

W. VAN DRIEL en W. SALOMONS

MOGELIJKHEDEN VOOR GEBRUIK EN BERGING VAN SLIB UIT HAVEN EN VAARGEUL

De vervuiling van de Rijn dateert al uit het begin van deze eeuw. Zo blijkt uit omstreeks 1920 genomen en bewaard gebleven monsters dat toen in het Rijnslib gehalten aan bijvoorbeeld zink voorkwamen, die vergelijkbaar zijn met wat nu wordt aangetroffen. W. van Driel, scheikundige aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en W. Salomons, wetenschappelijk medewerker aan het Waterloopkundig Laboratorium, gaan in op mogelijkheden en alternatieven voor het gebruik van slib dat bij aanleg van havens en het graven van vaargeulen door baggeraars wordt geproduceerd. Er is een aantal nuttige gebruiksmogelijkheden, al wijzen de auteurs ook op zekere gevaren die, met name in de landbouw, bij gebruik van dit slib soms kunnen optreden.



W. van Driel studeerde scheikunde aan de Gemeente Universiteit van Amsterdam, waar hij in 1961 promoveerde. Sinds 1958 is hij als scheikundige werkzaam bij het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, afdeling Scheikunde van de Grond, waar hij zich onder meer bezig houdt met de agrarische aspecten van de zware-metaalcontaminatie.

De aanleg van havens en vaargeulen aan de kust of in riviermonden brengt grote veranderingen teweeg in het transportgedrag van het in het water zwevende slib. De eis van de scheepvaart dat in de havenbekkens weinig golfwerking en stroming mogen optreden, heeft tot gevolg dat het door de rivier of vanuit de zee aangevoerde slib daar optimale bezinkingsomstandigheden aantreft. Om de havens en vaargeulen toegankelijk te houden voor de (zee)-scheepvaart moet dit slib regelmatig door baggeren worden verwijderd (onderhoudsbaggerwerk).

De totale hoeveelheid slib die jaarlijks tot bezinking komt, hangt samen met het sedimentaanbod van rivier en zee, en met de grootte van het havenareaal. In het Rotterdamse havengebied is iedere uitbreiding van het havenareaal gepaard gegaan met een toename in de jaarlijks te baggeren hoeveelheid specie. In deze eeuw is het havenareaal toegenomen van 0,6 km² tot 21 km², en het onderhoudsbaggerwerk van 0,3 miljoen tot 10 miljoen ton slib per jaar.

Niet alleen in het Rotterdamse havengebied, maar ook in andere delen van Europa komen aanzienlijke hoeveelheden bagger-

specie vrij bij het toegankelijk houden van de havens. De totale hoeveelheid baggerspecie die in Nederland, België en West-Duitsland wordt verplaatst, bedraagt ongeveer twaalfmaal de totale slibafvoer van de Rijn. De bergingsmogelijkheden van deze enorme hoeveelheden materiaal worden sterk beperkt door de vervuiling van de baggerspecie.

Vervuilingsgeschiedenis

De Rijnvervuiling dateert al van het begin van deze eeuw, maar is pas in de afgelopen 10-20 jaar in de publieke belangstelling gekomen. Aan de hand van sedimentmonsters die omstreeks 1920 in het stroomgebied van de Rijn zijn verzameld, en die in archieven bewaard zijn gebleven, is het mogelijk geweest om de vervuilingsgeschiedenis van de Rijn, en dus van één van de sedimentbronnen voor het Rotterdamse havengebied, op te stellen. In 1920 werden gehalten aan zink in het Rijnslib aangetroffen van 1000 mg. kg⁻¹, dezelfde orde van grootte als nu. Niet vervuilde sedimenten bevatten 68 mg. kg⁻¹ aan zink. In 1920 was reeds 90% van het cadmium in het slib van industriële herkomst. Dit percentage is nu gestegen tot meer dan 99%, bij gehalten van ongeveer



W. Salomons studeerde anorganische chemie in Groningen. Na zijn promotie in 1973 trad hij in dienst van het Waterloopkundig Laboratorium. Onderzoeksterreinen betreffen het geochemische gedrag van metalen in oppervlaktewater en de problematiek rond het dumpen van vliegende kolenas, baggerspecie en mijnafval.

