

Zuiveringsslib in de bosbouw

Voordracht gehouden op de NVA-Slibdag te Eindhoven op 24 november 1977

ontwikkeling, 3, 1037-1041.

Haan, F. A. M. de, 1976: *Interaction-mechanisms in soil as related to soil pollution and groundwater quality*; Meded. Cic. Hydr. Onderz. TNO, 34-51.

Haan, F. A. M. de, 1977: *The effects of long term accumulation of heavy metals and selected compounds in municipal wastewater on soil*; Chapter 9 in: *Wastewater Renovation and Reuse*, Marcel Dekker, New York, 283-320.

Haan, F. A. M. de and Voerman, S., 1976: *Accumulation of diethyltin in soil and herbage following repeated sewage sludge disposal*; Proc. Agrochemicals in Soil, Jeruzalem, Israël.

Henkens, Ch. H., 1975: *Zuiveringsslib in de landbouw*; Bedrijfsontwikkeling, 6, 98-103.

Hoeks, J., 1977: *Berekening van grondwaterverontreiniging bij puntbelastingen*, Nota 968 ICW, 25 pp.

Kampelmacher, E. H. en Noorle Jansen, L. M. van, 1974: *Onderzoekingen over de bacteriële contaminatie van weilanden door bemesting met uitgestig slib*; H₂O, 7, 418-422.

Lexmond, Th. M. and Haan, F. A. M. de, 1977: *Implications of the use of Cu as a feed additive for pollution of soil*; Proc. SEFMIA, Tokyo, Japan, 383-393.

Reiniger, P., 1970: *Movement and exchange of sodium and calcium in calcareous and gypsaceous soils*; Ph. D. Thesis, The Hebrew University, Jeruzalem, Israël, 172 pp.

Riemsdijk, W. H. van, Weststrate F. A. and Bolt, G. H., 1975: *The reaction rate of phosphate with aluminium-hydroxide with evidence for the formation of a new phase*; Nature 257, 473-474.

Riemsdijk, W. H. van, Weststrate F. A. and Beek, J., 1977: *Phosphates in soils treated with sewage water. III. Kinetic studies on the reaction of phosphate with aluminium compounds*; J. Envir. Qual. 6, 26-29.

Stribis, K., 1975: *Voorkomen van organische bestrijdingsmiddelen in afvalwater*; Doct. Scriptie, Landbouwhogeschool Wageningen, 22 pp.



Technische bijeenkomsten VOM

Op 18 oktober organiseert de Vereniging voor Oppervlaktetechnieken van Metalen (VOM) een excursie naar de Nederlandse Schroefboutenfabriek NV te Helmond. Gezien de te verwachten belangstelling zal een herhaling plaatsvinden op 24 oktober 1978.

Op 1 november 1978 vindt er een excursie plaats naar Brabantia te Valkenswaard en Aalst-Waalre.

Op 22 november wordt in het Jaarbeurs Congrescentrum, Utrecht, het Symposium Galvanotechniek gehouden.

De heer J. Spaans spreekt over 'Problemen bij vernikkelen en verchromen en hun remedie'.

De heer B. J. Kuilenberg houdt een verhandeling over 'het driewaardig chroombad in de moderne galvanotechniek'.

Na de pauze spreekt de heer T. van der Klis over 'Cadmium kan in de galvanotechniek nog niet worden gemist' en dr. ir. F. C. Eversteyn over 'Zink en tin als vervangers van cadmium'.

Inlichtingen over bovenstaande evenementen via (030) 787111 of VOM, postbus 120, Bilthoven.

1. Inleiding

Zuiveringsslib is een van de volumineuze bijprodukten die in de huidige samenleving ontstaan en die naast afvalwater van diverse oorsprong en vloeibare en vaste organische mest de laatste jaren in toenemende mate aan diverse grondgebruikers worden aangeboden. Min of meer traditionele afzetmogelijkheden blijken nl. af te nemen omdat deze produkten een aantal eigenschappen hebben die bepaalde toepassingen problematisch of zelfs onmogelijk maken. Zo wordt thans in de landbouw geadviseerd, niet meer



IR. J. VAN DEN BURG

Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw 'De Dorschkamp', Wageningen

dan 1 à 2 ton droge stof/ha/jaar toe te passen (Mulder 1977) hetgeen in feite een aanzienlijke vermindering van de afzetmogelijkheden in de landbouw betekent, die tot nu toe als belangrijke afnemer was gezien (Brouwer 1977; Eggink 1976). Het is duidelijk dat van de zijde van de producenten van zuiveringsslib wordt uitgezien naar andere afzetmogelijkheden. In dit verband is het niet meer dan logisch dat de mogelijkheid van afzet in de bosbouw wordt overwogen omdat bosbouw evenals landbouw beschikt over relatief grote oppervlakten land en het afzetten van bovengenoemde bijprodukten in wezen een vraag is van beschikbare oppervlakte en bestemming van grond.

Het toepassen van zuiveringsslib in bossen ligt niet zonder meer voor de hand, omdat deze afvalstof niet door het bos wordt geproduceerd.

Vanuit een bredere maatschappelijke kijk op de problematiek is het echter onjuist dat de bosbouw geen medewerking zou verlenen bij het bestuderen van het vraagstuk van de verwerking van afvalstoffen. Het geven van antwoorden op de gestelde vragen is echter niet gemakkelijk omdat het onderzoek op dit terrein nog maar kort geleden is begonnen en een van de belangrijkste vragen voor de bosbouw, namelijk de lange-termijn werking van in het bos gebrachte stoffen, uit dit onderzoek niet direct valt af te leiden. Daarbij moet men niet denken in een periode van enige jaren, maar in tientallen jaren. Voor het schatten van dergelijke effecten zal het vaak nodig zijn dat resultaten van andere proefnemingen worden geëxtrapoleerd. Een verdere beperking is gelegen in het feit dat van bosbouwkundige zijde niet alleen belang wordt gesteld in groeiverbetering (een effect dat op korte

termijn waarneembaar is) maar ook in een blijvend goede gezondheidstoestand (welk gevolg van toediening van afvalstoffen vaak pas na enkele tientallen jaren tot uiting kan komen). Bij het vinden van oplossingen voor de afvalstoffenproblematiek spelen bovengenoemde randvoorwaarden steeds een wezenlijke rol.

In dit artikel wordt een overzicht gegeven van die eigenschappen van loof- en naaldhoutsoorten die van direct belang zijn voor de vaststelling van de mogelijkheden die het bos biedt. Daarna volgt een bespreking van tot nu toe op dit en aanverwante gebieden uitgevoerd onderzoek in binnen- en buitenland, waaruit mogelijkheden en beperkingen van toepassing van zuiveringsslib volgen. Tenslotte wordt een overzicht gegeven van de bosbouwkundige mogelijkheden, op grond van de thans bestaande kennis en de bosbouwkundige randvoorwaarden. Het vaak tijdelijke karakter van dergelijke oplossingen moet steeds in het oog worden gehouden.

2. Belangrijke eigenschappen van loof- en naaldhoutbossen

Belangrijke verschillen tussen loof- en naaldhoutbossen zijn dat de laatste over het algemeen een lagere zuurgraad prefereren dan de eerste en dat voor naaldhoutsoorten een verhoging van het niveau van biologische bodemactiviteit van gronden met een lage pH bevorderend kan werken op het optreden van ziekteverwekkers. Bij de meeste loofhoutsoorten speelt dit een minder belangrijke rol. Voor naaldhoutsoorten kan worden gesteld dat ze zich goed thuisvoelen op gronden met een pH-KCl van ca 3-4 en dat verhoging van de biologische activiteit (door o.a. bemesting en bekalking) niet zonder gevaar is. Uit de literatuur (Evers 1973, Van Goor 1954, Gremmen 1960, Laatsch 1963) is bekend dat de door bekalking en landbouwvoorbouw teweeggebrachte pH-stijging, verbeterde kwaliteit van de organische stof en daarmee gepaard gaande toenemende biologische bodemactiviteit, de activiteit van de zwam *Fomes annosus* toeneemt door het afnemen van de activiteit van zijn antagonisten. Verder kan als gevolg van verzwakking van de bomen, secundaire aantasting door de honingzwam optreden (Gremmen 1976). Het aangeven van een exacte pH-grens is niet mogelijk, maar wel staat vast dat bij een pH-KCl groter dan ca 4 de risico's voor naaldhout sterk toenemen. Bestrijding van *Fomes annosus* is zeer moeilijk of onmogelijk en indien een standplaats ermee is besmet is ze ongeschikt voor de meeste naaldhoutsoorten. Een verder gevolg van dit optreden van wortelrot is de toenemende kans op stormschade, een stijgende pH kan verder 'lime-induced chlorosis' veroorzaken.

