

Bodem en grondwaterverontreiniging door vast afval

Het milieubeleid omtrent bodemverontreiniging steunt op kwaliteitscriteria opgesteld voor individuele chemische kontaminanten. Alhoewel limietwaarden worden gekozen op basis van de giftigheid van de betrokken stoffen t.o.v. biota, steunt de feitelijke beoordeling van gecontamineerde bodems exclusief op chemische analyses.

Dergelijke risicobenadering is onvolledig en zwak; het is immers onbegonnen werk te pogen kwaliteitscriteria uit te werken voor de duizenden verschillende kontaminanten die in de bodem kunnen terechtkomen.

Het routinematig chemisch onderzoek van bodemverontreiniging wordt bijgevolg 'de facto' beperkt tot het (kleine) aantal individuele stoffen waarvoor kwaliteitscriteria bestaan, wat een vertekend beeld geeft van de mogelijke risico's.

Ecotoxicologische evaluaties daarentegen geven een globaal beeld van de totale impact op biota, van alle kontaminanten samen, elk in hun respectievelijke concentraties.

Dit artikel beschrijft de rationale van een biologische benadering van bodem- en grondwaterverontreiniging door middel van toxiciteitstesten, en bespreekt de voordelen en mogelijkheden van een nieuwe generatie kosten-effektieve microbiotesten t.o.v. konventionele bioassays.

Guido Persoone, Colin Janssen en Wim De Coen

De hoofddoelstelling van het Nederlands milieubeleid is 'het instandhouden of herstellen van het draagvermogen van het milieu ten behoeve van een duurzame ontwikkeling'¹. Een 'effektgericht' beleid moet derhalve streven naar bescherming van het milieu t.o.v. elke vorm van contaminatie die negatieve gevolgen zou kunnen opleveren voor de mens en/of de biologische componenten van de ecosystemen.

In Nederland worden hiervoor, voor individuele kontaminanten, op basis van extrapolatiemodellen geba-

seerd op ecotoxicologische data, maximale toelaatbare concentraties vooropgesteld, evenals verwaarloosbare risiconiveaus die arbitrair 1% van het maximaal toelaatbare risiconiveaus (MTR) mogen bedragen.

In de vernieuwde en geïntegreerde milieuwetgeving voor Vlaanderen wordt eveneens gebruik gemaakt van richt-, grens- en streefwaarden; bij overschrijden van de richtwaarden wordt de exploitant verplicht de gekontamineerde bodem te saneren².

Aangezien voor bodemorganismen weinig toxiciteitsgegevens beschikbaar zijn, wordt voor het opstellen van kwaliteitscriteria (bij gebrek aan beter) beroep gedaan op toxiciteitsgegevens afkomstig van aquatische organismen. Hierbij wordt uitgegaan van de drie volgende hypothesen¹:

- bodemorganismen en waterorganismen hebben ongeveer dezelfde gevoeligheid t.o.v. toxicanten
- de toxiciteit van chemicaliën in de bodem is hoofdzakelijk te wijten aan de blootstelling van de bodemorganismen aan het poriënwater
- concentraties van de chemicaliën in bodem, poriënwater en organismen zijn in thermodynamisch evenwicht en kunnen hierdoor m.b.v. evenwichtspartiticoëfficiënten berekend worden.

Ofschoon het vastleggen van kwaliteitscriteria op de hierboven vermelde manier in theorie bescherming garandeert van de bodembiota t.o.v. individuele pollutanten, blijkt deze benadering in de praktijk heel wat tekortkomingen te vertonen.

In de eerste plaats is het onbegonnen werk te pogen kwaliteitsobjectieven op te stellen (op basis van experimentele ecotoxicologische NOEC bepalingen) voor de duizenden individuele kontaminanten die in theorie in de bodem kunnen terechtkomen.

Het is evenmin (economisch) haalbaar op een routinematige manier chemische analyses uit te voeren op alle potentiële pollutanten, zelfs indien voor elke stof een kwaliteitscriterium zou voorhanden zijn.

Een risicobeoordeling van bodemverontreiniging louter op basis van de hierboven vermelde chemische kwaliteitscriteria is een tamelijk 'manke' benadering van het probleem, aangezien zij beperkt is tot deze chemicaliën waarvoor een streefwaarde beschikbaar is. Zij komt immers over als een struisvogelpolitiek: 'wat men niet ziet' (niet

Over de auteurs



Prof. dr. G. Persoone

is hoogleraar aan de Universiteit Gent en Directeur van het Laboratorium voor Biologisch Onderzoek van Waterverontreiniging.



