en de actieve compostering volgens het Beltsville-principe als beëindigd moest worden beschouwd, werd de draairichting van de ventilator omgekeerd en werd overgegaan van onderdrukbeluchting op drukbeluchting. De ventilator werd daarbij 24 uur per dag ingeschakeld. Uit de temperatuurwaarnemingen bleek dat de gemiddelde temperatuur weer toenam waarbij de spreiding van de temperatuurstrajecten nog geringer werd.

Na deze toename nam de temperatuur echter relatief snel af.

Circa 2 maanden na aanvang werd de stapeling met behulp van een kraan omgezet voor een inwendige inspectie.

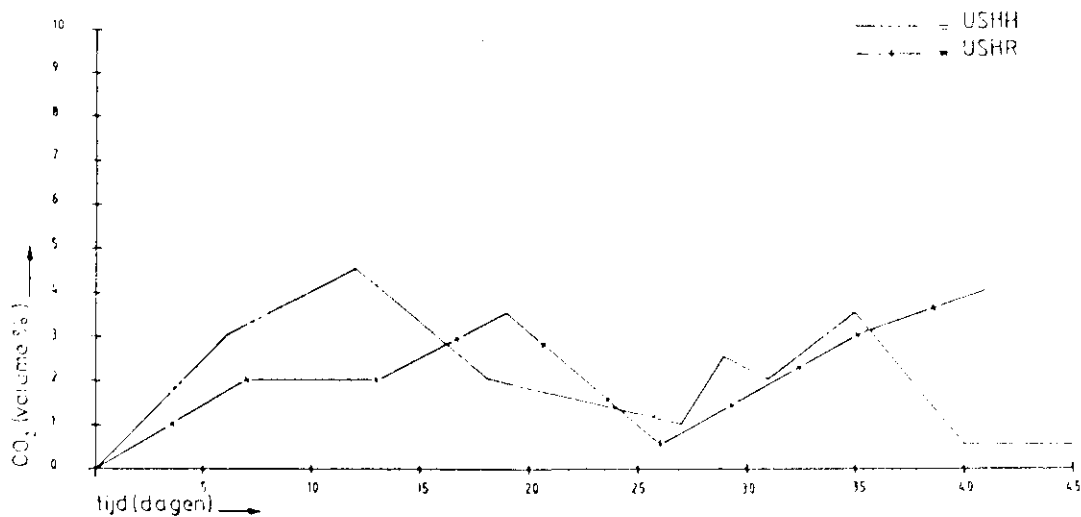
Tot op een diepte van circa 0,75 m vanaf de bovenzijde bleek het materiaal veel vocht te bevatten. Aan de zijden van de stapeling bleek dit minder, namelijk tot 0,50 m diep.

Er werd een vrij scherpe overgang waargenomen van de laag die vocht bevatte en het overige materiaal. Het visueel vochtige materiaal had een drogestofgehalte van 33%; het gemiddelde drogestofgehalte van het visueel droge materiaal bedroeg 50%.

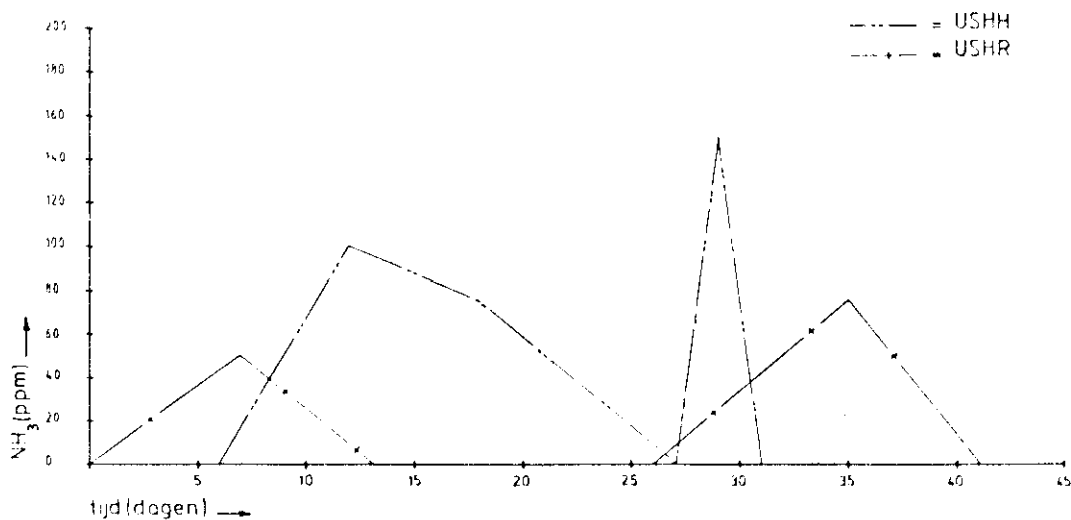
De totaal hoeveelheid toegevoerde lucht bedroeg 111.600 m^3 . Dit was 70% meer dan de berekende hoeveelheid benodigde lucht.

1.3.4 uitvoering proef USHR

Aangezien over een beperkte hoeveelheid rubbersnippers van slechts 25 m^3 kon worden beschikt, was het volume van het te composteren mengsel van de proef USHR kleiner dan van de proef USHH. De mengverhouding is weergegeven in tabel 23.



Figuur 15. CO₂-gehalte in afvoerlucht



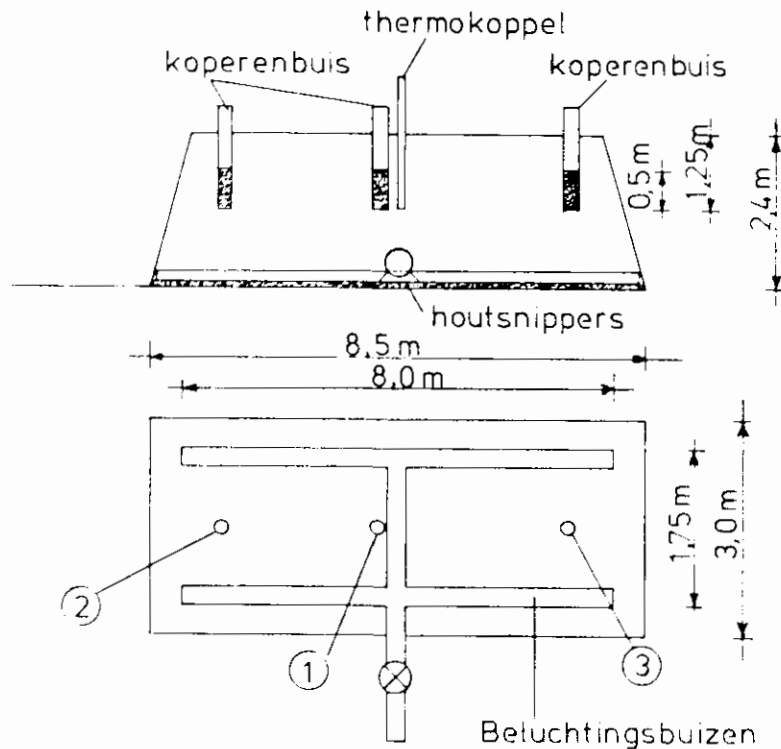
Figuur 16. NH₃-gehalte in afvoerlucht

De stapeling van de proef USHR kreeg de volgende afmetingen:

Rechthoekig grondoppervlak van 8,5 m x 3,0 m.

Oppervlak van de dwarsdoorsnede trapeziumvormig. Hoogte direct na stapeling 2,40 m, inclusief eindafdekking met een laag afdekcompost van 0,15 m. Het te composteren materiaal werd gestapeld op de beluchtingsbuizen die op een bed van houtschillen waren gelegd. De beluchtingsbuizen waren aan elkaar gekoppeld volgens een H-constructie. Zie figuur 17.

Voor het meten van de temperatuur werd gebruik gemaakt van met water gevulde buizen. Vanwege de geringere afmetingen van de stapeling werd hier volstaan met drie koperen buizen. In het midden werd een temperatuurlans met daarin een thermokoppel geplaatst, met aansluitingsmogelijkheid voor een digitale temperatuurmeter.



Figuur 17. Opstelling proef USHR

	US	toeslagmateriaal	
		houtsnipers	rubber
nat gewicht (ton)	10	3,45	15
volume (m ³)	10	23	22
drogestofgehalte (%)	24,3	57,4	-
gewicht drogestof (ton)	2,43	1,98	-
gloeirest (in % van d.s.)	41,1	-	-
gewicht organische stof (ton)	1,43	-	-
toeslagfactoren:			
TF _v	1	2,3	2,2
TF _n	1	0,35	-
TF _d	1	0,82	-
beluchting: onderdruk			
ventilatorcapaciteit	:	525 m ³ .h ⁻¹	
drukverschil	:	120 mmWk	
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	7.900 m ³	
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	55.800 m ³	
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C	
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C	
totaal benodigde luchttoevoer	:	55.800 m ³	

Tabel 23. Gegevens uitgangsmaterialen proef USHR

1.3.5 waarnemingen proef USHR

Uit de waarnemingen blijkt dat ook hier de temperatuur oorspronkelijk vrij snel toenam. De maximale temperatuur was echter lager dan in proef USHH, namelijk 56°C (incidentele waarneming). De temperatuur van het water in de meetbuizen was gemiddeld ook lager dan in proef USHH.

Omdat de temperatuur een afnemende tendens vertoonde, is de ventila-

tor enkele malen een periode van 2, 3 en 4 dagen uitgeschakeld geweest. Gedurende deze perioden trad een toename op van de temperatuur. Circa 54 dagen na aanvang van de proef begon de temperatuur sterk af te nemen, waarna de geforceerde beluchting werd beëindigd.

Bij deze proef was gedurende de eerste vier weken de afvoerlucht van de ventilator verzadigd met waterdamp.

In tegenstelling tot proef USHH was waterdamp aan de bovenzijde slechts incidenteel waarneembaar. Tussentijds uitgevoerde inspecties duiden niet op overdadige microbiële activiteit. De stapeling was slecht toegankelijk voor het incidenteel meten van temperaturen.

Ook het materiaal van deze proef werd inwendig geïnspecteerd na beëindiging van de actieve composteringsperiode. De vochtverdeling in deze stapeling bleek vrij homogeen te zijn; er werden geen duidelijke overgangen geconstateerd tussen visueel nat en droog. Het materiaal, op een diepte van 0,5 m vanaf de bovenzijde bleek een drogestofgehalte van 35% te bezitten. Het visueel meest droge materiaal bezat een drogestofgehalte van 45%.

Op de rubbersnippers, welke als toeslagmateriaal werden gebruikt, werden hel-geel gekleurde afzettingen geconstateerd van een-cellige micro-organismen.

De hoeveelheid lucht welke werd toegevoerd was 220% meer dan berekend.

Bij geen van beide proeven was de ventilator aangesloten op een compostfilter. Desondanks werd geen hinderlijke geur geconstateerd tijdens de periode van actieve compostering.

Ook bij de visuele inspecties werd geen hinderlijke geur waargenomen. Incidenteel is in de afgevoerde lucht het CO₂-gehalte gemeten. Uit de waarnemingen bleek het CO₂-gehalte aan het begin van de composteringsperiode hoger dan aan het eind van de actieve compostering, 4,5 vol.%, respectievelijk 0,5 vol.%.

1.3.6 zeefproeven

Het materiaal van beide proeven werd gezeefd met behulp van een trilzeef om het porositeitverhogend toeslagmateriaal terug te winnen. Het zeefrendement bedroeg 100%. De drogestofgehalten na zeving bedroegen van de zeeffractie van USHH 46% en van de zeeffractie van USHR 44%.

De zeeffractie, bestaande uit gecomposteerd slib en houtschillen, is opgeslagen voor narijping. Vanwege de neerslag werden de zeeffracties afgedekt met de luchtdoorlatende kunststofdoeken.

Na acht weken narijping zijn met beperkte hoeveelheden van de zeef fracties proefzevingen uitgevoerd om het vocht-regulerende toeslagmateriaal te scheiden van het gecomposteerde zuiveringsslib.

Proefzevingen hebben plaatsgevonden met behulp van een trommelzeef en een doekzeef.

1.3.7 zeven met de trommelzeef

De trommelzeef bestaat uit een aantal geperforeerde platen die in een kokervorm aan elkaar zijn verbonden. De dwarsdoorsnede heeft de vorm van een vijfhoek. De lengte van de diagonalen bedraagt 2,0 m. De perforaties bestaan uit ronde gaten met een diameter van 0,01 m. De trommelzeef met een totaal lengte van 5 m is schuin opgesteld en

kan ronddraaien in dwarsrichting.

Het te zeven materiaal werd via een doseringsbunker, gelost op een transportband die dit materiaal naar de hoge kant van de trommelzeef voerde en daarin loste. Door het wentelen van de trommelzeef werd het materiaal opgeworpen waarna het terug viel. Doordat de trommelzeef onder een helling stond werd de zeefrest steeds verder naar de lage zijde van de trommelzeef getransporteerd waar het de zeef ten slotte verliet. De zeeffractie viel door de perforaties en stapelde zich op onder de trommelzeef.

De zeefrest bestaat uit niet-gecomposteerd slib en toeslagmateriaal; de zeeffractie bestaat uit gecomposteerd slib en houtresten afkomstig van het toeslagmateriaal.

Is het te zeven materiaal te vochtig dan zullen de perforaties snel dicht "smeren" waardoor zeven nagenoeg onmogelijk wordt. Dit blijkt ondermeer wanneer de zeeffractie nihil is ten opzichte van de zeefrest. Het beladen van de doseringsbunker en het ruimen van zeefrest en zeeffractie, geschiedde met een wiellaadschop.

Proefzeving vond plaats met een hoeveelheid materiaal van ca. 6 m³ en een gewicht van 4360 kg.

Na zeven bedroeg de afgezeefde hoeveelheid compost (zeeffractie) ca. 4 m³ met een gewicht van 2850 kg en drogestofgehalte 54,1%. De zeefrest woog 1510 kg had een volume van ca. 2 m³ en een drogestofgehalte van 41,2%.

1.3.8 zeving met de doekzeef

De doekzeef bestaat uit een doek van kunstvezelsegmenten met een breedte van 2 m. In het doek zijn rechthoekige perforaties aangebracht met een lengte van 4 cm en een breedte van 0,5 cm. De segmenten worden door daaronder geplaatste excentrieken voortdurend in een afwisselend gespannen en ontspannen toestand gebracht, waardoor de te zeven massa wordt opgeworpen. De fijne compostdelen vallen hierbij door het doek heen. Omdat de doekzeef onder een helling staat opgesteld valt de zeefrest naar de lage zijde waar het de installatie verlaat.

Belading vindt plaats via een doseringsbunker en transportband. Ook hier vindt aanvoer en afvoer van materialen plaats met een wiellaadschop.

De proefzeving op deze zeefinstallatie vond plaats met een volume van 14 m³ en een gewicht van 8125 kg.

Na zeving bedroeg de zeeffractie 5250 kg en een volume van 10,7 m³. Het drogestofgehalte bedroeg 55,4%.

De zeefrest met een volume van 3 m³ en een gewicht van 2875 kg had een drogestofgehalte van 44%.

1.3.9 analyses

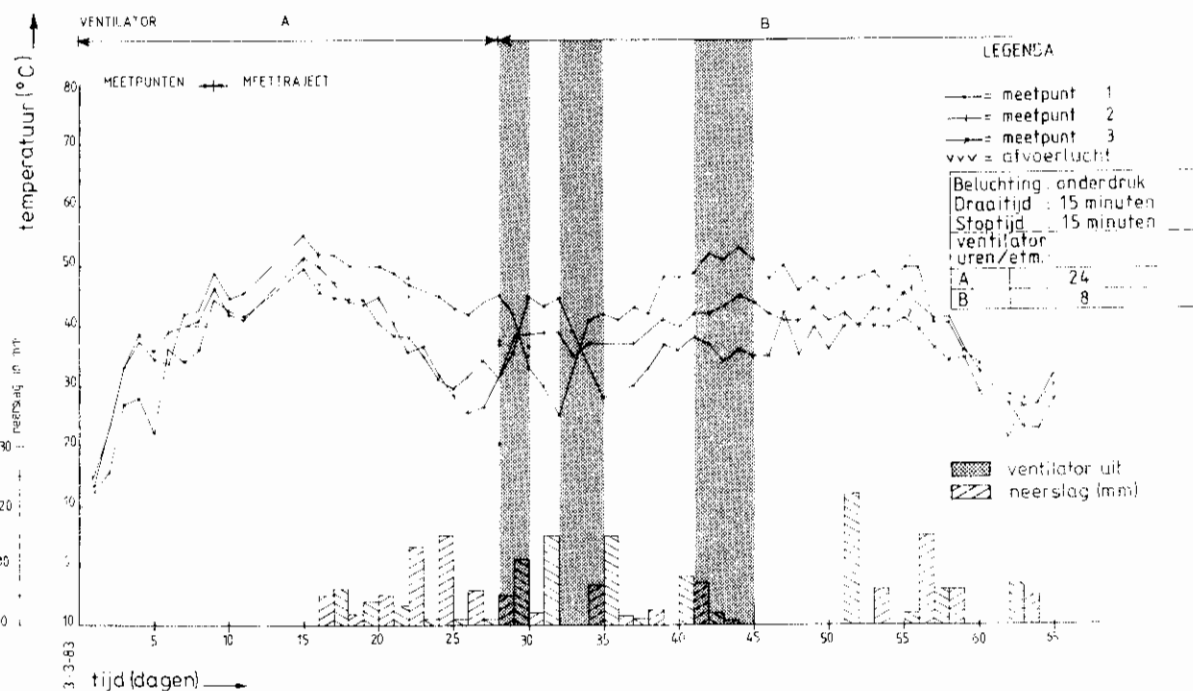
Van de zeeffractie en een deel van de zeefrest zijn monsters genomen voor analyse op de concentraties aan bemestende stoffen en micro-elementen. Het monster van de zeeffractie is onderzocht om de mate van desinfectie vast te stellen.

Het deel van de zeefrest dat is onderzocht bestaat uit resten van het uitgangsmateriaal met grotere afmetingen dan de zeefopeningen.

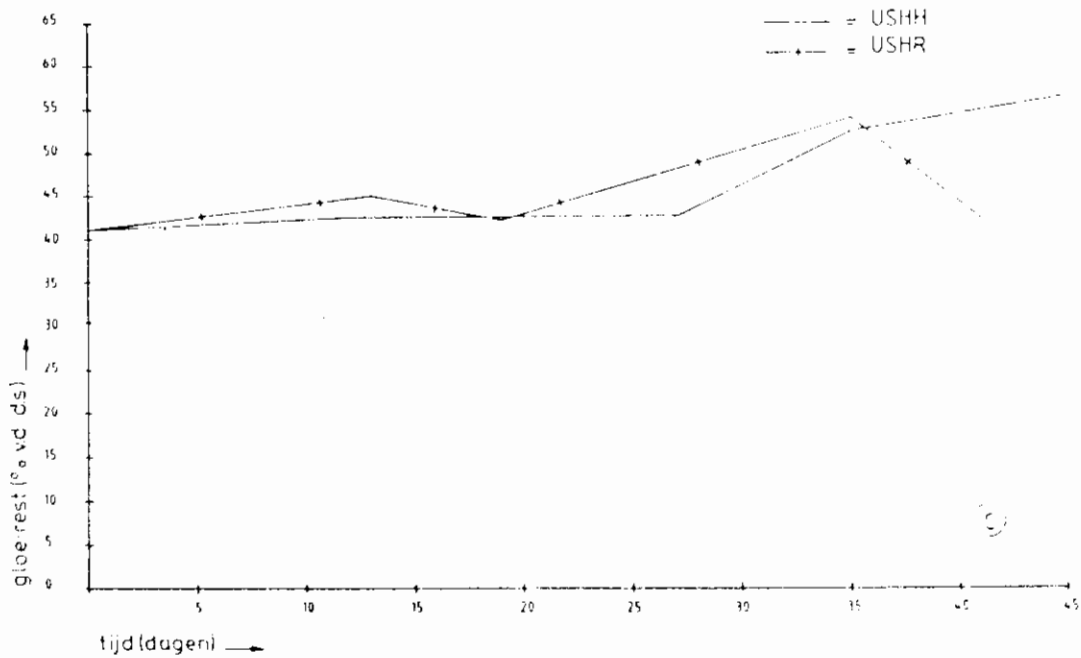
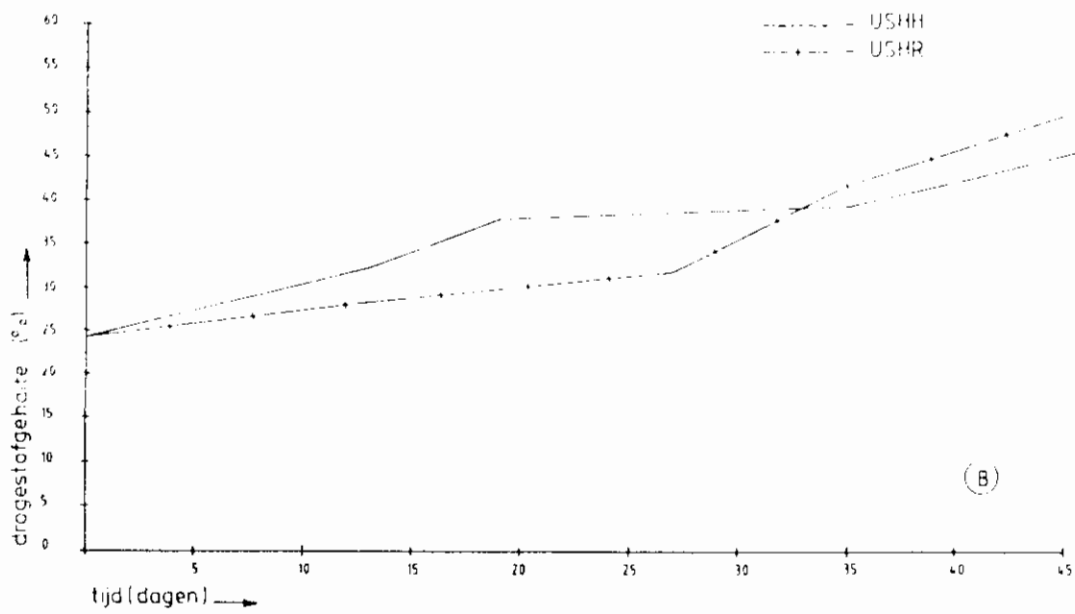
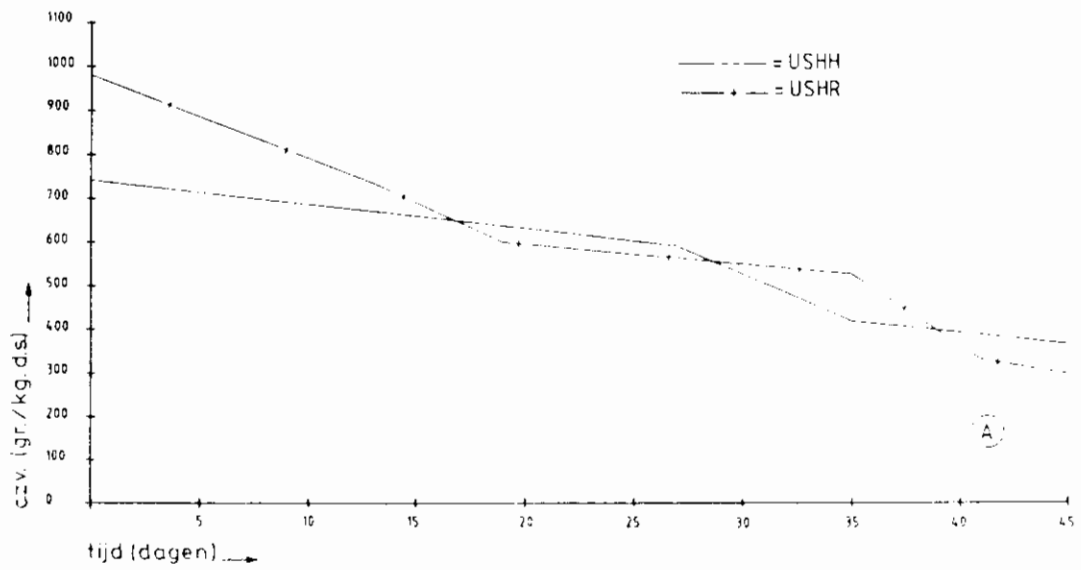
Dit materiaal blijft achter in het toeslagmateriaal en kan bij een volgende cyclus verder worden gecomposteerd.

composteringstijd dagen	0	7	13	19	26	35	41	50	58	eind- produkt
<u>uitgangsmateriaal</u>										
CZV (mg/l)	980	-	735	600	-	530	330	-	-	282
d.s.-gehalte (%)	24,3	-	32,3	38,0	-	39,5	43,0	-	-	55,4
gloeirest (% van d.s.)	41,1	-	45,0	42,2	-	54,0	42,2	-	-	69,0
zuurgraad (pH)	6,9	-	5,9	6,0	-	6,0	6,0	-	-	6,2
<u>afvoerlucht</u>										
CO ₂ (vol.%)	0,5	2,0	2,0	3,5	0,5	3,0	4,0	0	0	0
NH ₃ (ppm)	0	50	0	0	0	75	0	0	0	0
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	21	19,0	19,5	17,0	20,0	17,5	15,5	19,0	21,0	21

Tabel 24. Resultaten waarnemingen proef USHR



Figuur 18. Temperatuurwaarnemingen proef USHR



Figuur 19. Het chemisch zuurstofverbruik (A), het drogestofgehalte (B) en de gloeirest (C) als functie van de composteringstijd

	Slib	toeslag- materiaal	afdek- compost	eind- produkt	zeefrest
<u>chemische analyses</u>					
d.s.-gehalte (g/kg d.s.)	24,3	60,0	79,8	55,4	42,0
stikstof (g/kg d.s.)	34,0	2,8	11,0	10,0	15,0
fosfaat (g/kg d.s.)	37,0	0,9	25,0	16,0	20,0
kalium (g/kg d.s.)	1,0	0,7	2,0	1,2	1,0
calcium (g/kg d.s.)	57,0	3,2	28,9	3,6	39,0
magnesium (g/kg d.s.)	6,7	0,3	3,5	4,2	4,0
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	330	360	-	282	280
koper (mg/kg d.s.)	810	17	240	330	415
chrom (mg/kg d.s.)	135	3,4	155	110	78
zink (mg/kg d.s.)	2450	73	915	1150	1350
lood (mg/kg d.s.)	825	15	360	375	400
cadmium (mg/kg d.s.)	10,0	1,1	15,0	13,0	0,0
nikkel (mg/kg d.s.)	57,0	3,2	75,0	52,0	30,0
kwik (mg/kg d.s.)	8,7	0,1	1,6	2,8	2,0
arseen (mg/kg d.s.)	2,0	0,2	3,8	3,6	2,8
<u>microbiologische bepalingen</u>					
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	2,1.10 ⁶	-	-	1,7.10 ⁴	-
thermotolerante bacteriën van de coli-groep (E-coli) (/g d.s.)	7,5.10 ⁴	-	-	1,7.10 ⁴	-
Salmonella (/g d.s.)	0,9	-	-	0,1	-

Tabel 25. Resultaten analyses proef USHR

Uit de analyses blijkt dat de concentraties van de bemestende stoffen in de zeefresten in het algemeen lager zijn dan die in het uitgangsmateriaal, maar weer hoger dan die in het eindprodukt. Dit geldt eveneens voor de micro-elementen.

De C/N-verhouding van zeefrest en eindprodukt was hoger dan van het uitgangsmateriaal.

De C/N-verhouding van de zeefrest van de proef USHR was lager dan van het eindprodukt.

Het chemisch zuurstofverbruik van het eindprodukt was in beide gevallen afgenomen met 53,8% en 71,2% ten opzichte van aanvangswaarde voor proef USHH respectievelijk proef USHR. De gloeiverliezen namen toe tot 58,6% en 69%.

1.3.10 conclusies uit de 2e proevenserie

De gemiddelde temperatuur van proef USHH was hoger dan de gemiddelde temperatuur van USHR.

Een mogelijke oorzaak is het aanzienlijk grotere volume van de stapeling van proef USHH. De verhouding tussen de potentiële hoeveelheid warmte en het warmte-afvoerend oppervlak van de proef USHR is daardoor ongunstiger dan bij proef USHH. Op grond hiervan wordt geconcludeerd dat de stapeling enige omvang moet hebben om een redelijk composteringsresultaat te bereiken.

Gebleken is dat de vorm van de stapeling zoals van proef USHH ongunstig is bij perioden met langdurige neerslag. Gevolgen van langdurige neerslag zijn verhoging van de bovenbelasting, afname van de porositeit, belemmering van lucht- en zuurstoftransporten en afkoeling van de warmte-afvoerende oppervlakken van de stapeling (afkoeling ontstaat ook bij sterke wind).

Het toevoegen van porositeitverhogend toeslagmateriaal heeft een goede porositeit tot gevolg gehad. Dit blijkt onder meer uit de invloed van de geforceerde ventilatie op het temperatuurverloop.

Het scheiden van de porositeitverhogende toeslagmaterialen verloopt aanzienlijk beter dan de scheiding tussen het gecomposteerde slib en het vochtregulerende toeslagmateriaal.

In het eerste geval is het scheidingsresultaat redelijk wanneer het drogestofgehalte van de zeeffractie 43 à 44% minimaal bedraagt. In het tweede geval moet het drogestofgehalte van de zeeffractie meer dan 50% bedragen om een aanvaardbare hoeveelheid compost uit te zeven.

De houtschillen als vochtregulerend materiaal hebben goed voldaan bij beide proeven. Het uitgangspunt, dat het toeslagmateriaal vocht moet kunnen absorberen wordt hierdoor bevestigd.

Geurhinder is niet geconstateerd, ondanks het feit dat geen preventieve maatregelen zijn getroffen.

Door alleen gedurende acht uur per dag de ventilator in te schakelen met een draai- en stoptijd van vijftien minuten kon goed worden voorzien in de lucht- en zuurstofbehoefte.

Op grond van de gemeten CO₂-concentraties, de toename van het drogestofgehalte en de toename van de gloeirest wordt geconcludeerd dat afbraak van organische stof heeft plaatsgevonden.

1.4 3e proevenserie

Uit de 2e proevenserie bleek de behoefte aan nagenoeg identieke proeven onder gunstiger weersomstandigheden. Aangezien het noodzakelijk was gebleken een redelijk volume van de stapeling aan te houden, is de proef met rubbersnippers als porositeitverhogend toeslagmateriaal niet herhaald.

Tijdens de 3e proevenserie zijn alleen houtblokken als structuurleverend toeslagmateriaal gebruikt.

Bij de 2e proevenserie werd alleen uitgegist slib gebruikt: in de 3e proevenserie uitgegist slib en aëroob gestabiliseerd slib. De resultaten met het uitgegiste slib kunnen worden vergeleken met die van USHH uit de 2e proevenserie.

Bij de proef USHH van de 2e proevenserie werd, na beëindiging van de actieve composteringmethode, overgegaan van overdruk naar drukbeluchting. Daarbij werd geconstateerd dat de temperatuur ook toenam op plaatsen die verder van de ventilator afgelegen waren.

Bij drukbeluchting zal een betere verdeling over de beluchtingselementen ontstaan dan bij onderdrukbeluchting en zal de lucht ook beter over de stapeling verdeeld worden.

Drukventilatie bevordert de opwaartse beweging van de warme vochtige lucht (natuurlijke ventilatie) die ontstaat bij een zich goed ontwikkelend composteringproces.

Nadelen van drukventilatie kunnen zijn dat bij lage buitentemperaturen het inwendige van de stapeling afkoelt, het composteringproces wordt verstoord en vochtverwijdering vanuit de stapeling wordt belemmerd. Bovendien kan bij zone's binnen de stapeling met veel vocht en een lage temperatuur condensatie ontstaan, waardoor van onder aangevoerde waterdamp de stapeling niet verlaat.

In geval van drukbeluchting is geen geurbeheersing mogelijk.

In de derde serie is één proef uitgevoerd met drukbeluchting.

Om de problemen rond de temperatuurmetingen uit de vorige twee proevenseries te vermijden zijn bij de derde proevenserie uitgebreider temperatuurmetingen verricht met behulp van thermokoppels.

Tijdens de derde proevenserie zijn drie proeven uitgevoerd. Het slib, de toeslagmaterialen, vorm van de beluchting en de aanduiding van de proeven zijn weergegeven in tabel 26.

	ASHHZ	ASHHB	USHHZ
beginmateriaal	aëroob gestabiliseerd slib	aëroob gestabiliseerd slib	uitgegist slib
toeslagmateriaal structuur-leverend	houtblokken	houtblokken	houtblokken
toeslagmateriaal vochtregulerend	houtschillen	houtschillen	houtschillen
beluchtingsvorm	onderdrukbeluchting	drukbeluchting	onderdrukbeluchting
afdek materiaal	gezeefde compost	gezeefde compost	gezeefde compost

Tabel 26. Gegevens proeven 3e proevenserie

De proeven werden uitgevoerd in de periode juli/augustus 1983.

1.4.1 aanvoer, mengen, opbouw en voorzieningen

De aanvoer, het mengen en de opbouw van de stapelingen werd op dezelfde wijze uitgevoerd als in de tweede proevenserie. De stapelingen van de proeven kregen alle de vorm van proef USHH uit de tweede proevenserie namelijk een rechthoekig grondoppervlak met een lengte van 10 m en een breedte van 8 m. Het oppervlak van de dwarsdoorsnede was trapeziumvormig. De hoogte direct na stapeling was 2 m. De beluchtingsbuizen werden in een vorkconstructie geformeerd waarbij de onderlinge afstand 2 m bedroeg (hart op hart). Afdekking vond plaats door middel van 0,15 m compost.

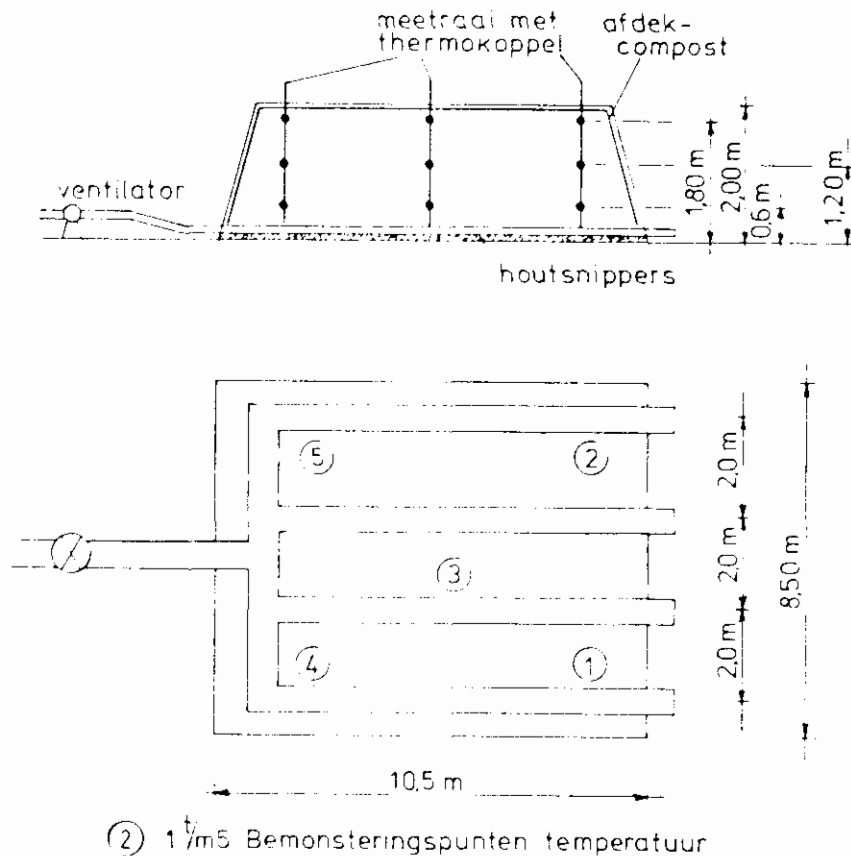
1.4.2 uitvoering proeven

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.