Men moet in het oog houden dat dergelijke processen niet binnen enkele jaren zichtbaar worden: een voorbeeld hiervan is het recent gepubliceerde onderzoek van Seibt, Wittich und Reemtsma (1977) betreffende de invloed van bekalking op de groei van beuken- en fijnsparopstanden. Deze proeven werden in de twintiger jaren in Noord- en West-Duitsland aangelegd om na te gaan of het mogelijk was de ruwe humus om te zetten in betere humusvormen. Gedurende de eerste twintig jaar na de bekalking bleken positieve effecten op de groei op te treden. Daarna echter nam de groei in de behandelingen waarin was bekalkt weer af om ten slotte zelfs kleiner te worden dan die van de onbekalkte behandelingen. Dit onderzoek over het verloop van processen onder bos over een periode van 50 à 60 jaar toont in de eerste plaats aan dat bepaalde bodemverbeteringsmaatregelen op korte termijn geheel andere uitwerkingen kunnen hebben dan op lange termijn en in de tweede plaats dat toepassing van stoffen die eenzelfde werking hebben als kalk (nl. omzetting van de ruwe humus in organische stof van een betere kwaliteit) niet zonder meer als positief is te beoordelen. Toepassing van zuiverings-slib in naaldhout kan in veel opzichten met bekalking worden vergeleken.

Een uit het bovenstaande volgend bezwaar tegen toepassing van rioolslib in naaldhoutbossen is de kans op het verdwijnen van de ruwe humus, waarin zich een aanmerkelijk deel van het wortelstelsel bevindt en waarin de antagonist van *Fomes annosus* (o.a. *Trichoderma viridis*, cf. Gremmen 1960) zich ophouden. Een snelle afbraak geeft stikstof- en organische stofverliezen en doet een deel van het wortelstelsel verdwijnen, waardoor een effect ontstaat dat vergelijkbaar is met strooiselroof. De negatieve effecten van strooiselroof zijn genoegzaam bekend (Van Goor en Tiemens 1963): niet alleen kan de boom door beschadiging van het wortelstelsel minder voedingsstoffen opnemen waardoor de groei afneemt, maar tegelijkertijd verzwakt de boom met alle gevaren van dien. Proeven in naaldhoutcultures in Noord-Brabant waarin voor de aanleg strooiselroof was uitgevoerd toonden aan dat met bemesting dit negatieve effect niet of slechts gedeeltelijk is tegen te gaan. Ander onderzoek met pluimveemest in Noord-Brabant wijst erop dat de ruwe humus in naaldhoutbossen snel kan worden vernietigd en dat in ieder geval tijdelijk een groei-afname optreedt.

Het bovenstaande heeft ertoe geleid dat het bosbouwkundig onderzoek in Nederland op grond van algemene overwegingen grote bezwaren heeft tegen het op enige schaal inbrengen van afvalstoffen in naaldhoutbossen vanwege de gevolgen op langere termijn voor de gezondheidstoestand van die

bossen, ongeacht het feit dat uit nader te noemen onderzoek is gebleken dat op korte termijn zeker groeiverbetering is te verkrijgen.

Bij de loofhoutsoorten ligt één en ander gecompliceerder omdat binnen deze groep de soorten sterk uiteenlopende eigenschappen hebben: tegenover de eik, die zich goed thuisvoelt op gronden met een niet te hoge pH-KCl (4-5) staat de populier, die de voorkeur geeft aan zwak zure tot licht basische gronden. Bij de toepassing van zuiverings-slib in loofhoutbeplantingen moet met deze verschillen in eigenschappen terdege rekening worden gehouden.

3. Onderzoekingen met afvalwater en zuiverings-slib in de bosbouw

3.1. Oudere onderzoekingen met al dan niet gezuiverd afvalwater

Hoewel in strikte zin bovengenoemd onderzoek weinig relaties vertoont met de toepassing van zuiverings-slib omdat bij het eerste essentieel is dat grote hoeveelheden water in bossen worden gebracht, die bijkomende effecten op het bos hebben, wordt hierop toch in het kort ingegaan omdat de effecten van toediening van afvalwater en zuiverings-slib deels dezelfde kunnen worden geacht nl. werking als stikstofmeststof, verhoging van de pH en toename van het niveau van bodemvruchtbaarheid. Voor details kan worden verwezen naar de desbetreffende literatuur. (Bialkiewicz 1974; Endtmann 1976; Hartmann 1959; Hübener 1973; Kermen and Pinkiewicz 1976; Little, Lull and Remson 1959; Mather 1953; Mierig 1959; Murphey et al. 1973; Pennypacker, Sopper and Kardos 1967; Sommer und Fassbender 1975; Sommer, Ulrich und Seekamp 1977; Sopper and Kardos 1972; 1973; Tolsted 1975.)

De resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

— veel houtsoorten reageren positief gedurende de eerste jaren volgend op behandelingen met afvalwater, hoewel van naaldhoutsoorten vaak gevallen van gedeeltelijke of gehele sterfte worden vermeld, vooral op oudere leeftijd,

— stijgingen van de zuurgraad van de bovengrond treden steeds op, daarnaast neemt ook het bodemvruchtbaarheidsniveau toe,

— veel auteurs geven aan dat ze naaldhout over het algemeen minder geschikt achten dan loofhout.

Het bovenstaande komt overeen met wat in paragraaf 2 werd opgemerkt over loof- en naaldhoutsoorten en heeft ertoe geleid dat in het Nederlandse bosbouwkundige onderzoek alleen aan loofhoutsoorten aandacht is en wordt besteed.

3.2. Recent buitenlands onderzoek over de toepassingsmogelijkheden van zuiverings-slib in de bosbouw

Het uitgevoerde onderzoek is van vrij jonge datum en in de meeste gevallen zijn geen definitieve conclusies mogelijk. Veel onderzoek wordt uitgevoerd in kassen, op kwekerijen en in jonge beplantingen, waar het zuiverings-slib hetzij kort voor de aanleg, hetzij in een reeds bestaande cultuur wordt gebracht. De resultaten van deze onderzoekingen (Arbeitskreis 'Wald und Siedlungsabfälle' 1975; Berry and Marx 1975; Dimitri und Siebert 1977; Edmonds and Cole 1977; Elsnab Olesen 1976; Evers 1975 a, 1975 b, 1977 a, 1977 b; Evers und Hüser 1977; Gouin 1977; Gouin and Walker 1977; Von Hirschheydt und Szilagy 1977; Hüser 1972, 1977; Keller 1973; Moll, Pietrowicz und Stahr 1977; Schwarz 1977; Schwarz und Zundel 1975) blijken vaak tegenstrijdige conclusies op te leveren: in sommige gevallen worden grote uitvalspercentages en groei-afname genoemd, in andere blijkt groeitoename op te treden. De oorzaken hiervan zijn niet steeds vast te stellen; het toedienen van te vers zuiverings-slib (met een laag droge stofgehalte) wordt in enige gevallen als oorzaak van de grote uitval genoemd.

