

Zware metalen van zinkfabriek belasten het milieu tot op 25 km

De milieubelasting met zware metalen uit de schoorsteen van de zinksmelterij te Budel blijkt een veel grotere omvang te hebben dan werd verwacht. De gevolgen zijn meetbaar tot op 25 kilometer.

door de Werkgroep
Milieuverontreiniging,
Rijksinstituut voor
Natuurbeheer te Arnhem

In 1892 werd ten zuidwesten van Budel een zinksmelterij in bedrijf gesteld. Ruim 80 jaar later, in 1973, werden in de schoorsteen ervan filters geïnstalleerd om verdere lozing van zware metalen te voorkomen. In de tussentijd waren echter aanzienlijke hoeveelheden zware metalen de pijp uitgegaan en in de omgeving verspreid.

Verschillende instituten hebben onderzocht wat de effecten van die zware metalen zijn. Het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw 'De Dorschkamp' onderzocht de zinkgehalten van naald- en loofbomen rond de smelterij. Het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid analyseerde landbouwgewassen en constateerde zeer hoge cadmiumgehalten. Bij de vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer van de Landbouwhogeschool werden enkele bodemonsters onderzocht, die zeer hoge gehalten aan zink en cadmium bevatten. Bij de Vrije Universiteit van Amsterdam onderzocht men de aanpassing van enkele planten en bodemdieren aan deze belasting met zware metalen.

Vorig jaar is de Werkgroep Milieuverontreiniging van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer begonnen aan een uitgebreider onderzoek van de bodem, het bodemleven (met name regenwormen en bodemmicroorganismen) en de vegetatie (met name heide). Dat daarvan hier de eerste resultaten worden gepubliceerd, is niet omdat het onderzoek is afgerond of de resultaten zo spectaculair zijn, maar omdat de omvang van een dergelijke belasting met zware metalen

Verschillende instituten hebben onderzocht welke de effecten zijn van de zware metalen afkomstig uit de schoorsteen van de zinksmelterij te Budel. De resultaten van die onderzoeken zijn weergegeven in nevenstaand artikel. De auteurs van de diverse delen van dit artikel zijn H. Eijssackers, P. Doelman, Th. Edelman en W. Ma van de Werkgroep Milieuverontreiniging en H. Diemont van de Afdeling botanie van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer.

Red.

groter is dan werd verwacht. En dan doelen wij niet alleen op de geografische reikwijdte van de schoorstenen, maar ook op de veelheid aan biologische systemen die worden beïnvloed. Let wel: permanent beïnvloed, want zware metalen zijn niet afbreekbaar en spoelen doorgaans maar ten dele uit naar diepere bodemlagen. Zware metalen blijven aanwezig en kunnen hun invloed blijven uitoefenen. Voorafgaand aan de beschrijving van het door ons uitgevoerde onderzoek in de wijde omtrek van Budel, zullen enige gegevens over de directe omgeving kort worden vermeld.

De directe omgeving van de smelterij

Een van de klassieke foto's van milieuverontreinigingssituaties is die van de zwarte, miezerige denneboomjes met op de achtergrond de zinksmelterij in Overpelt (België). Een dergelijke slechte groei van naaldbomen was ook de directe aanleiding tot nader onderzoek bij Budel. Daarbij bleek van een pas geplante berkensingel 33% dood en 54% ziek te zijn. Grove den vertoonde, door de aanwezige zink-over-

maat, een sterke gereduceerde groei (Van den Burg et al., 1973).

Wie even buiten het fabrieksterrein de grasmat inspecteert, constateert dat er een dikke laag onverteerd organisch materiaal onder ligt. Zonder moeite kan deze zogenaamde viltlaag van de bodem worden afgetrokken (zie foto). Dergelijke situaties zijn ook in Zweden rondom metallurgische industrieën gevonden, waar hoge gehalten aan zware metalen de aantallen microorganismen sterk reduceerden. De vertering van organisch materiaal was daardoor geremd (Gunnarsson, pers.med.).

Binnen een straal van 1 km rond de smelterij konden in 8 van de 10 monsterplekken in het geheel geen regenwormen worden gevonden, terwijl ze daar wel thuis horen (Ma, 1981).

Gezien deze waarnemingen is het duidelijk dat de directe omgeving sterk verontreinigd is. Het is de vraag of dit eveneens geldt voor de wijde omgeving. Is ook daar het bodemleven zodanig beïnvloed dat er van duidelijke schade gesproken kan worden? Ter beantwoording van deze vraag is tot op 25 km afstand onderzoek aan bodem en bodemleven gedaan.

