

Oorzaken en gevolgen van de aanwezigheid van zware metalen in het landelijk gebied

Bij ernstige verontreiniging van de bodem door zware metalen is vaak sprake van een beperkte omvang met een enkele, duidelijk aanwijsbare bron. Risico's voor de volksgezondheid maken dat sanering of gebruiksbeperking dan soms noodzakelijk zijn. Naast zulke puntbronnen is er sprake van vervuiling door diffuse bronnen: de gehalten zijn meestal veel lager, maar de oppervlaktes waar het om gaat zijn veel groter. Welke metaalgehalten treffen we aan in het landelijk gebied, en is er ook sprake van daadwerkelijke schade aan het ecosysteem?

Op basis van geïnterpoleerde waarnemingen blijkt dat -ondanks de betrekkelijk kleine oppervlaktes waar de streefwaarden worden overschreden- effecten op ecosystemen te verwachten zijn; deze verwachting wordt bevestigd door veldwaarnemingen. Om mogelijke beleidsmaatregelen te beoordelen is een inventarisatie van de belangrijkste diffuse bronnen gemaakt en berekend wat het effect van een verandering in belasting op het gehalte is. De resultaten laten zien dat de bodem slechts traag reageert op veranderingen in belasting: in de komende eeuw mag nog nauwelijks een verbetering van de huidige situatie worden verwacht.

Olivier Klepper, Rob Alkemade en
Hans van Grinsven

Over de auteurs



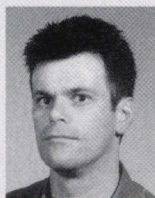
Dr. O. Klepper

is onderzoeker bij de afdeling Beleidsanalyse, modellering en integratie van het Laboratorium voor Ecotoxicologie van het RIVM.



Dr. ir. J.R.M. Alkemade

is als ecooloog werkzaam bij het Laboratorium voor Bodem en Grondwateronderzoek van het RIVM.