Verder kan als gevolg van primaire verzwakking door nadelige werking van zuiverings-slib secundaire aantasting bij naaldhout door de honingzwam (*Armillaria mellea*) optreden (Schwarz 1977). Vaak neemt ook de pH sterk toe (Schwarz 1977; Moll, Pietrowicz und Stahr 1977), hetgeen voor naaldhoutsoorten en enkele loofhoutsoorten als nadelig wordt beschouwd. Opvallend is dat ondanks het wel signaleren van de gevaren van zware metalen (induceren van Fe-gebrek: Brown and Jones 1975) hierover weinig of geen gegevens worden verstrekt. Wel wordt gewaarschuwd tegen Zn-vergiftiging en voor de mobiliteit van Zn, Cd en Ni.

Bovengenoemde proeven zijn zowel als bemestings- als grondverbeteringsonderzoek op te vatten, vandaar dat veel proeven pas op lange termijn uitsluitel kunnen geven. Een dergelijk grondverbeteringsonderzoek wordt sinds 1973 uitgevoerd in de staat Washington (USA) (Edmonds and Cole 1977), waarin men tracht, arme pleistocene zandgronden te verbeteren. De toegepaste hoeveelheden slib (met ca 25 % droge stof) zijn vrij groot nl. 1000-2500 m³/ha, hetgeen overeenkomt met 250.000 kg droge stof/ha. Uit deze proeven wordt de voorlopige conclusie getrokken dat rijping van het slib van groot belang is en dat het slib door de grond moet worden gewerkt. In de gronden waarin dit onderzoek wordt uitgevoerd (pH-H₂O ca 5,8) bleek na één jaar dat geen merkbare benedenwaartse beweging van

zware metalen had plaatsgevonden, als gevolg van de sterke adsorptie aan de bodemdeeltjes. Testplanten (haver) bleken wel veel Zn, daarentegen weinig extra Cu op te nemen.

In een aantal landen is onderzoek uitgevoerd naar de invloed van zuiveringsslib op de groei en gezondheidstoestand van oudere bossen. In een recente publikatie hierover (Hüser 1977) wordt de conclusie getrokken, dat in naaldhoutbossen hoogstens een hoeveelheid van 200 à 300 m³/ha zuiveringsslib (ca 10 à 15 ton droge stof/ha) kan worden gebracht mits dit slib een totale hoeveelheid N bevat, waarvan de werking overeenkomt met een bemesting van hoogstens 400 à 600 kg kalkammonsalpeter/ha (ca 100-150 kg N/ha). In de praktijk betekent dit dat niet meer dan 50 à 100 m³ zuiveringsslib/ha in naaldhoutbos mogelijk wordt geacht (ca 3-6 ton droge stof/ha). Het gevaar van de zuiveringslibtoepassing in fijnsparbossen ziet Hüser o.a. gelegen in de geconstateerde daling van het gehalte aan phenolachtige stoffen, die fungeren als afweermiddelen tegen infectie door wortelrot en mogelijk ook een negatieve invloed op de mycorrhiza *).

Evers (1977 b) beveelt in het kader van voor de Westduitse bosbouw opgestelde Richtlijnen (1977a; Evers und Hüser 1975) aan, dergelijke slibtoepassingen niet vaker dan eenmaal per vijf jaar te herhalen. Een dergelijk onderzoek wordt eveneens uitgevoerd in Denemarken (Elsnab Olesen 1976), waar in een ca zeventigjarige fijnsparopstand op een lemige pleistocene zandgrond wordt gewerkt met hoeveelheden zuiveringsslib van 800 m³/ha (5, resp. 18 % droge stof, d.w.z. behandelingen van 45 en 145 ton droge stof/ha). Uit een voorlopige mededeling blijkt dat de groei in 1974 en 1975 negatief werd beïnvloed, daarna nam de groei weer toe. Waarnemingen in de zomer van 1977 in de onderzochte opstand duiden erop dat de ruwe humus door deze zware giften sterk is aangetast. Van belang is, dat men niet in Oostelijk Denemarken in beukebossen is gaan werken, hoewel dat gezien de stedelijke concentraties in dat deel van het land voor de hand lag. Wegens het recreatieve belang van deze beukebossen heeft men ervan afgezien daarin onderzoek uit te voeren en is het onderzoek uitgeweken naar naaldhoutbossen in West-Denemarken, in de hoop een praktijkoplossing te vinden.

3.3. Onderzoek in Nederland

Sinds 1967 wordt door 'De Dorschkamp' aandacht besteed aan de toepassingsmogelijkheden van zuiveringsslib op de groei en gezondheidstoestand van oudere bossen.

*) volgens een mondelinge mededeling van Hüser (1977) valt te verwachten dat met zuiveringsslib behandelde opstanden van fijnspar na enkele tientallen jaren moeten worden gekapt wegens sterke aantasting door wortelrot.

TABEL I - Samenstelling van havenslib in de Broekpolder (Vlaardingen) en de gemiddelde samenstelling van zuiveringsslib

TABLE I - Composition of harbour sludge in the Broekpolder (Vlaardingen) and average composition of sewage sludge

	Broekpolder, terrein A (0-25 cm) Broekpolder, area A (0-25 cm)	Broekpolder, terrein B (0-25 cm) Broekpolder, area B (0-25 cm)	gemiddelde samenstelling van zuiveringsslib (volgens De Haan 1972) average composition of sewage sludge
pH-KCl	7,3	7,3	—
org. stof (%)	12,9	11,7	48,0
organic matter			
CaCO ₃ (%)	15,7	15,7	8,3
N-totaal (%)	0,48	0,53	3,08
total N			
P ₂ O ₅ -totaal (%)	0,54	0,43	4,39
total P ₂ O ₅			
N-org (%)	3,72	4,53	6,42
Zn (mg/kg)	1148	1068	1650
Cu (mg/kg)	212,6	194,7	420
Pb (mg/kg)	308,5	291,6	250
Cd (mg/kg)	10,18	9,9	8
Hg (mg/kg)	6,81	6,43	10
Cr (mg/kg)	286,9	278,9	130
Ni (mg/kg)	—	—	30

Zware metalen: totaal gehalte

heavy metals: total content

lijkheden van zuiveringsslib en verwante substraten. De daarbij rijzende vragen zijn die naar de beplantingsmogelijkheden van slibsoorten — met het doel een gezonde beplanting te verkrijgen — en de betekenis van zuiveringsslib als grondverbeteringsmiddel. In het onderstaande worden de resultaten van drie proefvelden besproken.

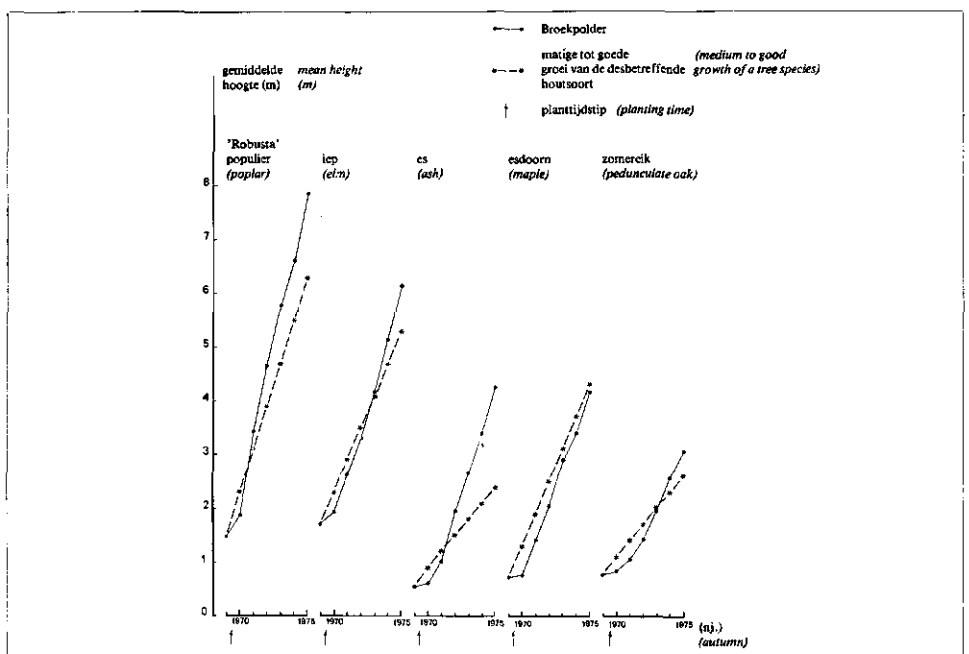
3.3.1. Beplantingsmogelijkheden van havenslib Het in de Broekpolder nabij Vlaardingen

opgespoten havenslib blijkt in veel opzichten overeen te komen met zuiveringsslib, vandaar dat de resultaten van een in 1970 aangelegde proef van belang zijn voor het beoordelen van de toepassingsmogelijkheden van zuiveringsslib. Deze overeenkomst blijkt o.a. uit de samenstelling van het havenslib, zoals weergegeven in tabel I.