Dr. C. Janssen

is wetenschappelijk medewerker in bovenvermeld Laboratorium en coördinator van de research op het vlak van milieutoxicologie.



Drs. W. De Coen

is wetenschappelijk medewerker in bovenvermeld Laboratorium en specialiseert zich in de ontwikkeling van nieuwe microbiotesten.

onderzoekt) is er niet (is niet aanwezig)', en kan derhalve geen gevaar opleveren...

Dergelijke risicobenadering houdt daarenboven geen rekening met de interactiemogelijkheden tussen contaminanten (synergisme, antagonisme), noch met hun 'biobeschikbaarheid', tzt. hun mogelijkheid om een toxisch effect uit te oefenen.

Ecologische evaluatie van de potentiële impact van bodemverontreiniging

De beperkingen van een exclusieve chemische benadering van de gevolgen van bodemkontaminatie voor biotische gemeenschappen, hebben de aandacht gevestigd op de noodzaak van een 'biologische' (ecotoxicologische) aanpak voor de 'globale' risikobeoordeling van alle polluanten samen.

Met toxiciteitstesten wordt immers een kwantitatieve evaluatie gemaakt van de gecombineerde impact van alle toxikanten die biobeschikbaar zijn.

Aangezien de toxische effecten van chemische stoffen in de eerste plaats 'soort'specifiek zijn (verschillende soorten organismen hebben een verschillende gevoeligheid t.o.v. dezelfde chemische stof), moet voor een ecologisch realistische inschatting van de gevaren van bodemkontaminatie in principe een 'batterij' testen ingeschakeld worden. Deze batterij moet vertegenwoordigers omvatten van de verschillende trofische niveaus van de ecosystemen: producenten (planten), verbruikers (dieren) en afbrekers (bacteriën en schimmels).

Voor een ecotoxicologische evaluatie van een bodem of van vast afval worden in de eerste plaats 'kontakt' testen ingeschakeld. Hierbij worden de proeforganismen gedurende een bepaalde periode aan de gekontamineerde bodem of afval blootgesteld, waarna de effecten op overleving, groei of reproductie worden bepaald. Voorbeelden van dergelijke testen zijn: de groeitest met planten en de overlevingstest met aardwormen. Voor het bepalen van toxische effecten op afbrekers wordt meestal gebruik gemaakt van bodem-respiratie testen.

De bepaling van de giftigheid van 'mobiele' bodemcontaminanten die tevens door afvloeiing of doorsijpeling het aquatisch milieu bedreigen, gebeurt aan de hand van 'aquatische'

toxiciteitstesten op eluaten of percolaten. Deze aquatische toetsen worden thans hoofdzakelijk uitgevoerd met ééncellige wieren, watervlooien en vissen, volgens standaardmethodes voorgeschreven door nationale en/of internationale organisaties zoals de Europese Unie (EU), de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO) of de Internationale Organisatie voor Standaardisatie (ISO). Het merendeel van deze bioassays betreft akute testen die slechts de impact van polluanten detecteren na relatief korte blootstellingsperiodes (enkele dagen).

Ofschoon dergelijke biologische beoordeling, in vergelijking met een zuiver chemische benadering a priori een veel realistischer aanpak is voor de schatting van het gevaar van bodemverontreiniging, wordt zij in de praktijk tot op heden maar in zeer beperkte mate toegepast.

Redenen zijn de hoge kosten en de gespecialiseerde kennis inherent aan het kweken van proeforganismen³.

Mikrobiotesten voor toxiciteitscreening van verontreinigde sites

Als gevolg van de biologische en technische handicaps van 'konventionele' toxiciteitstesten, evenals de hoge kosten inherent aan het kontinu kweken van de proeforganismen, wordt sinds enkele jaren intensief gezocht naar alternatieven om op een routinematige manier de toxiciteit van afvalstoffen en/of van gekontamineerde industriële sites te detecteren en kwantificeren.

In het Laboratorium voor Biologisch Onderzoek van Waterverontreiniging (LABRAP) aan de Universiteit van Gent in België, worden in dit verband nieuwe microbiotesten ontworpen, die in tegenstelling tot konventionele ecotoxicologische toetsen, onafhankelijk zijn van de continu kweek en/of onderhoud van stocks levende proeforganismen⁴.