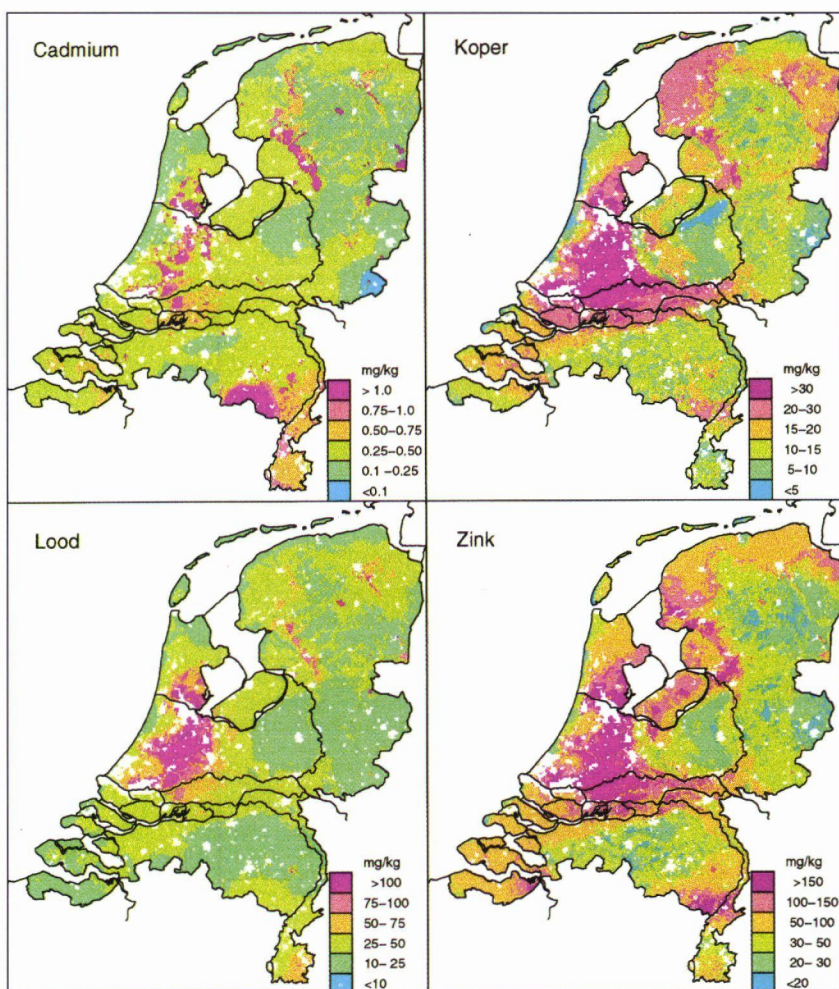


Dr. ir. J.J.M. van Grinsven

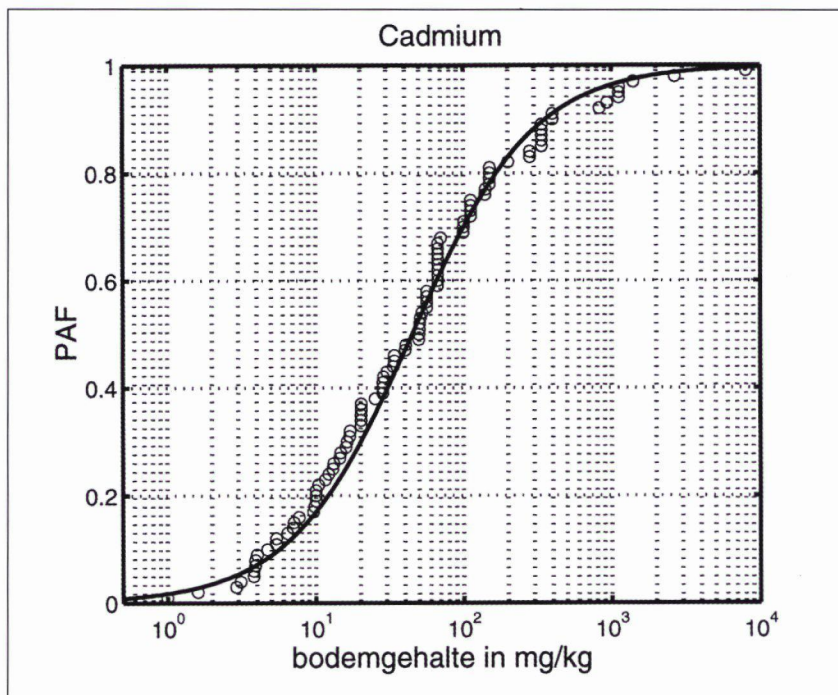
is hoofd van de afdeling Modellen en prognose van het Laboratorium voor Bodem en Grondwateronderzoek van het RIVM.

Huidige bodemgehalten

Een landelijk beeld van de actuele gehalten van cadmium, zink, koper en lood in de minerale bovengrond (gemiddeld per 500m x 500m, bovenste 5 cm voor bos, 10 cm voor grasland en 20 cm voor akkerland) is afgeleid uit een groot aantal waarnemingen in de periode 1980-1993 afkomstig van uiteenlopende bronnen (figuur 1). Beleidsdoelstellingen voor de bodemkwaliteit zijn geformuleerd in de vorm van streefwaarden. Voor zware metalen zijn deze gekozen op basis van de referentiewaarden bodemkwaliteit (90^e percentiel van gemeten concen-



Figuur 1: Metaalgehalten geïnterpoleerd op een schaal van 500m x 500m uit diverse sets waarnemingen¹.



Figuur 2: Literatuurwaarnemingen van drempelwaarden (geen-effect concentraties) voor cadmium van bodemorganismen, weergegeven als cumulatieve verdeling. Bij een bepaald gehalte in de bodem kunnen we de Potentieel Aangetaste Fractie (PAF) aflezen.

traties in "relatief onbelaste gebieden") en liggen in het algemeen boven de natuurlijke achtergrond. Rekening houdend met de onzekerheid van de opschaling van de waarnemingen overschrijft de gemiddelde concentratie in een 500m x 500m cel in het landelijk gebied de streefwaarde in 2-14% van het areaal in Nederland voor cadmium, in 2-7% voor koper, in 1-4% voor lood en in 3-9% voor zink¹. Voor cadmium en zink is de streefwaarde-overschrijding hoger in bos en natuur, voor koper en lood onder landbouw. Aangetekend moet worden dat overschrijding van de streefwaarde op basis van gemiddelde concentraties van vakken van 500m x 500m systematisch lagere schattingen oplevert dan berekend voor een kleiner oppervlak (bijv. perceel of monsterpunt).