30 mg. kg⁻¹. Met andere woorden, minder dan 1% van het zware metaal cadmium in de Rijn is van natuurlijke herkomst. Vergelijken met andere rivieren in West Europa transporteert de Rijn vanuit de grootste hoeveelheden zware metalen. De problematiek rond de baggerspecie van Rotterdam wordt dus gevormd door de toename in de hoeveelheid baggerspecie en de toename in de vervuilingsgraad.

Storten op zee

De belangrijkste bron voor het slib in de westelijke havens, waar

de meeste baggeractiviteiten plaatsvinden, is de Noordzee. Door de getijdenbeweging, door dichtheidsstromen, en vooral tijdens stormen worden grote hoeveelheden slib naar het havengebied getransporteerd. Tijdens dit transport vindt een vermenging met sterk vervuild rivierslib plaats. Door hun ligging bedraagt deze bijdrage van rivierslib voor de westelijke havens maximaal 10%. Na een verblijf van ongeveer een jaar van dit overwegend uit de Noordzee afkomstige slib op de havenbodem wordt het opgebaggerd en weer naar de

baggers

Noordzee teruggebracht. Tijdens en na het storten in de Noordzee, op de 'loswal Noord', ongeveer 5 km ten noordwesten van Hoek van Holland, worden de fijnere bestanddelen uit de baggerspecie gespoeld. De meer zandige bestanddelen blijven op de loswal Noord achter. Het fijne slib vervolgt zijn weg in de Noordzee en wordt in noordelijke richting langs de kust getransporteerd.

Laboratoriumproeven hebben aangetoond dat tijdens dit transport een loskoppeling van een aantal metalen, waaronder cadmium, van het slib optreedt. De ontkoppelingssnelheid is echter lager dan de verdunning met Noordzeewater, waardoor er

De vaargeul moet bevaarbaar en de haven bereikbaar blijven. Een cutterzuiger in actie (Foto: ANP).

geen meetbaar hogere concentraties aan opgeloste metalen worden aangetroffen. Het is nog niet duidelijk of dit een proces is dat ook met natuurlijke, niet verontreinigde, sedimenten onder dezelfde omstandigheden op treedt. Over het gedrag van organische micro-verontreinigingen in de baggerspecie die op zee wordt gedumpt bestaan nog zeer weinig gegevens.

Berging te land

Verder naar het Oosten neemt het aandeel van de rivieren in de afzettingen in de havens, en daarmee de vervuilingsgraad van de baggerspecie, toe. Ook in verband met de transportafstand wordt dit slib voornamelijk op land gestort.