Uit bovenstaande gegevens valt af te leiden dat vooral met betrekking tot de gehalten aan zware metalen een redelijke overeen-

Afb. 1 - Hoogtegroei van vijf loofhoutsoorten op havenslib (Broekpolder/Vlaardingen), periode voorjaar 1970 t/m najaar 1975.

Figure 1 - Height growth of five hardwood species on raised harbour sludge (Broekpolder/Vlaardingen), period spring 1970 - autumn 1975.



stemming bestaat tussen het in de Broekpolder opgespoten havenslib en zuiverings-slib.

De groei en ontwikkeling van de hierop in 1970 aangelegde beplanting is over het algemeen goed geweest (Peeters en Stuurman 1973, 1974, 1975, 1976; Stuurman en Peeters 1975a, 1975b; Van Wijk e.a. 1974): de meeste loofhoutsoorten hebben zich redelijk tot goed ontwikkeld (afb. 1).

Slechts zijn groei en conditie van de als vult-houtsoort aangeplante zwarte els matig geweest: een deel van de bomen had steeds gezond blad (N-gehalte 3,0-3,6 %), een ander deel had chlorotisch blad (N-gehalte 2,2-2,6 %). De oorzaak van deze chlorose is nog niet bekend: overmaat aan zware metalen zou een rol kunnen spelen, maar incidenteel valt zoutschade niet uit te sluiten. Op kalkchlorose gelijkende verschijnselen bij de zomereik hebben zich alleen in de eerste jaren na de aanleg voorgedaan, bij de esdoorn is bij een aantal bomen Mn-gebrek opgetreden. Dit laatste gebrek schijnt op den duur tot enige groeiachteruitgang te hebben geleid.

3.3.2. Zuiverings-slib als grondverbeterings-middel

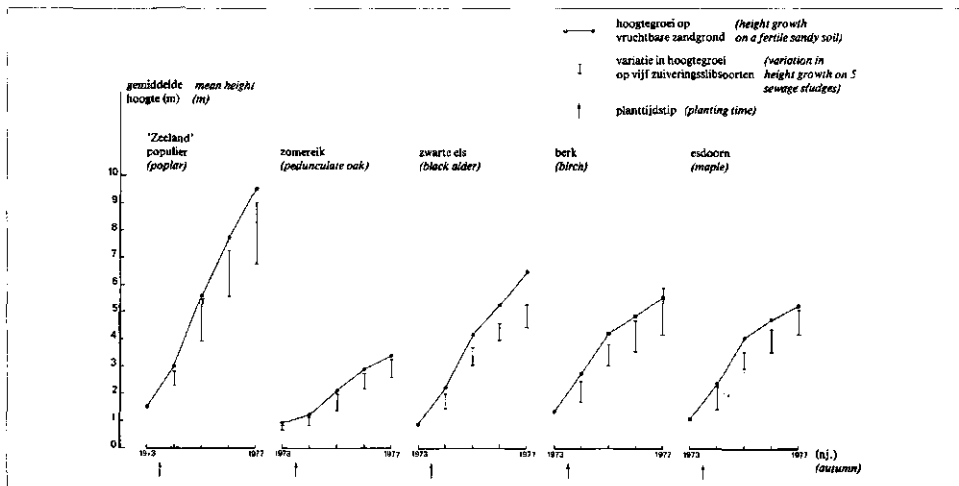
In samenwerking met de gemeente Amsterdam is vanaf 1967 onderzoek uitgevoerd naar de invloed van zuiverings-slib op de groei en conditie van loofhout op een lutumarme, kalkrijke zandgrond. De resultaten van deze proef zijn gepubliceerd (Hazevoet 1976), hier wordt slechts een samenvatting van de resultaten gegeven.

In 1966/67 werden in een opgespoten zandgrond ten westen van Amsterdam (Hornhaven) diverse grondbewerkingen en grondverbetering uitgevoerd, o.a. met zuiverings-slib dat als een laag van 10 cm dik, 40 resp. 80 cm diep door het zand werd gefreesd. In afb. 3 zijn de resultaten van grondbewerking en grondverbetering weergegeven.

Het doorwerken van het zuiverings-slib blijkt een positieve invloed op de groei van populier en zwarte els te hebben gehad. Voor andere loofhoutsoorten in dit proefveld geldt hetzelfde. Het toedienen van zuiverings-slib aan dit kalkrijke materiaal blijkt op de Zn-voorziening van de zwarte els als bijna geen invloed te hebben gehad, op die van de (als Zn-accumulator bekende) populier slechts een geringe invloed: het Zn-gehalte van het blad nam toe, doch slechts in geringe mate.

3.3.3. Beplantingsmogelijkheden van zuiverings-slib

Als een van de mogelijkheden, zuiverings-slib toe te passen, wordt het gebruik ervan als afdek-materiaal beschouwd. Dit roept de vraag op, hoe een eventuele beplanting zich



Afb. 2 - Hoogtegroei van vijf loofhoutsoorten op vijf zuiverings-slibsoorten en op een vruchtbare zandgrond (Haven[Gr.], periode voorjaar 1974-najaar 1977.

Figure 2 - Height growth of five hardwood species on five sewage sludges and on a fertile sandy soil (Haren[Gr.], period spring 1974 - autumn 1977.

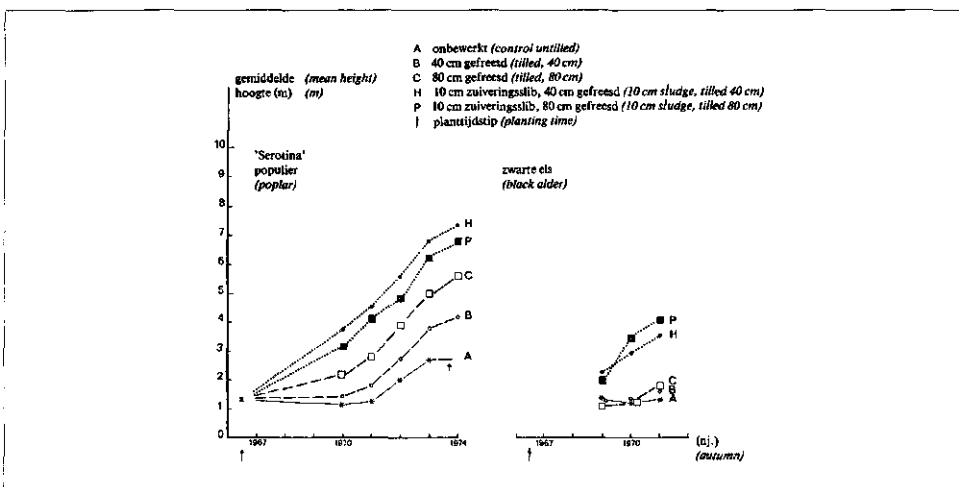
zal gedragen over een reeks van jaren, aannemend dat de eigenschappen van het zuiverings-slib niet dezelfde blijven, maar op den duur veranderen. Een eerste aanzet tot onderzoek van dit probleem is gedaan in samenwerking met het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren (Gr.). In de periode 1974-1977 zijn vijf slibsoorten beplant geweest met loofhout en is de ontwikkeling ervan gevolgd. Wegens het recente afsluiten van deze proef zijn nog niet alle gegevens beschikbaar, zodat interpretatie van de tot nu toe verzamelde gegevens onder enig voorbehoud moet geschieden. Wel is uit de groeigegevens af te leiden dat het beplanten van zuiverings-slib mogelijkheden biedt, gezien de in het algemeen redelijke groei (afb. 2).