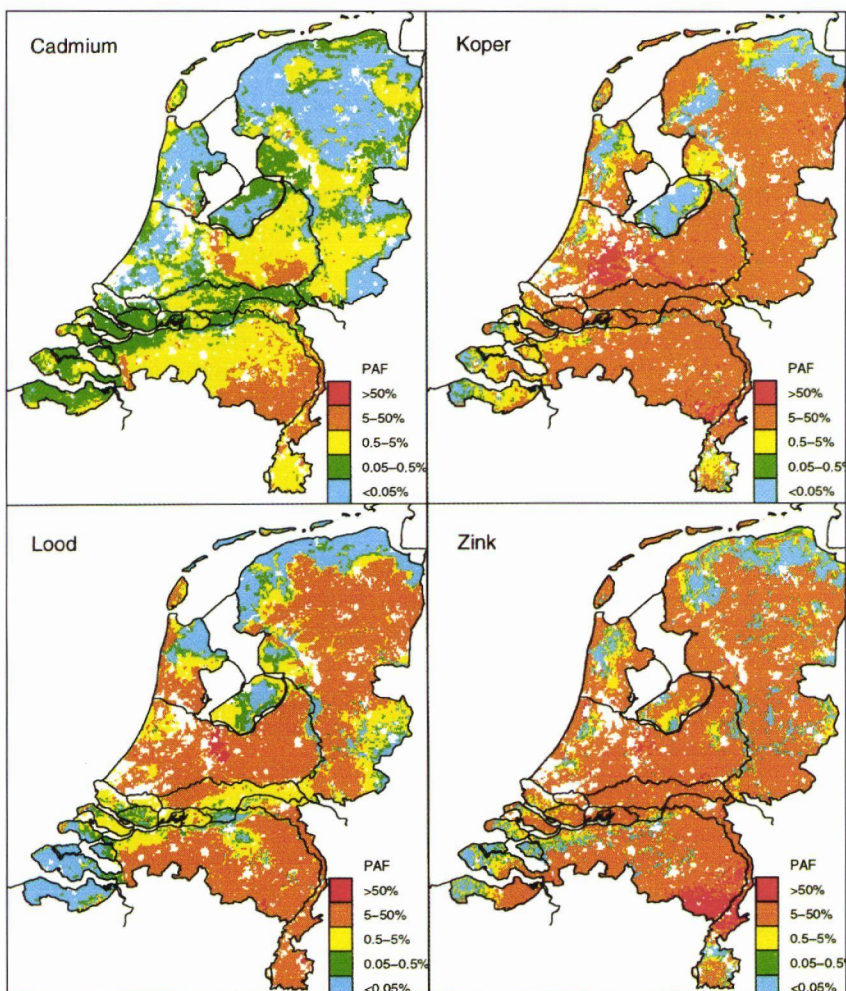
Berekende effecten op ecosystemen

In de literatuur is veel onderzoek gedaan naar de effecten van zware metalen op bodemorganismen; de resultaten worden uitgedrukt als een drempelwaarde, de zogenaamde NOEC. Dit is de "geen-effect concentratie", d.w.z. het hoogste metaalgehalte waarbij nog geen toxisch effect wordt waargenomen. Elk bodemorganisme heeft zijn specifieke drempelwaarde. Door een groot aantal van dergelijke drempelwaarden in oplopende volgorde te ordenen (figuur 2) kan voor elk bo-

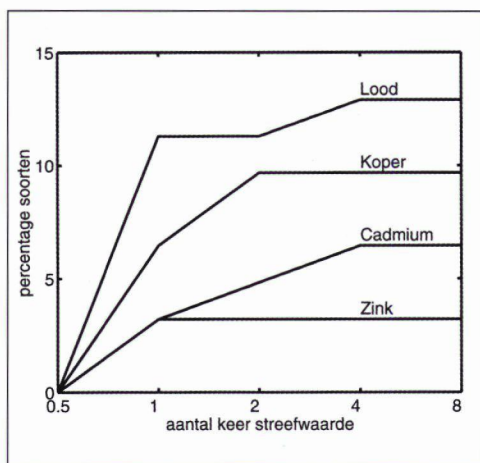
demgehalte de fractie soorten die zijn blootgesteld boven hun drempel-

waarde worden afgeleid; deze fractie noemen we de Potentieel Aangetaste Fractie (PAF).