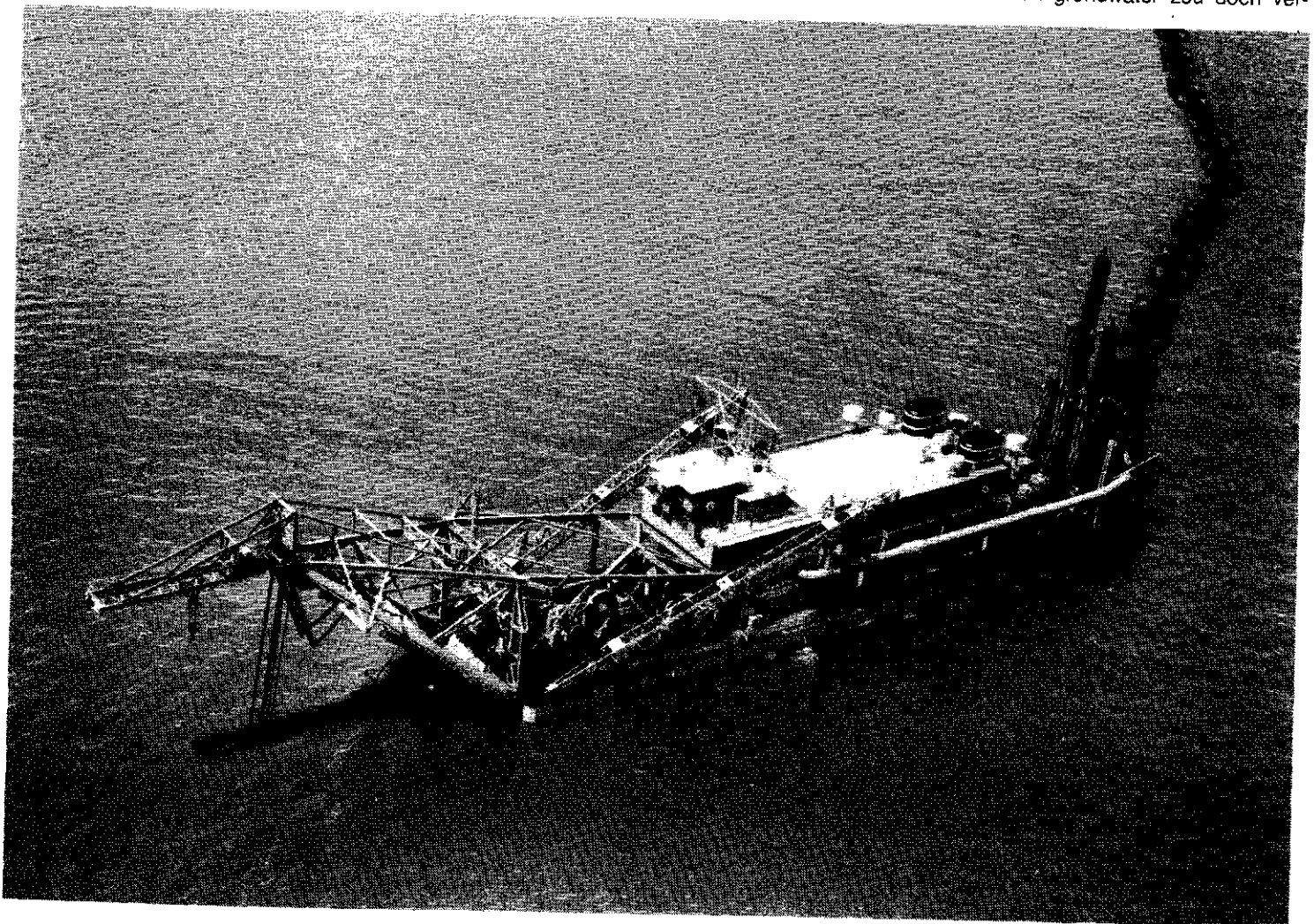
Bij berging van baggerspecie op land zijn twee belangrijke vragen:

- Wat betekenen de verontreinigingen in de baggerspecie voor de kwaliteit van het grondwater?
- Welke bestemmingsmogelijkheden heeft een met havenslib opgespoten stuk land? (woningbouw, industrie, landbouw, recreatiepark, enz.).

Over het gedrag van organische micro-verontreinigingen in de baggerspecie die op zee wordt gedumpt, bestaan nog zeer weinig gegevens.

Het gebruik van met baggerspecie opgespoten land als landbouwgrond zal verderop in dit artikel aan de orde komen. Het eerste aspect, dat van bedreiging van het grondwater, is bestu-

deerd in de Broekpolder. Deze polder, gelegen op twee kilometer afstand van de rivier nabij Vlaardingen en circa 350 hectare groot, is tussen 1959 en 1976 opgespoten met een zeven meter dikke laag baggerspecie. Vóór de opspuiting lag het peil van het ondiepe grondwater van de Broekpolder en omliggende polders ongeveer 2,5 meter beneden de zeespiegel. Doordat het ondiepe grondwater in de Broekpolder via het diepe grondwater in open verbinding staat met de rivier, welk peil gemiddeld op zeeniveau ligt, was er in de polder in deze situatie een kwel, dat wil zeggen een naar boven gerichte grondwaterstroming. Na de opspuiting ligt het grondwaterpeil ongeveer 3,5 meter boven de zeespiegel, hetgeen een naar beneden gericht transport van grondwater zou doen ver-



wachten. Voorlopig is van deze neerzijing nog geen sprake. Om dit te begrijpen is het noodzakelijk wat dieper op de opbouw van de bodemlagen in polders als de Broekpolder in te gaan. De oorspronkelijke ondergrond bestaat uit een ongeveer 15 meter dikke laag van slecht doorlatende en sterk samendrukbare klei en veen. Door deze laag vindt voornamelijk alleen verticaal transport van grondwater plaats. Daaronder ligt een 20 meter dikke laag van goed-waterdoorlatende zand en grind, waarin de grondwaterstroming horizontaal is. Het is deze laag die door de rivier wordt gevoed.