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



Figuur 20. Opstelling proeven 3e proevenserie

	AS	toeslagmateriaal	
		houtsnippers	houtblokken
nat gewicht (ton)	22,0	6,44	-
volume (m ³)	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 _v	1	2,09	1,2
TF _n	1	0,29	-
TF _d	1	1,38	-
beluchting: onderdruk			
ventilatorcapaciteit	:	525 m ³ .h ⁻¹	
drukverschil	:	120 mmWk	
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	13.000 m ³	
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	132.300 m ³	
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C	
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	20 °C	
totaal benodigde luchttoevoer	:	132.300 m ³	

Tabel 27. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASHHZ

	AS	toeslagmateriaal	
		houtsnipper	houtblokken
nat gewicht (ton)	21,4	6,44	-
volume (m ³)	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 _v	1	2,15	1,22
TF _n	1	0,30	
TF _d	1	1,42	
<u>beluchting: druk</u> ventilatorcapaciteit : 540 m ³ .h ⁻¹ drukverschil : 120 mmWk luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer : 12.600 m ³ luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer : 120.140 m ³ gemiddelde composteringstemperatuur : 50 °C gemiddelde temperatuur buitenlucht : 20 °C totaal benodigde luchttoevoer : 120.140 m ³			

Tabel 28. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASHHB

	US	toeslagmateriaal	
		houtsnipper	houtblokken
nat gewicht (ton)	22,0	6,44	-
volume (m ³)	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	-	-
toeslagfactoren:			
TF _v	1	2,09	1,09
TF _n	1	0,29	
TF _d	1	0,76	
<u>beluchting: onderdruk</u> ventilatorcapaciteit : 525 m ³ .h ⁻¹ drukverschil : 120 mmWk luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer : 19.100 m ³ luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer : 118.500 m ³ gemiddelde composteringstemperatuur : 50 °C gemiddelde temperatuur buitenlucht : 20 °C totaal benodigde luchttoevoer : 118.500 m ³			

Tabel 29. Gegevens uitgangsmaterialen proef USHHZ

1.4.3 waarnemingen

Bij de voorgaande proevenseries werden de temperatuurwaarnemingen éénmaal per vierentwintig uur verricht om 10.00 uur 's ochtends. Daarnaast werden temperaturen gemeten op een aantal plaatsen aan bovenzijden en zijkanten van de stapelingen.

Om enige mate van vergelijking mogelijk te maken tussen de temperatuurwaarnemingen van de voorgaande proevenseries en de 3e proevenserie werden van deze laatste de gemeten temperaturen op het tijdstip 10.00 uur in grafiek gebracht. Daarbij werden de temperaturen per meetraai gemiddeld. De resultaten zijn weergegeven in de figuren 21, 22 en 23.

Ondanks de aanwezigheid van structuur-leverend toeslagmateriaal trad bij alle proeven inklink op. Een aantal van de bovenste thermokoppels kwam daardoor buiten de stapeling of vlak onder het oppervlak. De waarnemingen van deze thermokoppels zijn buiten beschouwing gelaten. Middeling van de waarnemingen per meetraai heeft hier plaatsgevonden over twee meetpunten.

Twee dagen nadat de stapeling van proef ASHHZ gereed was, werd de geforceerde beluchting gestart. Na een vrij sterke temperatuurstoename, met temperaturen van meer dan 80°C, trad eerst een geleidelijke en vervolgens een sterke afname op van de temperatuur. Aangezien de temperatuur van de buitenlucht hoger was dan 20°C, geen neerslag was gevallen en van andere ongunstige weersomstandigheden geen sprake was, werd een zuurstoftekort vermoed. De stoptijd van de ventilator werd daarom ingesteld op zeven minuten, terwijl de draaitijd zeventien minuten bedroeg. Ondanks deze maatregel bleef een toename van de temperatuur achterwege. De ventilator werd tien dagen na aanvang uitgeschakeld voor een periode van vierentwintig uur. Na deze periode bleek de gemiddelde temperatuur toegenomen. De draaitijd werd nu op zes minuten ingesteld, de stoptijd op dertien minuten.

Tweentwintig dagen na aanvang werd weer een afname van de temperatuur geconstateerd, waarop de draaitijd van de ventilator werd verlengd. Omdat desondanks de temperatuur bleef afnemen werd de ventilator buiten werking gesteld voor een periode van driemaal vierentwintig uur. De gemiddelde temperatuur bleek in deze periode weer toegenomen tot 55°C. De ventilator werd vervolgens weer ingeschakeld waarbij de draaitijd werd ingesteld op vier minuten en de stoptijd op achtenvijftig minuten (de maximale in te stellen stoptijd). De gemeten maximale en minimale temperaturen tweeënveertig dagen na aanvang waren 63°C respectievelijk 32°C. De gemiddelde temperatuur van alle meetpunten bedroeg 50°C.

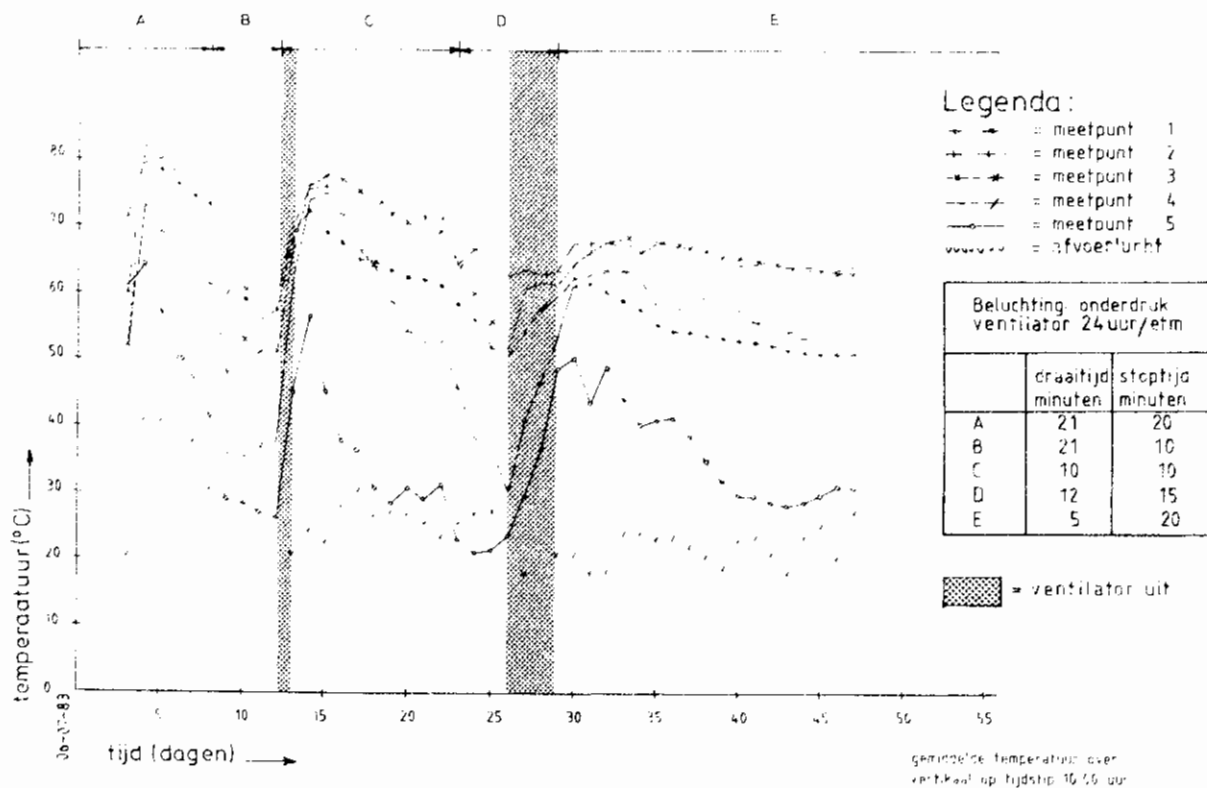
De gemiddelde temperaturen van proef ASHHB waren lager dan bij de proef met onderdrukbeluchting. Na aanvang van de beluchting werd een soortgelijk temperatuurbeeld geconstateerd: een snelle toename van de temperatuur tot circa 70°C, gevolgd door een afname. Ook bij deze proef werden de draai- en stoptijden van de ventilator aangepast en werd enkele malen de ventilator gedurende een aantal perioden van vierentwintig uur uitgeschakeld.

De spreiding van de gemeten temperaturen was minder groot dan bij de proef ASHHZ.

Voor het schakelen van de ventilator werd de gemiddelde proeftemperatuur aangehouden; zodra deze lager was dan 50°C of een sterke neiging tot daling vertoonde werd de ventilator uitgeschakeld. Inscha-

composteringstijd dagen	0	7	15	25	31	38	42	eind- produkt
<u>uitgangsmateriaal</u>								
CZV (mg/l)	1089	860	720	480	420	499	371	320
d.s.-gehalte (%)	15,3	22,0	25,3	39,2	36,1	39,0	45,5	48,8
gloeirest (% van d.s.)	30,7	37,1	56,3	46,7	53,1	50,2	-	62,7
zuurgraad (pH)	6,8	-	5,7	6,3	6,4	5,7	6,0	5,6
<u>afvoerlucht</u>								
CO ₂ (vol.%)	0,5	3,0	4,5	6,0	1,5	0,5	0,5	
NH ₃ (ppm)	0	50	0	100	0	0	0	
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-	-	-	
O ₂ (vol.%)	21,0	15,5	16,0	14,5	18,0	19,5	21	

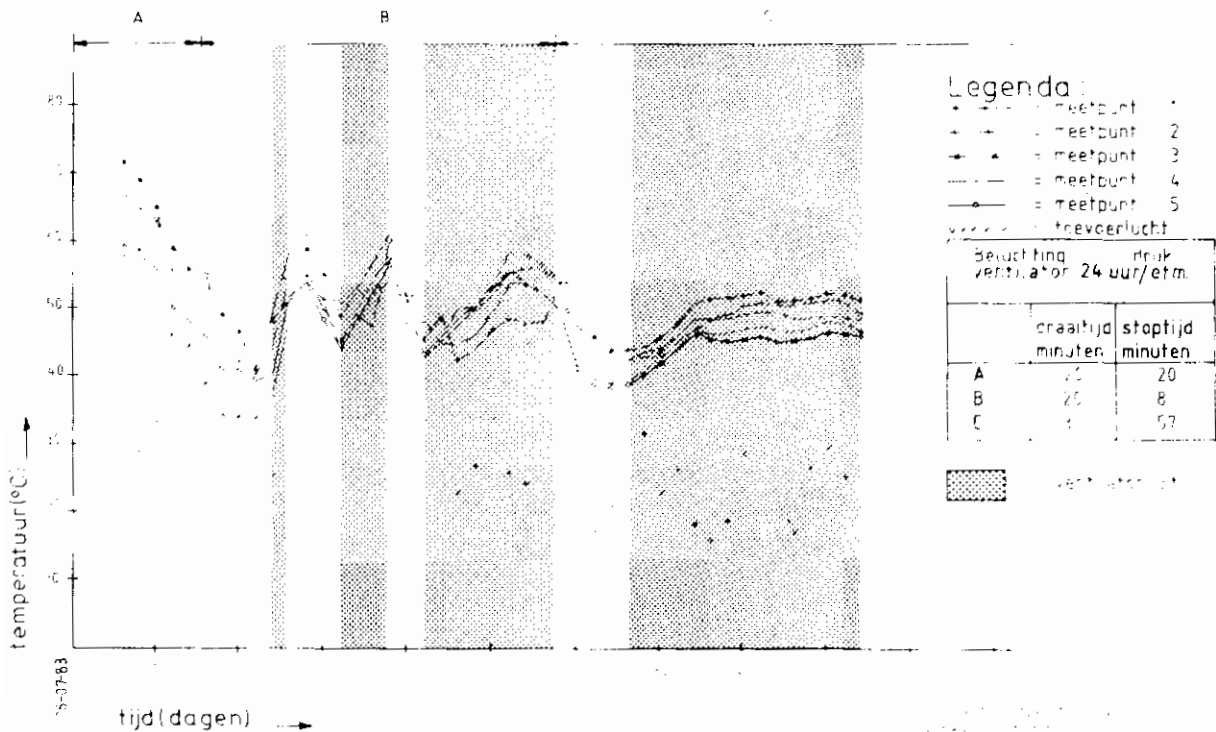
Tabel 30. Resultaten waarnemingen proef ASHHZ



Figuur 21. Temperatuurwaarnemingen proef ASHHZ

composteringstijd dagen	0	8	16	26	32	39	43	eind- produkt
<u>uitgangsmateriaal</u>								
CZV (mg/l)	1089	1050	810	750	610	650	550	390
d.s. gehalte (%)	15,3	21,7	29,1	43,0	45,0	43,2	42,5	46,1
gloeirest (% van d.s.)	30,7	35,5	35,5	37,0	36,0	42,0	44,0	60,2
zuurgraad (pH)	6,8	6,4	6,3	6,0	6,0	6,1	6,0	5,6
<u>afvoerlucht (via oppervlak)</u>								
CO ₂ (vol.%)	0,5	2,0	6,0	1,5	0,5	0,5	0,5	-
NH ₃ (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	-
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%) (binnen stapeling)	21,0	15,0	15,0	17,0	21,0	21,0	18,5	-

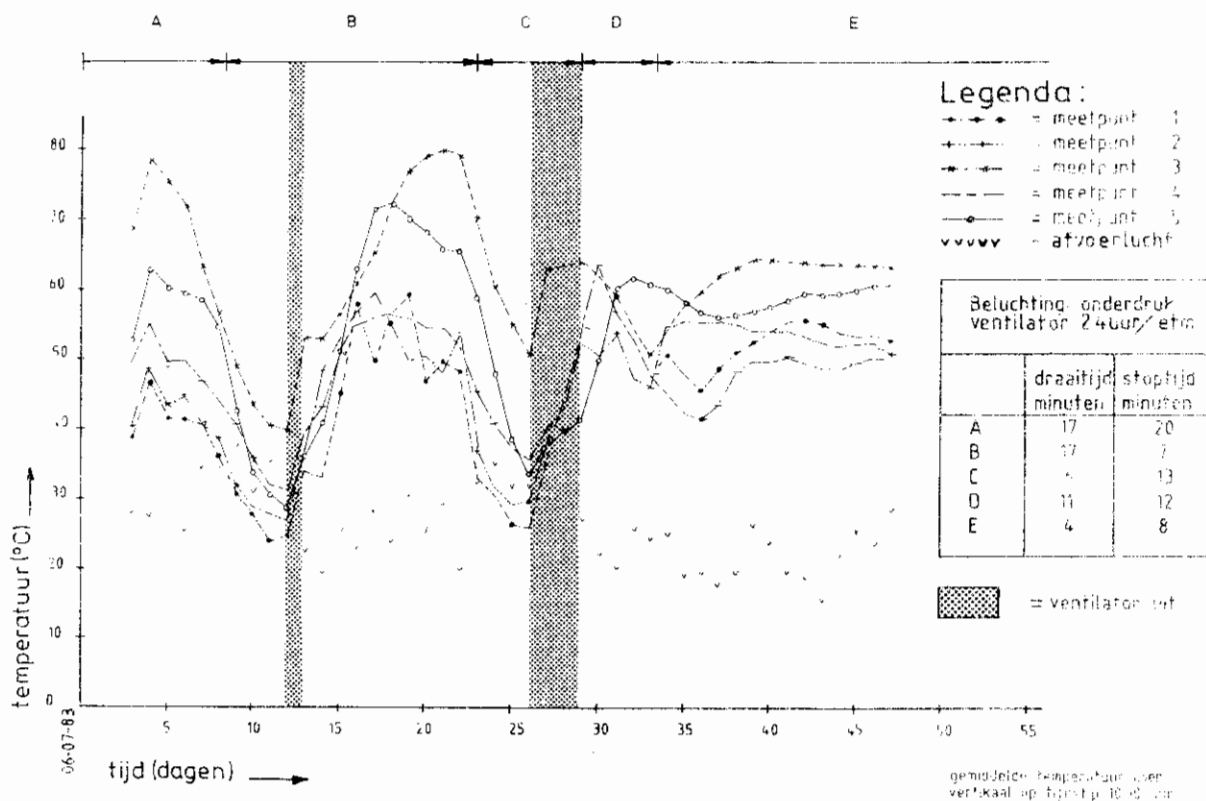
Tabel 31. Resultaten waarnemingen proef ASHHB



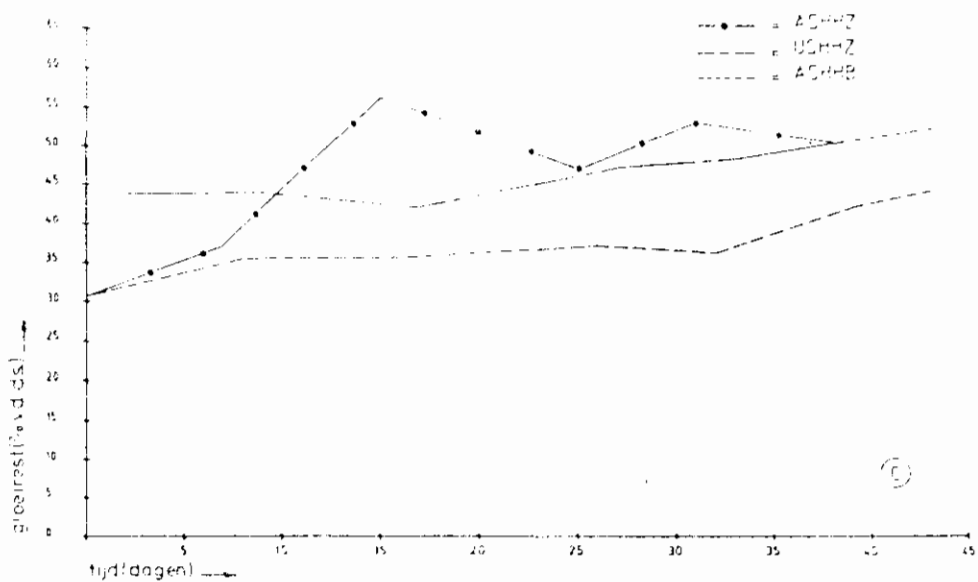
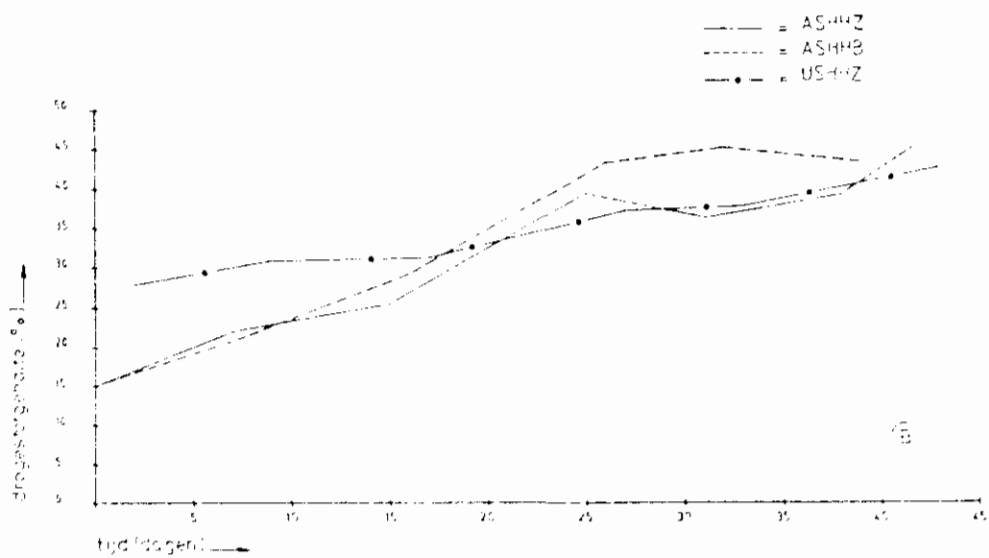
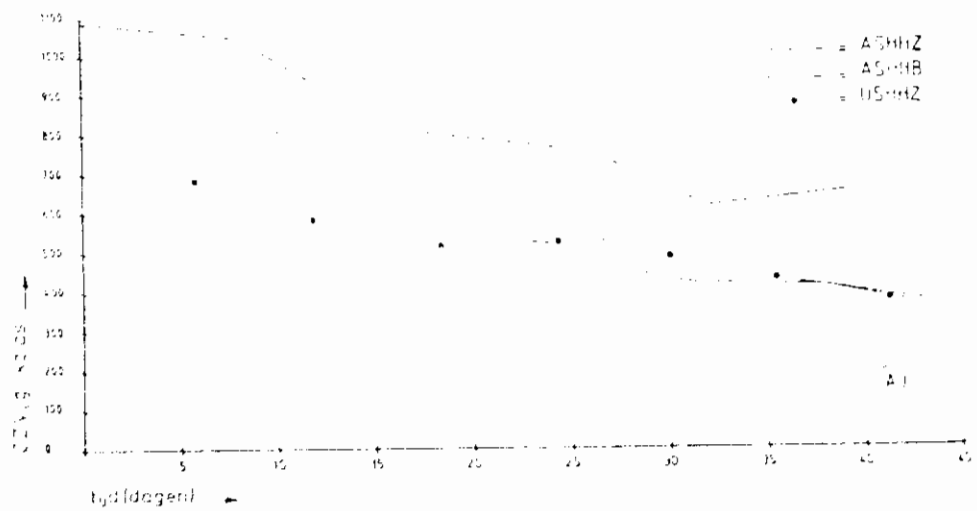
Figuur 22. Temperatuurwaarnemingen proef ASHHB

composteringstijd dagen	2	9	17	27	33	43	eind- produkt
<u>uitgangsmateriaal</u>							
CZV (mg/l)	760	623	510	525	448	370	289
d.s.-gehalte (%)	27,8	30,8	31,2	36,9	37,5	42,4	49,2
gloeirest (% van d.s.)	43,8	43,0	42,0	47,0	48,0	52,0	54,1
zuurgraad (pH)	6,7	6,4	6,6	6,4	6,4	6,4	6,0
<u>afvoerlucht</u>							
CO ₂ (vol.%)	0,5	1,0	2,0	0,5	2,5	1,0	-
NH ₃ (ppm)	0	60	50	5	0	0	-
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	21,0	19,0	19,0	14,5	19,0	18,0	-

Tabel 32. Resultaten waarnemingen proef USHHZ



Figuur 23. Temperatuurwaarnemingen proef USHHZ



Figuur 24. Het chemische zuurstofverbruik (A), het drogestofgehalte (B) en de gloeirest (C) als functie van de composteringstijd

keling van de ventilator vond plaats als de gemiddelde temperatuur 55°C bedroeg of als de gemiddelde temperatuur weer afnam, terwijl de ventilator buiten bedrijf was.

Een opvallend verschil was dat bij ASHHZ de ventilator 9% van de actieve composteringperiode buiten bedrijf is geweest en bij proef ASHHB 59% van de tijd.

De temperatuurverlopen van USHHZ en ASHHZ vertoonden eenzelfde beeld. Soortgelijke ingrepen in de draai- en stoptijden van de ventilator vonden plaats. Aan het eind van de actieve composteringmethode waren de maximale- en de minimale temperatuur 63°C respectievelijk 50°C.

Voor het in beeld brengen van de temperatuurverdeling binnen de stapelingen zijn de temperatuurwaarnemingen van de meetpunten op een hoogte van 0,60 m en 1,20 m boven het grondoppervlak afzonderlijk in grafiek gebracht.

Daartoe is van de waarnemingen van alle meetpunten op één hoogte het 24-uursgemiddelde bepaald en vervolgens in een assenkruis uitgezet als functie van de composteringstijd.

De resultaten van deze bewerking van de waarnemingen zijn weergegeven in de figuren 26, 28 en 30.

Bij onderdrukbeluchting hebben de meetpunten op een hoogte van 0,60 m boven het grondoppervlak gemiddeld een hogere temperatuur dan op 1,20 m boven het grondoppervlak.

De resultaten van de proef ASHHB duiden op temperatuurstratificatie binnen de stapeling.

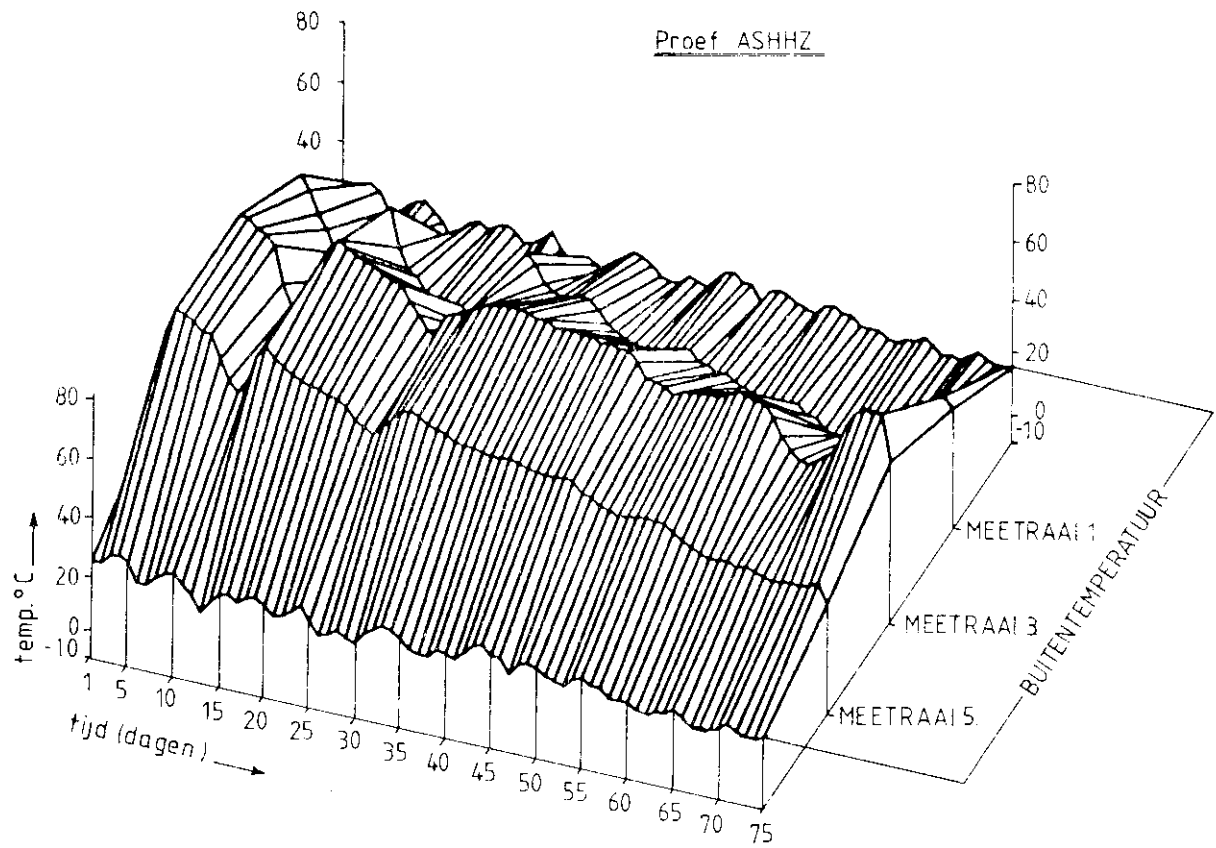
In de figuren 25, 27 en 29 zijn weergegeven de 24-uursgemiddelde temperatuurwaarnemingen over de meetraaien welke zich langs de diagonaal bevinden. Voor de plaats van de meetraaien wordt verwezen naar figuur 20. De waarnemingen zijn gemiddeld over de verticale richting.

In deze drie-dimensionale figuren is op de x-as de tijd uitgezet, op de y-as de positie van de meetpunten en op de z-as de gemiddelde temperatuur.

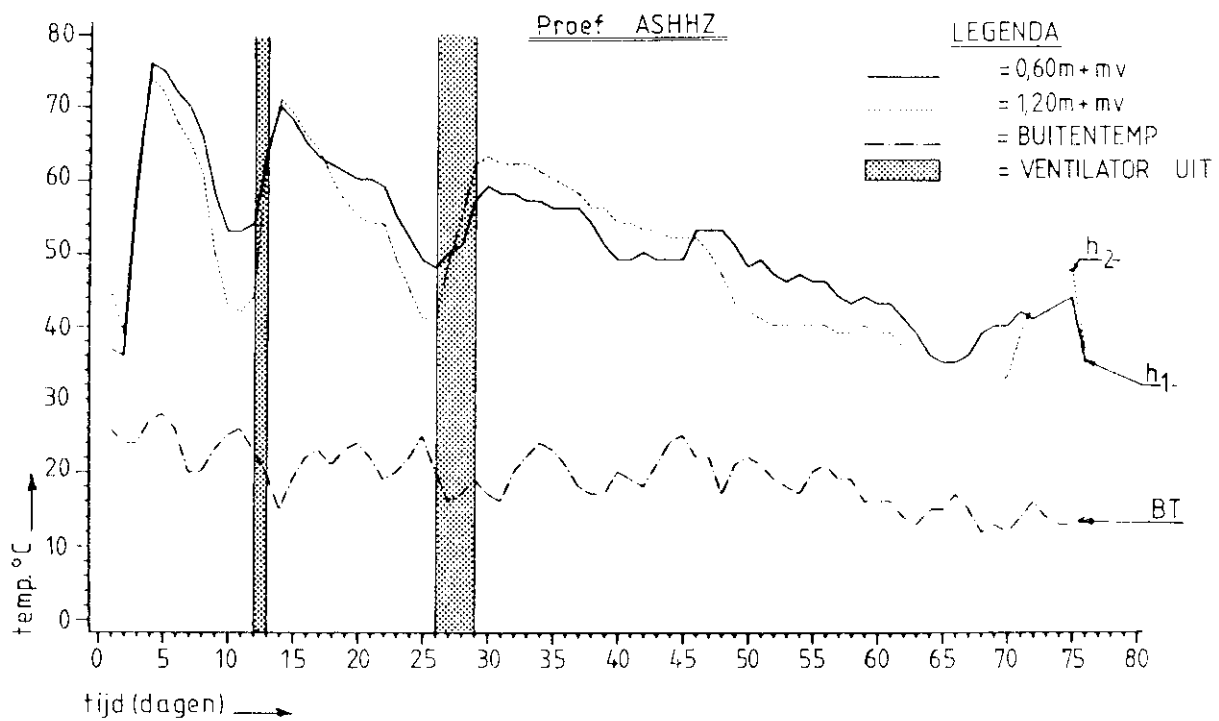
Aan de bovenzijde van de stapelingen werd met name in de ochtenduren, waterdamp geconstateerd. Dit nam na verloop van enige tijd af. Bij het verwijderen van de afdekcompost op enkele plaatsen bleek de toplaag van deze afdekcompost tot op een diepte van 2 à 3 cm met water verzadigd. Het onderliggende te composteren materiaal bleek in enkele gevallen minder vocht te bevatten dan de afdeklaag. Als oorzaak wordt aangenomen dat de dauwlaag, die zich 's nachts afzette, overdag verdampte.

Bij inspectie van het inwendige van de proeven ASHHZ en ASHHB 50 dagen na aanvang, werd geconstateerd dat de vochtverdeling binnen de stapeling redelijk homogeen was. Er werden geen duidelijke vochtovergangen geconstateerd.