Bij een vergelijking tussen toxiciteitsgegevens uit het laboratorium en gehalten in het veld moeten we rekening houden met specifieke verschillen tussen de twee situaties en daarvoor corrigeren². In het veld is een kleiner gedeelte van de totale metaalconcentratie beschikbaar doordat een belangrijk deel van het metaal immobiel is. Dit is een gevolg van relatief hoge toevoegingen van metalen in mobiele vorm in laboratoriumtests en van tijdeffecten: in het laboratorium worden de organismen blootgesteld enkele uren tot dagen nadat het metaal is toegevoegd, in het veld is deze periode veel langer en kan een deel van het metaal immobiel geworden zijn. Hier tegenover staat dat de Nederlandse bodems in het algemeen zuurder zijn (mediane pH_{KCl} 4.9) dan de testbodems in het lab (mediaan 6.8). Met een lage pH neemt de beschikbaarheid toe. Het netto effect van de lab-velddverschillen is dat de geschatte beschikbaarheid in het veld meest-



Figuur 3: Potentieel aangetaste fracties door 4 zware metalen.



Figuur 4: Het percentage nematoden met sterk verminderde kans op voorkomen (minder dan 50% van gemiddelde waarde) bij gehalten van zware metalen van 0,5, 1, 2, 4 en 8 maal de streefwaarde.

al hoger is dan in het laboratorium. Dit geldt met name voor de zandgronden in natuurgebieden waar een combinatie van lage pH en een laag organische stof- en kleigehalte leidt tot een relatief hoge beschikbaarheid.

Uit figuur 3 blijkt dat een aanzienlijk deel van de bodemorganismen is blootgesteld aan metaalgehalten boven hun toxische drempelwaarde. De hoogste PAF's worden berekend voor zink en koper, de PAF voor lood is in het algemeen lager en voor cadmium worden in het algemeen betrekkelijk lage PAF waarden gevonden.

Veldwaarnemingen aan bodemorganismen

De PAF is gebaseerd op een extrapolatie van laboratoriumexperimenten, en geeft bovendien alleen maar aan welk deel van de soorten is blootgesteld boven zijn toxische drempel. Het is niet direct duidelijk in hoeverre de overschrijding van deze drempel ook leidt tot aantasting of zelfs verdwijnen van de populatie in het veld. Daarom worden de effecten van zware metalen op bodemorganismen ook rechtstreeks in het veld waargenomen. Het probleem hierbij is dat we alleen uitspraken kunnen doen over gebieden waar representatief bemonsterd is, dat slechts van een beperkte groep organismen voldoende gegevens kunnen worden verzameld en dat eventueel gevonden relaties niet een oorzakelijk effect van belasting met zware metalen hoeven te zijn, maar dat ook andere factoren een rol kunnen spelen.

In het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit worden gedurende 5 jaar ca. 200 locaties (bedrijven of percelen)

Tabel 2: Veronderstelde afname (in procenten) van de bodembelasting in 2020 ten opzichte van 1995; de belasting gedurende 2020-2100 blijft constant op dit niveau.

| | depositie | kunstmest en dierlijke mest | | |
|---------|-----------|-----------------------------|------|-----------|
| | | grasland | mais | akkerbouw |
| cadmium | 26% | 57% | 37% | 64% |
| zink | 17% | 32% | 23% | 42% |

bezoekt. Tot op heden zijn 112 locaties volledig uitgewerkt. Van deze locaties zijn de gehalten van zware metalen gemeten en is de samenstelling van microfauna (nematoden) bepaald. De locaties zijn goed verdeeld over Nederland en beslaan: veehouderij op zandgrond, bossen op zandgrond en akkerbouw op zandgrond (ca. 60% van het grondgebruik in Nederland). De nematodensamenstelling is bepaald aan de hand van een goed gemiddeld bodemonmonster afkomstig van het perceel waar ook de zware metalen zijn bepaald.

Een relatie is gelegd tussen het al dan niet voorkomen van de verschillende soorten nematoden en de gemeten gehalten van zware metalen zink, koper, lood en cadmium. In de statistische analyses zijn tevens algemene bodemkenmerken opgenomen (pH, lutum, organische stof). Soortresponsies werden berekend met behulp van multi-pele logistische regressie: hierbij wordt de kans op voorkomen van de afzonderlijke soorten beschreven als functie van de gehalten aan zware metalen en andere bodemkenmerken. Voor 22 van de 62 gevonden soorten wordt de kans op voorkomen negatief beïnvloed door één of meer metalen. Door de gehalten van één van de zware metalen te laten va-

riëren en alle andere waarden gelijk te houden kan worden bepaald welk percentage van de soorten hinder ondervindt van dat metaal. Figuur 4 geeft het resultaat van deze berekeningen. Met name lood heeft een negatief effect op de soortensamenstelling. Bij de streefwaarde wordt 11% van het aantal soorten sterk negatief beïnvloed.