Inklinking

Het opbrengen van slib heeft ervoor gezorgd dat de slecht-waterdoorlatende laag onder het gewicht van de baggerspecie wordt samengedrukt. Dit proces van inklinking heeft tot gevolg dat grondwater uit de slecht-doorlatende laag aan de boven- en onderzijde wordt uitgeperst. Het proces houdt een neerwaarts gericht transport van water voorlopig tegen. Het regenwater dat op de Broekpolder valt zal alleen de sliblaag bereiken en naar de sloten afstromen. Berekeningen hebben aangetoond dat de inklinking een zeer langdurig proces is; in de orde van tientallen jaren. Eens zal het proces zijn beëindigd, en dan zal regenwater dat op de sliblaag valt door de slecht doorlatende laag naar het diepere grondwater in de goed doorlatende laag kunnen stromen, en vandaar via kwel het oppervlak van omringende polders kunnen bereiken.

Op een lokatie in de Broekpolder, waar sinds 1969 geen opspuiting met baggerspecie meer is uitgevoerd, zijn in 1977 grondwatermonsters uit de sliblaag geanalyseerd. De concentraties aan zware metalen bedragen gemiddeld $3 \mu\text{g/l}$ voor cadmium tot $50 \mu\text{g/l}$ voor arseen. De concentraties

aan pesticiden varieerden van beneden de bepalingsgrens ($0,05 \mu\text{g/l}$) voor onder andere DDT tot $0,7 \mu\text{g/l}$ voor isodrin. Ze liggen op eenzelfde niveau als in het poriënwater van de baggerspecie op de havenbodem, maar ze zijn hoger dan in het water van de Rijn, en veel hoger dan in het oorspronkelijke grondwater in de ondergrond van de polder.

In bladgroenten, granen en verschillende groenvoedergewassen zijn de cadmiumconcentraties ontoelaatbaar hoog.

Nalevering

Dat acht jaar na de opspuiting, ondanks de uitspoeling met neerslag, de concentraties op hetzelfde niveau liggen als in poriënwater van baggerspecie betekent dat er een nalevering vanuit de baggerspecie naar het water plaatsvindt. Indien wordt aangenomen dat slechts 0,5% van de in de baggerspecie voorkomende verontreinigingen kunnen worden nageleverd, zal het

naleveringsproces honderden tot duizenden jaren kunnen voortduren. Daarom is te verwachten dat ook nadat de inklinking van de ondergrond is beëindigd water met dezelfde samenstelling als gemeten in 1977 naar beneden zal stromen.

Stromend door de ondergrond zullen verontreinigingen als gevolg van andere milieumomstandigheden aan de grond kunnen adsorberen en/of precipiteren. Deze processen leiden er toe dat er of een verlaging van de concentraties in het neerzijgende water en/of een vertraging van het verontreinigingsfront optreedt.

Slechts het adsorptieproces is volledig in rekening gebracht. Deze berekeningen hebben uitgewezen dat metalen een paar honderd jaar een pesticiden duizenden jaren nodig hebben om, via het diepere grondwater, weer de oppervlakte te bereiken.

Agrarische aspecten

Bij het overwegen van een agrarisch gebruik van havenslibdeponiën op land, springen de gunstige eigenschappen in het oog.

Het zijn kalkrijke kleigronden met een hoog gehalte aan organische stof ('humus'), met een uitstekende bodemstructuur. Zij zijn daardoor geschikt voor de teelt van uiteenlopende akkerbouwgewassen, sierheesters en bomen. De besmetting met zware metalen, minerale olie en andere, persistente, organische verbindingen beperken echter de gebruiksmogelijkheden sterk. Het effect van deze toxische elementen en verbindingen op groei, gezondheid en samenstelling van plant, dier en consument wordt bepaald door de overdracht uit het bodemmilieu naar de biota.

Voor de metalen steekt het havenslib in dit opzicht gunstig af bij de meeste grondsoorten in ons land: door de hogere pH en concentraties aan organische stof en kleibestanddelen zijn de mobiliteit en de beschikbaarheid voor de plant sterk gereduceerd. Zinkconcentraties in de grond, bijvoorbeeld, waarbij op zandgrond vrijwel geen plantegroei meer mogelijk is, leveren op deze kalkrijke rivierklei geen groeiproblemen op. De zinkgehalten van de planten worden weliswaar ver-



Slib kan op weilanden worden gestort, maar schapen zijn gevoelig voor koper (Foto: RVD).

hoogd, maar niet tot verontrustende niveaus. Dit illustreert dat voor de beoordeling van de metaalgehalten in de bodem een grondige kennis vereist is van de bodemeigenschappen. Havenslib vertoont in vele eigenschappen een sterke gelijkenis met de gecontamineerde riviersedimenten waaruit de uiterwaarden en de aan de getijdenbewegingen blootgestelde delen van de Biesbosch zijn opgebouwd. Er kan dus gebruik worden gemaakt van de ervaringen met de contaminatie in deze gebieden.