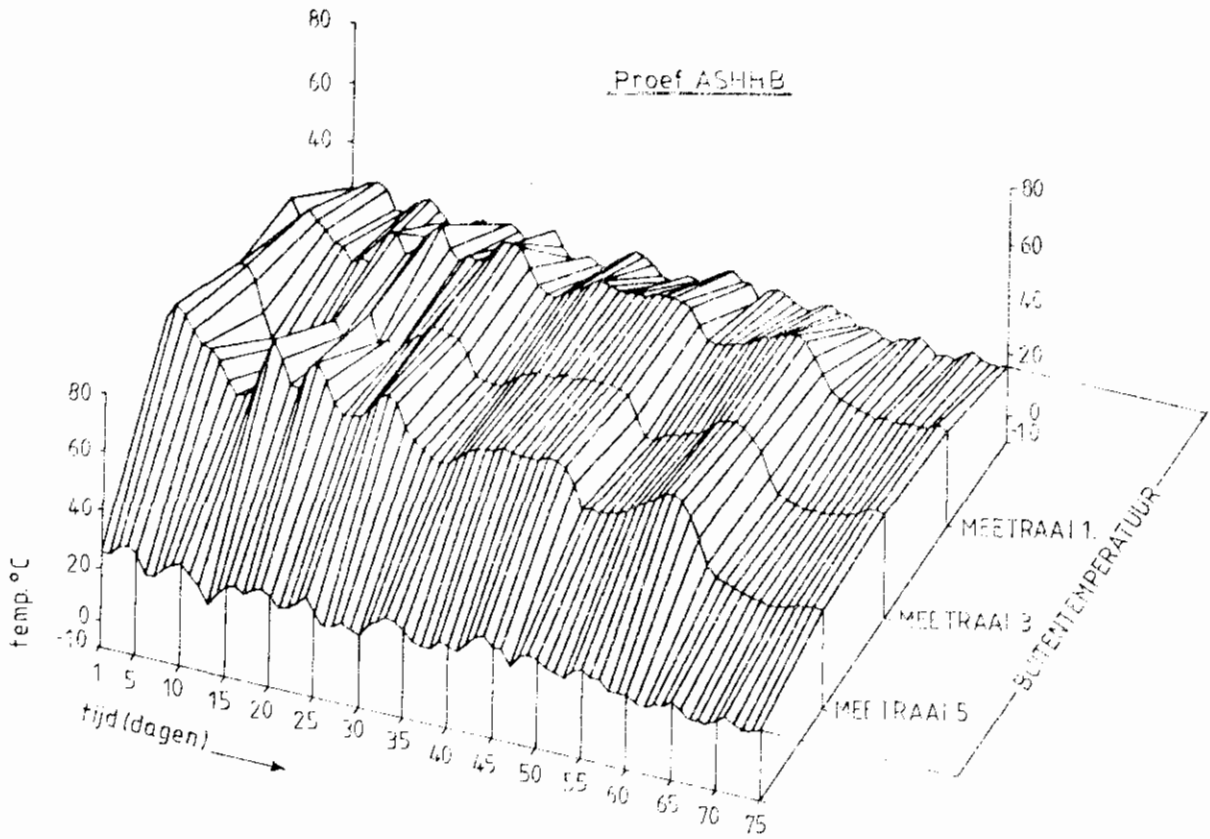
Het chemisch zuurstofverbruik van de proef ASHHZ nam af van 1089 mg/l tot 320 mg/l, bij proef ASHHB van 1089 mg/l tot 390 mg/l. Het chemisch zuurstofverbruik van het materiaal werd bepaald aan het eind van de actieve composteringperiode (na 42 dagen) en na afzeven, in het eindprodukt. Bij alle proeven bleek het chemisch zuurstofverbruik aan het eind van de actieve compostering aanzienlijk verminderd. In tabel 33 is het chemisch zuurstofverbruik weergegeven van het eindprodukt. Terughoudendheid bij de interpretatie van deze



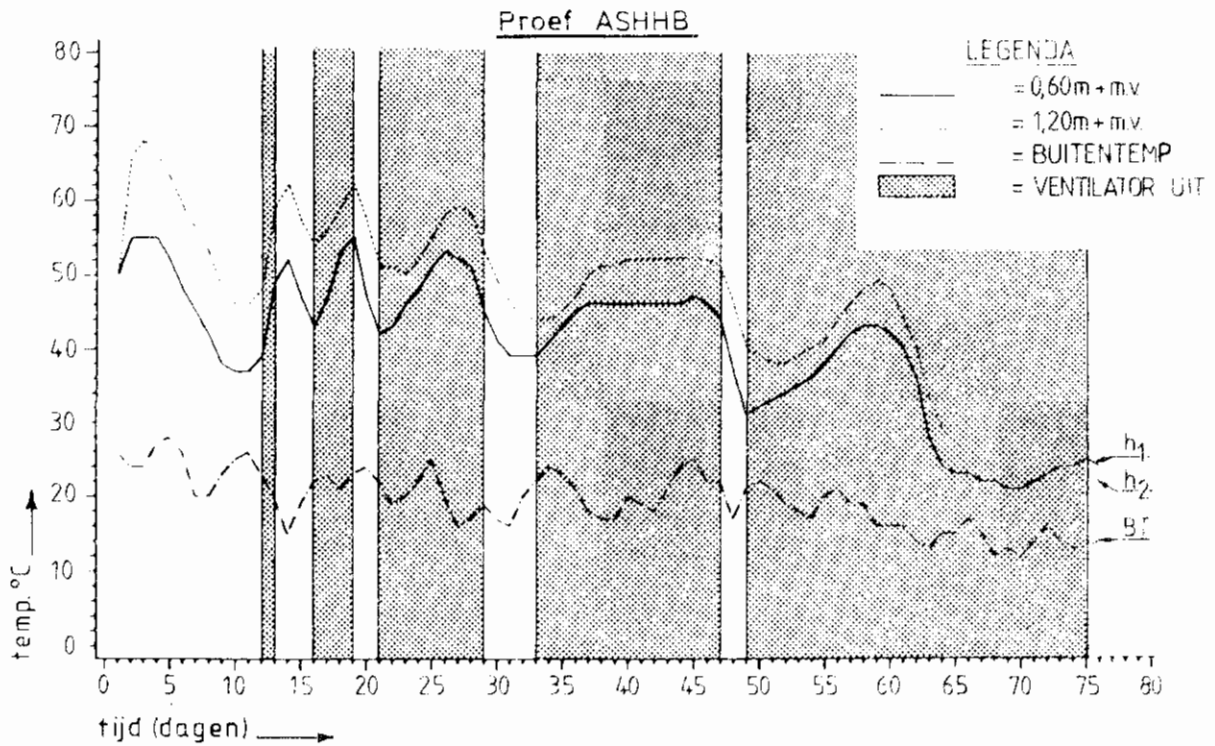
Figuur 25. 24-uursgemiddelde temperatuur per meetraai als functie van de composteringsstijd



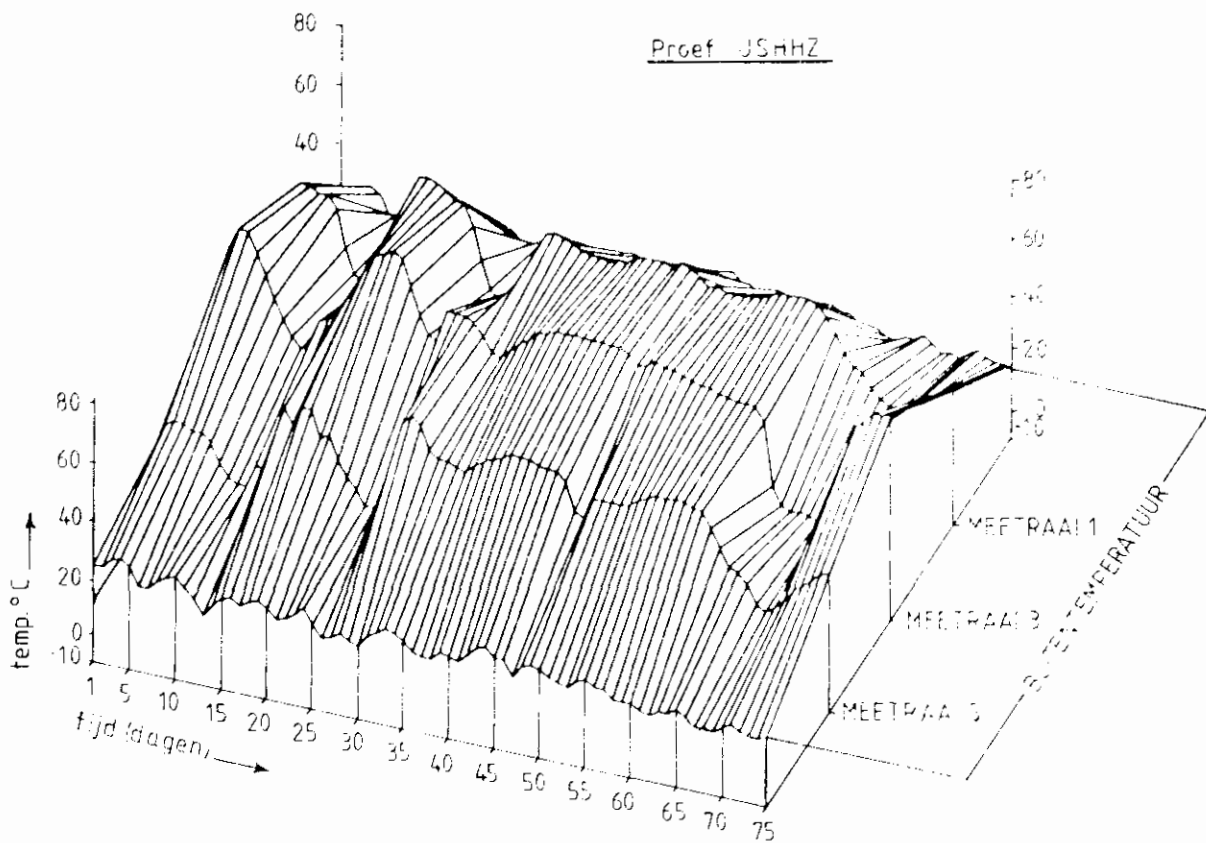
Figuur 26. 24-uursgemiddelde temperatuur op hoogte h1 en h2 als functie van de composteringsstijd



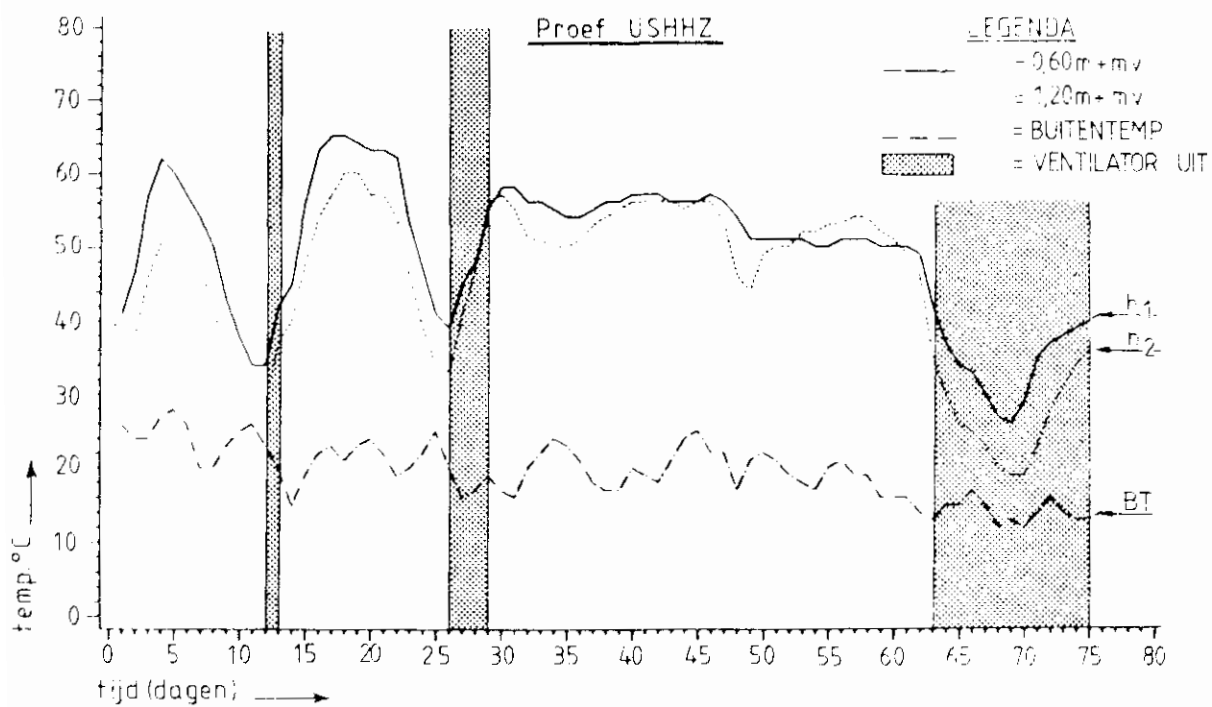
Figuur 27. 24-uursgemiddelde temperatuur per meetraai als functie van de composteringstijd



Figuur 28. 24-uursgemiddelde temperatuur op h1 en h2 als functie van de composteringstijd



Figuur 29. 24-uursgemiddelde temperatuur per meetraai als functie van de composteringstijd



Figuur 30. 24-uursgemiddelde temperatuur op h1 en h2 als functie van de composteringstijd

waarden voor het eindprodukt is geboden, aangezien zich in het eindprodukt zeker afdekcompost bevindt.

proef	CZV ₀ (mg/l)	CZV ₄₂ (mg/l)	afname (%)	CZV _{eind} (mg/l)	afname (%)	totaal afname (%)
ASHHZ	1089	371	65,9	320	4,7	70,6
ASHHB	1089	550	49,5	390	14,7	64,2
USHHZ	760	370	51,3	289	10,7	62,0

Tabel 33. Afname chemisch zuurstofverbruik uitgangsmateriaal

proef	gl.r.begin % d.s.	gl.r.42 % d.s.	toename %	gl.r.eind % d.s.	toename %	totaal toename %
ASHHZ	30,7	50,2	63,5	62,7	40,7	102,7
ASHHB	30,7	44,0	43,3	60,2	42,3	86,3
USHHZ	43,8	52,0	18,7	54,1	4,8	56,8

Tabel 34. Toename gloeirest uitgangsmateriaal

Uit de resultaten blijkt dat gedurende de actieve composteringsperiode het chemisch zuurstofverbruik afneemt met 50 tot 66% van de aanvangswaarde. Als het chemisch zuurstofverbruik in het eindprodukt niet sterk wordt beïnvloed door de afdekcompost, treedt tijdens narijpen nog een verdere reductie op met 5 tot 15% van de aanvangswaarde.

De toename van de gloeirest is in tabel 34 weergegeven.

De gloeirest blijkt tijdens de actieve composteringsperiode van ASHHZ en ASHHB toe te nemen met 43 tot 64%. De toename van de gloeirest van proef USHHZ is aanzienlijk kleiner. Voor zover de eindmonsters als representatief worden beschouwd voor het gecomposteerde slib, zou de toename van de gloeirest gedurende de narijpsperiode in dezelfde orde van grootte liggen als tijdens de actieve composteringmethode.

Het inwendige van de proef USHHZ maakte visueel een vochtige indruk. De temperatuur in deze stapeling bleef ook langer op een niveau van ca. 60°C gehandhaafd.

CO₂- en NH₃-gehalten in de afvoerlucht van de ventilatoren konden slechts worden gemeten bij de proeven met onderdrukbeluchting. De resultaten daarvan zijn weergegeven in de figuur 31. Hoewel incidenteel hoge concentraties NH₃ werden waargenomen, waren deze op een afstand van 5 meter van de afvoerleiding niet detecteerbaar. Het filteren van de afvoerlucht is dan ook achterwege gelaten. Omdat de afvoerlucht van de proef ASHHB ontwijkt via de stapeling konden geen correcte gasmetingen worden uitgevoerd. Om toch een indicatie te verkrijgen zijn op willekeurige plaatsen direct aan het oppervlak CO₂- en NH₃-metingen uitgevoerd.

Ter vergelijking is dit ook gedaan bij ASHHZ en USHHZ. De maximaal

Tabel 36. Resultaten analyses proef ASHNB

chemische analyses	slib	toeslag- materiaal	afdek- compost	eind- produkt	zeeftrest
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
elementair- koolstof (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	62,0
kwik (mg/kg d.s.)	2,5	0,1	-	3,1	2,8
arsen (mg/kg d.s.)	3,3	0,2	-	3,3	2,9
microbiologische bepalingen	2,5.10 ⁶	-	-	5	-
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	-	-	-	-	-
thermotolerante bacteriën (/g d.s.)	5,2.10 ⁴	-	-	8,8.10 ²	-
van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	-	-	-	-	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0,2	-

Tabel 35. Resultaten analyses proef ASHNB

chemische analyses	slib	toeslag- materiaal	afdek- compost	eind- produkt	zeeftrest
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
elementair- koolstof (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	12,0
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
arsen (mg/kg d.s.)	3,3	0,2	-	2,1	2,6
microbiologische bepalingen	2,5.10 ⁶	-	-	10	-
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	-	-	-	-	-
thermotolerante bacteriën (/g d.s.)	5,2.10 ⁴	-	-	0,2	-
van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	-	-	-	-	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0,2	-

gemeten concentraties zijn weergegeven in figuur 32.

Uit deze figuur blijkt dat aan het oppervlak van de stapeling van alle proeven aanzienlijke CO₂- en NH₃-concentraties voorkomen. Desondanks heeft dit geen aanleiding gegeven tot stankhinder. Gedurende de gehele proefperiode is de afvoerlucht van de proeven met onderdrukbeluchting rechtstreeks naar de buitenlucht afgevoerd.

Uit de waarnemingen blijkt dat de CO₂ en NH₃-concentraties niet maximaal zijn aan het begin van de actieve composteringsperiode maar eerst na 25 dagen.

1.4.4 zeefproeven

De stapelingen werden 75 dagen na aanvang afgebroken om het porositeitverhogend toeslagmateriaal af te scheiden. Hiertoe is gebruik gemaakt van een roterende zeeftrommel met een lengte van 5 m. De zeeftrommel was opgesteld onder een helling van 5°. De cilindrische trommel bestond uit gaas met een maaswijdte van 2 cm.

Aan de binnenomtrek van de trommel was een opstaande rand aangebracht welke in de langsrichting een spiraalvorm beschreef. Deze zorgde ervoor dat tijdens het roteren van de trommel het te zeven grove materiaal werd opgeworpen. Daardoor was de verblijftijd voor het grove materiaal korter dan voor het materiaal met kleinere afmetingen.

De zeeffractie, bestaande uit gecomposteerd slib, vochtregulerend toeslagmateriaal en afdekcompost werd in depot gezet voor een narijping van drie maanden en daarna gezeefd in een trommelzeef. De resultaten zijn weergegeven in tabel 39.

Uit de zeefresultaten blijkt dat de zeeffractie, na afscheiding van het porositeitverhogende toeslagmateriaal, bestaat uit 20-25 volume % gecomposteerd slib, 20-25 volume % afdekcompost en 50 volume % vochtregulerend toeslagmateriaal tezamen met niet of onvolledig gecomposteerd slib.

1.4.5 conclusies uit de 3e proevenserie

Compostering van aëroob gestabiliseerd slib en uitgegist slib is onder de heersende meteorologische omstandigheden goed mogelijk gebleken.

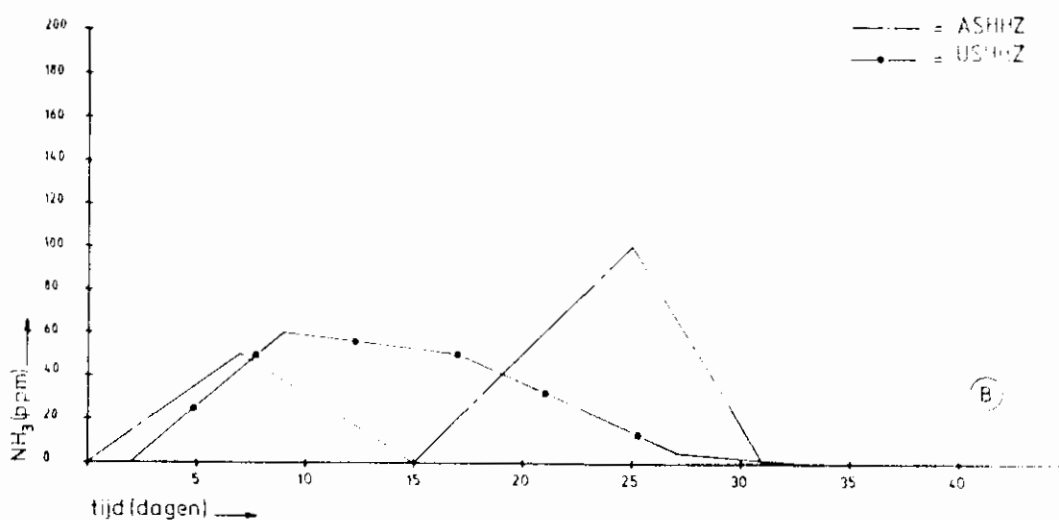
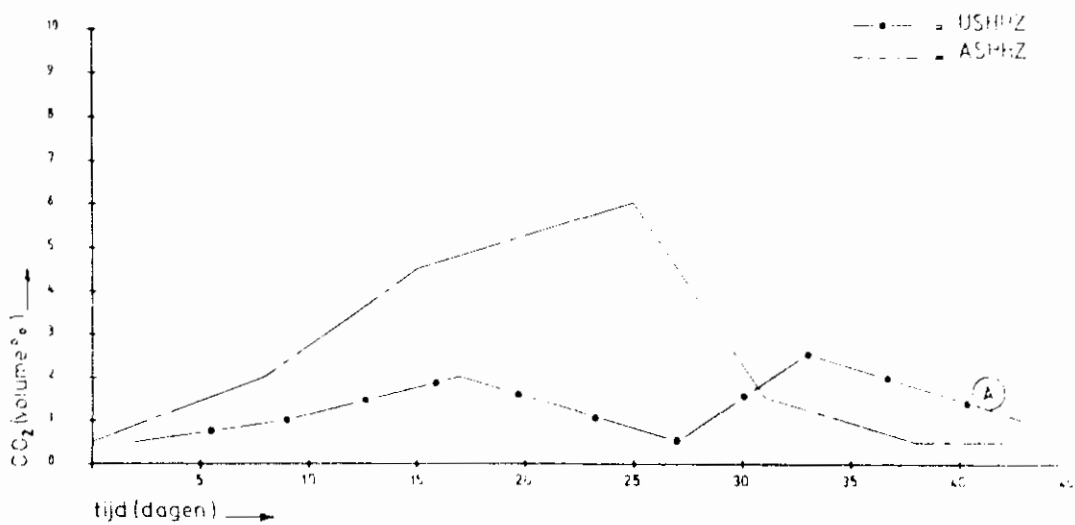
Evenals in de tweede proevenserie blijkt de toevoeging van een toeslagmateriaal met relatief grote afmetingen de stapeling de benodigde porositeit te kunnen verschaffen.

Blijkens de concentratiemetingen van de gasvormige afbraakcomponenten, treedt de maximale afbraak van organische stof op ongeveer vijftientig dagen na het begin van de actieve composteringsperiode.

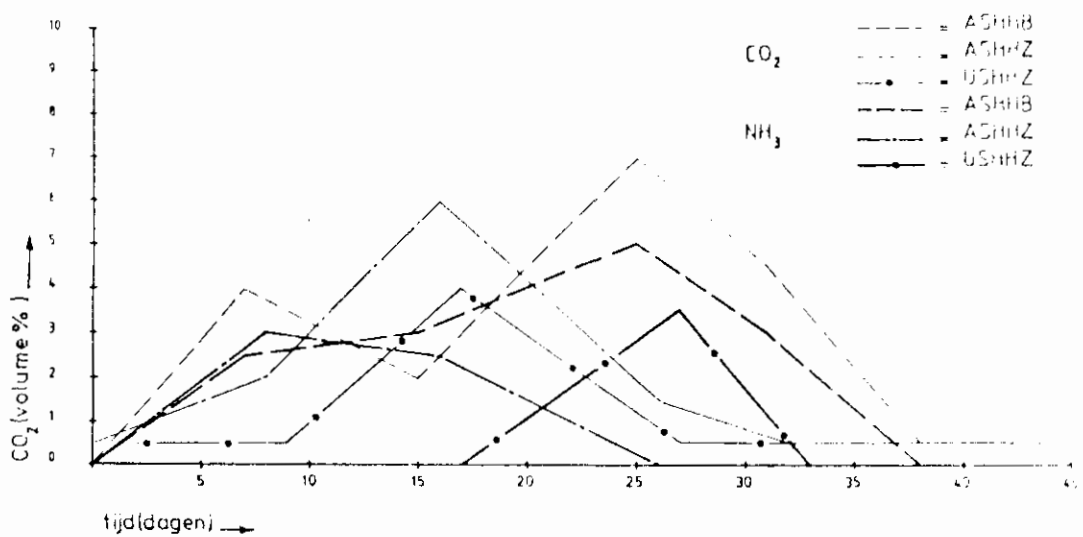
De procentuele afname van het chemisch zuurstofverbruik gedurende de actieve composteringsperiode van zes weken blijkt het grootst voor de proef ASHHZ (66%) en het kleinst voor de proef ASHHB (50%); voor proef USHHZ bleek de afname 51%.

Het chemisch zuurstofverbruik van de eindprodukten, na zeping, nam in alle gevallen verder af.

De gloeirest van het slib nam toe tijdens compostering. Deze toename is het grootst voor het materiaal van de proeven ASHHZ en ASHHB, gemiddeld 53%.



Figuur 31. CO₂- en NH₃-gehalte in de afvoerlucht van de ventilatoren



Figuur 32. Maximale concentraties CO₂ en NH₃ gemeten aan het oppervlak van de stapelingen

	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
chrom (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 ⁶	-	-	10	-
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	1,8.10 ⁴	-	-	1,3.10 ⁵	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0,2	-

Tabel 37. Resultaten analyses proef USHHZ

proef	te zeven volume		zeefrest volume		zeef fractie volume	
	m ³	%	m ³	%	m ³	%
ASHHZ	101	100	25	24,8	76	75,2
ASHHB	102	100	26	25,5	76	74,5
USHHZ	109	100	24	22,0	85	78,0

Tabel 38. Zeefresultaten porositeitverhogend toeslagmateriaal

proef	te zeven volume		compost				zeefrest		
			totaal		zonder afdekc.				% van oorspron- kelijk volume toeslagmateriaal
	m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%	
ASHHZ	76	100	36	48	16	21	40	52	87
ASHHB	76	100	40	52	18	24	36	48	78
USHHZ	85	100	42	49	19	22	43	51	94

Tabel 39. Zeefresultaten vochtregulerend toeslagmateriaal

Tengevolge van het composteringsproces is het slib in redelijke mate gedesinfecteerd.

1.5 4e proevenserie

De 4e proevenserie is 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. Hoewel de maatregel voldoende was voor voorkoming van stankhinder tijdens de proeven blijkt voor een permanente binnenopstelling luchtbehandeling noodzakelijk. Vanwege het tijdelijke karakter is dit tijdens de 4e proevenserie achterwege gelaten.

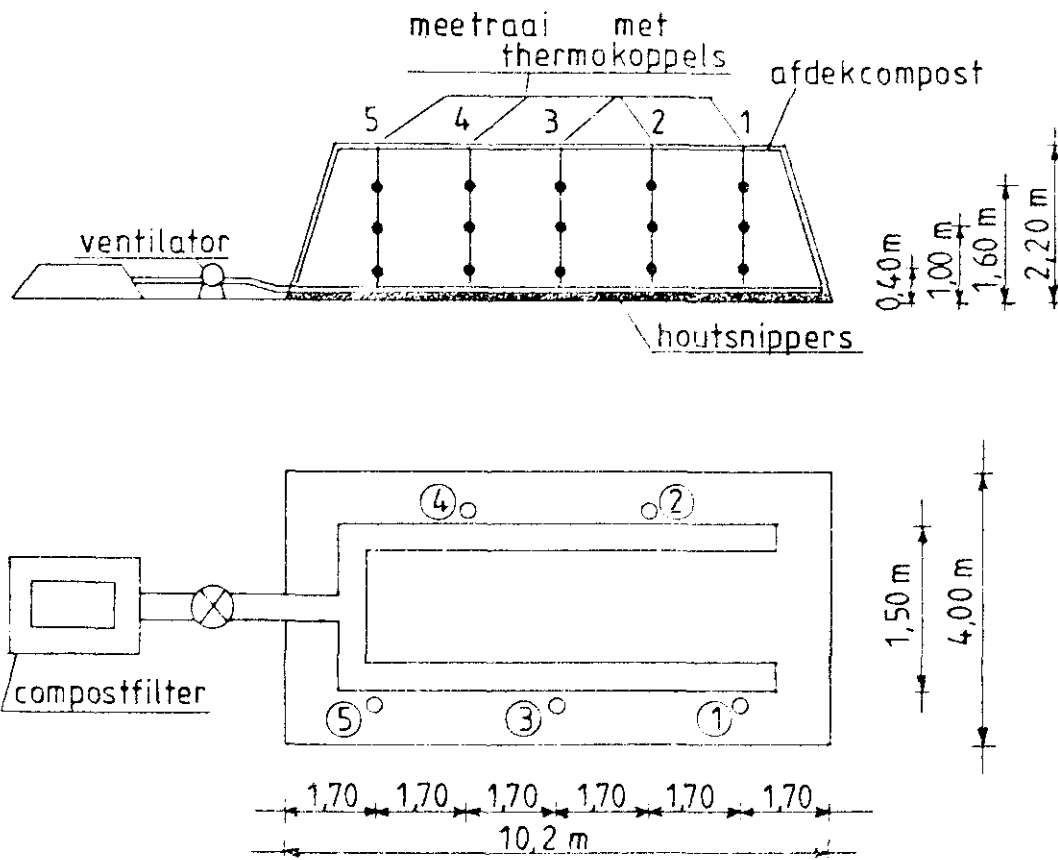
1.5.1 aanvoer, mengen, opbouw en voorzieningen

Vanwege de beschikbare ruimte zijn de afmetingen van de proeven geringer dan in de voorgaande series (zie figuur 33). In twee proeven zijn twee toeslagmaterialen toegepast; houtblokken als porositeitverhogend toeslagmateriaal en houtschillen als vochtregulerend toeslagmateriaal. In beide proeven werd aëroob gestabiliseerd slib als beginmateriaal gebruikt.

Bij één proef, ASHHZ, werd onderdrukbeluchting toegepast, bij de andere proef, ASHHB, werd drukbeluchting toegepast. Deze proeven zijn vergelijkbaar met de overeenkomstige proeven van de 3e proevenserie. In een derde proef ASHZ werd porositeitverhogend toeslagmateriaal weggelaten en alleen vochtregulerend toeslagmateriaal gebruikt. Bij deze proef werd onderdrukbeluchting toegepast. Door het ontbreken van het porositeitverhogende toeslagmateriaal was de lengte van de stapeling kleiner dan van beide andere proeven. De aanvangshoogte van alle stapelingen was nagenoeg dezelfde 2,20 m. Alle stapelingen waren afgedekt met een laag compost van 0,20 cm.

De temperaturen werden gemeten met behulp van thermokoppels welke aan stokken bevestigd in de stapelingen werden aangebracht. Per proef werden 5 meetraaien geplaatst; per meetraai waren 3 thermokoppels aangebracht op een hoogte van 0,40 m, 1,00 m en 1,60 m boven maaiveld. Bemonstering en verwerking van de meetgegevens vond plaats op dezelfde wijze als bij de 3e proevenserie.

1.5.2 uitvoering proeven



Figuur 33. Opstelling proeven 4e proevenserie

	AS	toeslagmateriaal	
		houtschillen	houtblokken
nat gewicht (ton)	18	4,2	-
volume (m ³)	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 _v	1	1,94	1,4
TF _n	1	0,23	-
TF _d	1	1,25	-
<u>beluchting: onderdruk</u>			
ventilatorcapaciteit	:	525 m ³ .h ⁻¹	
drukverschil	:	120 mmWk	
luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer	:	10.820 m ³	
luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer	:	138.600 m ³	
gemiddelde composteringstemperatuur	:	50 °C	
gemiddelde temperatuur buitenlucht	:	10 °C	
totaal benodigde luchttoevoer	:	138.600 m ³	

Tabel 40. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASHHZ

	AS	toeslagmateriaal	
		houtschillen	houtblokken
nat gewicht (ton)	17	4,2	-
volume (m ³)	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 _v	1	2,06	1,6
TF _n	1	0,25	-
TF _d	1	1,33	-
<u>beluchting: druk</u> ventilatorcapaciteit : 550 m ³ .h ⁻¹ drukverschil : 120 mmWk luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer : 10.200 m ³ luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer : 130.200 m ³ gemiddelde composteringstemperatuur : 50 °C gemiddelde temperatuur buitenlucht : 10 °C totaal benodigde luchttoevoer : 130.200 m ³			

Tabel 41. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASHHB

	AS	toeslagmateriaal	
		houtschillen	
nat gewicht (ton)	12,3	4,2	
volume (m ³)	12,3	35	
drogestofgehalte (%)	14,7	78,6	
gewicht drogestof (ton)	1,8	3,3	
gloeirest (in % van d.s.)	26,4	-	
gewicht organische stof (ton)	1,33	-	
toeslagfactoren:			
TF _v	1	2,8	
TF _n	1	0,34	
TF _d	1	1,83	
<u>beluchting: onderdruk</u> ventilatorcapaciteit : 520 m ³ .h ⁻¹ drukverschil : 120 mmWk luchtbehoefte t.b.v. zuurstoftoevoer : 7.400 m ³ luchtbehoefte t.b.v. vochtafvoer : 94.100 m ³ gemiddelde composteringstemperatuur : 50 °C gemiddelde temperatuur buitenlucht : 10 °C totaal benodigde luchttoevoer : 94.100 m ³			

Tabel 42. Gegevens uitgangsmaterialen proef ASHZ

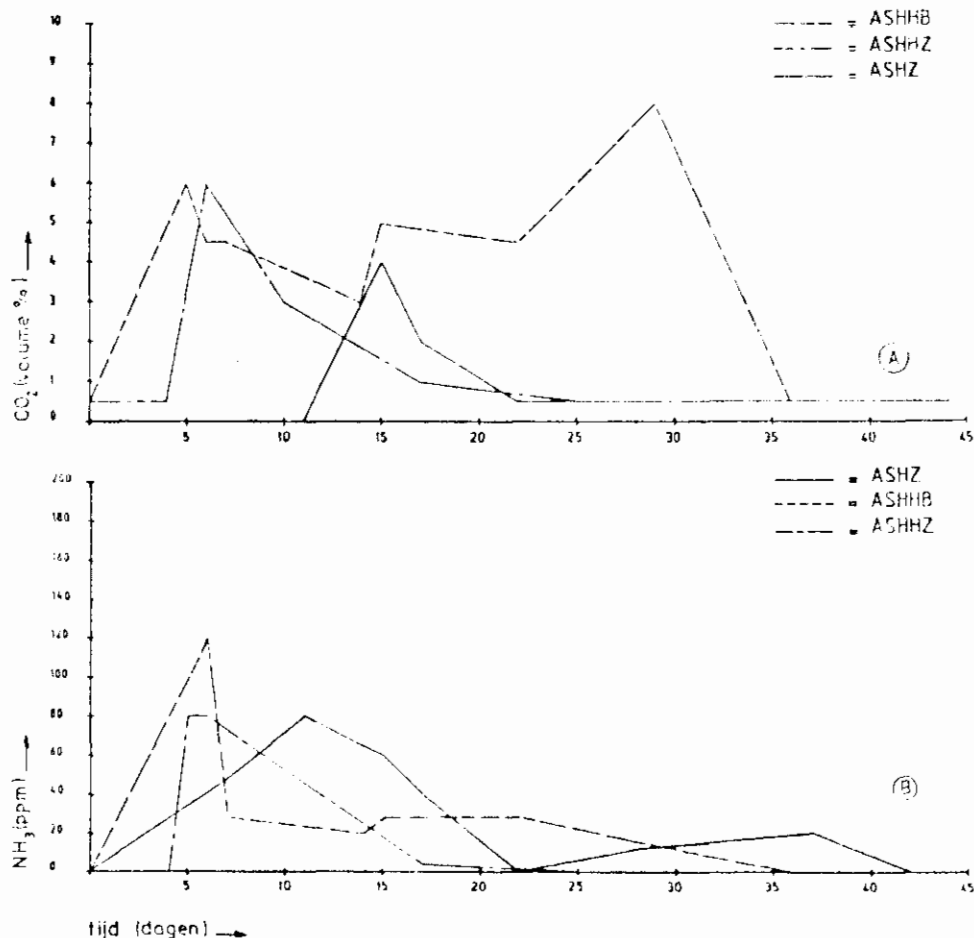
1.5.3 waarnemingen

Uit de gasmetingen van de afvoerlucht blijkt dat de hoogste CO₂-concentratie optreedt bij proef ASHZ vijf dagen na aanvang; daarna nam het CO₂-gehalte af. Na vijftien dagen zijn geen hogere CO₂-gehalten gemeten dan de achtergrondconcentratie.