Geconcludeerd kan worden dat er in het veld duidelijke effecten waarneembaar zijn van zware metalen op het voorkomen van soorten nematoden. Zelfs bij de streefwaarden hebben sommige soorten waarneembaar minder kans op voorkomen dan in schone situaties. Een verminderde "kans op voorkomen" zal pas optreden als de toxische drempelwaarde aanzienlijk overschreden is, dus bij vrij hoge PAF-waarden. Dit bevestigt het potentiële beeld in figuur 3: zware metalen vormen in een groot deel van Nederland een probleem voor de bodemorganismen.

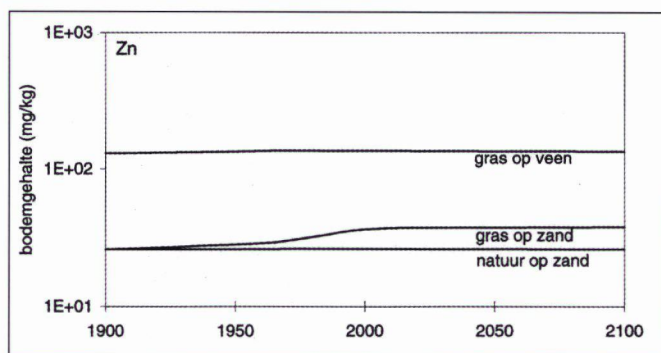
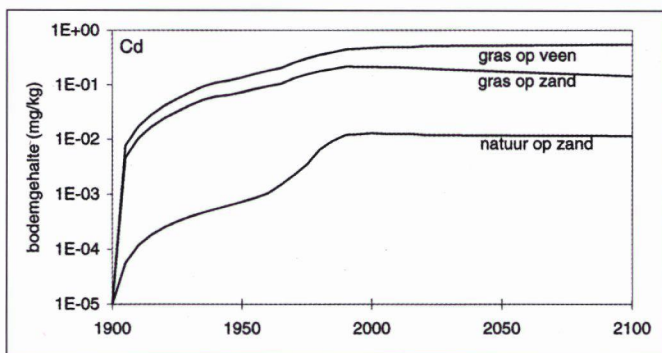
Scenario-analyse van diffuse bronnen van zware metalen

Van de belangrijkste diffuse bronnen van zware metalen (tabel 1) zijn voor de gemiddelde bodemkwaliteit in het landelijk gebied vooral atmos-

Tabel 1: Bodembelasting van Nederland in ton per jaar van cadmium, zink, koper en lood uit diffuse bronnen in 1990.

| | cadmium | zink | koper | lood |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| atmosferische depositie | 3.5 | 410 | 16 | 150 |
| dierlijke mest | 4.4 | 1426 | 797 | 57 |
| kunstmest+kalk | 7.2* | 263 | 128 | 32 |
| baggerspecie | 2.8 | 532 | 36 | 304 |
| corrosie metaalbouwwerken | 0.6 | 2000 | 1 | 35 |
| jachtsport | | | | 200** |
| overig | 0.7 | 342 | 126 | 45 |
| Totaal | 19.0 | 4973 | 1104 | 822 |

* na 1990 nam de cadmiumbelasting uit kunstmest af tot 2 ton in 1996
 ** gebruik van lood in de jacht is in 1993 verboden



Figuur 5: Door SOACAS model berekende bodemgehalten op verschillende bodem/landgebruikscombinaties. Na 1995 is een sterke reductie in input verondersteld.

ferische depositie, dierlijke mest en kunstmest van belang. Voor scenarioberekeningen zijn andere bronnen niet beschouwd omdat ze betrekking hebben op een beperkt deel van het landelijk gebied.