Het basisconcept van deze microbiotesten (Toxkits genoemd) is het gebruik van 'ruststadia' van geselecteerde aquatische biota die (zoals zaden van planten) voor lange tijd kunnen gestockeerd worden en tot ontluiking worden gebracht op het ogenblik dat men de toxiciteitstest wil uitvoeren.

In de loop van de laatste jaren werden door LABRAP reeds enkele Toxkits ontwikkeld met schaal- en raderdiertjes als proeforganismen, voor

concentratie-effect bepalingen op zowel zuivere chemicaliën als op vaste en vloeibare afvalstoffen, gekontamineerde bodems en waterbodems. De (geminiaturizeerde) Toxkit testen waarvan reeds enkele gecommercialiseerd werden, zijn niet alleen zeer gebruiksvriendelijk en vergen geen gespecialiseerde apparatuur, maar de kosten van aankoop en van uitvoering bedragen minder dan één tiende van deze van 'konventionele' bioassays.

Toepassing van mikrobiotesten voor biomonitoring van aquatische en terrestrische ecosystemen

De bruikbaarheid van de eerste Toxkittesten voor routinematige toxiciteitscreening, werd geëvalueerd op 350 monsters afkomstig van afvalstorten, peilputwaters, slib van waterzuiveringsstations, waterbodems en industriële effluënten. Al dan niet na uitloging of poriënwaterextractie werden de monsters onderzocht op hun akute toxiciteit m.b.v. een bacteriële test (de Microtox), een test met raderdiertjes (Rotokit F test) en een test met een schaaldiertje (Strep-toxkit/Thamnotoxkit F test). Tevens werd op 25% van de monsters (gezien de veel hogere kosten), bioassays uitgevoerd met watervlooien (*Daphnia magna*). Tenslotte werd van een tiental stalen vast afval de toxiciteit op aardwormen bepaald, met het oog op evaluatie van de predictieve waarde van de (snelle) aquatische mikrobiotesten, t.o.v. van de (14 dagen durende) konventionele 'kontakt' test met een bodemorganisme.

Op alle 350 stalen werd uitgebreid chemisch onderzoek verricht teneinde '(chemische) oorzaak - (toxicologisch) gevolg' relaties te leggen.

Toxiciteitscreening van afvalstorten en verontreinigde industriële sites

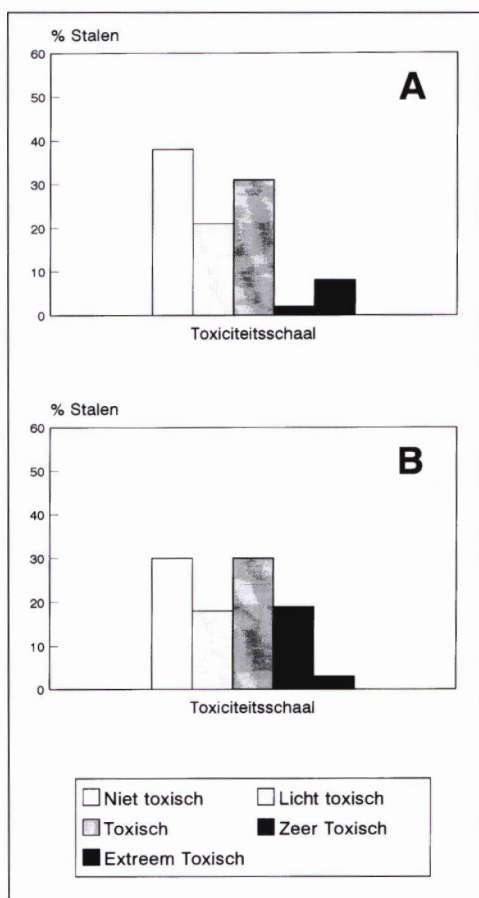
In het kader van voorvermelde monitoringstudie werden voor de evaluatie van de toxiciteit van 'vast' afval 24 afvalstorten en industriële sites bemonsterd, verspreid over Vlaanderen. In totaal werden 78 stalen vast afval en/of gekontamineerde grond, evenals 84 peilputwaters onderzocht op hun akute giftigheid voor biota.

De toxiciteit van de 'vaste' monsters werd bepaald op een eluaat, verkregen door één volume monster

te mengen met 4 volumes (artificieel) regenwater, gedurende een periode van 18 uren.