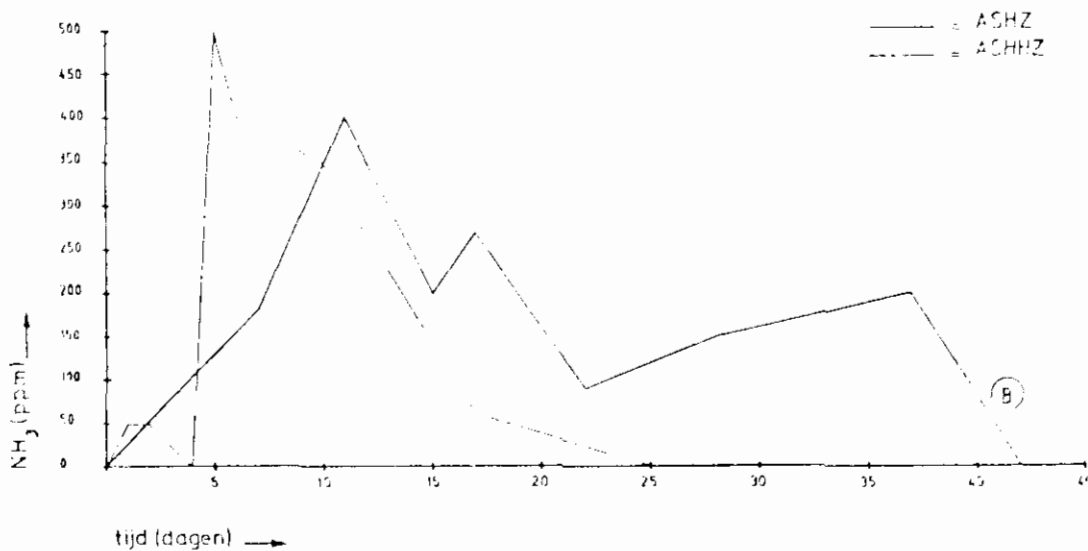
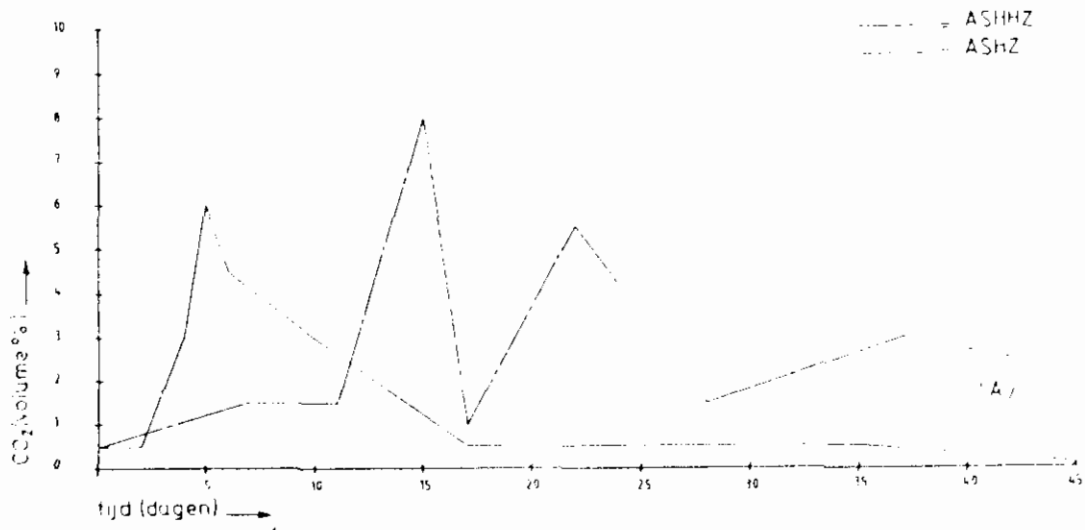
Het maximale CO₂-gehalte in de afvoerlucht van proef ASHHZ werd gemeten vijftien dagen na aanvang van de beluchting. Hierna trad nog een piekconcentratie op tweeëntwintig dagen na aanvang.

Bij proef ASHHB werd aan het oppervlak van de stapeling een piekconcentratie gemeten dertig dagen na aanvang van de beluchting. De metingen vonden plaats na verwijdering van de afdekcompost.

De NH₃-concentraties in de afvoerlucht en aan het oppervlak van de stapelingen waren hoog; een maximale concentratie van 500 ppm werd gemeten in de afvoerlucht van ASHHZ. Ammoniak en aminen (ammoniakachtige verbindingen) werden nauwelijks afgevangen in compostfilters. Zij kunnen, afhankelijk van de omstandigheden dus aanleiding zijn voor klachten over stankhinder. Om deze hinder voor de omgeving weg te nemen werden met landbouwfolie (polyethyleen 0,15 mm) twee toegangen afgedicht. Binnen de hal konden echter plaatselijk hoge concentraties ontstaan wanneer de ventilatoren tegelijk in werking traden. Door de vermindering van de natuurlijke ventilatie van de ruimte, als gevolg van het afsluiten van de toegangen, en de relatief lage buitentemperatuur condenseerde vrijkomende waterdamp op wanden en overkapping.



Figuur 34. CO₂-gehalte (A) en NH₃-gehalte (B) gemeten aan het oppervlak



Figuur 35. CO₂- en NH₃-gehalte in de afvoerlucht ventilatoren

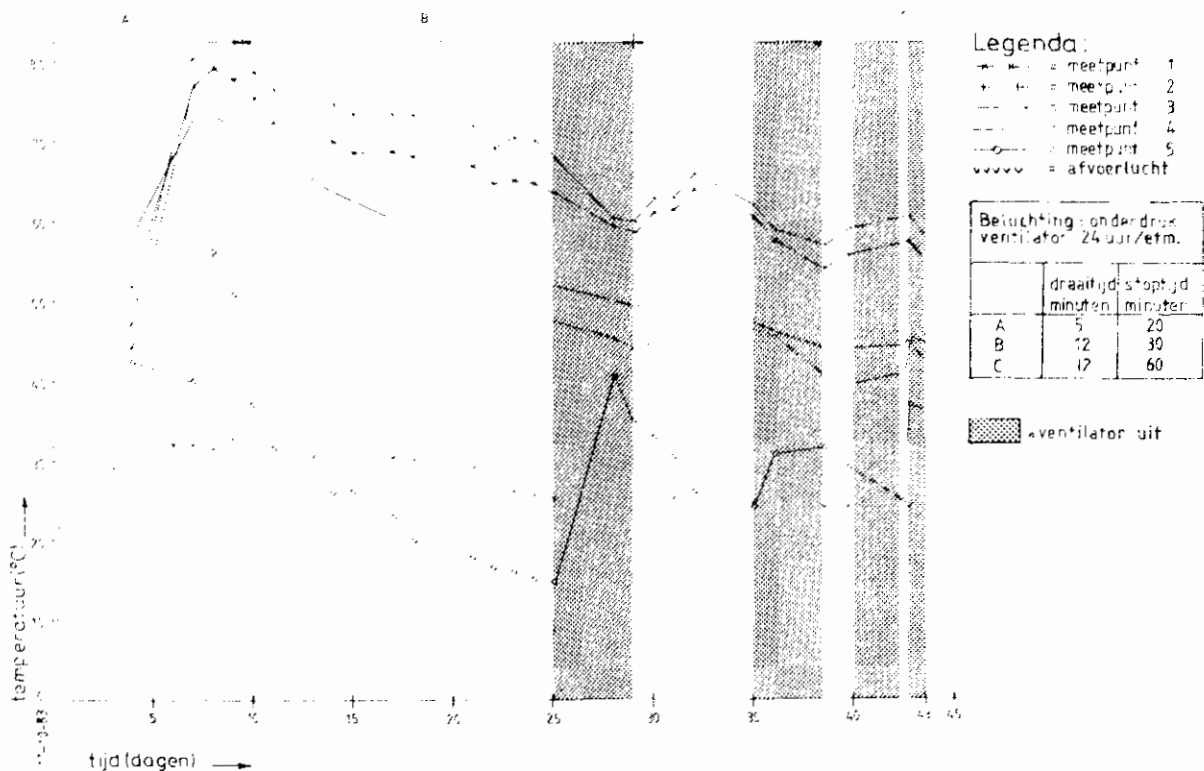
Het temperatuurverloop van de proeven ASHHZ en ASHHB kwam goed overeen met de overeenkomstige proeven van de 3e proevenserie. Ook de temperaturen in de stapelingen waren relatief hoog, ondanks de lage buitentemperaturen. De beluchtingstijden werden aangepast, afhankelijk van de temperaturredaling. De gemiddelde temperatuur in de stapeling ASHHZ was hoger dan in de stapeling ASHHB, de temperatuurverdeling in deze laatste was daarentegen meer gelijkmatig.

Beide proeven vertoonden gedurende de eerste dagen een vrij sterke inlink waardoor een schijnbare volumevermindering optrad van circa 20%.

Het temperatuurverloop van proef ASHZ vertoonde een minder gelijkmatig beeld dan de vergelijkbare proef ASHHZ. De waarnemingen van de meetraaien 4 en 5, het dichtst gelegen bij de ventilator hadden gedurende de periode van actieve compostering aanzienlijk lagere waarden dan de overige meetpunten. In tegenstelling tot de beide andere proeven werd geen inlink waargenomen.

composteringstijd dagen	0	1	2	4	5	6	10	17	25	30	35	eind-product
uitgangsmateriaal												
CZV (mg/l)	1110	-	-	-	800	-	620	480	525	480	440	360
d.s.gehalte (%)	14,7	-	-	-	17,5	-	20	35	32	35	38	55,8
gloeirest (%van d.s.)	26,4	-	-	-	32,0	-	45,4	42,0	42,0	47,5	44,0	52,1
zuurgraad (pH)	6,8	-	-	-	-	-	6,8	-	-	-	-	6,7
afvoerlucht												
CO ₂ (vol.%)	0,5	0,5	0,5	3,0	6,0	4,5	3,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
NH ₃ (ppm)	0	50	50	0	500	400	350	60	0	0	0	0
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	21	20	21	17,5	15,5	15,5	15,0	17,5	19,0	21	21	-

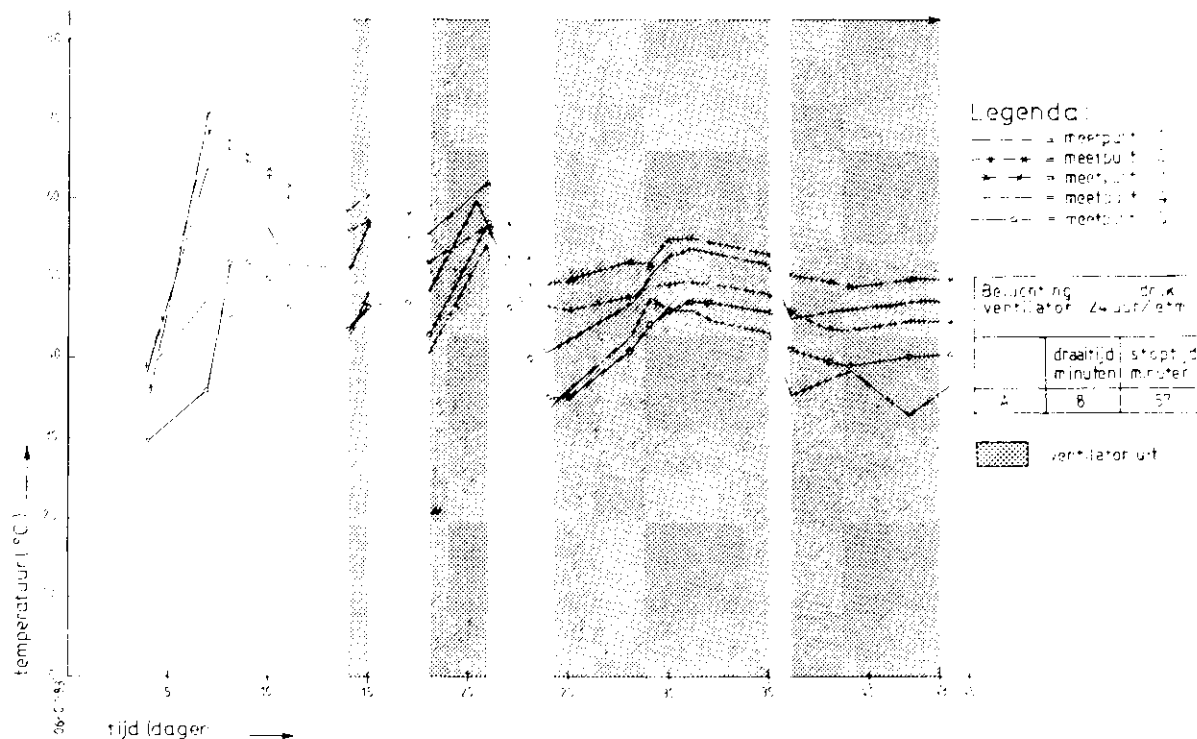
Tabel 43. Resultaten waarnemingen proef ASHHZ



Figuur 36. Temperatuurwaarnemingen proef ASHHZ

composteringstijd dagen	0	5	6	7	14	15	22	29	36	eind-product
uitgangsmateriaal										
CZV (mg/l)	1110	800	-	-	780	-	580	645	570	570
d.s.-gehalte (%)	14,7	16,5	-	19,2	28,0	-	38,2	37,2	43,4	55,8
gloeirest (%van d.s.)	26,4	27,4	-	29,2	43,0	-	41,2	52,0	45,7	49,6
zuurgraad (pH)	6,7	6,8	-	-	6,2	6,6	6,4	6,5	6,2	6,3
afvoerlucht										
CO ₂ (vol.%)	0,5	6,0	4,5	4,5	3,0	5,0	4,5	8,0	0,5	0,5
NH ₃ (ppm)	0	250	300	70	50	70	70	30	0	0
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	21,0	15,5	16,0	17,5	15,0	15,5	15,5	13,0	20,0	21,0

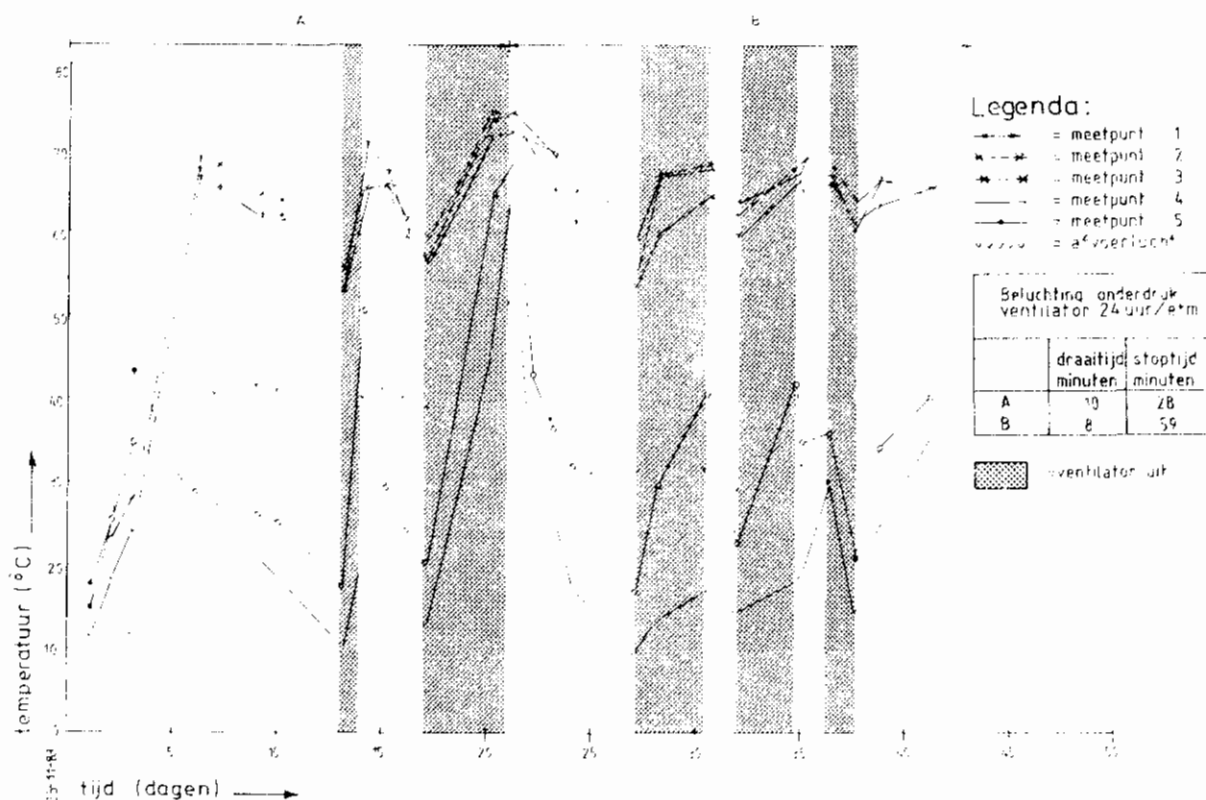
Tabel 44. Resultaten waarnemingen proef ASHHB



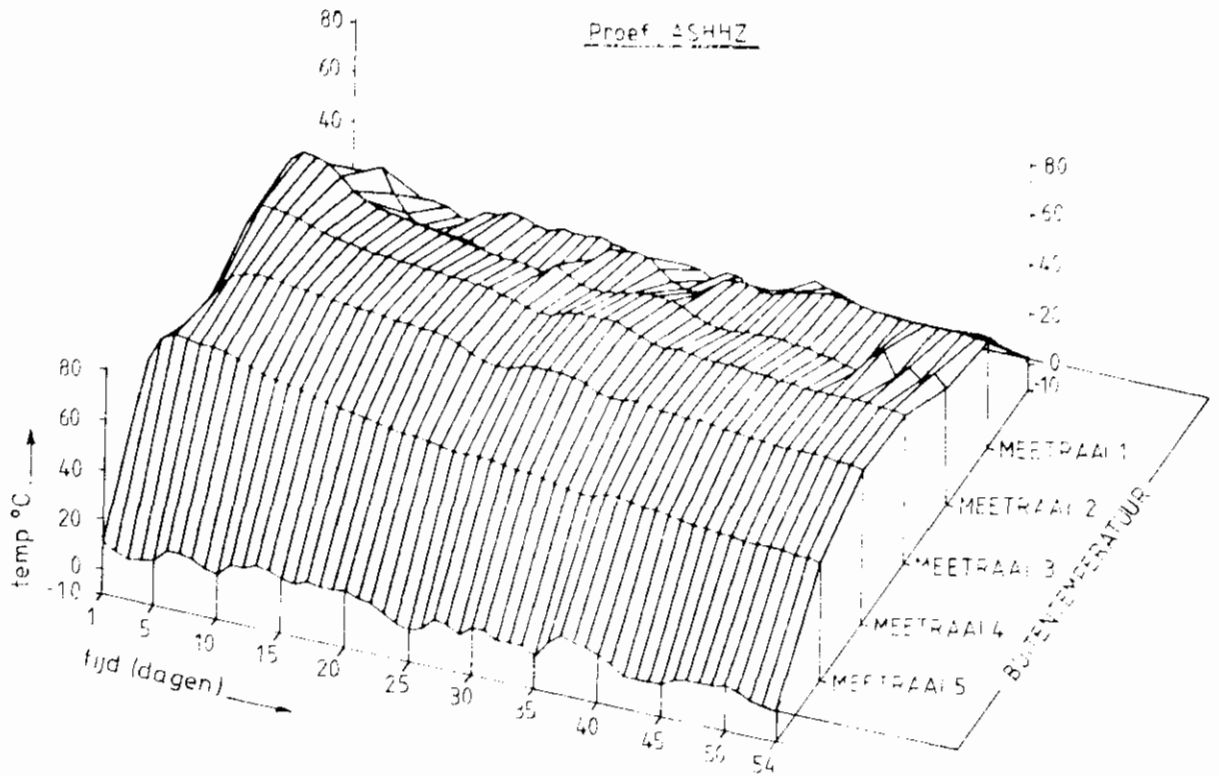
Figuur 37. Temperatuurwaarnemingen proef ASHHB

composteringstijd dagen	0	7	11	15	17	22	28	37	eind- produkt
<u>uitgangsmateriaal</u>									
CZV (mg/l)	1110	920	820	800	740	780	666	580	410
d.s.-gehalte (%)	14,7	15,9	21,0	30,4	28,4	39,4	46,9	43,2	62,5
gloeirest (% van d.s.)	26,4	-	37,0	35,3	42	36,0	46,3	-	53,5
zuurgraad (pH)	6,8	6,4	6,3	5,5	6,3	6,7	6,5	6,8	6,9
<u>afvoerlucht</u>									
CO ₂ (vol.%)	0,5	1,5	1,5	8,0	1,0	5,5	1,5	3,0	2,5
NH ₃ (ppm)	0	180	400	200	270	90	150	200	0
H ₂ S (ppm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O ₂ (vol.%)	20,5	19,0	18,5	13,5	15,5	14,5	18,0	16,5	17,5

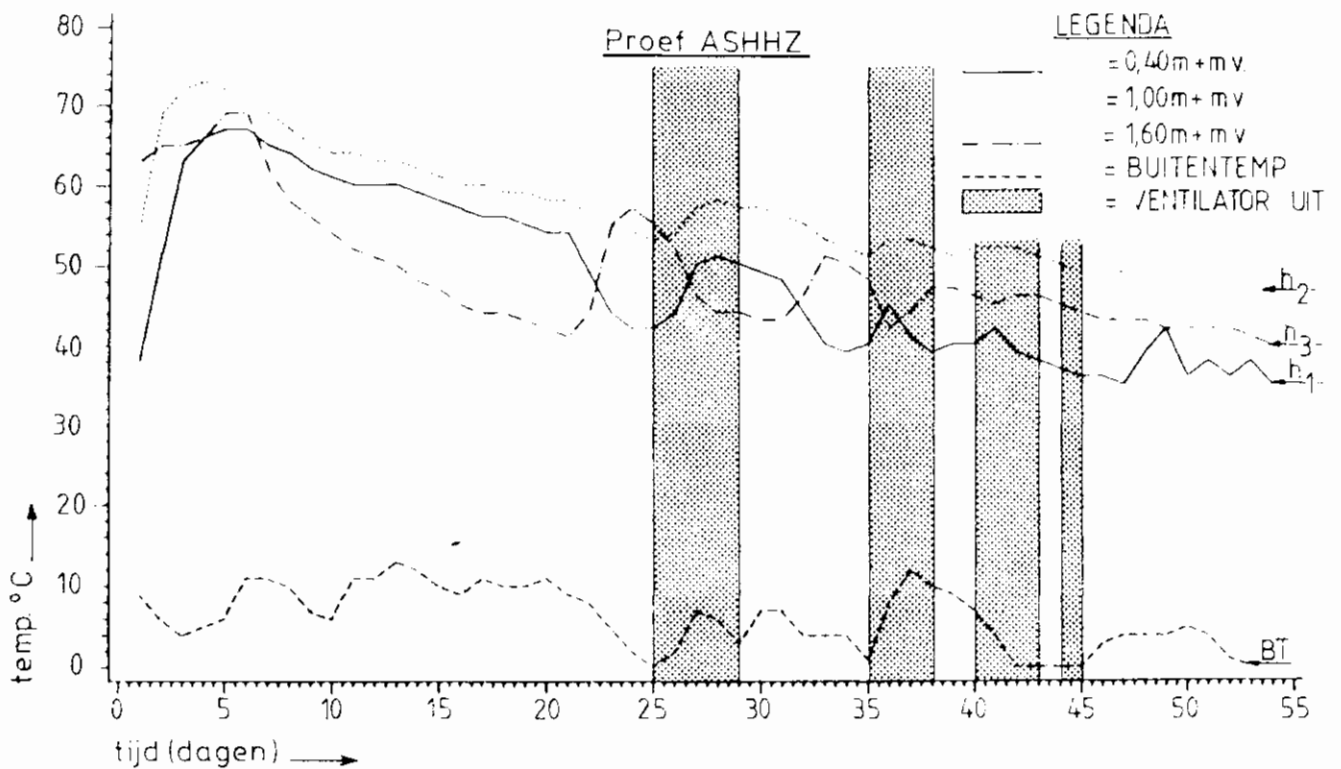
Tabel 45. Resultaten waarnemingen proef ASHZ



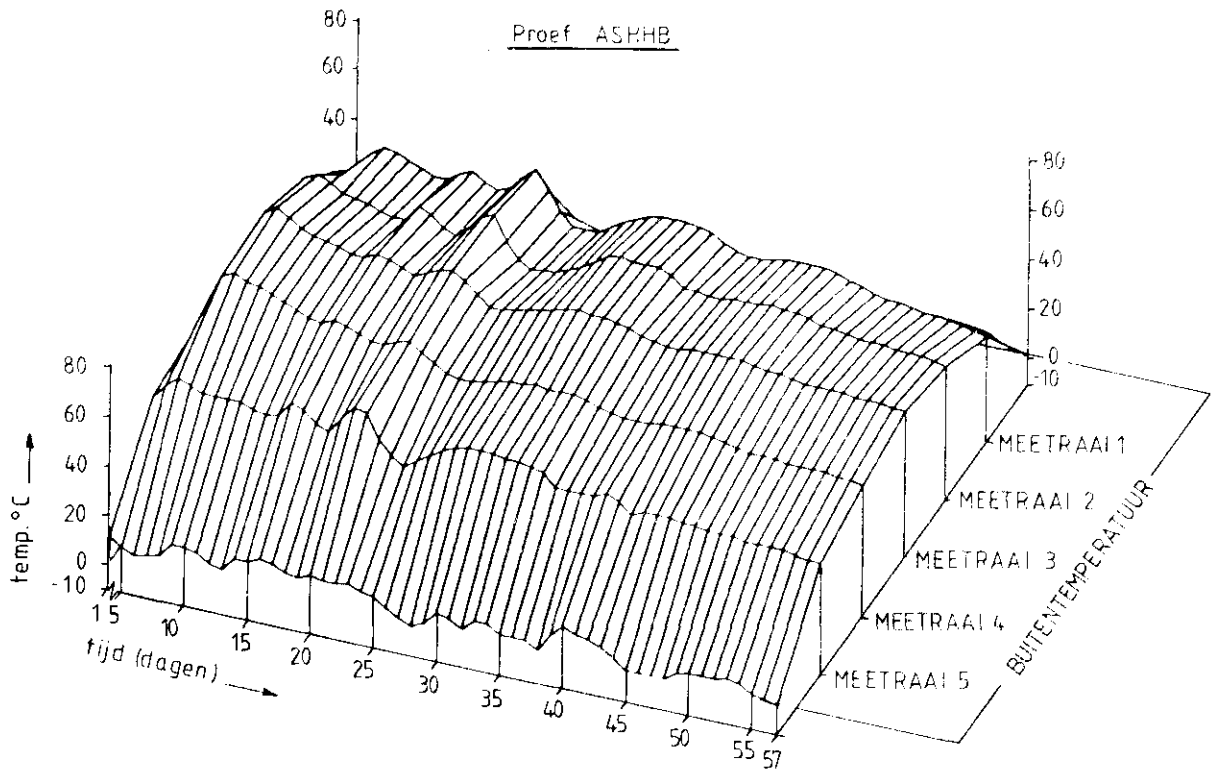
Figuur 38. Temperatuurwaarnemingen proef ASHZ



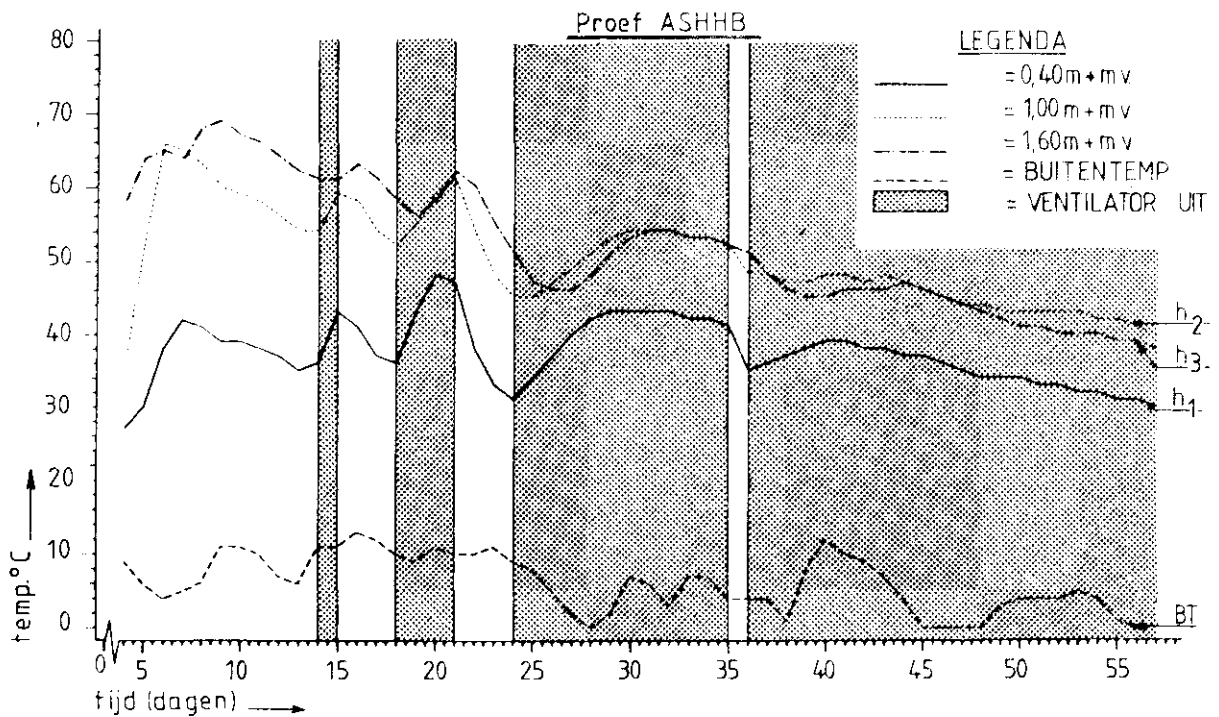
Figuur 39. 24-uurs gemiddelde temperatuur per meetraai als functie van de composteringstijd



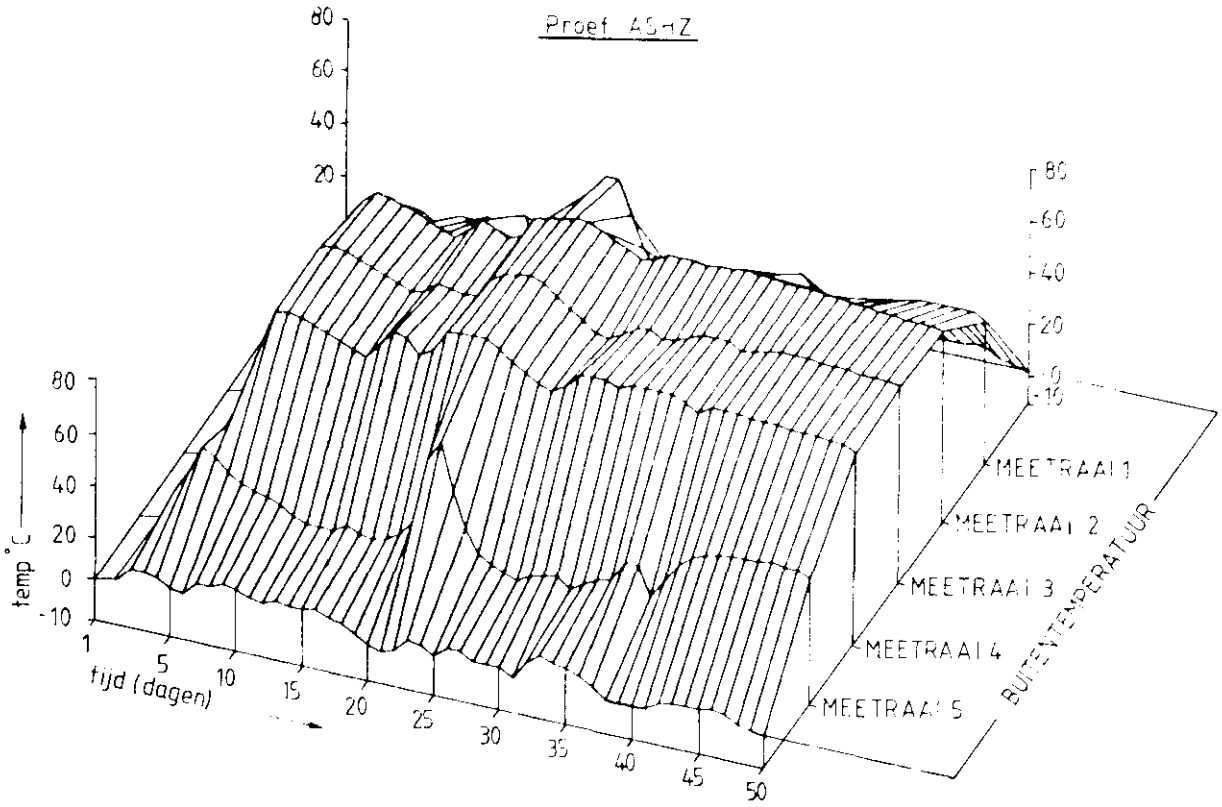
Figuur 40. 24-uursgemiddelde op h1, h2 en h3 als functie van de composteringstijd



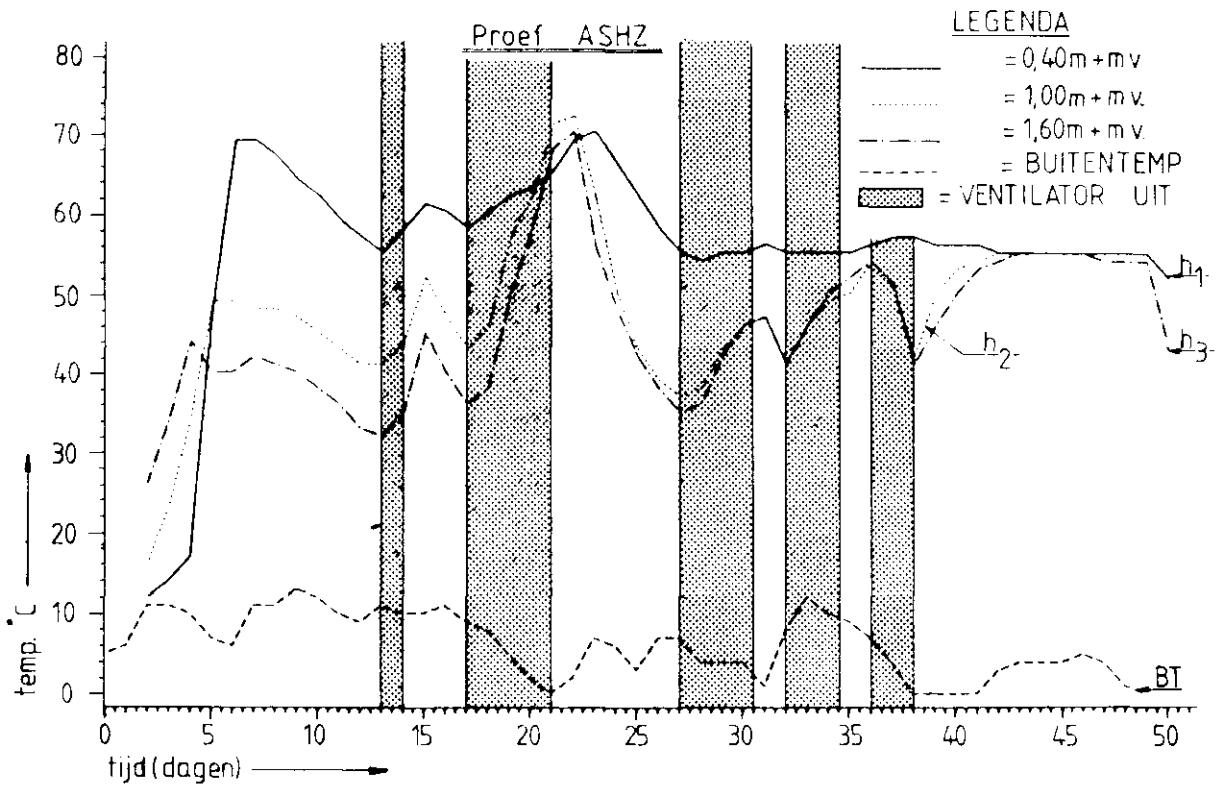
Figuur 41. 24-uursgemiddelde temperatuur per meetraai als functie van de composteringstijd