De groei van vier van de vijf onderzochte loofhoutsoorten op het zwak zure slib

(pH-KCl 5½-6½ bij aanleg) bedroeg meestal 75-100 % van de controlebomen die waren aangelegd op een vruchtbare zandgrond. Alleen de groei van de zwarte els vertoonde de neiging achter te blijven. Duidelijke gebreks- of vergiftigingssymptomen hebben zich tijdens de proef niet voorgedaan, alleen bij populier trad soms bladchlorose op. De opname van zware metalen blijkt per houtsoort zeer verschillend te zijn: populier en berk nemen zeer veel Zn en Cd op, doch vertonen geen merkbare neiging, veel Cu op te nemen, hetgeen daarentegen wel het geval is voor zomereik en zwarte els; deze laatste soort vertoont ook een hogere Pb-opname. Ni wordt door alle soorten sterk opgenomen, Cr daarentegen weinig.

De resultaten van deze proef zijn helaas niet algemeen geldig omdat de proefduur vrij kort is geweest en de vraag kan worden

Afb. 3 - De invloed van zuiverings-slib als grondverbeteraar op de hoogtegroei van populieren en zwarte els op een arme, kalkrijke zandgrond (Hornhaven/Amsterdam), periode voorjaar 1970-najaar 1974. Figure 3 - Effect of sewage sludge, amended to a poor, calcareous sandy soil, on height growth of poplar and black alder.



gesteld of de tot nu toe goede groei zich zou hebben gehandhaafd. Een aanwijzing dat mogelijk enige groeiachteruitgang kan optreden is te vinden in de waarneming dat populieren die in voorjaar 1976 werden geplaatst op slib waarop reeds gedurende twee jaren populieren hadden gegroeid, in de jaren 1976 en 1977 een geringere groei vertoonden dan op vers slib geplante populieren in 1974 en 1975.

Dit roept de vraag op of het noodzakelijk is zuiveringsslib te mengen met een zekere hoeveelheid teelaarde. Onderzoek hiernaar is in voorjaar 1977 begonnen nabij Tilburg, waar zuiveringsslib en teelaarde zijn gemengd in de volumeverhoudingen 100/0, 75/25, 50/50 en 0/100. In 1977 waren er enkele aanwijzingen dat de bomen op de behandeling 75/25 een betere groei en conditie hadden dan die op de behandeling 100/0, maar deze constatering mag niet als algemeen geldend worden beschouwd. Het ligt in de bedoeling dit proefveld zo lang mogelijk te vervolgen teneinde de invloed van zuiveringsslib op lange termijn te kunnen vaststellen.

4. Discussie

4.1. Schatting van benodigde oppervlakten

De vraagstelling vanuit de kant van de afvalwaterzuiveraar komt meestal hierop neer dat toepassing gezocht wordt voor het zuiveringsslib in bepaalde vormen van bodemgebruik. Omdat zowel landbouw, tuinbouw als bosbouw weliswaar behoefte hebben aan het op peil houden van de bodemvruchtbaarheid, maar dit doen met methoden en stoffen waarvan de werking goed bekend is en waarvan toepassing zo min mogelijk risico's inhoudt, kan niet zonder meer worden gesproken over afname-mogelijkheden. Wegens de hoeveelheden waarin dit slib wordt geproduceerd is de vraag naar afzetmogelijkheden voor zuiveringsslib in wezen een vraag naar de beschikbare oppervlakte. Een eenvoudige berekening laat zien dat toepassing van riool-slib in de bosbouw aanzienlijke oppervlaktes vergt, welke sterk toenemen naarmate men minder risico wenst te lopen. Op grond van de schatting van Brouwer ((1977) dat in 1974 door openbare lichamen zuiveringsslib in de vorm van 137×10^6 kg droge stof moest worden afgezet en bij aanname van verschillende risico's laat zich het volgende vaststellen: Bij benadering bevat 1 ton droge stof ca 30 kg N-totaal, waarvan de werking ongeveer gelijk te stellen valt met die hoeveelheid kalkammonsalpeter die ca 10 kg zuivere N bevat (De Haan 1972, Riem Vis 1972, Mulder 1977). Uitgaande van een optimale N-gift van 100 kg N/ha voor bossen valt te berekenen dat afzet in de bosbouw op basis van de N-werking alleen,

10.000-15.000 ha vraagt. Indien men behalve het effect als N-meststof ook enigszins het effect van zware metalen wenst te verdisconteren, blijkt bij toepassing van het zgn. 'zink-equivalent' (waarbij middels relatieve giftigheden van Zn, Cu en Ni deze zware metalen tot een standaardgiftigheid worden omgerekend cf. A.D.A.S. 1972), de hoeveelheid benodigde grond te verdubbelen (ca 25.000 à 30.000 ha). De strengste norm, die thans in omloop is, nl. niet meer dan 1 à 2 ton droge stof/ha toe te passen (Henkens 1975, Mulder 1977) leidt ertoe dat ca 100.000 ha nodig is. Het laatste getal is gelijk aan ongeveer éenderde van de Nederlandse bosoppervlakte. Het bovenstaande illustreert dus de grote oppervlaktes die in het geding komen bij het geven van praktische oplossingen.

Oppervlakkig gezien zou dus het Nederlandse bos wegens het aandeel dat het inneemt in het totale areaal aan landelijke gebieden, de mogelijkheid bieden, het probleem van de afzet van zuiveringsslib te verlichten, een mogelijkheid die overigens in recente publikaties over de afzetproblematiek van zuiveringsslib (Brouwer 1977, Eggink 1976) nog niet is genoemd. Wel is kortgeleden in de pers en in de Tweede Kamer sprake geweest van grondverbetering door een bemesting met zuiveringsslib in de bosbouw. Hieronder wordt ingegaan op de toepassingsmogelijkheden van zuiveringsslib in bossen, op grond van tot nu toe beschikbare onderzoekresultaten.

4.2. Toepassingsmogelijkheden in naaldhoutbossen

Op grond van algemene bodemkundige en fysiologische overwegingen heeft het bosbouwkundig onderzoek steeds gevaren gezien in toediening van afvalstoffen in naaldhoutbossen. Uit het tot nu toe in het buitenland verrichte onderzoek is af te leiden dat deze bezwaren gerechtvaardigd zijn. Afweging van voor- en nadelen van zuiveringsslib in naaldhoutbossen leidt er dan toe, dat naaldhoutbossen voor het bergen van zuiveringsslib niet in aanmerking kunnen komen omdat het risico van een slechter wordende gezondheidstoestand te groot is. De redenen hiervoor zijn reeds uiteengezet en worden hieronder samengevat:

- te sterke mineralisatie van ruwe humus door zuiveringsslib kan verdwijning ervan tot gevolg hebben waardoor het wortelstelsel wordt beschadigd en de microflora wordt aangetast (antagonisten van *Fomes annosus*, *mycorrhiza*'s);
- pH-stijging treedt vaak op waarvan te intensieve biologische bodemactiviteit, kans op chlorose en toename van aantastingsgevaar door wortelrot (*Fomes annosus*) het gevolg zijn;
- als gevolg van verzwakking door boven-

genoemde oorzaken kan secundaire aantasting door de honingzwam (*Armillaria mellea*) optreden;

— bij de oorspronkelijk lage pH van gronden waarop de Nederlandse naaldhoutbossen zijn gelegen, is het gevaar van o.a. Zn-vergiftiging niet denkbeeldig.