De verspreiding van zware metalen in de bodem

Dat zware metalen voor een aanzienlijk deel via de atmosfeer in het milieu komen is door Paul et al. (1981) berekend (tabel 1). Harmsen (1977) vond op 1,4 km van de smelterij in de bovengrond (0-2 cm) 1708 mg zink, 628 mg lood en 9,4 mg cadmium per kg grond. Dieper namen de gehalten sterk af. Deze gehalten zijn aanmerkelijk hoger dan in natuurgebieden met overeenkomstige bodem. Edelman (1982) vond daar 6-18 mg zink, 3-22 mg lood en «0,05-0,5 mg cadmium per kg grond (0-10 cm).

Om de omvang van de verontreiniging bij Budel vast te stellen, zijn in diverse richtingen op verschillende afstand van de smelterij 42 grondmonsters genomen. Dit gebeurde in

naaldbossen. Daar vindt geen grondbewerking plaats, zodat verontreinigde grond niet wordt vermengd met schonere ondergrond en een ongestoord beeld wordt verkregen. Van de bodem onder de strooisellaag werd de bovenste 2 cm bemonsterd. Na drogen, zeven en malen van de grond werden met zuur de zware metalen vrijgemaakt. Zink, lood en cadmium werden met een atoomabsorptiespectrofotometer bepaald. De gevonden gehalten variëren afhankelijk van de afstand tot de smelterij van 16 tot 23400 mg zink, 18 tot 3000 mg lood

en 0,2 tot 100 mg cadmium per kg grond. De laagste gehalten stemmen overeen met die van natuurgebieden. De hoogste gehalten werden op één punt gevonden, waar vermoedelijk sintels zijn gestort. In figuur 1 zijn voor zink de lijnen met gehalten van 25, 50, 100 en 200 mg per kg grond aangegeven. In een zone van ca. 10 km² (1000 ha) rond de smelterij komt meer dan 200 mg zink per kg grond voor. Op grotere afstand worden de gehalten geleidelijk lager, maar tot op 25 km afstand zijn de gehalten duidelijk verhoogd. In het lijnenpa-

troon is duidelijk de invloed van de overheersend zuidwestelijke wind te herkennen. Ook rond Valkenswaard zijn er verhoogde gehalten. Dit schrijven wij toe aan grensoverschrijdende verontreiniging. Niet ver over de grens in België bevinden zich enkele smelterijen die ter plekke een verhoogd gehalte aan zware metalen hebben gegeven (Bosmans en Paenhuis, 1980).

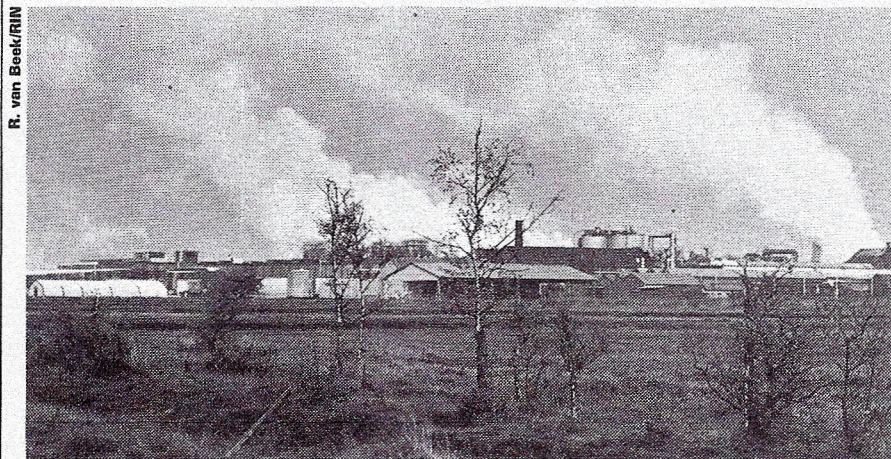
Accumulatie in regenwormen

Regenwormen staan intensief en continu in contact met de grond, zowel via het darmkanaal als de huid. Daardoor zijn ze bij uitstek in staat stoffen uit de bodem op te nemen, en kunnen zij zodoende van belang zijn voor onderzoek naar accumulatie van stoffen in terrestrische ecosystemen. Verder zijn ze goed te verzamelen en hebben ze een beperkte verspreiding, zodat hun gehalten representatief zijn voor de plaats van bemonstering. Regenwormen zijn een belangrijke voedselbron voor zoogdieren, vogels, reptielen en amfibieën. In wormen geaccumuleerde stoffen kunnen daardoor vanuit het abiotische deel van het milieu (bodem) naar het biotische (voedselketen) deel worden getransporteerd.