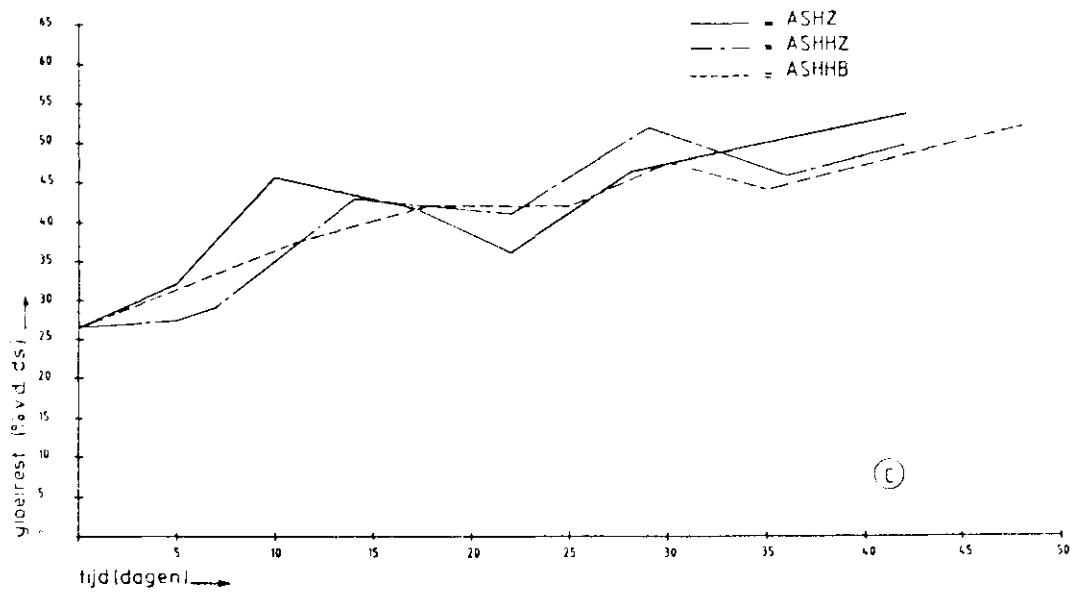
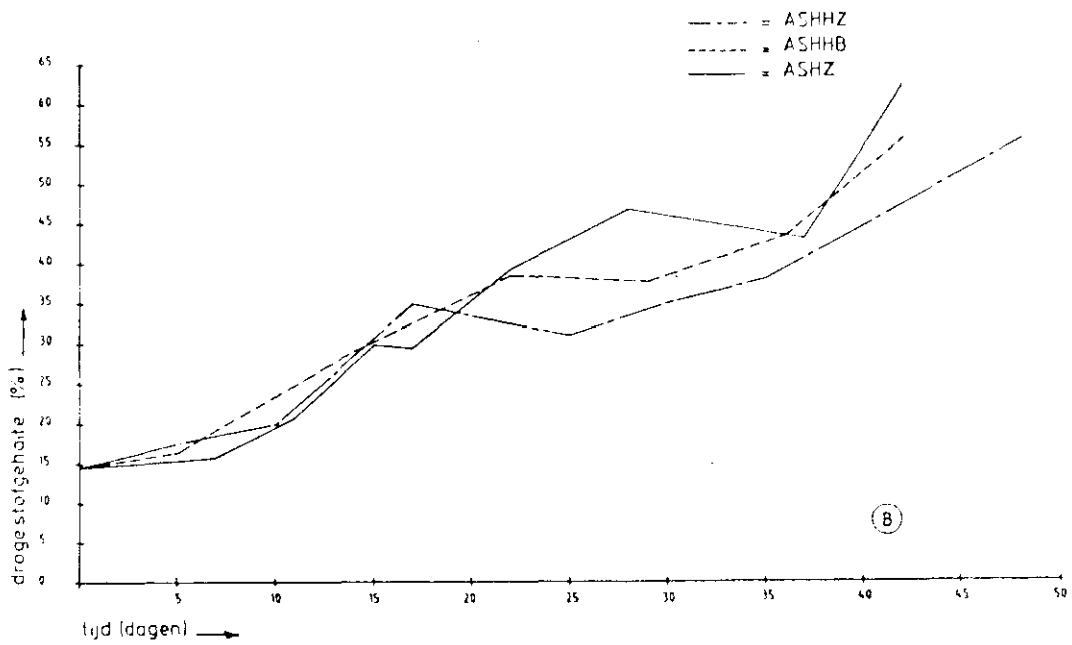
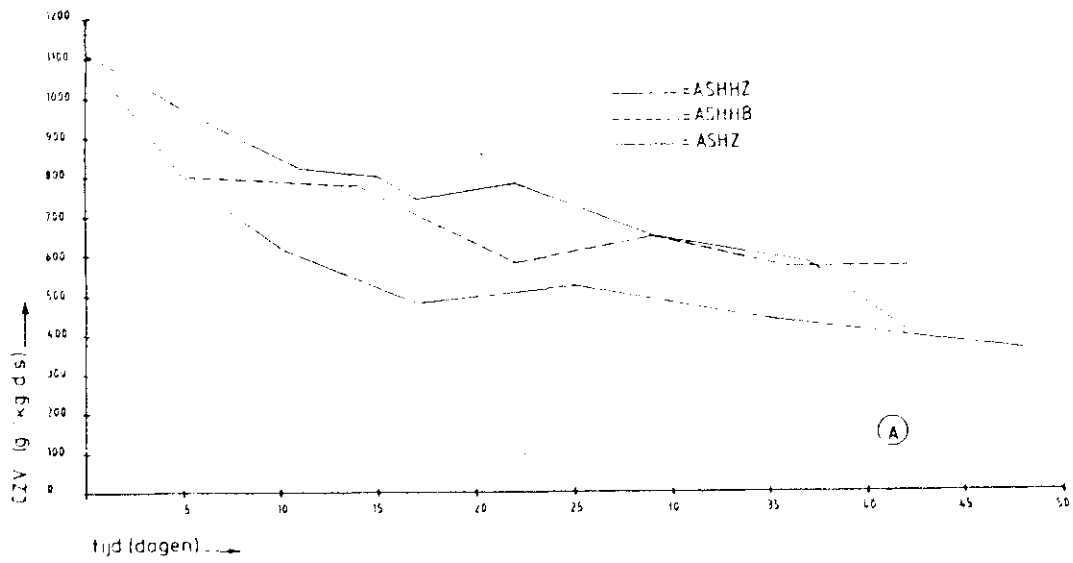
Figuur 42. 24-uursgemiddelde temperatuur op hoogte h₁, h₂ en h₃ als functie van de composteringstijd



Figuur 43. 24-uursgemiddelde temperatuur per meetraai als functie van de composteringstijd



Figuur 44. 24-uursgemiddelde temperatuur h1, h2 en h3 als functie van de composteringstijd



Figuur 45. Het chemische zuurstofverbruik (A), het drogestofgehalte (B), en de gloeirest (C) als functie van de composteringstijd

Uit de figuren 41 en 42 bleek zich bij proef ASHBB van de 4e proevenserie een nog sterkere temperatuurstratificatie voor te doen bij ASHBB uit serie 3.

Tijdens de compostering werd condenswater uit de afvoerleiding van de ventilator van proef ASHHZ en ASHZ bemonsterd en geanalyseerd op biochemisch zuurstofverbruik en chemisch zuurstofverbruik.

De resultaten daarvan zijn weergegeven in tabel 46.

proef	BZV mg/l	CZV mg/l	pH
ASHHZ	3	50	8,75
	4	67	8,75
ASHZ	5425	11393	8,65
	3960	9336	8,45

Tabel 46. Resultaten analyses condenswater

De monsters van proef ASHZ verspreiden een hinderlijke geur, veroorzaakt door *Bacillus cereus*.

Uit de microbiologische bepalingen bleek dat de reductie van de thermotolerante bacteriën van de coli-groep en de E-coli het grootst is geweest bij de proeven met onderdrukbeluchting.

Bij de proef ASHBB blijkt de reductie van de thermotolerante bacteriën van de coli-groep en van de E-coli aanzienlijk kleiner. Een significante reductie van *Salmonella* werd voor alle proeven geconstateerd.

Het chemisch zuurstofverbruik van het slib van de verschillende proeven aan het begin en aan het eind van de actieve composteringperiode is weergegeven in tabel 47.

proef	CZV _{begin} (mg.l ⁻¹)	CZV _{eind} (mg.l ⁻¹)	afname (%)
ASHHZ	1110	400	64,0
ASHBB	1110	570	48,6
ASHZ	1110	410	63,1
gemiddeld	1110	460	58,6

Tabel 47. Afname chemisch zuurstofverbruik uitgangsmateriaal

De afname is voor de proeven ASHHZ en ASHZ nagenoeg gelijk (63% en 64%). De afname in ASHBB is geringer. Het resultaat van de proef ASHHZ is in overeenstemming met proef ASHHZ van de derde proevenserie. De toename van de gloeirest van het uitgangsmateriaal is weergegeven in tabel 48.

proef	gl.r.begin (% d.s.)	gl.r.eind (% d.s.)	procentuele toename
ASHHZ	26,4	48,4	83
ASHHB	26,4	55,8	111
ASHZ	26,4	53,5	104
gemiddeld	26,4	52,5	99

Tabel 48. Toename gloeirest uitgangsmateriaal

1.5.4 zeefproeven

Het materiaal van de proeven ASHHZ en ASHHB is volledig gezeefd; eerst voor de afscheiding van het porositeitverhogend toeslagmateriaal en vervolgens voor de scheiding van gecomposteerd uitgangsmateriaal en toeslagmateriaal.

Scheiding van het materiaal van proef ASHZ mislukte omdat het teveel vocht bevatte.

De zeefresten zijn weergegeven in tabel 49.

proef	te zeven volume		compost				vochtregulerend toeslag- materiaal + resten beginmateriaal		
			totaal		zonder afdek.		m ³	%	% van oorspron- kelijk volume
	m ³	%	m ³	%	m ³	%			
ASHHZ	51	100	29	57	9	18	22	43	63
ASHHB	51	100	31	61	11	22	20	39	57

Tabel 49. Zeefresultaten 4e proevenserie

Het zeefrendement van de proef ASHHB is iets gunstiger dan van proef ASHHZ. Dit stemt overeen met de zeefresultaten van de 3e proevenserie.

Ook in de zeefrest was onvolledig gecomposteerd slib aanwezig. Het aandeel daarvan in de zeefrest werd geschat op 10 vol.%.

Van het oorspronkelijke volume toeslagmateriaal kan dus ongeveer 50% worden teruggewonnen.

Per proef zijn mengmonsters samengesteld uit de verkregen compost voor chemische analyses.

De analyseresultaten van het eindprodukt van proef ASHHZ laten zien dat de concentraties van de verschillende stoffen willekeurig zowel toe als afnemen. De invloed van afdekcompost is verantwoordelijk voor dit grillige beeld. De concentratieverlaging van N is relatief groot door de verdunning met afdekcompost en het verdwijnen van N naar de buitenlucht. Volgens de analyseresultaten blijkt de concentratie C-elementair niet duidelijk afgenomen. In ASHHZ is de C/N-verhouding toegenomen van 6,7 in het slib tot 11,4 in het eindprodukt.

	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 ⁷	-	-	15	-
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	3,1.10 ⁶	-	-	8,8.10 ²	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0,2	-

Tabel 50. Resultaten analyses proef ASHHZ

	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 ⁷	-	-	2,2.10 ⁴	-
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	3,1.10 ⁶	-	-	1,9.10 ⁵	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0,2	-

Tabel 51. Resultaten analyses proef ASHHB

	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	62,5	46,6
stikstof (g/kg d.s.)	59,0	2,8	18,0	19,0	16,0
fosfaat (g/kg d.s.)	36,0	0,9	37,0	36,0	20,0
kalium (g/kg d.s.)	3,8	0,7	2,7	3,0	2,3
calcium (g/kg d.s.)	35,0	3,2	42,0	43,0	22,0
magnesium (g/kg d.s.)	7,1	0,3	3,4	3,5	2,4
koolstof- elementair (g/kg d.s.)	395	360	210	190	295
koper (mg/kg d.s.)	415	17	540	565	280
chrom (mg/kg d.s.)	200	3,4	230	240	115
zink (mg/kg d.s.)	2800	73	1800	1950	1400
lood (mg/kg d.s.)	295	15	540	595	230
cadmium (mg/kg d.s.)	11,0	1,1	18,0	18,0	8,1
nikkel (mg/kg d.s.)	310,0	3,2	120,0	130,0	115,0
kwik (mg/kg d.s.)	3,0	0,1	1,8	2,6	1,1
arsen (mg/kg d.s.)	2,9	0,2	3,3	3,6	2,1
<u>microbiologische bepalingen</u>					
bacteriën van de coligroep (/g d.s.)	1,0.10 ⁷	-	-	10	-
thermotolerante bacteriën van de coligroep (E-coli) (/g d.s.)	3,1.10 ⁶	-	-	31	-
Salmonella (/g d.s.)	16	-	-	0	-

Tabel 52. Resultaten analyses proef ASHZ

Bij ASHHB is de C/N-verhouding toegenomen van 6,7 in het slib tot 10,8 in het eindprodukt. Ook bij deze proef is de N-concentratie relatief sterk afgenomen.

Het materiaal van proef ASHZ bleek nauwelijks zeefbaar. De indruk bestond dat de zeef fractie merendeels uit afdekcompost bestond. Het monster werd niet representatief geacht voor het gecomposteerde slib. Van de zeef fractie (het eindprodukt) is een mengmonster samengesteld en geanalyseerd.

1.5.5 conclusies 4e proevenserie

Uit de resultaten van de 4e proevenserie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- de temperatuur heeft bij alle proeven een niveau bereikt van circa 70°C. Het verschil tussen maximale en minimale temperatuur is het grootst bij ASHZ, waar geen porositeitverhogend toeslagmateriaal is toegepast.
In ASHHB trad temperatuurstratificatie op, evenals in ASHHB van de 3e proevenserie;
- de beluchting beïnvloedt de temperatuur. Deze invloed bleek het grootst vlak bij de ventilator. De temperatuurbeïnvloeding aan het eind van de stapeling is gering;
- stankhinder is geconstateerd bij de aanvoer, het mengen en het stapelen van aëroob gestabiliseerd slib. Na afdekking van de stapelingen met gezeefde compost verdween deze stankhinder. Tijdens het composteringsproces werd stankhinder veroorzaakt door vrijkomende ammoniak en ammoniakachtige verbindingen.

- Bij compostering in een overdekte en geheel of gedeeltelijk afgesloten ruimte moeten adequate maatregelen worden genomen voor de behandeling van afvoerlucht ook in verband met corrosie;
- het materiaal van de proeven waarin porositeitverhogend toeslagmateriaal is toegepast is goed zeefbaar. Het resultaat van de proef ASHZ, zonder porositeitverhogend toeslagmateriaal kon niet gezeefd worden: door onvoldoende porositeit tijdens de compostering kon, ondanks de optredende hoge temperaturen, het vocht onvoldoende worden afgevoerd.

1.6 Statistische bewerking van de temperatuurwaarnemingen

1.6.1 algemeen -----

Bij de praktijkproeven compostering is de temperatuur binnen een stapeling als praktische procestechnologische parameter gehanteerd. Enerzijds omdat het verloop van het composteringsproces zich manifesteert door veranderingen in temperatuur, anderzijds omdat de temperatuur op relatief eenvoudige wijze direct kan worden gemeten. Dit in tegenstelling bijvoorbeeld tot (indirecte) bepalingen van andere procestechnologische parameters zoals de droge stof of de gloeirest.

Tijdens de proeven zijn de temperaturen op verschillende wijzen gemeten. Bij de 1e proevenserie werden zes meetplaatsen gefixeerd in de stapeling. Eén maal per dag werden met behulp van een temperatuurlans met daarin een thermokoppel de temperaturen gemeten.

Bij de 2e proevenserie werden in de stapelingen met water gevulde koperen buizen aangebracht vanaf de bovenzijde van de stapelingen. Eenmaal per dag werd de temperatuur van het water in deze buizen gemeten. Bovendien werden controlemetingen uitgevoerd met behulp van een temperatuurlans met thermokoppel.

Bij de 3e en 4e proevenserie werd gebruik gemaakt van thermokoppels en automatische meet- en registratieapparatuur. Per stapeling werden 15 thermokoppels aangebracht. Deze werden continu bemonsterd met een interval van 60 seconden en opgeslagen in een geheugen. Eenmaal per 300 seconden werden de waarnemingen opgeteld, gemiddeld en geregistreerd op een magneetband.

Bij de 3e proevenserie kwamen de thermokoppels die zich op de hoogste punten in de stapelingen bevonden buiten de stapeling te liggen als gevolg van inklink. De waarnemingen van deze thermokoppels zijn buiten beschouwing gelaten.

1.6.2 24-uursgemiddelde temperatuur

De temperatuurwaarnemingen van de 3e en 4e proevenserie zijn als volgt verwerkt.

Per verticaal meetpunt waar op twee of drie hoogten binnen de stapelingen de temperaturen werden gemeten, werden de waarnemingen gemiddeld over 24 uur. Het resultaat van deze middeling is weergegeven in de figuren 25, 27 en 29 voor de proeven van de 3e proevenserie en in de figuren 39, 41 en 42 voor die van de 4e proevenserie.

Aangezien de thermokoppels zich per proef op vastgestelde hoogten bevonden, kon bovendien de 24-uursgemiddelde temperatuur op twee of

drie niveaus in de stapeling worden bepaald. De resultaten daarvan zijn weergegeven in de figuren 26, 28 en 30 voor de 3e proevenserie en in de figuren 40, 42 en 44 voor de 4e proevenserie.

1.6.3 frequentieverdeling van de temperatuurwaarnemingen

Van de temperatuurwaarnemingen is per proef de frequentieverdeling en de cumulatieve frequentieverdeling bepaald.

Voor de 3e en 4e proevenserie is deze bewerking uitgevoerd met de 24-uursgemiddelden per verticale meetraai.

Voor de 1e en 2e proevenserie zijn de dagelijkse waarnemingen per meetpunt verwerkt en beschouwd als de 24-uursgemiddelde temperatuur. Van alle proeven zijn slechts de waarnemingen van 42 dagen gebruikt. Uit de cumulatieve frequentieverdeling zijn de 50-percentiel- en de 95-percentiel-waarden berekend. Deze zijn weergegeven in tabel 53.

proef	50-percentiel	95-percentiel
1e proevenserie		
ASH	16,0	44,5
USH	33,0	51,0
USS	26,7	54,5
ASR	10,0	37,5
2e proevenserie		
USHH	40,0	53,2
USHR	35,5	44,0
3e proevenserie		
ASHHZ	47,0	66,5
ASHHB	40,0	54,5
USHHZ	45,1	56,0
4e proevenserie		
ASHHZ	44,9	63,2
ASHHB	38,8	51,0
ASHZ	47,7	59,8

Tabel 53 50- en 95-percentielwaarden van de 24-uursgemiddelde temperaturen per proef

Daarnaast zijn van de temperatuurwaarnemingen van de 3e en 4e proevenserie horizontaal de 50- en 95-percentielwaarden bepaald van de 24-uursgemiddelde temperaturen voor hoogte h_1 (0,60 m respectievelijk 0,40 m boven maaiveld) en h_2 (1,20 m respectievelijk 1,60 m boven maaiveld). De resultaten daarvan zijn vermeld in tabel 54.

Uit de cumulatieve frequentieverdeling blijkt dat de hoogste waarde voor de 50-percentiel optreedt bij de proeven met onderdrukbeluchting. Dit is eveneens het geval voor de 95-percentielwaarde.

Uit de frequentieverdeling blijkt bovendien dat het verschil van percentielwaarden tussen de proeven ASHHZ en ASHHB van de 3e proevenserie vrijwel hetzelfde is als voor de overeenkomstige proeven van de 4e serie.

Toetsing van de frequentieverdeling van de temperatuurwaarnemingen van de proeven van de 1e proevenserie heeft uitgewezen dat deze sterk afwijken van de 2e-, 3e- en 4e proevenserie.

Uit temperatuurwaarnemingen, zoals die uitgevoerd zijn in de 3e- en

4e proevenserie, blijkt dat de temperatuur als een goede tot zeer goede stuurparameter kan worden gebruikt. Uit de resultaten van de scheiding van compost en toeslagmateriaal bleek dat, ondanks het bereiken van hoge temperaturen, proef ASHZ niet zeefbaar was. Dit in tegenstelling tot de proeven ASHHB en ASHHZ die goed zeefbaar waren. Hieruit wordt geconcludeerd dat de temperatuur niet als maatgevend voor het proces mag worden beschouwd.

proef		50-percentiel	95-percentiel
3e proevenserie			
ASHHZ	h ₁	37,7	51,7
ASHHZ	h ₂	44,0	59,5
ASHHB	h ₁	47,8	60,5
ASHHB	h ₂	45,1	54,5
USHHZ	h ₁	49,1	66,5
USHHZ	h ₂	46,0	64,5
4e proevenserie			
ASHHZ	h ₁	41,7	62,0
ASHHZ	h ₂	50,9	68,0
ASHHB	h ₁	32,0	43,5
ASHHB	h ₂	44,3	59,5
ASHZ	h ₁	51,6	63,8
ASHZ	h ₂	44,0	57,0

Tabel 54. 50- en 95-percentielwaarden van de 24-uursgemiddelde temperaturen over de horizontaal

1.7 Microbiologisch onderzoek

1.7.1 algemeen

Bij de composteringsproeven is globaal microbiologisch onderzoek verricht. Doel hierbij was enerzijds een globaal inzicht te verkrijgen in de samenstelling van de micro-organismen die aan het composteringsproces deelnemen en anderzijds een indruk te krijgen van de mate van desinfectie als gevolg van het composteren. De opzet en resultaten van beide deelonderzoeken worden hierna afzonderlijk beschreven.

1.7.2 indicatief microbiologisch onderzoek

Over de samenstelling van de microflora en het verloop ervan tijdens het composteren is nog weinig bekend. Om een indicatie te krijgen van de organismen die zich tijdens het composteringsproces kunnen handhaven en/of ontwikkelen is beperkt microbiologisch onderzoek verricht in het eindproduct van de proeven ASH en USH uit de 1e proevenserie.

Het bacteriologisch onderzoek heeft zich gericht op het voorkomen van groepen organismen in samenhang met hun temperatuur-tolerantie, en enkele specifieke soorten.

Om de gegevens enigszins te kunnen interpreteren wordt kort ingegaan op de huidige kennis van de microbiologie bij het composteren.

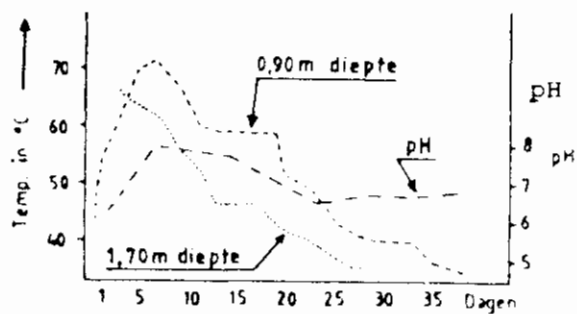


Fig.46. Temperatuur en pH als f(t).

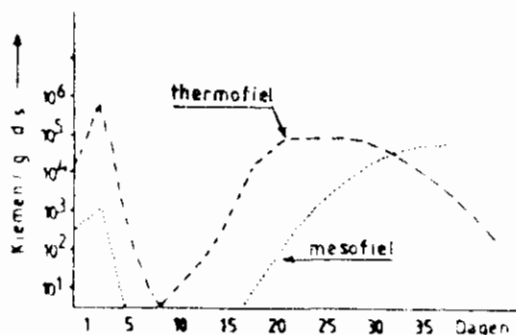


Fig.47. Gemiddelde populatie mesofiele- en thermofiele fungi als f(t).

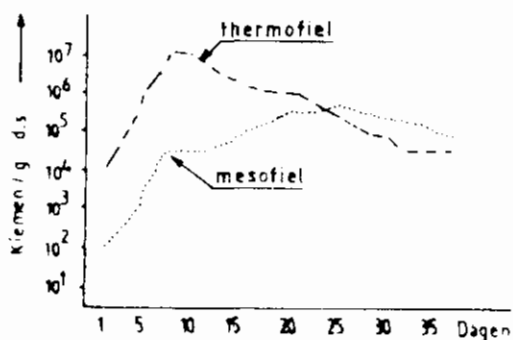


Fig.48. Gemiddelde populatie mesofiele- en thermofiele bacteriën als f(t).

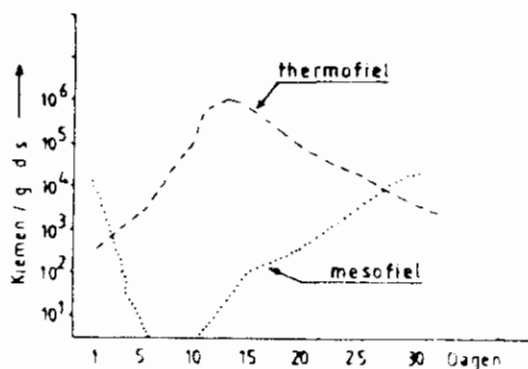


Fig.49. Gemiddelde populatie mesofiele- en thermofiele actinomyceten als f(t).

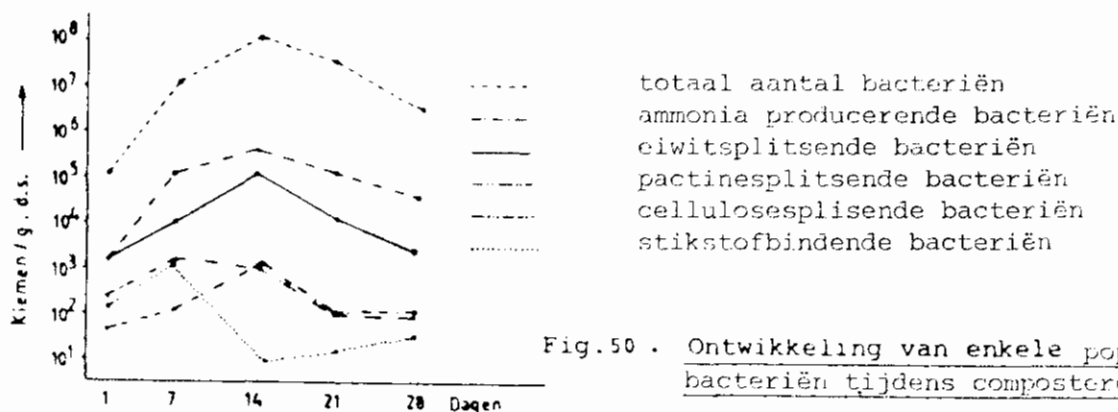


Fig.50. Ontwikkeling van enkele populaties bacteriën tijdens composteren *

* Bertoldi, M. De; U. Citernesi & M. Griselli- Microbial populations in compost process; Composting, Theory and Practice, 1982, pag. 26 e.v.

Als gevolg van de temperatuurstijging tijdens het composteren vindt in de loop van het proces een verschuiving plaats in microbiologische soortensamenstelling.

Al naar gelang de temperatuurstijging en de homogeniteit van de temperatuurverdeling zal het aantal aanwezige psychrofiële en mesofiële organismen afnemen en het aantal thermofiële organismen toenemen.

Wanneer de temperatuur na verloop van tijd weer gaat dalen, kunnen eventuele nog aanwezige mesofiële organismen zich opnieuw gaan ontwikkelen (rekolonisatie), terwijl de thermofiële soorten afnemen. Ook kunnen geheel nieuwe mesofiële soorten tot ontwikkeling komen. Door de Bertoldi et al. zijn de microbiologische populaties die optreden bij het composteren van aëroob gestabiliseerd slib bestudeerd. In de figuren 46 t/m 50 is de aanwezigheid van verschillende groepen van organismen als functie van de tijd, zoals deze door de Bertoldi et al. zijn waargenomen, weergegeven.

De algemene trend van de resultaten van het onderzoek van de Bertoldi komt overeen met andere literatuurgegevens (zie voetnoot pag.77). In het algemeen blijkt dat fungi boven 60°C verdwijnen. Bij daling van de temperatuur vindt, hetzij via de lucht, hetzij via op koelere plaatsen in de composthoop nog aanwezige resten, rekolonisatie plaats.

Actinomyceten worden in andere experimenten vaak pas enkele dagen na het begin van het composteren waargenomen. Verschillende onderzoekers vermelden sterk variërende waarden voor de maximum temperatuur, waarbij actinomyceten nog kunnen functioneren.

Wat betreft de bacteriën wordt in het algemeen waargenomen dat het aantal sporevormende bacteriën met het stijgen van de temperatuur toeneemt. In het begin van het proces vindt daarbij een vermeerdering plaats van het aantal eiwit-, pectine- en cellulosesplitsende bacteriën, soorten die betrokken zijn bij de afbraak van organische verbindingen en hoog-moleculaire stoffen in laag-moleculaire omzetten.

De resultaten van het indicatief microbiologisch onderzoek bij de composteringsproeven ASH en USH zijn samengevat in tabel 55, waaruit blijkt dat in het eindprodukt van proef ASH zowel psychrofiële als mesofiële en thermofiële organismen aanwezig waren. De aanwezigheid van psychrofiële organismen wijst hetzij op een inhomogene temperatuurverdeling tijdens het composteren, hetzij op rekolonisatie. De geconstateerde thermofiële organismen duiden op het zich voltrekken van een composteringsproces. In de proef USH zijn de psychrofiële organismen wel vernietigd, in proef ASH niet.

Bij beide experimenten werden zowel mesofiële als thermofiële sporevormers in het eindprodukt aangetroffen.

In het eindprodukt van proef USH zijn geen zuurverdragende fungi aangetoond. Niet bekend is of andere fungi wel aanwezig zijn. In het eindprodukt van deze proef zijn naast genoemde groepen van organismen nog enkele andere groepen bepaald. Mesofiële zuurvormende en eiwitsplitsende organismen konden worden aangetoond. H₂S-vormende sporevormers (bacteriën die onder zuurstofloze omstandigheden hun energie voor hun stofwisseling verkrijgen door reductie van sulfiet) bleken niet aanwezig, hetgeen duidt op een (voornamelijk) aëroob verlopen afbraakproces.

Bij de beide experimenten zijn tevens enkele specifieke soorten bacteriën onderzocht; E.coli bleek wel aanwezig bij de proef ASH, maar

niet in de proef USH. Ook *Staphylococcus aureus* en *Streptococcus faecalis* bleken in het compostmengsel nog (of weer) voor te komen. *Bacillus cereus*, een algemeen in grond voorkomende Bacillussoort, kon worden aangetoond in proef USH.

aard micro- organismen	ASH		USH	
	aëroob	anaëroob	aëroob	anaëroob
psychrofiel	+	*	*	-
mesofiel	+	+	+	+
thermofiel	+	+	+	+
<u>sporevormers</u>				
mesofiel	+	+	+	+
thermofiel	+	+	+	+
<u>zuurvormers</u>				
mesofiel	-	-	+	-
H ₂ S-vormende sporevormers	-	-	-	*
<u>gisten en schimmels</u>				
medium :zuur	+	-	*	-
:neutraal	+	-	-	-
:basisch	+	-	-	-
<u>actinomyceten</u>				
mesofiel	+	-	-	-
thermofiel	+	-	-	-
E.coli	+	-	*	-
S.aureus	+	-	-	-
Str.faecalis	+	-	-	-
B.cereus	*	-	+	-

Tabel 55. Microbiologische samenstelling in eindproduct proef ASH en USH.

+ = aanwezig
* = niet aangetoond
- = niet bepaald

1.7.3 mate van desinfectie

Met uitzondering van de 1e serie proeven is bij alle uitgevoerde experimenten microbiologisch onderzoek verricht om de mate van desinfectie vast te stellen. Hierbij zijn de volgende (groepen van) organismen bestudeerd.

* Escherichia coli:

dit organisme is een specifieke darmbewoner. Buiten het menselijk lichaam is zijn overlevingskans relatief laag. E.coli wordt vaak als indicator gehanteerd voor het voorkomen van gram-negatieve pathogene darmorganismen zoals Salmonellae en vibrio's.

• Faecale streptococci

dit zijn relatief resistente darmorganismen. Op grond van hun hitteresistentie worden deze organismen vaak genoemd als indicatororganismen voor de mate van des-

infectie van zuiveringsslib.

- * Sporen van sulfietreducerende clostridia
een spore is een levensvorm van een bacterie, welke zeer hitte-resistent is. Alleen bij zeer goed verlopende composteringprocessen is van enige inactivering sprake. Deze inactivering is vermoedelijk het gevolg van een combinatie van hitte en biologische activiteit. Opgemerkt dient te worden dat de tellingen van het aantal aanwezige sporen slecht reproduceerbaar zijn.

- * Salmonella species
Salmonella species is een pathogeen organisme. Deze soort is gekozen als representant van de pathogene bacteriën. Salmonella species wordt in het navolgende aangeduid als Salmonella.

- * f-specifieke bacteriofagen
één soort van deze bacteriële virusgroep is de f2 bacteriofaag. Deze faag heeft een zeer grote hitteste-
sistentie. Bij de zuiveringsslibcompostering in Beltsville wordt de procesvoering met behulp van deze faag biologisch gecontroleerd.