4.3. Toepassingsmogelijkheden in loofhoutbossen

4.3.1. Populier en wilg

Van de populier *) en de daarmee verwante wilg is bekend dat ze hoge stikstofgiften goed verdragen. Voor naaldhout wordt aangenomen dat een gift van 100 kg zuivere N/ha optimaal is, voor populier en wilg kan dit zeker op 200 kg zuivere N/ha worden gesteld. Uitgaande van een N-totaal gehalte van 3 % van de droge stof van zuiveringsslib en een werkingsfactor voor stikstof in zuiveringsslib van ca $\frac{1}{3}$ (De Haan 1972, Riem Vis 1972) kan een gift van ca 20 ton droge stof/ha in gezond populierenbos worden toegepast. Het is echter verstandig, hierbij rekening te houden met de zware metalen en op grond van de A.D.A.S.-Richtlijnen (A.D.A.S. 1972) een dergelijke gift niet vaker dan éénmaal per vier jaar toe te passen, ondanks de tolerantie die de populier voor zware metalen lijkt te hebben.

4.3.2. Overig loofhout

Deze groep is voor wat betreft de eisen aan de bodem vrij heterogeen, zodat algemene regels niet zijn te geven. Wel mag ervan worden uitgegaan dat voor veel loofhoutsoorten een N-gift van ca 100 kg zuivere N/ha als optimaal is te beschouwen en dat hogere giften schadelijk kunnen zijn. Een hoeveelheid droge stof die niet groter is dan 10 ton/ha kan dan maximaal per keer worden toegediend. Het is raadzaam om minstens dezelfde normen aan te leggen als bij de populier en een dergelijke gift zeker niet vaker dan éénmaal per vier jaar te herhalen. Bovendien moet men er rekening mee houden dat sommige soorten zich minder goed thuisvoelen bij een te hoge pH en dat kans op het optreden van Fe-gebrek bestaat, welke kans toeneemt bij herhaalde toepassing (Brown and Jones, 1975). Mogelijk kunnen ook andere gebreksverschijnselen optreden, maar hierover is nog weinig bekend. Kans op K-gebrek wordt wel aangenomen (De Haan 1972, Hüser 1977) maar dit is tot nu toe niet in Nederlandse proeven waargenomen. Vergiftiging door zware metalen is mogelijk maar dit is sterk afhankelijk van pH en organische stofgehalte (Smilde 1976).

*) Ter voorkoming van misverstanden wordt erop gewezen dat in dit verband alleen wordt gedacht aan het assortiment Euramerikaanse populieren ('Robusta', 'Dorskamp', 'Zeeland', etc.).

Bovenstaande hoeveelheden komen overigens overeen met de in West-Duitsland door de Arbeitskreis 'Wald und Siedlungsabfälle' (1975) en Hüser (1977) vermelde norm van maximaal 50 à 100 m³/ha in naaldhoutbossen, hetgeen bij een droge stofgehalte van ca 6 % en een N-gehalte van 3 kg/m³ neerkomt op een éénmalige droge stofgift van 3 à 6 ton/ha en 150 à 300 kg N-totaal/ha. Dit wordt gelijkgesteld met de werking van 50 à 100 kg zuivere N/ha, zodat men tot de conclusie komt dat in West-Duitsland van een werkingsfactor voor stikstof in zuiveringsslib van ca 1/3, wordt uitgegaan. Bij het bovengegeven advies moet men erop bedacht zijn dat dit alleen is gebaseerd op de werking van zuiveringsslib als N-meststof. Er zijn echter twee vraagstukken die ook op korte termijn niet buiten beschouwing gelaten kunnen worden: in de eerste plaats is het niet mogelijk om in een bestaand bos of bestaande beplanting gebracht zuiveringsslib in de grond te werken, hetgeen met het oog op hygiënische aspecten wel gewenst is (Strauch 1975, 1977). De kans dat met het zuiveringsslib pathogene organismen en wormeieren in het bos worden gebracht hangt echter samen met de wijze waarop het slib is behandeld. Een tweede probleem bestaat hierin dat de componenten die in het slib aanwezig zijn, niet alleen door de bomen maar ook door de overige vegetatie kunnen worden opgenomen. Wat de gevolgen hiervan zijn is nog niet te voorspellen, maar het is van belang, dit aspect bij een eventuele toediening in loofhoutbossen niet te veronachtzamen.

4.4. Toepassingsmogelijkheden in aan te leggen beplantingen

Meer mogelijkheden liggen in die gebieden waar om diverse redenen hoeveelheden arm zandig materiaal aanwezig is, waarop een beplanting moet worden aangebracht. Het voordeel van deze situatie is dat de houtsoortenkeuze kan worden aangepast aan de eigenschappen die de grond dan verkrijgt na het opbrengen en daarna diep doorwerken van zuiveringsslib. De vraag is echter hoeveel zuiveringsslib kan worden opgebracht. Uit het reeds eerder genoemde onderzoek van Edmonds en Cole (1977) volgt dat hoeveelheden van 250 à 600 ton droge stof/ha zekere mogelijkheden bieden. Deze hoeveelheden zijn aanwezig in 10 à 25 cm zuiveringsslib/ha. Andere onderzoekers komen overigens tot veel kleinere hoeveelheden nl. 2 à 3 cm/ha (Schwarz 1977; Schwarz und Zündel 1975), overeenkomend met 600-900 kg N-totaal/ha en 20-30 ton droge stof/ha. Dit geldt echter voor omstandigheden waar bij vrij snel na de slibtoepassing is geplant of voor jonge beplantingen. Gouin (1977), Gouin and Walker (1977) en Berry and Marx (1976) vermelden dat grotere hoeveel-

heden mogelijk zijn (tot 200 ton/ha) maar deze onderzoekers gingen uit van een mengsel van slib en houtspaanders (1 : 3; v/v).

Op arme zandgronden is een zo diep mogelijke doorwerking gewenst, indien de vochtvoorziening een beperkende factor vormt: het is van groot belang dat een doorwortelbare laag van 80 à 100 cm dikte ontstaat, teneinde te voorkomen dat in droge perioden de beworteling te ondiep is en de verhouding ondergrondse/bovengrondse delen te ongunstig wordt.

Verder zijn er aanwijzingen dat loofbomen een redelijke groei en gezondheidstoestand kunnen hebben op 'zuiver' zuiveringsslib: soorten als populier, es, iep en in zekere zin ook els en esdoorn blijken zich redelijk thuis te voelen op slib. Dit alles geldt echter onder enig voorbehoud: zolang niet bekend is, hoe de eigenschappen van zuiveringsslib op de lange duur veranderen (pH-daling; afbraak van organische stof), waardoor de toxische werking van zware metalen zou kunnen toenemen, is het raadzaam zich te beperken tot de als pioniersoorten bekende populier en es, waarschijnlijk ook de wilg *). Wegens de vrij korte proefduren (slechts enkele jaren) valt nog niet te voorspellen of menging met bijv. teelaarde absoluut noodzakelijk is.