Landbouwgewassen

Voor de teelt van landbouw- en andere gewassen op havenslib moet evenals dat voor grasland is gedaan, zorgvuldig worden overwogen of en in welke mate contaminanten worden opgenomen, en wat de effecten daarvan zijn voor de gezondheid van mens en dier. Directe schadelijke effecten op de groei van planten, die toegeschreven kunnen worden aan de hoge zware-metaalgehalten, zijn niet waargenomen. Wel zijn plaatselijk groei remmingen geobserveerd, die mogelijk veroorzaakt worden

door hoge concentraties van organische contaminanten. Daarnaast kan mangaangebrek een rol spelen, dat echter eenvoudig door bespuiting kan worden bestreden. De ophoping van zware metalen en van gechloreerde koolwaterstoffen in gewassen is bestudeerd, zowel in praktijk-situaties als onder gecontroleerde omstandigheden in de kas. In figuur 1 wordt voor het toxische metaal cadmium de relatieve opname door acht gewassen op havenslib getoond. Het vermogen om zware metalen op te hopen verschilt van gewas tot gewas. Voor de beoordeling van de gezondheidsrisico's zijn de werkelijke gehalten in de plantaardige producten belangrijk, evenals het aandeel ervan in het totale dieet. De waargenomen niveaus van de minder giftige metalen chroom, koper, nikkel en zink in de consumabele producten zijn ongevaarlijk. De giftiger elementen arseen, kwik en lood blijven nog onder de voorlopige (Duitse) grenswaarden. De cadmiumconcentraties echter naderen of overschrijden in meerdere gewassen de grenswaarden. In bladgroenten, granen en ver-

schillende groenvoedergewassen zijn de cadmiumconcentraties ontoelaatbaar hoog.

De niveaus van de gechloreerde koolwaterstoffen in de riviersedimenten zijn niet zodanig dat er ontoelaatbare concentraties in de gewassen optreden. In enkele oudere havenslibdeponiën zijn gehalten van bepaalde producten waargenomen, afkomstig van lozingen van een industrie in het havengebied. In aardappels en worteltjes, geteeld op deze percelen, zijn ontoelaatbaar hoge gehalten aan gechloreerde koolwaterstoffen waargenomen.

Weiland

De mogelijkheid om havenslibstorten te benutten als grasland is in de praktijk nog niet veel gebruikt. Toch kan dit, mits aan een aantal voorwaarden is voldaan. De situatie is, wat de zware-metalenbelasting betreft, goed te vergelijken met die op de uiterwaarden. Het rundvee krijgt dan de metalen binnen met het gras, het drinkwater en in de vorm van gronddeeltjes, waarbij de opname met gronddeeltjes en gras belangrijker is dan die met het drinken van verontreinigd rivier-

water. In vergelijking met de situatie in een niet-gecontamineerd weidegebied op dezelfde grondsoort neemt de zware-metalenbelasting van het dieet (gras + gronddeeltjes) toe van 200% (arseen, lood) via 390% (cadmium) tot 970% (kwik).

Bij onderzoek is gebleken dat de gehalten (aan zware metalen) in melk, vlees, lever, nier en hersens niet verhoogd zijn en dat er dus geen risico bestaat voor de gezondheid van consumenten van dierlijke producten van deze herkomst.