De twee 'konventionele' toxiciteitstesten (aardworm en watervlo) werden uitgevoerd volgens de OESO procedure terwijl voor de microbiotesten de 'Standard Operational Procedure' van deze bioassays gevolgd werd. LC50 en EC50 waarden werden berekend, zijnde de verdunning van het staal die 50% mortaliteit of effect veroorzaakt bij de proeforganismen tijdens de betrokken blootstellingsperiode (naargelang het type toxiciteitstest van 30 minuten voor de test op bacteriën tot 14 dagen voor de aardwormtest).

Bij de interpretatie van de resultaten werden alle mediane toxiciteitswaarden omgerekend naar 'toxische eenheden (TU)' zijnde de reciproke waarde van de LC50 of EC50, uitgedrukt in percent. Eén toxische eenheid betekent dat 50% mortaliteit of effect optreedt in het niet verdunde staal; 10 TU's geeft weer dat de



Figuur 1: Procentuele indeling van eluaten van vast afval en gekontamineerde bodems (A), en van peilputwaters (B) in Vlaanderen, volgens hun graad van akute toxiciteit (gegevens uit een EEG-ACE studie uitgevoerd door het Laboratorium voor Biologisch Onderzoek van Waterverontreiniging aan de Universiteit Gent in België).

Tabel 1: Korrelatie tussen de akute toxiciteit en de chemische samenstelling van eluaten van vast afval en gekontamineerde bodems, en van peilputwaters in Vlaanderen (gegevens uit een EEG-ACE studie uitgevoerd door het Laboratorium voor Biologisch Onderzoek van Waterverontreiniging aan de Universiteit Gent in België).

Type staal	graad van akute toxiciteit	totaal	AANTAL STALEN	
			positieve korrelatie	geen korrelatie
eluaten van vaste afval	extreem toxisch	6	6	0
	zeer toxisch	2	2	0
peilputwaters	extreem toxisch	4	2	2
	zeer toxisch	15	7	8

L(E)C50 bij een tienvoudige verdunning van het monster ligt, enz...

Door het ontbreken van een schaal voor de beoordeling van de akute toxiciteit van de onderzochte monsters werd de volgende logaritmi-sche klassificatieschaal bedacht:

- **niet toxisch** wanneer geen toxische effecten met geen enkele van de uitgevoerde bioassays;
- **licht toxisch** met ten minste één toxiciteitstoets een (licht) acuut effect (<50% in het onverdunde eluaat of grondwater); $Tu < 1$;
- **toxisch** het aantal TU's met één of meerdere testsoorten lag 1 en 10;
- **zeer toxisch** aantal TU's tussen 10 en 100;
- **extreem toxisch** akute toxiciteit hoger dan 100 TU's bij één of meerdere van de uitgevoerde testen.

Omgerekend naar percolatie van regenwater door een bodem of afvalstort komt deze schaal overeen met doorsijpeling van de volgende volumes: 'toxisch' betekent dat 50% van de blootgestelde populatie proeforganismen acuut (lethaal of sublethaal) geaffecteerd wordt door blootstelling aan 4 liter (1 TU) tot 40 liter (10 TU) regenwater dat percoleerde door 1 dm³ bodem of afval; 'zeer toxisch' impliceert 50% effect bij percolatie van minstens 40 liter tot 400 liter regenwater doorheen 1 dm³ en 'extreem toxisch' duidt aan dat 50% van de proeforganismen sterven of een acuut effect vertonen bij blootstelling aan een percolaat van minstens 400 liter regenwater doorheen 1 dm³.

Deze toxiciteitschaal had alleen als doel een arbitraire klassifikatie mogelijk te maken van de onderzochte plaatsen, voor lokalisatie van de sites waaraan het meest dringend aandacht moet worden aan besteed.

De ecotoxicologische bevindingen voor de afvalstorten en de peilputwaters (Figuur 1) tonen aan dat 40-50% van het onderzochte afval of peilputwaters zodanig verontreinigd waren dat 50 % van de populatie proeforganismen (van één of meerdere bioassays) afsterven of akute effecten vertonen, na blootstelling aan een eluaat (als simulatie van percolatie) of aan het grondwater onder de betrokken afvalstorten.

Zowel voor de eluaten van vaste afval/bodem als voor de peilputwaters blijkt dat de vastgestelde toxiciteit bij enkele extreme gevallen zelfs meer dan 1000 TU's was, en op één bepaalde site zelfs de 10.000 TU's overschreed ! De giftigheid van het peilputwater is daar dermate hoog dat bij toevoegen van 0,1 ml ervan aan één liter (niet verontreinigd) water, 50% van de biota afsterven (of ernstig geaffecteerd worden) na een relatief korte blootstelling.