Als indicatie voor de hitteste-
sistentie van de verschillende soorten
hierboven genoemde micro-organismen zijn in onderstaande tabel zoge-
naamde decimale reductiewaarden weergegeven. De decimale reductie-
waarde (D_t -waarde) is de tijd in minuten die nodig is om het aan-
tal micro-organismen van een bepaalde soort met een factor 10 te
reduceren bij een verhittingstemperatuur van $t^\circ\text{C}$.

organisme	D_{50}	D_{55}	D_{60}	D_{100}
Escherichia coli		5		
Faecale streptococci			30	
Clostridium botulinum sporen				50
Salmonella	5			
f2 bacteriofaag	910	198	47	

Tabel 56. De decimale reductiewaarden van verschillende soorten mi-
cro-organismen

Naast de hierboven beschreven (groepen van) organismen, die hetzij als indicatororganismen hetzij als representant voor een bepaalde groep van pathogene organismen kunnen worden beschouwd en waarmee de mate van desinfectie wordt vastgesteld, is nog een viertal groepen organismen bestudeerd. Dit zijn:

- * Thermotolerante coliformen:
de thermotolerante coliformen worden vaak gelijkge-
steld aan E.coli. De coli-groep omvat echter meer
soorten waaronder Klebsiella species. Bekend is dat
Klebsiella-soorten vrij gemakkelijk in composthoven
kunnen nagroeien, hetgeen leidt tot een snelle toena-
me van het aantal thermotolerante coliformen. Een
groot verschil tussen het kiemgetal van E.coli en dat
van de thermotolerante coliformen kan een indicatie

voor nagroei zijn.

* Totale coliformen

* Aëroob koloniegetal bij 37°C:

dit is een niet-selectieve telling van het aantal micro-organismen dat bij 37°C op een rijke voedingssoort groeit.

* Somatische colifagen:

dit is een zeer veel soorten omvattende groep van bacteriële virussen. Samen met de f-specifieke bacteriofagen vertegenwoordigen ze alle klassen van fagen. De somatische colifagen komen meestal in hogere aantallen voor. De resistentie binnen de groep varieert sterk.

Tijdens de 2e, 3e en 4e proevenserie zijn in beginmateriaal en eindprodukt van de composteringsproeven aantallen thermotolerante coli, totale coli en Salmonella bepaald door Centrilab b.v. te Soest.

Daarnaast is door het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieuhygiëne in het eindprodukt van de 3e proevenserie tweemaal een uitgebreider microbiologisch onderzoek verricht naar thermotolerante coli, E. coli, faecale streptococci, sporen van sulfietreducerende clostridia, Salmonella, het aëroob koloniegetal bij 37°C, f-specifieke bacteriofagen en somatische colifagen. Eenzelfde onderzoek is verricht in het beginmateriaal van de 4e serie, vijftien dagen na aanvang van de composteringsproeven en in de eindprodukten van de 4e serie.

Voor het microbiologisch onderzoek zijn meerdere monsters op verschillende plaatsen van het te onderzoeken materiaal genomen om een zo representatief mogelijk beeld van de populatie te verkrijgen. Deze monsters zijn bij elkaar gevoegd en gemengd. Uit het mengsel is een deelmonster genomen voor het uitvoeren van de tellingen. De bemonstering van de composthopen tijdens het composteringsproces is beperkt tot de bovenzijde van de composthopen.

1.7.4 resultaten

De resultaten van het microbiologisch onderzoek voor de verschillende experimenten zijn per serie weergegeven in tabel 57, 58 en 59.

proef	USBR		USBR	
	C ₀	C _e	C ₀	C _e
	2	2	2	2
thermotolerante coli (E.coli)	7,5.10 ⁴	1,2.10 ⁵	7,5.10 ⁴	1,7.10 ⁴
totale coli	2,1.10 ⁶	4,3.10 ⁵	2,1.10 ⁶	1,7.10 ⁴
Salmonella spp.	0,9	*	0,9	*

Tabel 57. Resultaten van het micro-biologisch onderzoek 2e proevenserie

- C₀ concentratie in het uitgangsmateriaal (aantal kiemen/g drogestof)
C_e concentratie in het eindprodukt na zeven
* niet aangetoond, detectiegrens ca. 0,1/g drogestof
2 resultaten bepalingen Centrilab

Uit de resultaten blijkt dat met uitzondering van de proeven van de 2e proevenserie, een reductie van het aantal thermotolerante coliformen optreedt. Voor zover hierover gegevens beschikbaar zijn, lijkt eenzelfde verloop in de E.coli-concentratie zichtbaar. Bij de 4e proevenserie 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, zoals mogelijke Klebsiella-soorten, is opgetreden.

Het aantal totale coliformen ondergaat 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, is dat geheel conform de verwachting.

De faecale streptococcon blijken ook in de loop van het composteeringsproces aanzienlijk in aantal af te nemen, zoals bij de 4e proevenserie is aangetoond. Uit de resultaten van de verschillende proeven van de 3e en 4e serie blijkt bovendien dat de faecale streptococcon in de meeste gevallen in grotere aantallen in het eindprodukt aanwezig zijn dan E.coli.

Aangezien voor de 4e proevenserie bekend is dat het beginmateriaal kleinere hoeveelheden streptococcon dan E.coli bevatte, wordt de reeds in andere onderzoeken aangetoonde grotere hitteresistentie van de faecale streptococcon door deze resultaten bevestigd. Bij de proeven ASHHZ en ASHHB van de 4e serie blijkt de eindconcentratie van de streptococcon hoger dan de concentratie na zeventien resp. zestien dagen na aanvang van het composteeringsproces. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de bacteriën niet homogeen in het onderzochte materiaal aanwezig waren. Ook kan tijdens het zeven van het eindprodukt besmetting zijn opgetreden door op de zeef achtergebleven kiemen, afkomstig van een voorgaande zeping van materiaal, waarin zich streptococcon hebben bevonden. Tenslotte zou ook nagroei in de latere fasen van het composteeringsproces 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 4e proevenserie.

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 de 4e serie 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 van de derde en vierde proevenserie 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 4e serie) terug te brengen tot nul, is 5 maal

proef	ASHHZ			
	C ₀	C _{e,1}	C _{e,2}	
			2	1
thermotole- rante coli	5,2.10 ⁴	-	8.10 ⁰	1,3.10 ⁵
E. coli	-	*	8.10 ⁰	-
totale coli	2,5.10 ⁶	-	-	10 ¹
faecale strep- tococcon	-	*	8.10 ⁰	-
sporen sulfiet- red. clostrid.	-	5.10 ⁵	7.10 ²	-
Salmonella	1,6.10 ¹	*	*	0,2
f-specifieke bacteriofagen	-	*	*	-
somatische colifagen	-	*	*	-
aëroob kolonie- getal	-	> 3.10 ⁷	> 2.10 ⁷	-

proef	ASHHB		
	C ₀	C _{e,2}	
		2	1
thermotole- rante coli	5,2.10 ⁴	2.10 ¹	8,8.10 ²
E. coli	-	2.10 ¹	-
totale coli	2,5.10 ⁶	-	5.10 ⁰
faecale strep- tococcon	-	1.10 ³	-
sporen sulfiet- red. clostrid.	-	1.10 ³	-
Salmonella	1,6.10 ¹	*	0,2
f-specifieke bacteriofagen	-	*	-
somatische colifagen	-	1.10 ¹	-
aëroob kolonie- getal	-	> 2.10 ⁷	-

proef	USHHZ			
	C ₀	C _{e,1}	C _{e,2}	
			2	1
thermotole- rante coli	1,8.10 ⁶	-	4.10 ¹	1,3.10 ⁵
E. coli	3.10 ³	4.10 ¹	-	-
totale coli	7,5.10 ⁶	-	10 ¹	10
faecale strep- tococcon	-	2.10 ²	8.10 ¹	-
sporen sulfiet- red. clostrid.	-	9.10 ⁵	2.10 ³	-
Salmonella	1,6.10 ¹	*	*	0,2
f-specifieke bacteriofagen	-	*	*	-
somatische colifagen	-	*	*	-
aëroob kolonie- getal	-	> 3.10 ⁷	> 2.10 ⁷	-

Tabel 58. Resultaten van het micro-biologisch onderzoek 3e proe-
venserie

C₀ concentratie in het uitgangsmateriaal
C_{e,1} concentratie in het eindproduct (november 1983)
C_{e,2} concentratie in het eindproduct (januari 1984)
* niet aangetoond; detectielimiet ca. 5/g d.s. voor Salmo-
nella 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					
	C ₀		C ₁		C _e	
	1	2	1	2	1	2
thermotolerante coli	-	1,1.10 ⁶	-	-	4,4.10 ²	8,8.10 ²
E. coli	9.10 ⁵	-	-	-	*	-
totale coli	-	1,1.10 ⁷	1,5.10 ¹	-	-	-
faecale streptococci	4.10 ⁵	-	5.10 ¹	9.10 ²	-	-
sporen sulfietred. clostrid.	2.10 ⁵	-	1.10 ¹	2.10 ¹	-	-
Salmonella	9.10 ³	1,6.10 ¹	*	*	5,1	-
f-specifieke bacteriëfagen	8.10 ⁴	-	*	*	-	-
somatische colifagen	4.10 ⁵	-	*	*	-	-
aëroob koloniegetal	1.10 ⁸	-	> 2.10 ⁷	> 2.10 ⁷	-	-

proef	ASHHZ					
	C ₀		C ₂		C _e	
	1	2	1	2	1	2
thermotolerante coli	-	1,1.10 ⁶	-	-	1.10 ³	1,9.10 ³
E. coli	9.10 ⁵	-	4.10 ¹	2.10 ¹	-	-
totale coli	-	1,1.10 ⁷	2,2.10 ⁴	-	2,2.10 ⁴	-
faecale streptococci	4.10 ⁵	-	7.10 ²	2.10 ²	-	-
sporen sulfietred. clostrid.	2.10 ⁵	-	1.10 ²	5.10 ²	-	-
Salmonella	9.10 ³	1,6.10 ⁶	*	*	6,2	-
f-specifieke bacteriëfagen	8.10 ⁴	-	*	*	-	-
somatische colifagen	4.10 ⁵	-	*	*	-	-
aëroob koloniegetal	> 1.10 ⁸	-	> 2.10 ⁷	> 2.10 ⁷	-	-

proef	ASHZ					
	C ₀		C ₃		C _e	
	1	2	1	2	1	2
thermotolerante coli	-	1,1.10 ⁶	-	-	2.10 ²	1,1.10 ¹
E. coli	9.10 ⁵	-	8.10 ²	6.10 ²	-	-
totale coli	-	1,1.10 ⁷	-	-	-	10 ¹
faecale streptococci	4.10 ⁵	-	2.10 ⁴	2.10 ²	-	-
sporen sulfietred. clostrid.	2.10 ⁵	-	1.10 ³	5.10 ²	-	-
Salmonella	9.10 ³	1,6.10 ¹	*	*	5,2	-
f-specifieke bacteriëfagen	8.10 ⁴	-	*	*	-	-
somatische colifagen	4.10 ⁵	-	2.10 ²	*	-	-
aëroob koloniegetal	> 1.10 ⁸	-	> 2.10 ⁷	> 2.10 ⁷	-	-

Tabel 59. Resultaten van het micro-biologisch onderzoek 4e proevenserie

- C₀ concentratie in het uitgangsmateriaal
- C₁ concentratie na 17 dagen
- C₂ concentratie na 16 dagen
- C₃ concentratie na 9 dagen
- C_e concentratie in het eindproduct na zeven 16 januari 1984
- * niet aangetoond; detectielimiet ca. 5/g d.s. voor Salmonella species en somatische colifagen en ca. 100/g d.s. voor f-specifieke bacteriëfagen
- niet bepaald
- 1 resultaten bepalingen PIVM
- 2 resultaten bepalingen Centrilas

de decimale reductie nodig, hetgeen overeenkomt met 990 minuten bij 55°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 (zie voetnoot).

Burge gebruikt de f-specifieke bacteriofagen als indicator-organisme om de mate van desinfectie te bepalen bij compostering van zuiveringsslib. 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 composteringsproces. Geconcludeerd moet worden dat deze parameter niet geschikt is voor de beoordeling van de mate van desinfectie van zuiveringsslib als gevolg van compostering.

1.7.5 conclusie

In Nederland bestaan op dit moment geen normen of grenswaarden waarmee de hygiënische betrouwbaarheid van bodemverbeterende materialen zoals compost, kan worden gekarakteriseerd.

Een vergelijking tussen de diverse bodemverbeteraars op grond van de hygiënische betrouwbaarheid is daarom niet mogelijk.

Wel kan de mate van desinfectie worden aangegeven die materiaal heeft ondergaan als gevolg van een bewerking zoals compostering. 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 van de 2e-, 3e- en 4e serie blijkt dat aan dit criterium is voldaan.

Uit de microbiologische bepalingen blijkt dat de indicator-organismen in de onderzochte monsters van de 3e- en 4e proevenserie 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 (fecale streptococci) terwijl het indicator-organisme met een grotere hitteresistentie (f-specifieke bacteriofaag) niet werd aangetroffen.

* Burge, W.D., Colacicco, D. S. Cramer, W.N. Criteria for achieving pathogen destruction during composting. JWPCF 53,12: 1683 e.v. (1981).

Uit de resultaten van de proeven ASHHZ en USHHZ van de 3e proevenserie 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.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat tijdens de uitgevoerde compostingsproeven in het algemeen een aanzienlijke kiemreductie heeft plaatsgevonden tijdens de actieve compostingsperiode. De resultaten bevestigen dat bij de compostering van zuiveringsslib desinfectie plaatsvindt.

1.8 Onderzoek van alternatieve toeslagmaterialen

Bij de praktijkproeven zijn de volgende toeslagmaterialen betrokken geweest:

- houtsnippers;
- houtschillen;
- houtblokken;
- rubbersnippers;
- stro.

Met geplagde heide en compost zijn oriënterende proeven uitgevoerd om inzicht te krijgen in hun toepasbaarheid als toeslagmateriaal.

1.8.1 geplagde heide

Van de meeste natuurterreinen in Nederland moet jaarlijks of periodiek organische stof worden afgevoerd. Aangezien de vrijkomende organische stof geen gebruiksmogelijkheden meer heeft, ontstaat een afvalprobleem.

In een oriënterend onderzoek is nagegaan of dit afval van natuurterreinen geschikt is als toeslagmateriaal bij het composteren van zuiveringsslib.

Vrijkomende organische stof van heideterreinen bestaat in hoofdzaak uit snoeihout, grasheide en heide; de beide laatste zowel in gemaaide als geplagde vorm.

Het onderzoek naar alternatieve toeslagmaterialen bleef beperkt tot de geplagde grasheide.

Grasheide bestaat voornamelijk uit het pijpestrootje (molinea). Afhankelijk van de wijze waarop het materiaal vrij komt is in het produkt meer of minder zand aanwezig. Bij geplagde grasheide zal het zandgehalte op basis van de droge stof aanzienlijk hoger zijn dan bij gemaaidkneusde grasheide. Dit komt omdat bij de geplagde grasheide voornamelijk sprake is van de wortelknopen van de molinea terwijl de gemaaide heide voornamelijk bestaat uit de stengels van het gewas. Uit de literatuur is bekend dat het zandgehalte van invloed is op de temperatuurontwikkeling bij compostering van grasheide. Bij een zandgehalte van meer dan 40% op basis van de droge stof wordt het compostingsproces negatief beïnvloed.

Van het voor de proef ter beschikking staande materiaal werden bepaald:

- drogestofgehalte
- gloeirest als representatief voor het zandgehalte
- zuurgraad

De gemiddelde waarden van een aantal monsters waren:

- drogestofgehalte: 35% (maximaal 41%);
- gloeirest : 42% (maximaal 46,2%; minimaal 38,5%);
- zuurgraad : pH = 5,0.

Met behulp van de kraan en stalmestverspreider werd ca. 2 m³ van dit materiaal gemengd met 0,5 m³ slib, drogestofgehalte 24,8%.

Na het mengen bleek het slib zich sterk aan het toeslagmateriaal te hechten. Na stapeling bleef het met slib gemengde toeslagmateriaal aan elkaar kleven zodat de stapeling weinig poreus was.

conclusie:

Geplagde grasheide is niet geschikt als toeslagmateriaal bij de compostering van zuiveringsslib om de volgende redenen:

- het materiaal heeft een te hoog vochtgehalte om als vochtregulerend toeslagmateriaal te dienen;
- het materiaal is door de vorm ongeschikt als porositeitverhogend toeslagmateriaal;
- het zandgehalte is te hoog voor een goed verlopende compostering.

1.8.2 compost

Uit de literatuur is bekend dat met wisselende resultaten compost als toeslagmateriaal wordt gebruikt bij compostering van zuiveringsslib.

Omdat toeslagmateriaal een vochtregulerende en/of porositeitverhogende werking moet hebben, zijn oriënterende proeven uitgevoerd om te onderzoeken of compost aan deze eigenschappen kan voldoen.

Wanneer compost alleen als toeslagmateriaal mogelijk zou zijn, zou dit een besparing kunnen betekenen in de aanschaf van toeslagmateriaal, terwijl de zeefbewerking, om toeslagmateriaal terug te winnen na compostering, achterwege zou kunnen blijven.

Compost heeft een drogestofgehalte van 45-55%. Het drogestofgehalte is in hoofdzaak afhankelijk van de omstandigheden tijdens opslag. Vanwege de afmetingen van compostdeeltjes mag niet worden verwacht dat het een porositeitverhogend effect heeft. Onderzocht is of het mogelijk is om door middel van het persen van de compost door een matrijs, het zogenaamde pelleteren, de compost zodanige vorm en afmetingen te geven dat het porositeitverhogende eigenschappen krijgt.

Pelleteerproeven met 300 liter compost zijn uitgevoerd. De compost had een gemiddeld drogestofgehalte van 60%. De gevormde pellets hadden een diameter van 0,5 en 1 cm en een lengte van 1 tot 3 cm.

De volumevermindering als gevolg van pelleteren bedroeg 15-25%.

Op grond van de ervaringen van de leverancier van de pelleteermachine wordt voor het vervaardigen van vormvaste pellets een minimaal drogestofgehalte van ca. 70% noodzakelijk geacht.

Van de gevormde pellets is op laboratoriumschaal de vormvastheid onderzocht onder invloed van bovenbelasting en vocht. Voor het onderzoek naar de vormvastheid onder invloed van bovenbelasting en het porositeitverhogende effect werden de pellets met een diameter van 1 cm in een kolom gebracht waarna gedurende langere tijd een constante bovenbelasting werd aangebracht. De afname van het volume was daar-

bij een maat voor de porositeitsverandering.

Na beëindiging van de proef werden de pellets visueel beoordeeld op hun vorm. De resultaten zijn vermeld in tabel 61.

De aangebrachte bovenbelasting is vergelijkbaar met de maximale bovenbelasting in een te composteren stapeling.

druk- belasting (g/cm ²)	volume- afname (%)	poriën- volume aanvang (%)	poriën- volume eind (%)	vorm pellets eind
200	29	45	23	onveranderd

Tabel 61. Resultaten proef porositeit- en vormverandering pellets

Uit de tabel blijkt dat onder deze extreme omstandigheden de porositeit terug loopt van 45% tot circa 20 à 25%. Bij deze proef is het interne poriënvolume in de pellets buiten beschouwing gelaten, aangezien deze poriën minder van invloed zijn in het composteringsproces op de zuurstof/luchtvoorziening en afvoer van warmte en waterdamp.

In een proefopstelling is een hoeveelheid pellets gedurende een bepaalde periode blootgesteld aan warmte- en vochtinvloeden. De proefopstelling bestond uit een kooi, voorzien van fijn gaas, waarin een hoeveelheid compostpellets, omringd door ongezeefde compost, was aangebracht. Vanaf de onderzijde is verzadigde waterdamp toegevoerd om de condities tijdens het composteringsproces te simuleren. Het doorleiden van verzadigde waterdamp bleek slechts een zeer geringe vochtabsorptie tot gevolg te hebben.

Vervolgens is een proef uitgevoerd, waarbij een bekerglas met compostpellets volledig gevuld werd met water. Uit deze proef bleken de monsters na 1 resp. 2 dagen verzadigd te zijn. Na afloop is door middel van weging vastgesteld welke hoeveelheid vocht door de pellets is geabsorbeerd. Ten opzichte van het uitgangsmateriaal bleken de pellets een gewichtstoename van 10 à 15% te vertonen. Hierbij was het niet mogelijk na te gaan welk deel van het vocht in de pellets was doorgedrongen en welk deel als een waterfilm op de pellets aanwezig was.

Uit het onderzoek kon worden geconcludeerd dat de onderzochte slibcompost goed is te pelletieren; het is waarschijnlijk dat bij een drogestofgehalte van meer dan 70% nog betere resultaten te behalen zijn. Zowel gezeefd als ongezeefd materiaal is te verwerken, terwijl zowel grote als kleine pelletdiameters mogelijk zijn.

Als gevolg van het pelletieren bleek er een volumereductie van het uitgangsmateriaal van circa 25% op te treden. Onder warme, vochtige omstandigheden bleken de pellets vormvast, stabiel en weinig vochtabsorberend te zijn. Indien de pellets gedurende langere tijd onder water gedompeld worden, treedt wel enige vochtabsorptie op.

De porositeit van een hoeveelheid pellets bedroeg zonder bovenbelasting circa 45% van het totale volume; dit poriënvolume kan bij maximale bovenbelasting teruglopen tot ongeveer 20 à 25%. Onder een maximale bovenbelasting onderging de vorm van de pellets zelf slechts weinig verandering.

De resultaten van de proeven, uitgevoerd met gepelleteerde compost waren dermate bemoedigend dat een voortzetting van de proevenserie op praktijkschaal werd uitgevoerd. Daarbij is aandacht geschonken aan vorm na menging van pellets met te composteren zuiveringsslib.

Van 2,0 m³ compost werden pellets gevormd met een diameter van 2,0 cm. Het drogestofgehalte van de compost bedroeg 67%. De volumereductie als gevolg van pelletteren bedroeg globaal 30%. De gevormde pellets werden vervolgens gemengd met 500 l ontwaterd slib met een drogestofgehalte van 17%. Menging vond plaats door middel van een kraan. Na menging bleek dat de pellets niet bestand waren tegen het uitoefenen van mechanische krachten en gedeformeerd waren. Na stapeling waren de gemengde materialen zodanig met elkaar versmeerd dat geen sprake was van enige porositeit.

conclusie:

Pelletteren van compost is goed mogelijk wanneer het drogestofgehalte ca. 70% bedraagt. Als gevolg van pelletteren treedt een volumereductie op van 20 à 25%.

Het vochtabsorberend vermogen van de pellets is zeer gering. De pellets zijn niet bestand tegen het uitoefenen van mechanische krachten. Menging van pellets en ontwaterd slib geeft geen porositeit aan een stapeling van te composteren materiaal.

Uit compost gevormde pellets kunnen dus niet worden toegepast als toeslagmateriaal bij het composteren van zuiveringsslib.

1.9 Globale kosten compostering

Tijdens de praktijkproeven zijn diverse uitvoeringsmethoden, toeslagstoffen, mengverhoudingen en beluchtingssystemen toegepast. De globale kostenraming heeft betrekking op de meest succesvolle composteringsproeven. Hieraan zijn zoveel mogelijk uitgangspunten voor de berekening ontleend.

Waar de informatie uit de praktijkproeven ontoereikend was, en in die gevallen waarin aanvullende informatie benodigd was voor het opschalen van de compostering, is gebruik gemaakt van ervaringen elders.

De kosten voor de compostering van zuiveringsslib zullen voor elk praktijkgeval verschillen. Daarom worden in het kader van deze praktijkproeven slechts de belangrijkste kostenfactoren in de berekening betrokken. Voor elk willekeurig geval kunnen de voor dat geval van toepassing zijnde hoeveelheden en eenheidsprijzen worden ingevoerd, zodat op eenvoudige wijze de kostprijs kan worden bepaald.

Er wordt in dit fictieve geval uitgegaan van een composteringsrichting waar het slib van een rwzi met een capaciteit van 75.000 i.e. verwerkt moet worden. Dat betekent dat op jaarbasis circa 1200 ton droge stof zuiveringsslib voor verwerking in aanmerking komt, wat bij een drogestofgehalte van 20% overeenkomt met 6000 m³.

Wat betreft de toeslagstoffen wordt gebruik gemaakt van houtschillen als vochtregulerend medium en van houtblokken voor de porositeit. Er wordt vanuit gegaan dat de houtschillen voor de helft terugwinbaar zijn en geschikt voor hergebruik, terwijl bij de houtblokken een verlies van 10% optreedt.

De materialen worden gemengd in een verhouding van slib : houtschillen : houtblokken van 1:2:1,5. Van dit mengsel worden rillen gefor-

meer met een basisbreedte van 4 m en een maximale hoogte van 2 m. De maximale rillengte bedraagt 30 à 35 m, zodat bij deze bedrijfsomvang 2 rillen per week worden gevormd. Bij een composteringduur van 6 à 7 weken betekent dit dat er ruimte beschikbaar moet zijn voor 14 rillen. Rekening houdend met voldoende manoeuvreerruimte is een ruimte van zeker 80 x 45 m nodig.

Er wordt uitgegaan van een verharde ondergrond, waarop de beluchtingsbuizen kunnen worden geplaatst. Een betonnen verharding verdient de voorkeur: vormvast, waterdicht en een glad oppervlak. De ruimte van 80 x 45 m benodigd voor de compostering moet worden uitgebreid tot 80 x 60 m ten behoeve van voorzieningen als: opslagbunkers, narijplingsruimte, meng- en zeefapparatuur. De benodigde terreinoppervlakte bedraagt derhalve 5.000 m². Het terrein is goed ontsloten.

Wat betreft het materieel wordt uitgegaan van een eenvoudige menginstallatie, een tweetraps zeefinrichting (om het grove en fijne toeslagmateriaal afzonderlijk te kunnen terugwinnen) en een wiellaadschop en een hydraulische graafmachine voor respectievelijk intern transport en het formeren en afdekken van de rillen.

De beluchting vindt plaats door middel van kunststof beluchtingsbuizen en kunststof ventilatoren. In geval van onderdrukbeluchting kan gebruik worden gemaakt van compostfilters ten behoeve van de behandeling van de afgassen.

Het personeel bestaat uit een wiellaadschopmachinist en een kraanmachinist. Deze medewerkers bedienen tevens de overige apparatuur. Het toezicht wordt verricht door een functionaris van de slibleverende rwzi. Dit toezicht vraagt ongeveer een halve dagtaak.

Voor de aanvoer van het slib worden geen kosten in de berekening betrokken, omdat er vanuit wordt gegaan dat de compostering sinrichting op of nabij de rwzi is gelegen.

Wat betreft het gereede produkt, de compost, is aangenomen dat het materiaal door de gebruikers (of voor hun rekening) wordt afgehaald van de verwerkingsplaats. Er is een opslagcapaciteit van enige weken voorhanden.

De kostprijsberekening is gebaseerd op de situatie dat de compostering sinrichting reeds enige tijd in bedrijf is, zodat er sprake is van recycling van toeslagmateriaal en de beschikbaarheid van afdekcompost.

Op grond van deze veronderstellingen wordt de volgende kostprijsberekening, op jaarbasis, opgesteld:

- terrein 0,5 ha; investering f 50.000,--, jaarlijkse last 11% van de investering	f 5.500,--
- bouwkundige voorzieningen (vloer, opslagbunkers, compostfilters): investering f 425.000,-- jaarlijkse last 11%	f 46.750,--
- ventilatie, meng- en zeefapparatuur, verlichting, inclusief elektrische aansluiting: investering f 400.000,--, jaarlijkse last (incl. onderhoud) 15%	f 60.000,--

-	wiellaadschop en hydraulische graafmachine: investering f 300.000,--, jaarlijkse last (incl. onderhoud) 25%	f 75.000,--
-	toeslagmateriaal, vochtregulerend: 6000 m ³ à f 15,--	f 90.000,--
-	toeslagmateriaal, porositeitverhogend: 900 m ³ à f 25,--	f 22.500,--
-	energie voor ventilatie, mengen, zeven en ver- lichting: 75.000 kWh à f 0,25	f 18.750,--
-	energie voor wiellaadschop en hydraulische graafmachine: 40.000 liter dieselolie à f 1,--	f 40.000,--
-	personeel: 2 machinisten à f 55.000,--	f 110.000,--
-	opzichter (halve dagen) à f 35.000,--	f 35.000,--
-	afvoer compost	PM
-	onvoorzien en diversen	f 26.500,--
	Totaal jaarlijkse kosten (excl. B.T.W.)	<u>f 530.000,--</u>

Per ton droge stof bedragen de kosten circa f 440,--, hetgeen over-
eenkomt met f 88,-- per m³ ontwaterd slib.

In de kostprijsberekening is uitgegaan van een nietoverdekt terrein.
Uit praktijkervaringen is echter gebleken dat in deze situatie stag-
naties in de bedrijfsvoering kunnen optreden, met name in de herfst
en het natte deel van de winter. Indien de composteringsinrichting
van een eenvoudige overkapping wordt voorzien, is het gehele jaar
door een ongestoorde bedrijfsvoering mogelijk. De jaarlijkse inves-
teringslast voor de bouwkundige voorzieningen neemt bij toepassing
van een overkapping met circa f 66.000,-- toe: in dit geval bedraagt
de totale verwerkingsprijs f 495,-- per ton slib op drogestofbasis.

BIJLAGE 2

PRAKTIJKPROEVEN ZWARTEGRONDBEREIDING

INHOUD

1	EERSTE PROEVENSERIE	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Uitvoeringswijze	1
1.2.1	stapelproeven	1
1.2.2	freesproeven	2
1.3	Waarnemingen, bemonstering en analyses	3
1.3.1	stapelproeven	3
1.3.2	freesproeven	6
1.4	Vochtbindende eigenschappen zwarte grond	9
1.4.1	betekenis van de vocht karakteristiek	9
1.4.2	pF-curven van de zand-slibmengsels	11
1.5	Conclusies eerste proevenserie	15
1.5.1	stapelproeven	15
1.5.2	freesproeven	15
1.5.3	resumé	16
2	TWEEDE PROEVENSERIE	17
2.1	Algemeen	17
2.2	Uitvoeringswijze	17
2.3	Waarnemingen, bemonstering en analyses	18
2.4	Conclusies tweede proevenserie	21
3	GLOBALE KOSTEN ZWARTEGRONDBEREIDING	23

1 EERSTE PROEVENSERIE

1.1 Algemeen

In de eerste proevenserie zijn vijf experimenten uitgevoerd: drie stapelproeven en twee freesproeven. Het uitgangsmateriaal voor de stapelproeven bestaat uit (kalkhoudend) filterpersslib, bij de freesproeven is zowel filterpersslib als centrifugeslib verwerkt. In alle gevallen is zand als toeslagstof gebruikt. De eerste proevenserie is uitgevoerd in de periode maart-december 1983. In tabel 1 is schematisch aangegeven welke experimenten zijn uitgevoerd.

proef	type	slibsoort	bijzonderheden
FSS 1	stapelproef	filterpers	mengverhouding 2:1
FSS 2	stapelproef	filterpers	mengverhouding 1:1 hoge stapeling
FSS 3	stapelproef	filterpers	mengverhouding 1:1 lage stapeling
FSE	freesproef	filterpers	-
CSF 1	freesproef	centrifuge	-

Tabel 1. Overzicht zwartegrondproeven

Gezien hun overeenkomst worden zowel de freesproeven als de stapelproeven gezamenlijk behandeld.

Achtereenvolgens wordt ingegaan op de uitvoeringswijze, de waarnemingen, bemonstering en analyses en de conclusies, die aan de proeven kunnen worden verbonden.

1.2 Uitvoeringswijze

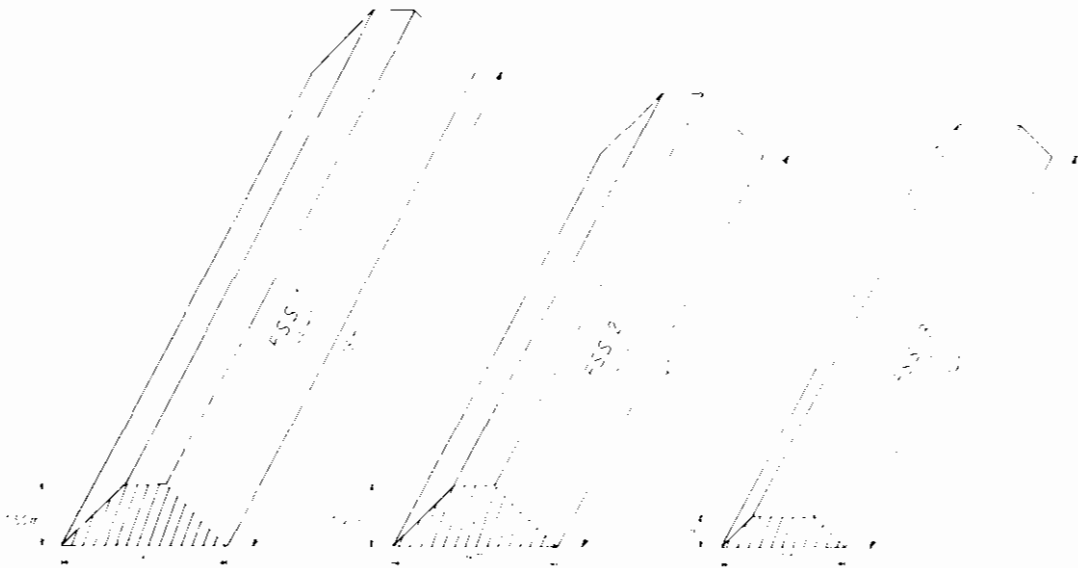
1.2.1 stapelproeven

De stapelproeven FSS 1, 2 en 3 zijn uitgevoerd op een verharde ondergrond. De menging van filterpersslib en zand is uitgevoerd met behulp van een hydraulische graafmachine, nadat de filterperskoeken eerst met een stalmestverspreider waren verkleind. Na menging is het materiaal op rillen gezet, waarbij opnieuw gebruik is gemaakt van de hydraulische graafmachine.

Bij proef FSS 1 is een mengverhouding op volumebasis van zand : slib = 2:1 nagestreefd, resulterend in een totaal volume van 65 m³, terwijl bij de experimenten FSS2 en FSS 3 in eerste instantie een mengsel van circa 1:1 is aangemaakt, hetgeen vervolgens is verdeeld in een hoeveelheid van 52 m³ voor een hoge stapeling (FSS 2) en 25 m³ voor een stapelproef met beperkte hoogte (FSS 3).

In figuur 1 is schematisch de opstelling van de stapelproeven weergegeven.

Na de eerste stapeling zijn de rillen telkens éénmaal per 2 à 3 weken omgezet; bij de eerste twee omzettingen is naast de hydraulische graafmachine gebruik gemaakt van de stalmestverspreider, ook nu met het doel een verdere verkleining van de slibkoeken te verkrijgen. Na elke omzetting zijn de rillen weer in de oorspronkelijke vorm gestapeld.