De vraag, die tenslotte kan opkomen, betreft de mogelijkheid tot het verbeteren van de eigenschappen van vrij arme, zure pleistocene zandgronden die Nederland bezit en waarop het grootste deel van onze bossen is gelegen. Zoals is geargumenteed, bieden die bossen die bestaan uit naaldhout, geen perspectieven zolang men het naaldhout wenst te handhaven. Indien verandering van de houtsoortenkeuze tot de mogelijkheden zou behoren, heeft het zin het vraagstuk van het vereiste niveau van bodemvruchtbaarheid (en vochtvoorziening) voor een goede groei en gezondheidstoestand te zien in het licht van de mogelijke rol die zuiveringsslib zou kunnen spelen. De standpunten van allen die op enigerlei wijze bij het beheer en gebruik van bossen betrokken zijn, zullen over dit vraagstuk sterk uiteenlopen, het past niet in het kader van dit artikel hierop nader in te gaan. Wel moet worden vastgesteld dat, mocht de wil of de noodzaak tot dergelijke plannen aanwezig zijn, van uitvoering op praktisch-schaal voorlopig geen sprake kan zijn. Daarvoor is de thans beschikbare kennis te gering o.a. wegens de gevaren die dreigen bij toevoeging van zware metalen aan de bodem (Brown and Jones 1975; Henkens 1975; Smilde 1976), vooral omdat steeds op lange termijn optredende effecten moeten worden onderzocht. Ook de

* Waarschijnlijk is ook de iep een soort die zich op zuiveringsslib redelijk kan handhaven, maar de keuze van deze soort wordt beperkt door de iepenziekte.

vraag naar de invloed van zuiveringsslib op de vegetatie en op de grondwaterkwaliteit valt niet te veronachtzamen.

5. Conclusie

De in het voorgaande besproken onderzoeken en de daarop te baseren conclusies zijn vanzelfsprekend van zuiver technische aard en mogen niet worden gezien als formuleringen van een beleidsstandpunt. Het omgekeerde is het geval, onderstaande conclusies kunnen juist dienen voor het vaststellen van een beleidsstandpunt. De hierna volgende conclusies moeten dus steeds in het licht van bovenstaande beperking worden beschouwd.

- Toepassing van zuiveringsslib in naaldhoutbossen moet sterk worden ontraden omdat de gezondheidstoestand van het bos er op den duur sterk door achteruit zal gaan.
- In populieren- (en wilgen)bossen is een maximale gift van 20 ton droge stof/ha, niet vaker toegepast dan éénmaal per vier jaar, mogelijk; daarbij moet echter rekening worden gehouden met kans op nevenwerkingen (chlorose, zware metalenvergiftiging, hygiënische aspecten, invloed op vegetatie).
- In overige loofhoutbossen geldt als voorlopige aanbeveling niet vaker dan éénmaal per vier jaar hoogstens 10 ton droge stof/ha toe te passen; dezelfde beperkingen als bij (b) moeten in het oog worden gehouden.
- Beplanting met loofhoutsoorten van met zuiveringsslib verbeterde, opgespoten en opgebrachte gronden en van zuiveringsslib-depots biedt momenteel de beste perspectieven. De in de literatuur voor grondverbetering aangegeven hoeveelheden van 10-600 ton droge stof/ha geven echter nog weinig houvast, omdat ze zijn gebaseerd op pas kortgeleden aangevangen proeven. Het lijkt thans het veiligst, bij grondverbeteringswerkzaamheden tussen beide uiterste waarden te blijven. Het is nog niet bekend of op zuiver rioolslib gedurende tientallen jaren een gezond bos kan blijven bestaan of dat enige bijmenging met teelaarde noodzakelijk is.
- Het vraagstuk van de verbetering van de vruchtbaarheid van arme, zure zandgronden is te gecompliceerd om hierover in dit kader een uitspraak te doen.
- Proefnemingen van lange duur zijn noodzakelijk om de gevolgen van zuiveringsslibtoepassing te kunnen vaststellen.

Literatuur

- A.D.A.S. 1972. *Permissible levels of toxic metals in sewage used on agricultural land*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Advisory Paper No. 10.
 Arbeitskreis 'Wald und Siedlungsabfälle'. 1975. Vorläufige Richtlinien für die Ausbringung von