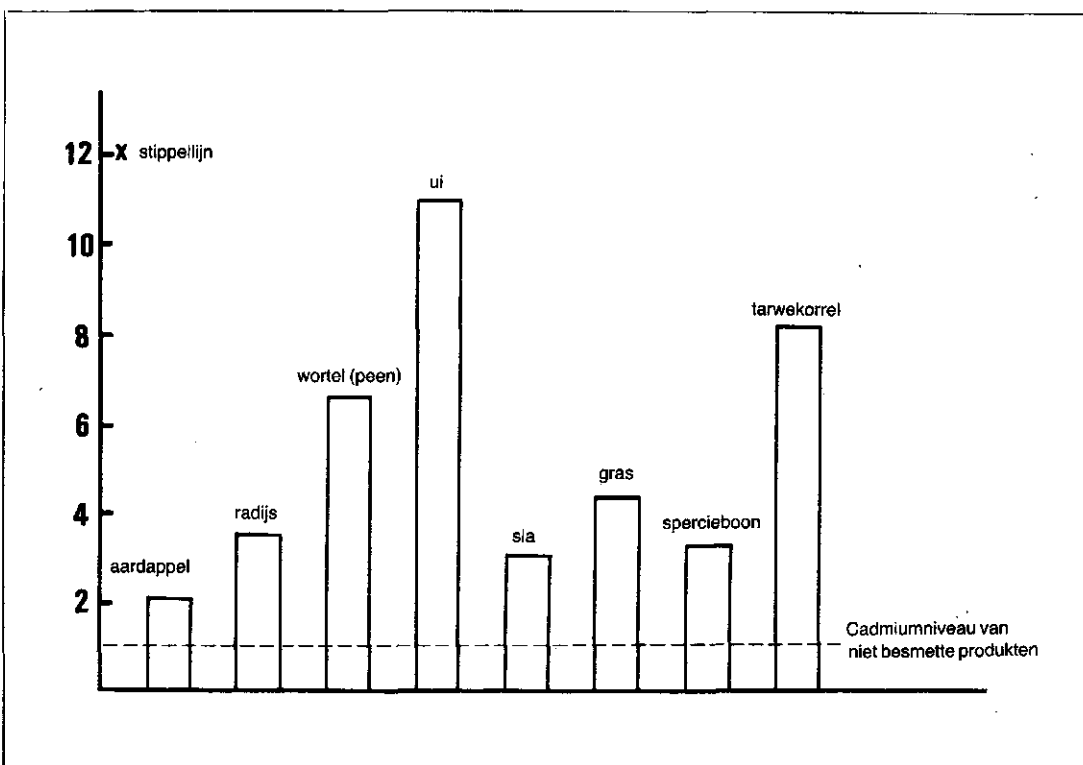
Bij onderzoek is gebleken dat de gehalten aan deze elementen in melk, vlees, lever, nier en hersens niet verhoogd zijn en dat er dus geen risico bestaat voor de gezondheid van consumenten van dierlijke producten van deze herkomst.

Deze conclusie heeft betrekking op rundvee, dat alleen in het weideseizoen in de uiterwaarden graast. Het is denkbaar dat voor andere diersoorten, zoals het voor koperovermaat zeer gevoelige schaap, deze conclusie niet juist is.

Het is dus niet waarschijnlijk dat grasland op havenslib zware-metaalproblemen voor rundvee zal opleveren. Wel zal nog zorgvuldig onderzocht moeten worden of er geen organische contaminanten in het havenslib aanwezig zijn, die tot te hoge concentraties in melk en organen aanleiding kunnen geven.

Recreatie

Met havenslib opgespoten terreinen zijn al jarenlang gebruikt voor de aanleg van parken, sportvelden en andere recreatiegebieden. In de Broekpolder is door de gemeente Rotterdam in



Figuur. Relatieve toename van het cadmiumgehalte van enkele gewassen op havenslib.

een beplantingsproef aange-
toond dat een verscheidenheid
van loofbomen en struiken rede-
lijk tot goed op sterk gecontami-
neerd havenslib kan worden ge-
kweekt. Risico's voor de fauna en
voor de volksgezondheid schuil-
en in het binnenkrijgen van
gronddeeltjes of in de consump-
tie van sterk gecontamineerde
plantedelen, waarbij de ingestie
van contaminanten groot is ten
opzichte van wat toelaatbaar
wordt geacht. De lagere en hoge-
re dieren verblijven constant in
het verontreinigde milieu, en
hebben daardoor meer kans om
schadelijke stoffen in hun li-
chaam op te hopen.

Gezien de problematiek rond de
berging van slib op het land en
het storten op de Noordzee wordt
momenteel intensief gezocht
naar alternatieve bergingsmoge-
lijkheden voor slib.