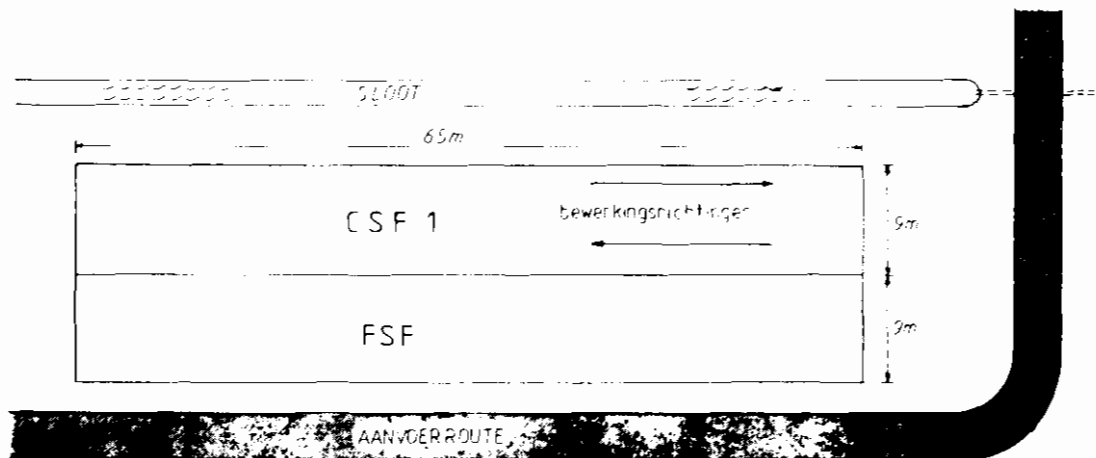
Figuur 1. Opstelling stapelproeven

1.2.2 freesproeven

De beide freesproeven FSF en CSF 1 zijn "in de volle grond" uitgevoerd, hetgeen wil zeggen dat geen voorzieningen zoals verhardingen en rijpaden aanwezig waren.

De afmetingen van de twee identieke proefvelden bedroegen 65 x 9 m. Deze afmetingen zijn zodanig dat de toegepaste machines ongehinderd kunnen werken en randverschijnselen te verwaarlozen zijn. De proefvelden zijn in lengterichting bewerkt.

Op de natuurlijke zandondergrond is als toeslagmateriaal een laag zand aangebracht van 0,25 m dikte. In figuur 2 is de inrichting van het proefterrein weergegeven.



Figuur 2. Inrichting terrein freesproeven

Voor het opbrengen van het slib is gebruik gemaakt van een stalmestverspreider met achterwaartse lossing, voortgetrokken en aangedreven door een circa 60 kW vierwiel-aangedreven landbouwtrekker. Diezelfde trekker dreef ook de hakenfrees aan, waarmee slib en toeslagmateriaal zijn gemengd.

Op beide proefvelden is tweemaal een laag slib ter dikte van 0,07 à 0,08 m opgebracht en doorgefreesd.

De eerste dosering is op beide proefvelden gelijktijdig opgebracht, het opbrengen van de tweede charge vond bij de proef FSS na 3 weken plaats, in geval van de proef CSF pas na 3,5 maand.

1.3 Waarnemingen, bemonstering en analyses

1.3.1 stapelproeven

In tabel 2 is aangegeven welke hoeveelheden slib en zand ten behoeve van de stapelproeven gemengd zijn. Hierbij zijn de experimenten FSS 2 en FSS 3 samengenomen, aangezien het materiaal voor deze proeven in eerste instantie in één mengsel is samengevoegd; na deze eerste menging heeft een verdeling plaatsgevonden in twee afzonderlijke partijen. Het uitgangsmateriaal voor de proeven FSS 2 en FSS 3 is identiek.

		uitgangsmaterialen			
		FSS 1		FSS 2 en FSS 3	
		zand	slib	zand	slib
volume	(m ³)	50	25	50	45
gewicht, nat	(kg)	86.000	24.700	86.000	42.700
droge stof	(%)	91,8	31,6	91,8	31,6
gewicht, droog	(kg)	78.950	7.805	78.950	13.495

Tabel 2. Hoeveelheden uitgangsmaterialen stapelproeven

Uit tabel 2 blijkt dat bij de proef FSS 1 een mengverhouding van 2:1 op volumebasis overeenkomt met een drogestofverhouding tussen zand en slib van 10:1; voor de proeven FSS 2 en FSS 3 bedragen de verhoudingen circa 1:1 op volumebasis en 6:1 op de droge stof betrokken.

De uitgangsmaterialen zijn voor de menging bemonsterd en geanalyseerd op een groot aantal parameters. De resultaten van deze chemische analyses zijn in tabel 3 verzameld.

Van de uitgangsmaterialen is tevens de granulaire samenstelling bepaald, waarvan de resultaten in tabel 4 zijn vermeld.

Tijdens het mengen bleek het verkleinen van de filterperskoeken met een stalmestverspreider niet goed te gebeuren. Het gevolg hiervan is dat ook de menging van filterpersslib met zand geen optimaal mengsel oplevert: door de aanwezigheid van de vele, grote brokken ontstaat een mengsel dat in eerste instantie redelijk homogeen lijkt, doch bij nadere bestudering grote inhomogeniteit vertoont.

parameter	uitgangsmaterialen	
	zand	filterpersslib
pH	6,8	11,5
droge stof (%)	91,8	31,6
org. stof (% van d.s.)	0,4	38,4
stikstof (g/kg.d.s.)	0,3	21
fosfaat (g/kg.d.s.)	0,6	23
kalium (g/kg.d.s.)	0,1	0,2
calcium (g/kg.d.s.)	2,4	160
magnesium (g/kg.d.s.)	0,6	3,9
koper (mg/kg.d.s.)	1,4	330
chromium (mg/kg.d.s.)	11	70
zink (mg/kg.d.s.)	10	1300
lood (mg/kg.d.s.)	3,2	470
cadmium (mg/kg.d.s.)	0,1	6,4
nikkel (mg/kg.d.s.)	5,3	23
kwik (mg/kg.d.s.)	0,0	2,3
arsen (mg/kg.d.s.)	2,0	3,5

Tabel 3. Chemische samenstelling uitgangsmaterialen stapelproeven

minerale delen in µm	uitgangsmaterialen	
	zand	filterpersslib
0- 2 (%)	2,4	0,7
2- 16 (%)	1,5	12,7
16- 50 (%)	0,1	49,8
50- 105 (%)	7,5	6,1
105- 150 (%)	27,0	5,0
150-2000 (%)	61,5	25,7

Tabel 4. Granulaire samenstelling uitgangsmaterialen stapelproeven

Ook na tweemaal omzetten van het mengsel met de graafmachine en de stalmestverspreider blijken nog steeds veel grote brokken aanwezig te zijn. Gelet op het geringe resultaat van de inzet van de stalmestverspreider is verder gebruik van dit apparaat achterwege gebleven.

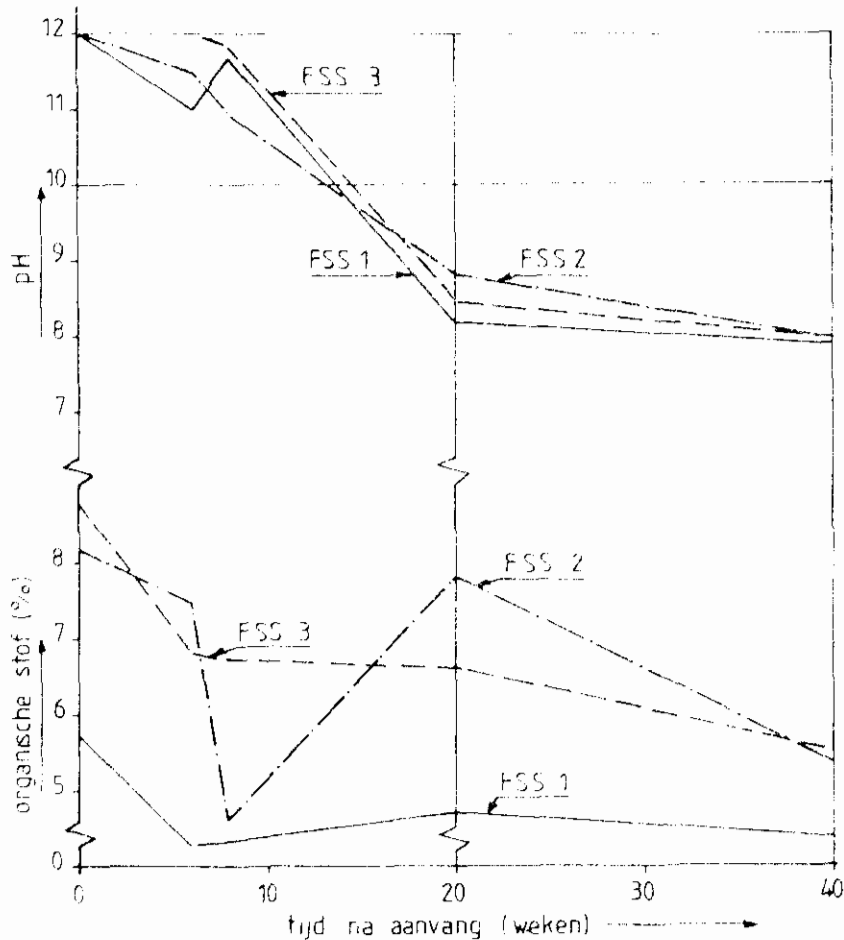
Gedurende de looptijd van het experiment is diverse malen een visuele beoordeling en een bemonstering van de stapelingen uitgevoerd. Bij de visuele beoordelingen bleek telkens weer dat aan de oppervlakte van de stapeling droging en verwerking van de slibkoeken optreedt; echter dieper dan circa 0,20 m onder het oppervlak is steeds een scherpe overgang van een aëroob naar een anaëroob milieu waar te nemen. Deze anaërobie blijkt uit stank, het voorkomen van reductieverschijnselen in de slibkoeken en uit metingen van het zuurstofgehalte op diverse diepten in de stapelingen.

De tussentijdse monsters zijn onderzocht op het gehalte aan organische stof, terwijl tevens de pH (KCl) is bepaald. De resultaten van dit laboratoriumonderzoek zijn in figuur 3 weergegeven.

Acht maanden na de start van de stapelproeven is een eindbeoordeling en eindbemonstering van de bereide zwarte grond uitgevoerd.

Visueel werden de eindprodukten als matig gerijpt beschouwd, de aanwezigheid van slibkoeken wordt in alle stapelingen vastgesteld. Er

werd weinig verschil tussen de drie stapelingen geconstateerd.



Figuur 3. Resultaten tussentijdse bepalingen stapelproeven

De bij de eindbemonstering verkregen monsters zijn geanalyseerd op dezelfde parameters als de uitgangsmaterialen.

De resultaten van dit onderzoek zijn in tabel 5 weergegeven te samen met de concentraties van diverse stoffen, zoals deze zijn berekend op basis van de toegepaste mengverhoudingen, en de analyseresultaten van de uitgangsmaterialen. Bij deze berekening is de aanname gedaan dat er tijdens het zwartegrondbereidingsproces geen afbraak en/of afvoer van de onderzochte componenten heeft plaatsgevonden.

parameter	eindprodukten					
	FSS 1		FSS 2		FSS 3	
	berekening	analyse	berekening	analyse	berekening	analyse
org.stof (% van d.s.)	3,8	4,3	6,0	5,4	6,0	5,5
stikstof (g/kg.d.s.)	2,2	2,0	3,3	2,0	3,3	2,4
fosfaat (g/kg.d.s.)	2,6	0,3	3,7	3,5	3,7	3,9
kalium (g/kg.d.s.)	0,1	0,8	0,1	0,8	0,1	0,9
calcium (g/kg.d.s.)	16,6	34	25	43	25	48
magnesium (g/kg.d.s.)	0,9	1,5	1,1	1,6	1,1	1,6
koper (mg/kg.d.s.)	31	43	49	46	49	49
chroom (mg/kg.d.s.)	16	18	20	20	20	22
zink (mg/kg.d.s.)	126	165	198	200	198	215
lood (mg/kg.d.s.)	45	54	71	67	71	73
cadmium (mg/kg.d.s.)	0,6	0,7	0,9	1,1	0,9	0,9
nikkel (mg/kg.d.s.)	6,9	8,3	7,9	8,9	7,9	7,4
kwik (mg/kg.d.s.)	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5
arsen (mg/kg.d.s.)	2,1	4,0	2,2	4,0	2,2	4,8

Tabel 5. Samenstelling eindprodukten stapelproeven

1.3.2 freesproeven

In tabel 6 is aangegeven welke hoeveelheden slib bij de freesproeven zijn verwerkt. Voor wat betreft het toeslagmateriaal is ervan uitgegaan dat in beide gevallen 0,15 m van het zandpakket is doorgefreesd.

	uitgangsmaterialen			
	FSF		CSF 1	
	zand	slib	zand	slib
<u>eerste dosering</u>				
volume (m ³)	88	40	88	43
gewicht, nat (kg)	151.360	49.500	151.360	43.400
droge stof (%)	91,8	31,6	91,8	17,4
gewicht, droog (kg)	138.950	15.640	138.950	7.550
<u>tweede dosering</u>				
volume (m ³)	-	43	-	49
gewicht, nat (kg)	-	53.100	-	50.530
droge stof (%)	-	32,0	-	16,7
gewicht, droog (kg)	-	16.990	-	8.440
<u>totaal</u>				
volume (m ³)	88	83	88	92
gewicht, nat (kg)	151.360	102.600	151.360	93.930
gewicht, droog (kg)	138.950	32.630	138.950	15.990

Tabel 6. Hoeveelheden uitgangsmaterialen freesproeven

Bij proef FSF komt een mengverhouding van circa 1:1 op volumebasis overeen met een drogestofverhouding tussen zand en slib van 4,3:1; voor het centrifugeslib bedragen de verhoudingen circa 1:1 op volumebasis en 8,7:1 op droge stof.

De uitgangsmaterialen zijn, voor de menging, bemonsterd en geanalyseerd op een groot aantal parameters. De resultaten van de chemische analyses zijn in tabel 7 verzameld.

parameter	uitgangsmaterialen		
	zand	filterpersslib	centrifugeslib
pH (-)	6,8	11,5	7,0
droge stof (%)	91,8	31,6/32,0	17,4/16,7
org.stof (% van d.s.)	0,4	38,4	47,3
stikstof (g/kgd.s.)	0,3	21	32
fosfaat (g/kgd.s.)	0,6	23	104
kalium (g/kgd.s.)	0,1	0,2	1,2
calcium (g/kgd.s.)	2,4	160	38
magnesium (g/kgd.s.)	0,6	3,9	3,0
koper (mg/kgd.s.)	1,4	330	225
chrom (mg/kgd.s.)	11	70	190
zink (mg/kgd.s.)	10	1300	1162
lood (mg/kgd.s.)	3,2	470	241
cadmium (mg/kgd.s.)	0,1	6,4	2,3
nikkel (mg/kgd.s.)	5,3	23	28
kwik (mg/kgd.s.)	0,0	2,3	2,0
arseen (mg/kgd.s.)	2,0	3,5	11,4

Tabel 7. Chemische samenstelling uitgangsmaterialen freesproeven

Van de uitgangsmaterialen is tevens de granulaire samenstelling bepaald, waarvan de resultaten in tabel 8 zijn verwerkt.

minerale delen in µm	uitgangsmaterialen		
	zand	filterpersslib	centrifugeslib
0- 2 (%)	2,4	0,7	25,6
2- 16 (%)	1,5	12,7	52,1
16- 50 (%)	0,1	49,8	8,9
50- 105 (%)	7,5	6,1	7,4
105- 150 (%)	27,0	5,0	2,6
150-2000 (%)	61,5	25,7	3,4

Tabel 8. Granulaire samenstelling uitgangsmaterialen freesproeven

Bij het opbrengen van het slib op 3 maart 1983 is vastgesteld dat de stalmestverspreider zowel voor filterperskoeken als voor centrifugeslib ongeschikt is. Tijdens het verspreiden van het filterpersslib bleek dat de lossing van het materiaal snel verliep, een verkleining van de koeken werd echter nauwelijks verkregen.

Het opbrengen van het centrifugeslib verliep zeer moeizaam, aangezien het lossen van slib door de stalmestverspreider slechts zeer langzaam ging. Het werktuig bleek ongeschikt voor een pasteus, nat

maten van het centrifugeslib.

Het doorfreesen van een 0,07 à 0,08 m dikke laag slib heeft eveneens problemen opgeleverd. Het namde bij het centrifugeslib slijpte de trekker diverse malen: er was voldoende trekkracht aanwezig, doch het vermogen kon niet geheel worden benut vanwege het onvoldoende contact tussen de trekkerwielen en de ondergrond.

De resultaten van de eerste freesgang was in beide gevallen matig: er was nog geen sprake van homogene mengsels. Na een tweede freesbeurt was de menging al aanzienlijk verbeterd, echter een goede menging bereikt.

Het proefveld FSF was reeds na ruim 3 weken geschikt (24 maart 1983) om de tweede maaiende slijp op te brengen. Op dit tijdstip was het veld van proefveld CSF 1 echter nog onbestedbaar voor de trekker met mestverspreider. Dit verschijnsel kan worden verklaard uit de grote verschillen tussen de relatief droge slibkoeken en het pasteuze centrifugeslib. Aangezien er vanaf dit moment een langdurige periode met zeer veel neerslag volgde, moest het opbrengen van de tweede slijpdoering worden uitgesteld tot 24 juni 1983.

De ervaringen bij het opbrengen van de tweede charge waren nagenoeg gelijk aan die bij de eerste dosering: slippen van de trekker, moeilijke losmaken van het centrifugeslib en slechts een matig mengresultaat op de eerste freesgang.

Gedurende de uitvoeringsperiode is diverse malen een visuele beoordeling en een bemonstering van de proefvelden uitgevoerd.

Bij de visuele beoordeling bleek dat door de freesbewerkingen een goede verkleining van de slibkoeken wordt verkregen. Tevens is telkens een goed homogeen mengsel verkregen; aanvullende freesbewerkingen waren dan ook vooral gericht op verdere verkleining van brokken en menging van de snel rijpende bovenste laag met het daarop liggende materiaal.

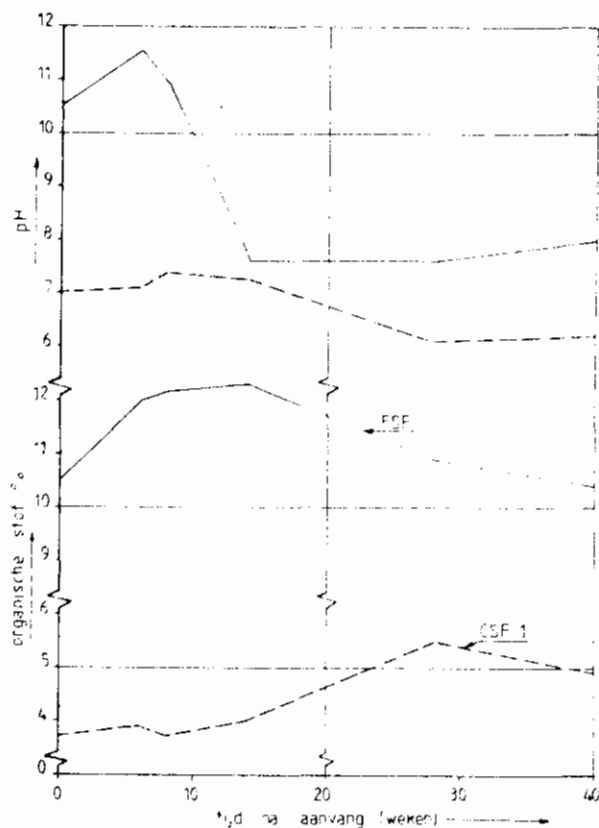
Er is geen idee van de zuurstofconcentratie, noch visueel noch op reuk, noch bij metingen van het zuurstofgehalte in de poriënruimte. In de natte periode zijn deze waarnemingen niet uitgevoerd.

De bereikbaarheid van de proefvelden is nog extra beperkt door de slechte ontwatering van het terrein. In de niet-gedraineerde ondergrond is op een diepte van 0,6 à 0,8 m beneden maaiveld een storende leemlaag aangetroffen. In perioden met een zeer groot neerslagoverschot ontstaat daardoor een schijngrondwaterpeil op slechts enkele decimeters onder het maaiveld.

Door de capillaire werking van het slijp-zandmengsel is het mengsel gedurende een lange periode volledig verzadigd met water. Het gevolg hiervan was een slecht verlopend rijpingsproces en een slechte bereikbaarheid.

In de tussentijdse monsters zijn het gehalte aan organische stof en de pH (KCl) bepaald. De resultaten van dit laboratoriumonderzoek zijn in figuur 4 weergegeven.

In december 1983, negen maanden na aanvang, is een eindbeoordeling en eindbemonstering van de beide proefvelden uitgevoerd. Bij de visuele beoordeling is vastgesteld dat bij zowel FSF als CSF 1 sprake is van een goed gemengd, redelijk gerijpt product; in beide gevallen zijn nog kleine slijbrokjes herkenbaar. Het materiaal van het veld CSF 1 raakt nog duidelijk naar slijb, terwijl dit bij het filterpersslijb, ondanks het rijkere mengsel, nauwelijks het geval is.



Figuur 4. Resultaten tussentijdse bepalingen freesproeven

De zwarte grond uit proef FSF is bodemkundig beoordeeld als een humeuze, zwak lemige zandgrond, het materiaal uit proef CSF 1 is een matig humeuze, zwak lemige zandgrond.

Binnen de afzonderlijke proefvelden zijn geen significante verschillen aangetroffen wat betreft de bodemkundige kenmerken.

Het bij de eindbemonstering verkregen materiaal is geanalyseerd op dezelfde parameters als de uitgangsmaterialen.

De resultaten van dit onderzoek zijn in tabel 9 vermeld; in deze tabel zijn evenals bij de stapelproeven de concentraties van de diverse stoffen bepaald, zoals deze zijn berekend op basis van de toegepaste mengverhoudingen en de analyseresultaten van de uitgangsmaterialen. Bij deze berekening is de aanname gedaan dat er tijdens het zwartegrondbereidingsproces geen afbraak en/of afvoer van de onderzochte componenten is opgetreden.

1.4 Vochtbindende eigenschappen van zwarte grond

1.4.1 betekenis van de vocht karakteristiek

De vocht karakteristiek van een grond is een gegeven waaruit voor een belangrijk deel het fysisch groeimilieu voor de plant is af te leiden. Deze karakteristiek geeft het verband aan tussen de vochtspanning en het vochtgehalte, waaruit onder andere de voor een plant beschikbare hoeveelheid vocht kan worden berekend.

parameter	eindprodukten			
	FSF		CSF 1	
	berekening	analyse	berekening	analyse
org.stof (% van d.s.)	7,6	10,4	5,2	4,9
stikstof (g/kg d.s.)	4,2	4,9	3,6	2,7
fosfaat (g/kg d.s.)	4,8	7,3	11,3	13
kalium (g/kg d.s.)	0,1	0,8	0,2	0,8
calcium (g/kg d.s.)	32	81	6,1	5,5
magnesium (g/kg d.s.)	1,2	1,9	0,6	0,3
kwart. (mg/kg d.s.)	64	100	24	27
chrom. (mg/kg d.s.)	22	27	29	26
zink (mg/kg d.s.)	255	440	129	120
lood (mg/kg d.s.)	92	140	28	27
cadmium (mg/kg d.s.)	1,2	2,3	0,3	0,4
nikkel (mg/kg d.s.)	9	10	7,7	6,4
kwik (mg/kg d.s.)	0,4	1,0	0,2	0,2
arsen (mg/kg d.s.)	2,3	3,4	3,0	3,1

Tabel 9. Samenstelling eindprodukten freesproeven

Het meten van de vochtigheid van de grond geeft nog niet alle informatie die nodig is om te weten hoe nat of droog een grond is, tenminste als verschillende gronden onderling met elkaar moeten worden vergeleken. Een grond met bijvoorbeeld een hoog kleigehalte kan droog aanvoelen terwijl een zandgrond met hetzelfde vochtgehalte duidelijk vochtig is. Op de kleigrond met dat vochtgehalte kan een plant bijvoorbeeld verdrogen, terwijl op de zandgrond plantengroei normaal is.

Een betere karakterisering van de vochtigheidstoestand van de grond geeft de vochtspanning. Deze geeft aan met welke kracht het water in de grond wordt vastgehouden en is daarmee een belangrijke informatie voor de beschikbaarheid van het bodemvocht voor de plant.

Ten behoeve van de bepaling van een vocht karakteristiek worden van de betreffende grondsoort ongeroerde monsters gestoken in ringen van 100 of 50 cm². In het laboratorium wordt bij verschillende (zuig-) spanningen (cm's waterkolom) het vochtgehalte bepaald.

De vochtspanningen bestrijken een zeer groot traject, namelijk van 1 cm waterkolom tot bijna 16.000 cm. Ten behoeve van een grafische weergave wordt de vochtspanning uitgedrukt in de logaritme (grondtal 10) van de vochtspanning, die bekend staat als de pF. De vocht karakteristiek is in feite de curve waarin de pF uitgezet is tegen het vochtgehalte: de pF-curve.

Iedere specifieke grondsoort heeft zijn eigen pF-curve die o.a. afhankelijk is van het klei- of leemgehalte, het organische stofgehalte en de dichtheid. Belangrijke punten in de pF-curve zijn het vochtgehalte bij pF=2 en bij pF=4,2. Het vochtgehalte bij pF=2 is de vochttoestand op veidcapaciteit. Het is het vochtgehalte van een grond, die na volledig met water doorvocht te zijn, enige tijd vrij heeft kunnen draineren. Het geeft in het algemeen de voorjaars- (vocht)toestand aan in de bouwvoor van hooggelegen gronden. (Bij lage gronden blijft het vochtgehalte hoger door capillaire opstijging uit het grondwater).

Bij pF=4,2 ligt het zogenaamde verwelkingspunt voor de plantengroei. Dit wil zeggen dat water dat vaster aan de grond is gebonden dan overeenkomt met pF=4,2, door de zuigkracht van de plant niet meer kan worden onttrokken.

De veldcapaciteit (vochtgehalte bij $pF=2$) geeft als goede benadering de bovengrens aan van de hoeveelheid vocht die in de grond voorradig is en die door de plant verbruikt kan worden. Het verwelkingspunt ($pF=4,2$) geeft de ondergrens van deze hoeveelheid aan. Het verschil tussen het vochtgehalte bij $pF=2$ en $pF=4,2$ geeft de hoeveelheid voor de plant beschikbaar vocht aan die als hangwater in het doorwortelde deel van het profiel aanwezig is.

Evenals de vorm van de pF -curve is deze hoeveelheid beschikbaar vocht afhankelijk van de granulaire samenstelling van de betreffende grondsoort.

1.4.2 pF -curven van de zand-slibmengsels

Om een indruk te krijgen van het fysisch groeimilieu van de 2 zand-slibmengsels in het proefveld zijn van elk van de 2 vakken, 4 monsters gestoken, waarvan in het laboratorium de vocht karakteristiek (pF -curve) is bepaald. De resultaten hiervan staan in tabel 10.

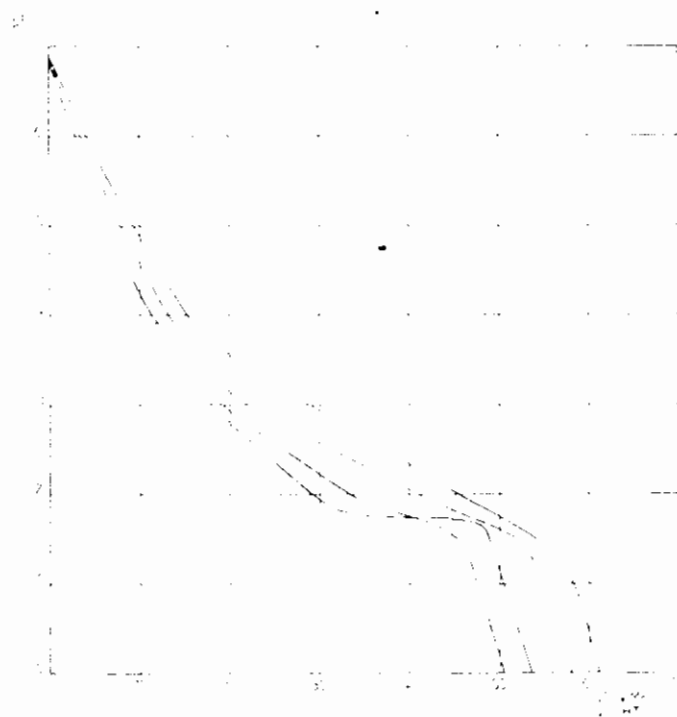
Op grond van deze cijfers is het gemiddelde mengsel met centrifugeslib bodemkundig te karakteriseren als humeus, matig leemarm, matig fijn zand. Het filterpersslibmengsel komt overeen met een humusrijk, zwak lemig, matig fijn zand.

In de figuren 5 en 6 zijn de pF -curven van de monsters getekend. Opgemerkt moet worden dat in het laboratorium vochtgehalten zijn gemeten tot en met $pF=3$. Het vochtgehalte bij $pF=4,2$ is voor dit geval uit de curve afgeleid.

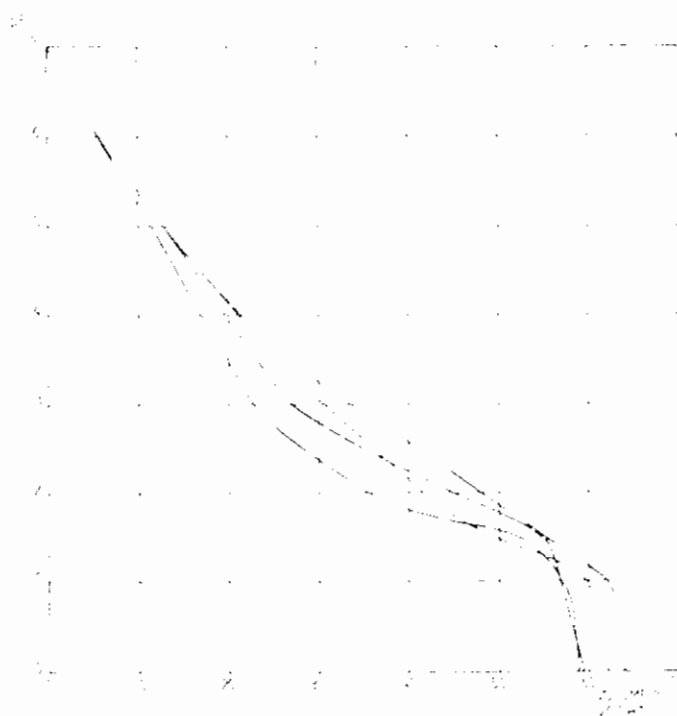
monster	org.stof (%)	<2 μm (lutum) (%)	<50 μm (leem) (%)	CaCO ₃ (%)	M ₅₀ - cijfer*
<u>centrifugeslib</u>	3,6 7,1 4,0 4,8	2,4 4,0 1,8 1,9	6,3 12,3 6,9 9,1	0,1 0,1 0,1 0,2	
mengmonster	4,9	2,5	8,6		190
<u>filterpersslib</u>	12,3 6,6 10,1 13,2	4,7 2,1 4,7 5,7	12,4 9,2 10,8 10,6	14,4 7,9 13,0 14,6	
mengmonster	10,5	4,3	10,8		188

Tabel 10. Analyse van 8 pF -monsters

* Het M₅₀-cijfer is de mediaan van de zandfractie tussen 50 en 2000 μm en als zodanig een maat voor de zandgrofheid.



Figuur 5. pF-curven centrifugeslib (CSF 1)



Figuur 6. pF-curven filterpersslib (FSF)

Door de Stichting voor Bodemkartering zijn systematisch voor een groot aantal grondsoorten pF-curven bepaald, zodat de pF-curven van de slibmengsels kunnen worden vergeleken met die van natuurlijke gronden met vergelijkbare samenstelling (zie fig. 7 en 8). Zoals eerder is uiteengezet is de hoeveelheid beschikbaar vocht tussen pF=2 en pF=4,2 een belangrijk gegeven. Tabel 11 vergelijkt deze hoeveelheid van de beide slibmengsels met die van de natuurlijke gronden uit de figuren 7 en 8. Voor de slibmengsels is daarbij het gemiddelde uit de 4 monsters genomen.

	volume %	vocht bij	beschikbaar
	pF=2	PF=4,2	vocht (vol %)
centrifugeslib-mengsel	37,1	11,7	25,4
humeus leemarm zand	28	8	20
humeus sterk lemig zand	35	8	27
filterpersslib-mengsel	42,1	18,5	23,6
humusrijk zwak lemig zand	43	12	31
humusrijk sterk lemig zand	46	13	33

Tabel 11. Overzicht hoeveelheid beschikbaar vocht

Het centrifugeslibmengsel heeft een pF-curve die vrijwel parallel loopt met die van humeuze zandgrond.

Het vochtgehalte is bij overeenkomende vochtspanning echter iets hoger. De hoeveelheid beschikbaar vocht is hoger dan die van het humeuze leemarme zand waar het qua samenstelling het meest mee overeen komt. Deze hoeveelheid is beter vergelijkbaar met die van humeus sterk lemig zand. Waarschijnlijk komt dit omdat het slibmengsel enige procenten van de lutumfractie bevat (zie tabel 10). Deze fractie is bij de natuurlijke zanden waar de grafiek betrekking op heeft vrijwel nihil. Verder kan de iets sterkere vochtbinding mogelijk ook veroorzaakt worden door de aard van het (nog vrij verse) organische materiaal.

Het totaal poriënvolume (bij pF=0) van het mengsel is circa 50% hoger dan van de natuurlijke bouwvoor, als gevolg van de lossere pakking (geringere dichtheid) van het mengsel. (Droog volumegewicht-mengsel 1020 kg/m³, zand bouwvoor 1250 kg/m³).

De pF-curve van het filterpersslibmengsel vertoont in het traject met de hogere vochtspanning een afbuiging naar rechts, dat wil zeggen dat in dat traject relatief hogere vochtgehalten voorkomen. De vorm van de curve is daardoor niet geheel representatief voor zandgronden maar neigt naar die van meer kleihoudende gronden. Het blijkt ook dat het lutumgehalte hoger is dan van het centrifugeslib. Tevens kan het hoge kalkgehalte hierin een rol spelen, aangezien dat een specifieke invloed heeft op de structuur.

Het vochtgehalte bij pF=2 van het filterpersslibmengsel komt goed overeen met de humusrijke zandgronden uit de grafiek.



Figuur 7. Vergelijking pF-curve filterpersslibmengsel met humusrijk zwak en sterk lemig zand



Figuur 8. Vergelijking pF-curve centrifugeslib met humeus leemarm en sterk lemig zand

Het vochtgehalte bij $pF=4,2$ is echter aanmerkelijk hoger, zodat de totaal beschikbare hoeveelheid vocht lager is dan van een humusrijke lemige zandgrond. Het komt meer overeen met de hoeveelheid beschikbaar vocht van het centrifugeslibmengsel, ondanks het hogere organische-stofgehalte van het filterpersslibmengsel. In dit opzicht is het ook vermeldenswaardig dat het volumepercentage beschikbaar vocht van klei- en löss-bouwvoren ook in de orde van 22 à 26% ligt.

Uit bovenstaande gegevens kan worden geconcludeerd dat de vochtcharacteristieken van de slibmengsels geen grote afwijkingen vertonen ten opzichte van de natuurlijke gronden. Gezien de hoeveelheid voor de plantengroei beschikbaar vocht is uit zuiverings-slib bereide zwarte grond als een volwaardige bouwvoor te beschouwen. De stabiliteit van het materiaal echter is belangrijk voor handhaving van deze toestand op langere termijn.