- Klärschlamm auf Waldflächen. *Allgemeine Forstzeitschrift* 30 (22): 471-472.
- Berry, Ch. R. and Marx, D. H., 1976. *Sewage sludge and Pisolithus tinctorius Ectomycorrhizae: their effect on growth of Pine seedlings*. *Forest Science* 23 (3): 351-358.
- Bialkiewicz, F. 1974. *Die Möglichkeiten des Ausnutzung von Kommunalabwässern in der Forstwirtschaft (Lysimeterversuche)*. (Pools met Duitse samenvatting). *Prace Instytutu Badawczego Lesnictwa*. Nr. 487.
- Brouwer, W. J. 1977. *De produktie en afvoer van afvalwaterzuiveringslib in Nederland*. 'H₂O' 10 (1): 2-6.
- Brown, J. C. and Jones, W. E. 1975. *Heavy metal toxicity in plants I. A crisis in embryo*. *Communications in soil science and plant analysis* 6 (4): 421-438.
- Dimitri, L. and Siebert, H. 1977. *Gefässversuche mit Forstpflanzen zum Ausbringen von Klärschlamm auf Forstkulturflächen*. *Allgemeine Forstzeitschrift* 39 (32): 973-976.
- Edmonds, R. L. and Cole, D. W. 1977. *Use of dewatered sludge as an amendment for forest growth: management and biological assessments, volume 2*. Center for Ecosystem Studies, College of Forest Resources, University of Washington, Bulletin No. 2.
- Eggink, H. J. 1976. *Ons water VI. Waterkwaliteit en waterverontreiniging*. *Tijdschrift Koninklijke Nederlandsche Heide Maatschappij* 87 (12): 453-471.
- Elsnab Olesen, S. 1976. *Schriftelijke mededeling*.
- Endtmann, K. J. 1976. *Zur Problematik des Ueberstaus forstlich genutzter Flächen mit kommunalen Abwässern*. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 1976/1: 28-36.
- Evers, F. H. 1973. *Zusammenhang zwischen chemischen Bodeneigenschaften und Kernfäulebefall in Fichtenbeständen*. *Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung* 22: 65-71.
- Evers, F. H. 1975a. *Auffällige Holzverfärbungen bei Fichten nach Ablagerung im Waldbestand*. *Allgemeine Forstzeitschrift* 30 (22): 475.
- Evers, F. H. 1975b. *Eignen sich Waldflächen zur Klärschlammausbringung?* *Allgemeine Forstzeitschrift* 28 (30): 717-718.
- Evers, F. H. 1977a. *Die Richtlinien für die Ausbringung von Klärschlamm auf Waldflächen in ihrer praktischen Anwendung*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 96 (4): 226-229.
- Evers, F. H. 1977b. *Von Nutzen und Schaden der Klärschlämme und Müllkomposte im Wald*. *Allgemeine Forstzeitschrift* 32 (26): 623.
- Evers, F. H. and Hüser, R. 1975. *Zur Anwendung der vorläufigen Richtlinien für die Ausbringung von Klärschlamm auf Waldflächen in der Praxis*. *Allgemeine Forstzeitschrift* 30 (22): 472-474.
- Goor, C. P. van. 1954. *Research on forest sites at the Forest Research Station T.N.O.* Special Conference on root- and butt-rots of forest trees by *Fomes annosus*, July 22-26, 1954, 3-11.
- Goor, C. P. van, en Tiemens, F. 1963. *De invloed van éénmalige strooiselwinning op de aanwas van grovedennenbos*. Bericht 'De Dorschkamp' nr. 37.
- Gouin, F. R. 1977. *Conifer tree seedling response to nursery soil amended with composted sewage sludge*. *Horticultural Science* 12 (4): 341-342.
- Gouin, F. R. and Walker, J. M. 1977. *Deciduous tree seedling response to nursery soil amended with composted sewage sludge*. *Horticultural Science* 12 (1): 45-47.
- Gremmen, J. 1960. *Biologie en bestrijding van de wortelzwam Fomes annosus (Fr.) Cooke*. Korte Mededeling 'De Dorschkamp' nr. 44.
- Gremmen, J. 1976. *De werkelijke betekenis van de honingzwam bij het afsterven van bomen*. *Groen* 32 (2): 165-170.
- Haan, S. de. 1972. *De waarde van zuiveringslib als meststof of grondverbeteringsmiddel*. *Bedrijfsontwikkeling* 3: 1037-1041.
- Hartmann, F. K. 1959. *Abwasserverrieselung im Waldgelände der nordwestlichen Senne*. *Mitteilungen des Arbeitskreises 'Wald und Wasser'*. Nr. 3: 13-31.
- Hazevoet, A. M. 1976. *De populier op opgespoten zand*. *Populier* 13 (4): 61-63; *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 48 (12): 253-256.
- Henkens, Ch. H. 1975. *Zuiveringslib in de landbouw*. *Bedrijfsontwikkeling* 6: 98-103.
- Hirschheydt, A. von, und Szilagy, T. 1977. *Ueber die Wirkung von Schwermetallen und anderen Industrieabfällen in Müllkompost auf Waldbäume*. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*.
- Hübener, E. 1973. *Forstliche Abwasser-Entlastungsflächen — ein Beitrag zum Umweltschutz*. *Die sozialistische Forstwirtschaft* 23 (7): 210-211.
- Hüser, R. 1972. *Die Problematik der Ausbringung von ausgefaultem Klärschlamm in den Wald*. *Allgemeine Forstzeitschrift* 27 (9/10): 150.
- Hüser, R. 1977. *Untersuchungen zur Klärschlammverwertung im Wald*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 96 (4): 238-245.
- Keller, Th. 1973. *Ueber den Einfluss von Industrie-klärschlamm auf die Nettoassimilation junger Forstpflanzen*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 92: 105-111.
- Kermen, J., and Pinkiewicz, I. 1976. *(The influence of irrigation with industrial sewage on the biological activity of forest soils (lysimeter investigations))*. *Prace Instytutu Badawczego Lesnictwa*, Nr. 512.
- Laatsch, W. 1963. *Bodenfruchtbarkeit und Nadelholzanbau*. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bazel, Wenen.
- Little, S., Lull, H. W. and Remson, I. 1959. *Changes in woodland vegetation and soils after spraying large amounts of waste water*. *Forest Science* 5 (1): 18-27.
- Mather, J. R. 1953. *The disposal of industrial effluent by woods irrigation*. *Transactions American Geophysical Union, Volume 34* (2): 227-239.
- Mierig, E. 1959. *Abwasserverrieselung im Walde*. *Mitteilungen des Arbeitskreises 'Wald und Wasser'*, Nr. 3: 9-13.
- Moll, W., Pietrowicz, P. and Stahr, K. 1977. *Einfluss von Müllklärschlammkompost auf Böden aus Dünnensand im Hardtgebiet bei Schwetzingen (Ober-rheinebene)*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 96 (4): 253-262.
- Mulder, J. 1977. *Voorlopige richtlijnen voor gebruik van zuiveringslib in de landbouw*. *Aspecten van de landbouw in de IJsselmeerpolders* 4 (7): 5-7.
- Murphey, W. K., Risbin, R. L., Young, W. J. and Cutter, B. E. 1973. *Anatomical and physical properties of red oak and red pine irrigated with municipal waste water*. *Recycling treated municipal waste water and sludge through forest and crop land*, *Proceedings of a Symposium conducted by the College of Agriculture on the Institute for research on land and water resources, the Pennsylvania State University*: 295-310.
- Peeters, J. P. en Stuurman, F. J. 1973. *Bepantingsproef Broekpolder*, Rapport nr. 3. (Een samenvatting van proefveldresultaten over de periode voorjaar 1972-voorjaar 1973). Intern rapport 'De Dorschkamp' nr. 43.
- Peeters, J. P. en Stuurman, F. J. 1974. *Bepantingsproef Broekpolder — de eerste vijf jaar*, Rapport nr. 4: een samenvatting van proefveldresultaten over de periode najaar 1969-voorjaar 1974. Intern Rapport 'De Dorschkamp' nr. 62.
- Peeters, J. P. en Stuurman, F. J. 1975. *Bepantingsproef Broekpolder*, Rapport nr. 4a (Supplement op rapport nr. 4 betrekking hebbend op de proefveldresultaten over de periode voorjaar 1974-voorjaar 1975). Intern Rapport 'De Dorschkamp' nr. 77.
- Peeters, J. P. en Stuurman, F. J. 1976. *Bepantingsproef Broekpolder*, Rapport nr. 4b (Supplement op rapport nr. 4 betrekking hebbend op de proefveldresultaten over de periode voorjaar 1975-voorjaar 1976). Rapport 'De Dorschkamp' nr. 91.
- Pennypacker, S. P., Sopper, W. E. and Kardos, L. T. 1967. *Renovation of wastewater effluent by irrigation of forest land*. *Journal of Water Pollution Control* 39: 285-296.
- Riem Vis, F. 1972. *Het gebruik van rioolslib als meststof*. *Bedrijfsontwikkeling* 2: 9-12.
- Schwarz, O. 1977. *Ueber die Auswirkungen von Müllklärschlammkomposten (MKK) auf Forstkulturen in der Oberrheinebene*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 96 (4): 246-253.
- Schwarz, O. und Zundel, R. *Versuche mit Müll-Klärschlammkomposten in Kiefern-, Douglasien- und Roteichenkulturen*. *Allgemeine Forstzeitschrift* 30 (22): 479-481.
- Seibt, G. und Wittich, W.; Seibt, G. und Reemtsma, J. B. 1977. *Ertragskundliche und bodenkundliche Ergebnisse langfristiger Kalkdüngungsversuche im nord- und westdeutschen Bergland*. *Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und Mitteilungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 50*.
- Smilde, K. W. 1976. *Toxische gehalten aan zware metalen (Zn, Cu, Cr, Ni, Pb en Cd) in grond en gewas — een literatuuroverzicht*. *Nota Instituut voor Bodemvruchtbaarheid* nr. 25.
- Sommer, U. und Fassbender, H. W. 1975. *Möglichkeiten der Abwasserverrieselung in Waldbeständen*. *Allgemeine Forstzeitschrift* 30 (22): 469-471.
- Sommer, U., Ulrich, B. und Seekamp, G. 1977. *Auswirkungen einer Abwasserregenung unter Kiefer auf den Nährstoffhaushalt eines Sand-Braunerde-Podzols*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 96 (4): 262-272.
- Sopper, W. E. and Kardos, L. T. 1972. *Effects of municipal wastewater disposal on the forest ecosystem*. *Journal of Forestry* 70 (9): 540-545.
- Sopper, W. E. and Kardos, L. T. 1973. *Vegetation responses to irrigation with treated municipal wastewater*. *Recycling treated municipal wastewater and sludge through forest and crop land*, *Proceedings of a symposium conducted by the College of Agriculture and the Institute for forest research on land and water resources, the Pennsylvania State University*: 271-294.
- Strauch, D. 1975. *Die hygienischen Probleme der Klärschlammausbringung in Waldbeständen*. *Allgemeine Forstzeitschrift* 30 (22): 476-477.
- Strauch, D. 1977. *Seugenhygienische Aspekte der Klärschlammausbringung in Waldbeständen*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 96 (4): 229-237.
- Stuurman, F. J. en Peeters, J. P. 1975a. *Bos op bagger uit de Rotterdamse havens (I)*. *Groen* 31 (1): 5-9.
- Stuurman, F. J. en Peeters, J. P. 1975b. *Bos op bagger uit de Rotterdamse havens (II)*. *Groen* 31 (2): 41-50.
- Tolsted, D. N. 1976. *Sewage effluent spray increases diameter growth of Jack pine*. *USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station Research Note NC-207*.
- Wijk, A. L. M. van, Rhee, J. A. van, Doelman, P. en Hazevoet, A. M. 1974. *Kwaliteit Rotterdamse havenslib als ophoogmateriaal voor recreatieterreinen in Midden-Delfland*. *Regionale Studies Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding* nr. 6.