De huidige gehalten van zware metalen zijn de resultante van de natuurlijke achtergrondgehalten, de cumulatieve bodembelasting in het verleden en uitspoeling. Voor de voorspelling van de gehalten van cadmium en zink met het model SOACAS is de periode 1900-2100 beschouwd. De periode 1900-1990 werd gebruikt om de validiteit van het voorspellend model te toetsen aan het waarnemingsmateriaal. De modelresultaten blijken hier in het algemeen goed mee overeen te komen: de berekeningen liggen binnen het betrouwbaarheidsinterval van de waarnemingen. Toch onderschat het model de concentraties in het traject boven de streefwaarde, waarschijnlijk als gevolg van de ruimtelijk middeling van de bodembelasting en bodemeigenschappen, zodat extreme lokale situaties minder goed gereproduceerd worden.

Het model is gebruikt om de gevolgen van een sterke afname in de bodembelasting door zink en cadmium door te rekenen (tabel 2). Verondersteld is een sterke afname van het gebruik van fosfaatkunstmest (80%) en een afname van het gebruik van dierlijke mest (ongeveer 30%).

De gevolgen voor de zink en cadmiumgehalten zijn echter betrekkelijk gering (figuur 5): cadmium gehalten nemen aanvankelijk nog toe om daarna te stabiliseren en iets te dalen; zinkgehalten blijven nog langzaam stijgen. De respons van de bodemkwaliteit ook voor deze twee relatief mobiele metalen op de vrij drastische reductie van de bodembelasting is traag. De gevolgen van historische

belasting van zware metalen op het ecosysteem zullen dan ook nog tot in de verre toekomst merkbaar zijn.

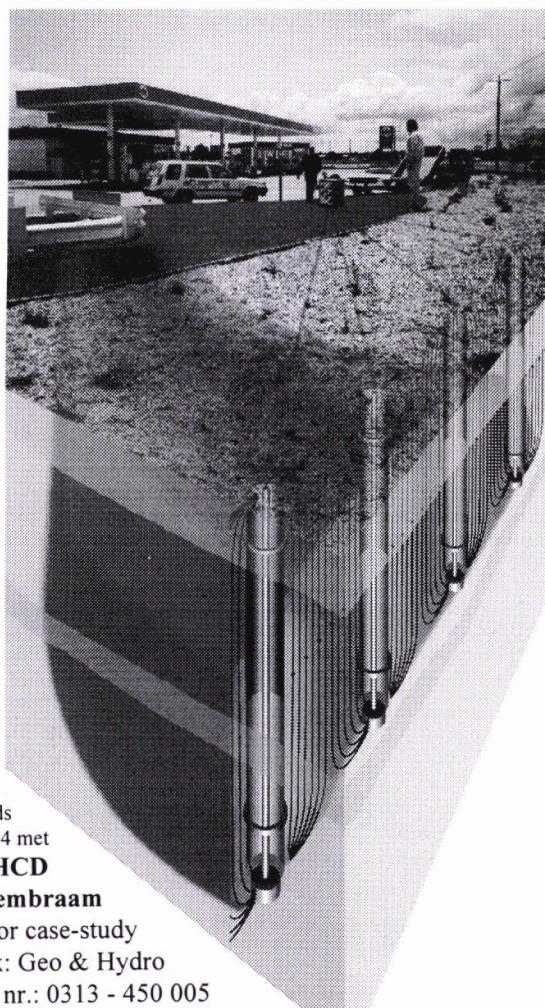
Verantwoording

Onze dank gaat uit naar Mariëtte van Esbroek, Kas Makaske, Dik van de Meent, Ton Schouten, Aldrik Tiktak en Harald Vissenberg, die belangrijke bijdragen hebben geleverd aan de totstandkoming van dit artikel.

Literatuur

- 1 Tiktak, A., J.R.M. Alkemade, J.J.M. van Grinsven en G.B. Makaske, 1997 Modelling cadmium accumulation at a regional scale in The Netherlands. Nutrient cycling in agroecosystems (in press).
- 2 Klepper, O en D. van de Meent, 1997 Mapping the Potentially Affected Fraction (PAF) of species as an indicator of generic toxic stress. RIVM rapport 607504001, Bilthoven.
- 3 Lijzen, J.P.A. en A. Ekelenkamp, 1995 Bronnen van diffuse bodembelasting. RIVM Rapport 950011007, Bilthoven.

Geo & Hydro - BIOSCHERMEN



sinds 1994 met
GHCD
Membraam
voor case-study
fax: Geo & Hydro
op nr.: 0313 - 450 005