1.5 Conclusies eerste proevenserie

1.5.1 stapelproeven

Verwerking van filterpersslib tot zwarte grond met behulp van het stapelprocédé levert nauwelijks resultaat op. De methode is weliswaar uitvoeringstechnisch eenvoudig en vergt relatief weinig ruimte, maar daarentegen verloopt het rijpingsproces reeds op geringe diepte onder de oppervlakte slechts zeer langzaam en zijn ook na een periode van bijna driekwart jaar nog vele slibbrokken duidelijk herkenbaar.

Er is geen verschil geconstateerd voor een zand-slibmengverhouding van 2:1 en een 1:1 verhouding (op volumebasis).

Het toegepaste humusarme, leemarme zand was goed verwerkbaar; het matige resultaat van deze stapelproeven moet worden toegeschreven aan de gekozen werkwijze (relatief dikke laag mengsel) en aan de aard van het slib. Het toepassen van een slibkoekenbreker voorafgaande aan het mengen kan het bezwaar van de grote slibkoeken wegnemen; het probleem van de slecht doorlopende rijping wordt hiermee echter niet opgelost.

Tijdens de proeven is nauwelijks afbraak van organische stof opgetreden. Wel treedt een aanzienlijke daling van de pH op.

Voor de bemestende stoffen bestaat een redelijke overeenkomst tussen de geanalyseerde en de berekende samenstelling van het eindprodukt; voor de zware metalen is deze overeenkomst zeer duidelijk. Uit de tussentijdse analyses blijkt dat het vooral in het beginstadium, wanneer er nog veel grote slibkoeken aanwezig zijn, moeilijk is een representatief monster te nemen; dit komt tot uiting in de grote fluctuaties van de analyseresultaten.

1.5.2 freesproeven

Bereiding van zwarte grond volgens de freesmethode levert zowel voor filterpersslib als voor centrifugeslib een redelijk resultaat op. De toegepaste methode is uitvoeringstechnisch voor verbetering vatbaar, met name de wijze van opbrengen van het slib.

Bij de toegepaste laagdikte van circa 0,20 m treedt geen anaërobie op en verloopt de rijping goed, op een ondergrond met een voldoende drainerende werking.

Door de intensieve freesbewerkingen worden de slibkoeken goed verkleind. Tevens ontstaat een zeer homogeen mengsel. Omdat filterpersslib in verhouding tot centrifugeslib veel droge stof bevat, kan met filterpersslib relatief snel een rijk mengsel worden verkregen. Bovendien zijn deze droge koeken gemakkelijker verwerkbaar.

Afbraak van organische stof is nauwelijks geconstateerd, ondanks de goede aëratie van de mengsels.

Bij de proef CSF 1 is een redelijk tot goede overeenkomst waargenomen tussen de berekende en geanalyseerde samenstelling van het eindprodukt. Bij de proef FSF liggen de geanalyseerde concentraties in het algemeen hoger dan de berekende gehalten. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat er een minder dik zandpakket is doorgefreesd dan is aangenomen.

De vochtcharacteristieken (pF-curven) van de zwarte grond komen overeen met de eigenschappen van natuurlijke zwarte grond.

1.5.3 resumé

Het freesprocédé leidt tot betere resultaten dan de stapelmethode. Zeker indien enige uitvoeringstechnische modificaties kunnen worden aangebracht, lijkt het frezen zowel qua uitvoering als qua bereid produkt perspectief te bieden.

Voor alle gevallen geldt dat er geen of slechts zeer weinig afbraak van organische stof heeft plaatsgevonden. Dit betekent dat er bij toepassing van de zwarte grond rekening mee moet worden gehouden dat er in de eerste jaren nog een daling van organische stof kan worden verwacht. Pas dan zal er sprake zijn van relatief stabiele humus. Derhalve zal in de eerste tijd na verwerking van de zwarte grond bodemkundig gezien een zekere "verarming" optreden.

2 TWEEDE PROEVENSERIE

2.1 Algemeen

In de tweede proevenserie zijn twee experimenten uitgevoerd: een freesproef met als doel het bereiden van een ruim toepasbaar produkt zwarte grond (CSF 2) en een proef volgens het freesprocédé gericht op het stortbaar maken van zuiveringsslib. Het uitgangsmateriaal voor beide proeven was aanvankelijk centrifugeslib; tegen het einde van de proeven is als gevolg van een verandering in de bedrijfsvoering van de slibproducent voor proef CSF 3 zeefbandpersslib gebruikt.

In beide gevallen is zand als toeslagstof gebruikt. De proeven zijn uitgevoerd in de periode december 1983-september 1984.

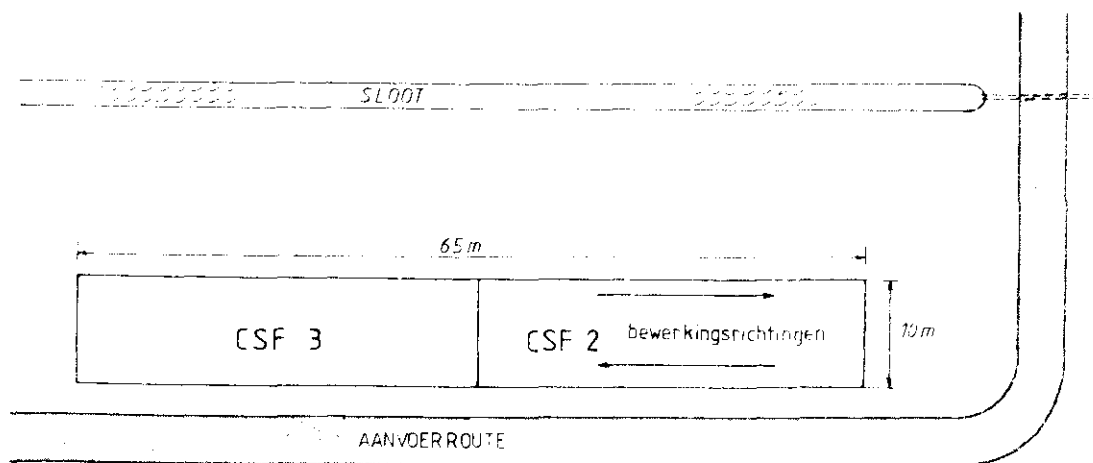
Achtereenvolgens wordt voor beide proeven ingegaan op de uitvoeringswijze, de waarnemingen, bemonstering en analyses en de conclusies die aan de proeven kunnen worden verbonden.

2.2 Uitvoeringswijze

Evenals in de eerste proevenserie zijn de freesexperimenten "in de volle grond" uitgevoerd. Omdat in de eerste serie de ontwatering van het terrein onvoldoende was, is voorafgaande aan de tweede reeks een aantal drains in de natuurlijke zandondergrond gelegd. De afmetingen van de twee identieke proefvelden CSF 2 en CSF 3 bedroegen 32,5 x 10 m.

De lengte werd bepaald door het beschikbare terrein, de breedte door de apparatuur.

De proefvelden zijn in de lengterichting bewerkt. Op de gedraineerde zandondergrond is als toeslagmateriaal een 0,25 m dikke laag zand aangebracht. In figuur 9 is de inrichting van het proefterrein weergegeven.



Figuur 9. Inrichting terrein freesproeven

Voor het opbrengen van het slib is gebruik gemaakt van een stalmestverspreider met zijwaartse lossing. Door van deze apparatuur gebruik te maken, kon bij het opbrengen langs de proefvelden, in plaats van erover, worden gereden. Het doorfreen van het zuiveringsslib door het zandpakket is met een hakenfrees uitgevoerd.

Bij proef CSF 2 is vijfmaal een laag slib ter dikte van circa 0,04 m

opgebracht en doorgefreesd. Gelijktijdig is ook telkens een zelfde hoeveelheid op proefveld CSF 3 opgebracht; echter in dit geval is aanvullend nog driemaal een 0,04 m dikke sliblaag opgebracht en gemengd.

De tijdsintervallen tussen de verschillende doseringen werden vooral bepaald door de weersomstandigheden.

2.3 Waarnemingen, bemonstering en analyses

In tabel 12 is aangegeven welke hoeveelheden slib bij de freesproeven zijn verwerkt. Voor wat betreft het toeslagmateriaal is ervan uitgegaan dat in beide gevallen 0,17 à 0,18 m van het zandpakket is doorgefreesd.

	zandhoeveelheden							
	volume (m ³)	gew.nat (kg)	d.s. (%)	gew.dr. (kg)	volume (m ³)	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 ³)	gew.nat (kg)	d.s. (%)	gew.dr. (kg)	volume (m ³)	gew.nat (kg)	d.s. (%)	gew.dr. (kg)
1 21-12-'83	14	13.580	18,1	2460	14	13.580	18,1	2460
2 14-2-'84	14,5	14.070	15,5	2180	14,5	14.070	15,5	2180
3 8-3-'84	13	12.520	17,8	2230	13	12.520	17,8	2230
4 22-3-'84	14,5	14.060	19,3	2710	14,5	14.060	19,3	2710
5 9-5-'84	13,5	13.020	22,1	2880	13,5	13.020	22,1	2880
6 15-6-'84	-	-	-	-	14	13.590	21,6	2940
7 12-7-'84	-	-	-	-	13	12.350	27,8*	3430
8 30-8-'84	-	-	-	-	14,5	14.440	28,7*	4140
totaal	69,5	67.250	-	12460	111	107.630	-	2990

Tabel 12. Hoeveelheden uitgangsmaterialen freesproeven

* hogere drogestofgehalte gevolg van ingebruikname van zeefbandpers

Bij proef CSF 2 komt een volume mengverhouding in de eindsituatie van circa 1:1,2 overeen met een drogestofverhouding tussen zand en slib van 7,1:1; bij proef CSF 3 bedragen de verhoudingen circa 1:1,9 op volumebasis en 3,9:1 op droge stof.

De uitgangsmaterialen zijn, voor de menging, bemonsterd en geanalyseerd op een groot aantal parameters. De resultaten van de chemische analyses zijn in tabel 13 verzameld.

De analyse van het zuiveringsslib heeft betrekking op een monster, genomen uit de eerste dosering. Voor alle volgende doseringen is telkens uitsluitend het gehalte aan organische stof bepaald. Het gemiddelde van deze gehalten kwam zodanig overeen met het eerste monster dat bij de verdere berekeningen en interpretaties van de beginanalyse gebruik is gemaakt. De andere parameters zijn niet tus-

parameter	uitgangsmaterialen	
	zand	slib
pH (-)	6,0	7,6
drogestof (%)	88,8	18,1
org.stof (% van d.s.)	0,2	53,1
stikstof (g/kg d.s.)	0,2	35
fosfaat (g/kg d.s.)	0,3	95
kalium (g/kg d.s.)	0,3	1,3
calcium (g/kg d.s.)	0,5	53
magnesium (g/kg d.s.)	0,6	3,8
koper (mg/kg d.s.)	1,7	280
chromium (mg/kg d.s.)	6,3	110
zink (mg/kg d.s.)	5,5	1250
lood (mg/kg d.s.)	2,1	245
cadmium (mg/kg d.s.)	0,1	2,7
nikkel (mg/kg d.s.)	1,9	42
kwik (mg/kg d.s.)	0,1	3,1
arsen (mg/kg d.s.)	0,6	6,5

Tabel 13. Chemische samenstelling uitgangsmaterialen

sentijds bepaald, aangezien er slechts kleine fluctuaties werden verwacht (het slib werd steeds door dezelfde producent geleverd). Van de uitgangsmaterialen is tevens de granulaire samenstelling bepaald, waarvan de resultaten in tabel 14 zijn verwerkt.

minerale delen (μm)	uitgangsmaterialen	
	zand	slib
0- 2 (%)	3,0	28,1
2- 16 (%)	0,9	60,1
16- 50 (%)	1,7	0,1
50- 105 (%)	24,3	5,5
105- 150 (%)	35,0	3,3
150-2000 (%)	35,1	2,9

Tabel 14. Granulaire samenstelling uitgangsmaterialen

Bij het opbrengen van het slib is vastgesteld dat de gekozen wijze uitstekend voldeed: onder alle omstandigheden kon slib worden gedoseerd. Bij een breedte van het te bewerken perceel van maximaal 10 m, waarbij het slib van beide kanten werd opgebracht, bleek een zeer gelijkmatig strooibeeld realiseerbaar. Met de gekozen apparatuur was een capaciteit van 15 à 20 m³ slib per uur haalbaar; hierbij moet worden aangetekend dat de helft van deze tijd in beslag werd genomen door het beladen van de stalmestverspreider en het heen en weer rijden tussen de laadplaats en het proefveld. Het doorfrozen van de relatief dunne lagen slib (telkens 0,04 m) leverde geen moei-

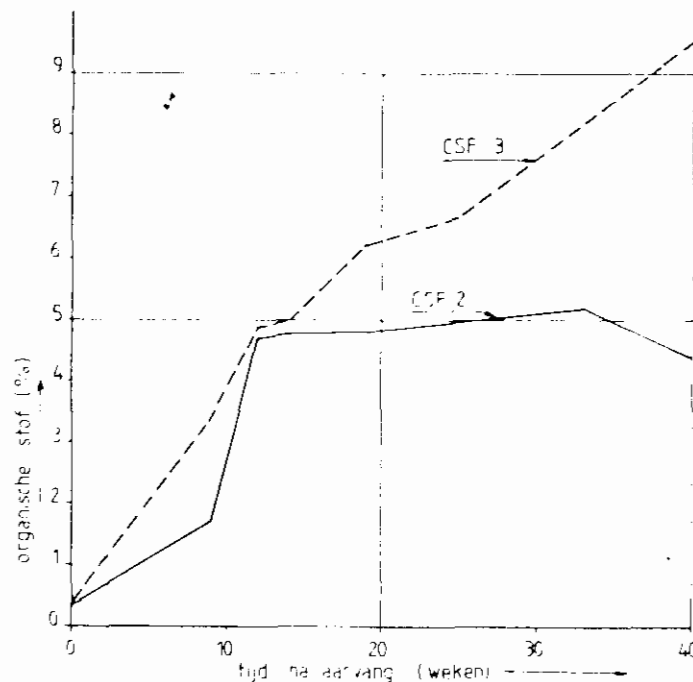
lijkheden op tot aan de laatste dosering van proef CSF 3; daarbij was het terrein voor de trekker met de frees niet meer berijdbaar. Bovendien is vastgesteld dat de werkdiepte van de frees onvoldoende was om het gehele slib-zandmengsel door te kunnen frezen: de onderste 3 à 5 cm konden niet meer worden bereikt.

De tijdsduur tussen de verschillende doseringen werd in het winterseizoen vooral bepaald door de weersomstandigheden. In het voorjaar en de zomer werd bovendien de toename aan organische stof van het mengsel een belangrijke factor. Om de intervallen toch zoveel mogelijk te bekorten zijn tussen de freesbewerkingen, die telkens na het opbrengen plaatsvonden, extra freesbewerkingen uitgevoerd. Naarmate het organische stofgehalte van het mengsel toenam, waren meer tussentijdse freesgangen noodzakelijk: slechts 1 in het begin tot 3 à 4 tegen het einde van proef CSF 3.

Gedurende de uitvoeringsperiode is diverse malen een visueel/ bodemkundige beoordeling en een bemonstering van de proefvelden uitgevoerd.

Bij de visuele beoordeling bleek dat na elke dosering steeds een homogeen mengsel was verkregen. Er is geen anaërobie geconstateerd, noch op reuk, noch visueel, noch bij metingen van het zuurstofgehalte in de poriënruimte. De drainage bleek goed te voldoen, zodat het proefterrein ten alle tijde berijdbaar was.

In de tussentijdse monsters is telkens het gehalte aan organische stof bepaald. De resultaten van dit laboratoriumonderzoek zijn in figuur 10 weergegeven.



Figuur 10. Resultaten tussentijdse bepalingen

In september 1984, negen maanden na aanvang, is een eindbeoordeling en eindbemonstering van de proefvelden uitgevoerd. Voor proef CSF 2 betekende dit dat er vier maanden waren verstreken na de laatste slibdosering; voor proef CSF 3 bedroeg deze periode slechts drie weken.

De zwarte grond uit proef CSF 2 is bodemkundig beoordeeld als een humeuze, kleilige zandgrond, enigszins slompgevoelig en nog niet volledig gerijpt. Een slijbgeur werd nauwelijks meer geconstateerd. Het materiaal van proef CSF 3 kwam overeen met een humeuze tot humusrijke lichte zavel; als gevolg van het hogere gehalte aan fijne bestanddelen (lutum) was de slompgevoeligheid minder. De rijpingstoestand was duidelijk minder dan bij proef CSF 2, hetgeen gezien het recenter inbrengen van vers materiaal en het hogere gehalte aan slijbbestanddelen goed verklaarbaar is. Er is echter wel sprake van een goed stortbaar produkt.

Het bij de eindbemonstering verkregen materiaal is geanalyseerd op dezelfde parameters als de uitgangsmaterialen.

De resultaten van dit onderzoek zijn in tabel 15 vermeld; in deze tabel zijn tevens de concentraties van de diverse stoffen weergegeven, zoals deze zijn berekend op basis van de toegepaste mengverhoudingen en de analyseresultaten van de uitgangsmaterialen. Bij deze berekening is aangenomen dat tijdens de zwartegrondbereiding geen afbraak en/of afvoer van de onderzochte componenten is opgetreden.

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	25	59	18
chrom (mg/kg d.s.)	19	25	29	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	6,2
kwik (mg/kg d.s.)	0,4	0,2	0,6	0,2
arsen (mg/kg d.s.)	1,3	1,7	1,8	2,1

Tabel 15. Samenstelling eindprodukten

2.4 Conclusies tweede proefserie

De verwerking van centrifugeslib tot een ruim toepasbare zwarte grond is met behulp van de toegepaste werkwijze goed mogelijk. Uitgaande van een gewenst organisch stofgehalte in het eindprodukt van 5 à 6% is in circa 5 maanden de gewenste eindmengverhouding te bereiken. Bij een totale laagdikte van circa 0,20 m is een homogeen menging mogelijk, mits per dosering niet meer dan 0,04 m slijb wordt opgebracht.

In circa 9 maanden blijkt een produkt bereid te kunnen worden met een organisch stofgehalte van circa 9 à 10%. Dit produkt is te "rijk" aan fijne en vochtbindende bestanddelen om als een multifunctionele toelaarde dienst te kunnen doen; het is echter een produkt dat zonder problemen op een stortplaats verwerkt kan worden.

Tijdens het bereidingsproces is een aanzienlijke (CSF 2), respectie-

velijk matige (CSF 3) afbraak van organische stof opgetreden. Gezien de aard van het materiaal kan verdere afbraak worden verwacht, met name bij het eindprodukt van proef CSF 3. Wat betreft de chemische samenstelling is gebleken dat op basis van de samenstelling van de uitgangsprодукten een redelijke schatting gemaakt kan worden van de kwaliteit van het eindprodukt.

Opgemerkt wordt nog dat de bereide zwarte grond pas grond is in de zin van een goed groeimilieu voor planten, als hierin door verdere rijping, door bodemleven en beworteling een goede structuur en een goede lucht- en waterhuishouding is ontstaan. Dit wil zeggen dat ook bij de grond uit proef CSF 2, die op basis van de chemische en granulaire samenstelling, als een goede teelaarde beschouwd kan worden, er pas na geruime tijd sprake kan zijn van een goed groeimilieu; inzaaien met bijvoorbeeld graszaad kan dit proces van "grondwording" bevorderen.

Het materiaal uit proef CSF 3 zal als teelaarde altijd minder geschikt blijven; dit experiment was ook niet gericht op het bereiden van een ruim toepasbaar produkt, maar op het stortbaar maken van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib.

GLOBALE KOSTEN VAN ZWARTEGRONDBEREIDING

De kosten voor zwartegrondbereiding zijn globaal berekend voor het freesprocédé. De stapelproeven zijn vanwege de slechte resultaten wat kosten betreft buiten beschouwing gelaten.

Om een inzicht te verkrijgen in de verwerkingskosten is een aantal veronderstellingen gedaan, zoveel mogelijk ontleend aan de uitgevoerde praktijkproeven. Waar de informatie uit de praktijkproeven ontoereikend was, is gebruik gemaakt van ervaringen elders.

De kosten voor zwartegrondbereiding zullen voor elk praktijkgeval verschillen. Daarom worden slechts de belangrijkste kostenfactoren in de berekening betrokken. Voor elk willekeurig geval kunnen de voor dat geval van toepassing zijnde hoeveelheden en eenheidsprijzen worden ingevoerd, zodat op eenvoudige wijze een kostprijs kan worden bepaald.

De berekening is opgezet voor twee fictieve situaties volgens de werkwijze van de praktijkproeven uit de tweede serie.

Voor de eerste situatie wordt uitgegaan van het bereiden van een ruim toepasbaar produkt zwarte grond (zoals dat is beschreven in proef CSF 2).

Er wordt uitgegaan van een vierkant terrein met een totale (bruto) oppervlakte van 1 ha. Rekening houdend met een breedte van de freesbanen van 10 m, een ruimte tussen de banen van 2,5 m en voldoende manoeuvreerruimte aan de randen van het terrein, is in dit geval een netto verwerkingsoppervlak van circa 6000 m² beschikbaar.

Verder wordt ervan uitgegaan dat er 2 verwerkingscycli per jaar kunnen worden uitgevoerd, waarbij telkens een laag slib met een dikte van 0,20 m wordt opgebracht, verdeeld in minimaal 5 doseringen. Op jaarbasis wordt dan $6000 \times 0,20 \times 2 = 2400 \text{ m}^3$ zuiveringsslib verwerkt. Bij een drogestofgehalte van het slib van 20% komt dit overeen met circa 480 ton drogestof, die behoort bij een slibproductie van 25.000 à 30.000 i.e. per jaar.

Op het terrein worden geen verhardingen aangebracht; indien de bodemgesteldheid dit vereist, wordt een drainage aangelegd. Voorts wordt ervan uitgegaan dat geschikt zand in de omgeving beschikbaar is en de bereide zwarte grond om niet kan worden afgezet. Bij de gekozen omvang worden voor het opbrengen en frezen de diensten van een aannemer of loonbedrijf gebruikt. Bij een grotere bedrijfsomvang kan het financieel aantrekkelijk zijn eigen personeel en materieel in te zetten.

Op grond van deze uitgangspunten en de ervaringen uit de praktijkproeven wordt de volgende kostprijsberekening, op jaarbasis, opgesteld:

- terrein 1 ha, incl. drainage, afwatering en ontsluiting: investering f 150.000,--, jaarlijkse last 11% van de investering	f 16.500,--
- zand, incl. aanvoer en egaliseren, 2400 m ³ à f 15,--	f 36.000,--
- aanvoer en eventuele opslag zuiveringsslib	PM
- opbrengen slib: 2400:20 = 120 uur materieel à f 135,--	f 16.200,--
- tussentijdse freesbewerkingen: 150 uur à f 65,--	f 9.750,--
- onvoorzien en diversen	f 6.550,--
Totaal jaarlijkse kosten (excl. B.T.W.)	f 85.000,--

Dit betekent dat de kosten per ton droge stof slib circa f 180,-- bedragen, hetgeen overeenkomt met f 36,-- per m³ ontwaterd zuiveringsslib en met f 28,-- per m³ zwarte grond, alle bedragen zonder B.T.W.

De tweede situatie sluit aan bij het oogmerk van proef CSF 3: het stortbaar maken van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib. In dat geval kan gemiddeld slechts 1 1/3 bewerkingscyclus per jaar worden uitgevoerd; per cyclus wordt circa 0,35 m slib opgebracht in 8 à 10 doseringen. Dit komt overeen met 2800 m³ slib per jaar, ofwel 560 ton slib op drogestofbasis (bij een drogestofgehalte van 20%).

Er wordt vanuit gegaan dat het bereide produkt naar een stortplaats in de omgeving kan worden afgevoerd. Deze uitgangspunten leiden tot de volgende kostprijsberekening op jaarbasis:

- terrein 1 ha, incl. drainage, afwatering en ontsluiting: investering f 150.000,--, jaarlijkse last 11% van de investering	f 16.500,--
- zand, incl. aanvoer en egaliseren, 1600 m ³ à f 15,--	f 24.000,--
- aanvoer en eventuele opslag zuiveringsslib	PM
- opbrengen slib: 2800:20 = 140 uur materieel à f 135,--	f 18.900,--
- tussentijdse freesbewerkingen: 200 uur à f 65,--	f 13.000,--
- onvoorzien en diversen	f 7.600,--
Totaal jaarlijkse kosten (excl. B.T.W.)	f 80.000,--

Per ton droge stof slib komt dit overeen met circa f 145,-- ofwel f 29,-- per m³ ontwaterd slib (bedragen zonder B.T.W.).

Bij de uitgevoerde kostprijsberekeningen kan nog een aantal kanttekeningen worden gemaakt. De kostprijs blijkt voor een belangrijk deel te worden bepaald door de terreinkosten. Voor hoogwaardig industrieterrein zullen de kosten voor terreinaanschaf en dus de kostprijs per eenheid produkt toenemen.

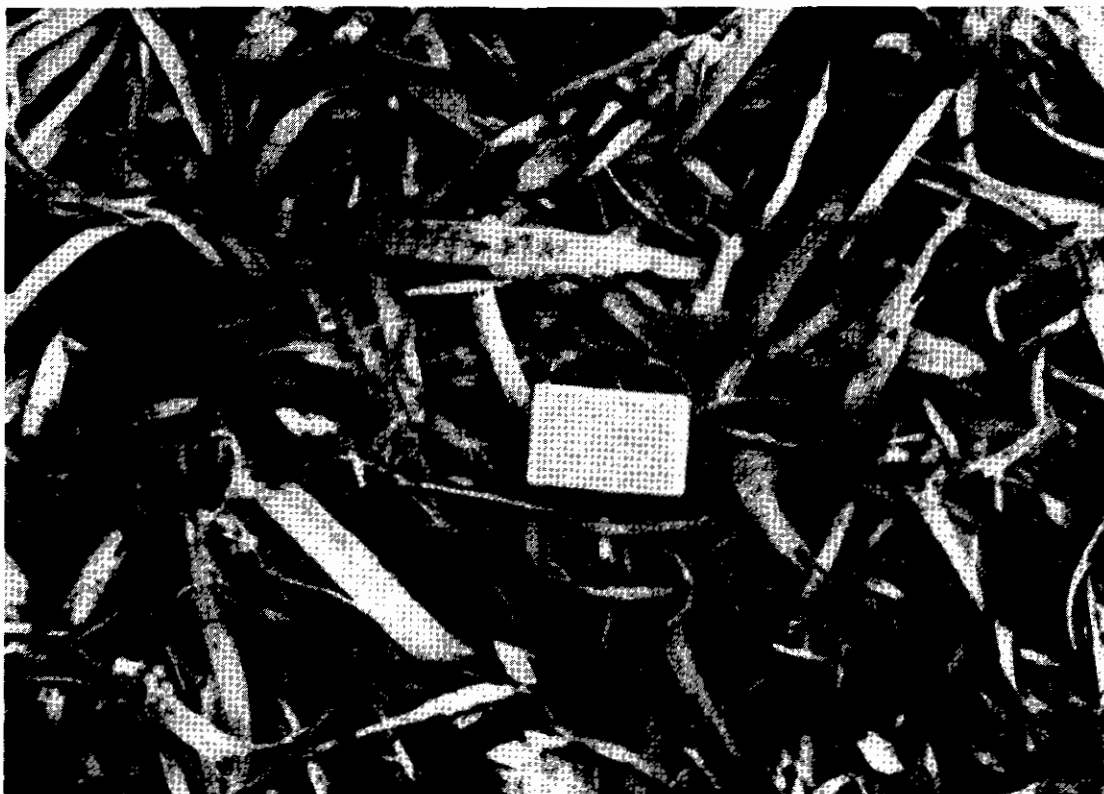
Hoewel gebleken is dat er nauwelijks of geen uitspoeling naar de ondergrond optreedt, bestaat de mogelijkheid dat bodembeschermende maatregelen, bijvoorbeeld in de vorm van een kunststoffolie, gewenst zijn. De kosten van bodembeschermende maatregelen zijn niet in de berekening opgenomen.

Het drogestofgehalte van het slib heeft een beperkte invloed op de totale kosten. Bij een hoger drogestofgehalte zal het aantal uit te voeren bewerkingen geringer zijn, terwijl het tevens mogelijk is de totale cyclustijd te verkorten; daar tegevenover staan dan hogere kosten om dit drogestofgehalte te kunnen bereiken.

De berekende kosten mogen slechts als prijsindicaties worden beschouwd. Per geval zal uitgaande van de lokale omstandigheden een gedetailleerde kostenraming moeten worden opgezet.

BIJLAGE 3

FOTBLADEN



Figuur 1. Vochtregulerend toeslagmateriaal.



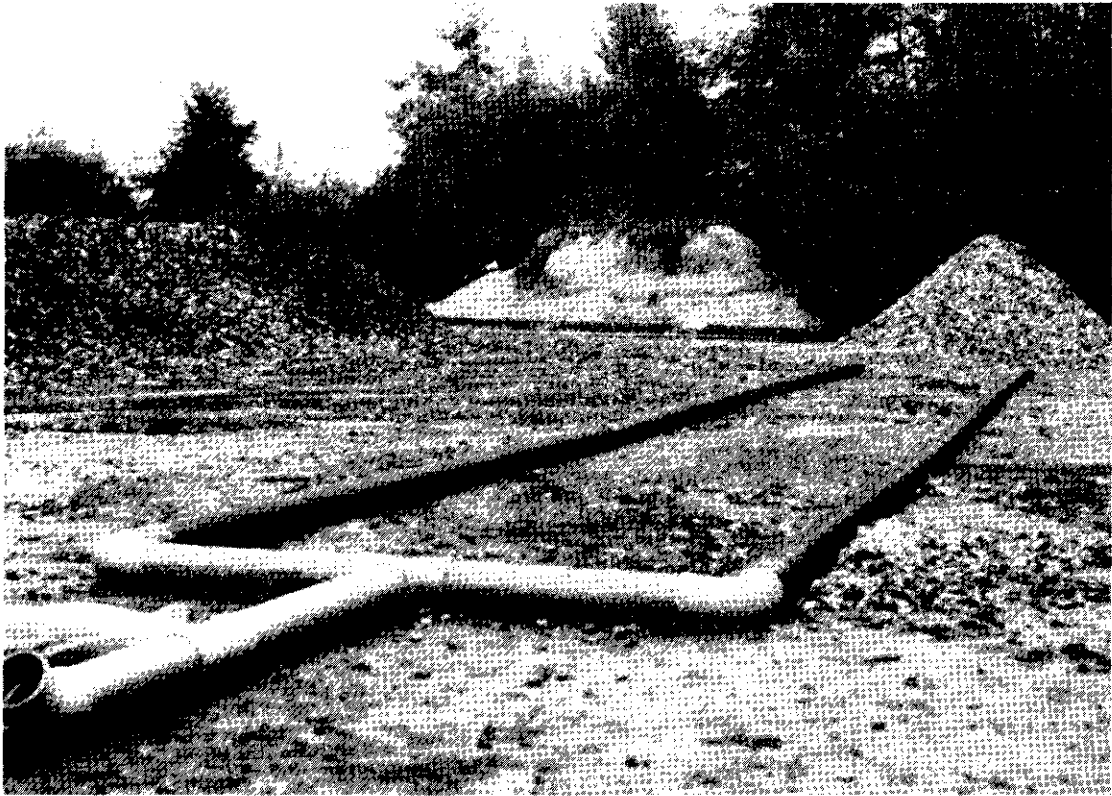
Figuur 2. Porositeit toeslagmateriaal (houtblokken).



Figuur 3. Porositeitverhogend toeslagmateriaal (versnipperde autobanden).



Figuur 4. Mengen van slib en vochtregulerend toeslagmateriaal met behulp van een stalmestverspreider.



Figuur 5. Beluchtungsbuizen.



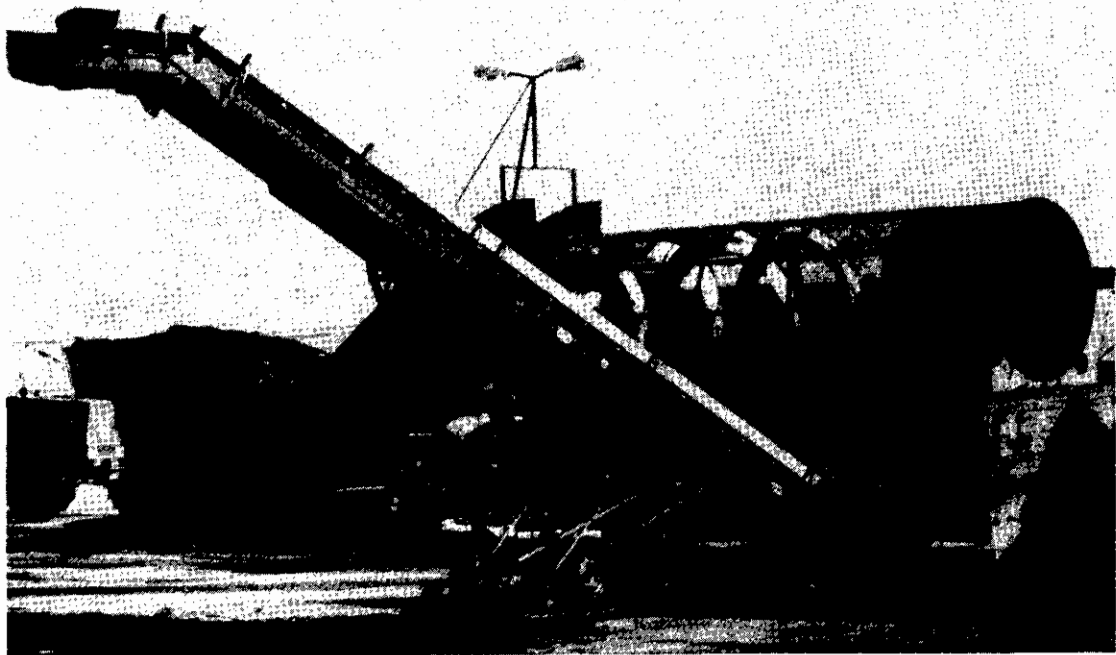
Figuur 6. Stapeling van slib gemengd met vochtregulerend - en porositeitverhogend toeslagmateriaal.



Figuur 7. Stapeling afgedekt met compost en kunststofdoek.
Rechts condensvang en ventilator.



Figuur 8. Mengen met wiellaadschop in overkapte ruimte.



Figuur 9. Uitzeven van porositeitverhogend toeslagmateriaal.



Figuur 10. Uitzeven van vochtregulerend toeslagmateriaal.



Figuur 11. Opbrengen van slib voor zwartegrondbereiding door middel van freesbewerking (stalmestverspreider met achterwaartse lossing).



Figuur 12. Opbrengen van slib voor zwartegrondbereiding door middel van freesbewerking (stalmestverspreider met zijwaartse lossing).



Figuur 13. Doorfreen van slib in ondergrond met behulp van hakenfrees.