Regenwormen werden op 30 plaatsen binnen een straal van 20 km rond de zinksmelterij bemonsterd. Dit gebeurde voornamelijk in grasland en in heiden met *Molinia*. Van volwassen wormen (*Lumbricus rubellus*) en de minerale bovenlaag van de grond (0-10 cm) werden de gehalten aan zink, lood en cadmium bepaald met een zogenaamde atoomabsorptiespectrofotometer.

Uit de vergelijking van gehalten in grond en wormen (tabel 2) blijkt dat met name zink en cadmium in sterke mate in wormen worden opgehoopt. Maximaal werd in de wormen 3500 mg zink, 600 mg lood en 200 mg cadmium per kg wormen gevonden. Uit tabel 2 blijkt tevens dat het gehalte aan cadmium en zink in de wormen vele malen hoger is dan in de grond; beide metalen worden in de lichaamsweefsels geconcentreerd. Ook het loodgehalte kan tot aanzienlijke waarden stijgen.

Verder is aangetoond dat de zuurgraad van de grond een belangrijke invloed heeft op de accumulatie. Bij lagere zuurgraad wordt er meer zwaar metaal door de worm opgehoopt. De mogelijkheid tot bio-accumulatie van zware metalen in voedselketens wordt



De zinkfabriek bij Budel, nu al 90 jaar in bedrijf

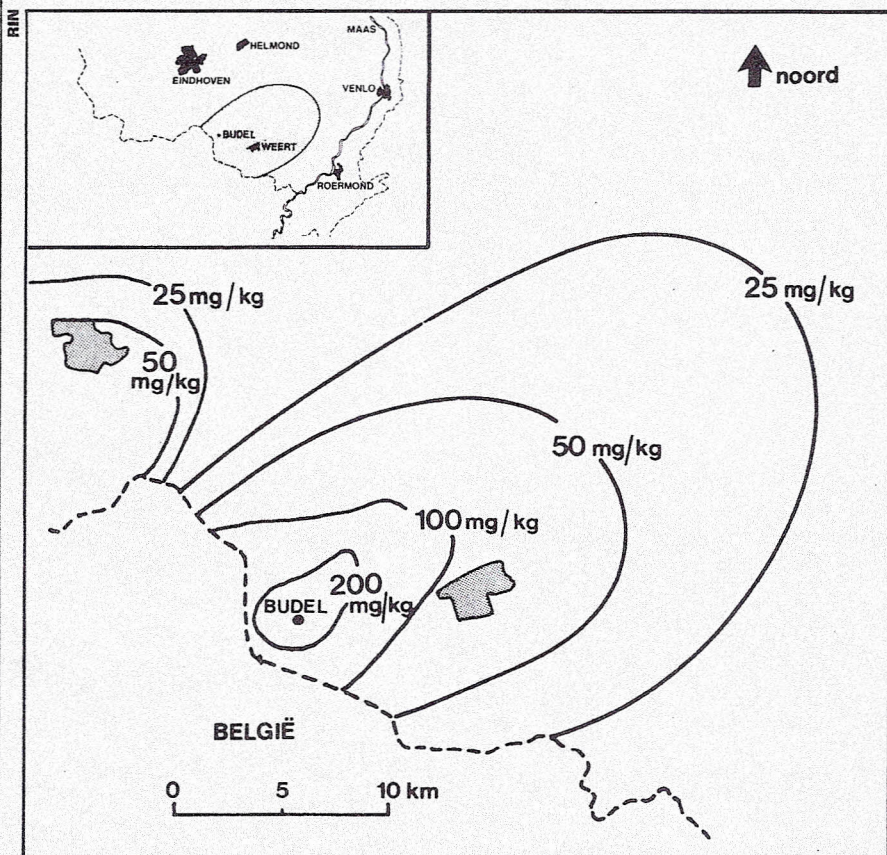


Fig. 1. Lijnen met zinkgehalten van 25, 50, 100 en 200 mg per kg grond

daardoor op plaatsen met een zure bodem vergroot.