Aanleg natuurgebieden

In ons land is weinig ervaring op-

*De Biesbosch, uniek natuurgebied
maar tevens vervuild met metalen
(Foto: RVD).*

gedaan met de aanleg van na-
tuurgebieden met gebruik van
baggerspecie. In de Verenigde
Staten daarentegen wordt een
groot deel van het baggerslib ge-
deponeerd op afgelegen plaat-
sen langs rivieren of langs de
kust, waarna er zich een min of
meer natuurlijke moerasflora
ontwikkelt. In een uitgebreid on-
derzoekprogramma van het Wa-
terways Experiment Station te
Vicksburg (USA) worden de ef-
fecten bestudeerd van het ge-
contamineerde bodemmilieu op
samenstelling en kwaliteit van
flora en fauna. Een aantal bio-
toetsen is in ontwikkeling waar-
mee de geschiktheid van de be-
trokken baggerspecie voor deze
toepassing vooraf kan worden
veroordeeld.

In ons land is vrijwel geen ruimte
beschikbaar voor deze wijze van
baggerberging. Er zijn wel gebie-
den waar zich uitgestrekte na-
tuurlijke vegetaties hebben ont-
wikkeld op sterk gecontamineer-
de riviersedimenten. Delen van
de uiterwaarden van de grote ri-
vieren en van de Biesbosch zijn

hiervan bekende voorbeelden.
Weinigen realiseren zich dat het,
vooral vóór de afsluiting van het
Haringvliet, zo unieke natuurge-
bied in de Biesbosch tevens het
meest met zware metalen ver-
ontreinigde deel van de Delta is.
Klaarblijkelijk zijn drastische ge-
volgen voor flora en fauna uitge-
bleven. Wel is uit onderzoek ge-
bleken dat bijvoorbeeld de zwa-
re-metalengehalten van het riet
in de Biesbosch vele malen ho-
ger zijn dan die in niet belaste
gebieden. De gevolgen van deze
verhoogde zware-metalenbe-
lasting voor het ecosysteem op
de langere termijn zijn moeilijk te
schatten.

Diepe plassen

Een alternatieve mogelijkheid
die uitvoerig is onderzocht, is de
berging in diepe plassen. De
baggerspecie wordt in de vorm
van een slurry per pijpleiding in
het meer gebracht. De mond ligt
vlak boven de bodem, waardoor
een opwerveling en een vermen-
ging van de baggerspecie met
het oppervlaktewater wordt ver-
meden. De zeer waterhoudende

baggerspecie op de bodem van
het meer klinkt vrij snel, waarbij
verontreinigd poriënwater wordt
uitgedreven dat zich vermengt
met het oppervlaktewater van
het meer. De processen die de
gehalten aan verontreinigende
stoffen in het poriënwater bepa-
len zijn in een drietal grote veld-
experimenten onderzocht, waar-
bij tevens informatie werd verkre-
gen over de klinknelheid van de
baggerspecie. Met deze gege-
vens is een rekenmodel gemaakt
van het transport en de consoli-
datie van het slib zowel als van de
processen in een diepe plas om
de kwaliteit van het oppervlakte-
water tijdens de opvulling van het
meer te voorspellen. Hierbij
bleek dat de gehalten aan meta-
len en organische micro-veront-
reinigingen onder de normen ble-
ven. Het zuurstofgehalte van het
water zou tijdens de laatste sta-
dia van de opvulling echter laag
worden. Dit probleem kon door
middel van doorspoelen van het
meer worden opgelost.

**Weinigen realiseren zich
dat het vooral vóór de af-
sluiting van het Haring-
vliet zo unieke natuurge-
bied in de Biesbosch te-
vens het meest met zwa-
re metalen verontreinig-
de deel van de Delta is.**

Een alternatief dat momenteel
sterk in de belangstelling staat is
het zogenaamde 'slufterplan'.
Hierbij wordt een schiereiland
aangelegd voor de kust van
Oost-Voorne. Tussen het schier-
eiland en de kust zal zich door
aanslibbing vanuit de Noordzee
een 'sluftergebied' gaan ontwik-
kelen; vandaar de naam 'slufter-
plan'. Het schiereiland bestaat in
eerste instantie uit een ringdijk
waarbinnen vervolgens bagger-
specie kan worden geborgen.
Volgens de voorlopige plannen
kan op deze wijze de baggerspe-
cie van het totale Rotterdamse
havengebied over een periode
van 20-25 jaar worden geborgen.