Naast deze resultaten kwam tevens een aantal andere interessante bevindingen aan het licht zoals :

- *geen enkele van de testspecies bleek de 'meest gevoelige' te zijn in alle gevallen; dit bevestigt eens te meer de noodzaak aan een 'batterij' van bioassays voor een ecologisch realistische risico-beoordeling;*
- *de resultaten van de aquatische toxiciteitstesten met eluaten bleken op slechts twee uitzonderingen na, tot dezelfde toxiciteitsklasse te behoren als deze verkregen met de aardwormtest op de vaste bodem of afvalfractie;*
- *de batterij nieuwe microbiotesten is even gevoelig voor detectie en kwantificering van akute giftigheid van afval/bodem, als de konventionele (maar aanmerkelijk duurder) bioassays met watervlooiën en/of aardwormen;*

- *het vastleggen van 'oorzaak-gevolg' relaties tussen de graad van chemische kontaminatie en de toxiciteit van de onderzochte monsters was slechts in een beperkt aantal gevallen mogelijk.*

Tabel 1 vat de korrelaties samen voor de gevallen van 'extreme toxiciteit' en 'zeer hoge toxiciteit'. Voor slechts de helft van de extreem of zeer toxische peilputwaters kon de mogelijk chemische oorzaak van de akute effecten worden achterhaald. In de eerste plaats is dit te wijten aan de beperktheid van de chemische analyses, maar ook aan de moeilijkheid om toxische effecten te kwantificeren uitgaande van een set chemische gegevens. Omgekeerd bleek dat bepaalde monsters, volgens de vastgestelde graad van 'chemische kontaminatie' in principe sterk giftig hadden moeten zijn voor de aquatische biota, maar met de uitgevoerde toxiciteitstesten geen effecten vertoonden.

De voor de hand liggende verklaring is dat de betrokken verontreinigingen niet 'biobeschikbaar' waren en derhalve geen toxische werking uitoefenden.

Slotbeschouwing

Het ligt buiten de doelstelling van dit artikel de resultaten van de uitgebreide EEG-studie (waarvan het eindrapport ettelijke honderden bladzijden beslaat) in detail te bespreken.

De betrokken studie heeft nochtans aangetoond dat thans nieuwe (biologische) technieken beschikbaar zijn om een initiële inschatting te maken van de gevaren van bodemkontaminatie voor biota. De nieuwe microbiotesten hebben daarbij het voordeel dat zij aanmerkelijk goedkoper en gebruiksvriendelijker zijn dan 'konventionele' bioassays.

Het moet echter duidelijk zijn dat, om een ecologisch verantwoord beeld te verkrijgen van de milieurisico's, de batterij microbiotesten die thans beschikbaar is, moet aangevuld worden met testsoorten van andere belangrijke fylogenetische groepen.

Regulatie en normering van verontreiniging die tot op heden vooral steunen op 'limietwaarden' voor individuele kontaminanten, moet in het licht van de beperkingen en tekortkomingen van 'exclusief' chemische analyses, zoals hierboven be-
wezen, dringend worden herzien,

en aangevuld met biologische criteria. De toepassing op grote schaal van een wetgeving op bodemverontreiniging, die eveneens toxicologische evaluatiecriteria inhoudt, wordt thans economisch haalbaar door de opkomst van een nieuwe generatie kosten-effektieve microbiotesten.

Literatuurlijst

1. Risicobeleid als basis voor normstelling in Nederland.

Bodem 1: 9-13. Guinée, E., P. van der Zandt en K. van Leeuwen, 1993.

2. Voorontwerp decreet bodemsanering.

Bodem 1: 35. Huysentruyt, R., 1994.

3. Routine aquatic toxicity testing: some problems and new approaches.

In 'Biological Indicators of Environmental Monitoring' (eds. S. Bonotto et al.) Sero-
no Symposia Reviews, Rome, 27: 195-205. Janssen, C.R. en G. Persoone, 1992.

4. Biological Monitoring and Ecotoxicology: two essential pillars for the protection of the aquatic environment.

Gent Works 88: 64-68. Persoone, G. en N. de Pauw, 1991.

5. Cost-effective acute hazard monitoring of polluted waters and waste dumps with the aid of Toxkits. Final Report.

Commission of the European Communities. Contract ACE 89/BE 2D/3, 600 blz. Persoone G. en anderen, 1993.