Effecten op bodemmicroorganismen

Bodemmicroorganismen vervullen een essentiële rol in de afbraak van organisch materiaal (takken, blad, dode dieren) in de bodem. Hierbij wordt dat materiaal omgezet in voedingsstoffen voor planten en voor microorganismen zelf en in gassen (vnl. CO₂). Deze recirculatie van organisch materiaal kan men het zelfreinigend vermogen van de bodem noemen. De activiteit van microorganismen kan men meten aan de hand van hun ademhalingsactiviteit of van enzymniveaus. Deze enzymen verzorgen specifieke stappen in de afbraak, zoals urease bij stikstofverbindingen, fosfatase bij fosforverbindingen en arylsulfatase bij zwavelverbindingen.

Van een 21 tal monsters rond Budel zijn deze activiteiten bepaald. Gebleken is dat de zuurgraad en het gehalte aan organische stof in deze grondmonsters sterk varieerden. Deze twee factoren hebben een grote invloed op de samenstelling en activiteit van bodemmicroorganismen, die niet zonder meer gescheiden kan worden van de invloed van de zware metalen op de microorganismen.

Gemiddeld gezien kunnen de grondmonsters vergeleken worden met een humeuze zandgrond waarin is onderzocht welke hoeveelheden zware metalen een remming van de enzymen geven (Doelman en Haanstra, 1981). Tabel 3 laat zien dat bij de hoogste hoeveelheden van de verschillende zware metalen in de onderzochte monsters aanzienlijke remmingen te verwachten zijn. Bovendien bestaat de mogelijkheid dat zware metalen synergisme vertonen, d.w.z. dat twee metalen samen een sterker effect hebben dan hun afzonderlijke, opgetelde effecten. Of dit zo is wordt door ons momenteel onderzocht.

Zink en struikheide

Twintig kilometer noordelijk van Budel ligt de Strabrechtse heide, nog net op een afstand waar de invloed van de zinksmelterij merkbaar zou kunnen zijn. Dat blijkt ook bij vergelijking van de zinkgehalten van de heideplanten, het heidestrooisel en de bodem met die van twee onbezochte gebieden (tabel 4). Heideplanten en -strooisel hebben duidelijk hogere gehalten. Op het eerste gezicht

Tabel 1. Hoeveelheden zware metalen die jaarlijks op de Nederlandse bodem terechtkomen en de procentuele bijdrage van de atmosferische verspreiding

	Koper	Zink	Lood	Cadmium
totaal op Nederlandse bodem (ton/j)	2299	7851	1448	74,3
op agrarische gronden* (ton/j)	1725**	3745	600	28,8
op andere gronden (ton/j)	574	4106	848	45,5
via atmosfeer (%)	18	44	54	30

* agrarische grond (exclusief tuinbouwgrond) omvat ca. 60% van totale bodem

** 82% via dierlijke mest

Tabel 2. Gemiddelde gehalten van cadmium, lood en zink (mg per kg) in minerale bodem en wormen op verschillende afstanden van de zinksmelterij

	grond			wormen		
	1 km	4 km	20 km	1 km	4 km	20 km
Cadmium	3.9	1.4	0.4	120	61	28
Lood	100	48	19	160	83	39
Zink	650	120	17	2300	1400	840

Tabel 3. Geschatte remmingspercentages van ademhaling en enzymactiviteit in een humeuze zandgrond bij de hoogst gevonden metaalgehalten (mg per kg)

	ademhaling	urease	arylsulfatase	fosfatase
Koper (335)	30	5-10	10	0
Cadmium (5,7)	0	0	10	0
Lood (515)	25	50	0	0
Zink (2660)	60	0	0	50

Tabel 4. Zinkgehalten (gemiddeld ± standaardafwijking, in mg per kg) in heideplanten, strooisel en minerale bodem (0-5 cm) op de Strabrechtse heide en twee referentiegebieden

	heideplant	strooisel	minerale bodem
Strabrecht	67 ± 15	135 ± 22	16 ± 8
Dwingeloo en Hoge Veluwe	35 ± 6	78 ± 26	16 ± 9

is de bodem zelf even zwaar belast. Houden we echter rekening met het lager organisch stofgehalte van de Strabrechtse bodem, dan is er in Strabrecht ook sprake van een hoger zinkgehalte van de bodem. Voor struikheide is elders in laboratoriumproeven vastgesteld dat 25 mg zink opgelost in 1 liter water een sterke groei-beperking veroorzaakt (Bradley et al., 1981). Cruciale vraag voor ons onderzoek is nu hoeveel zink in de bodem voor opname in de planten beschik-

baar is. Gezien de lage zuurgraad van de bodem ter plaatse is bovenstaande hoeveelheid niet onmogelijk. Dit zal nader moeten worden onderzocht. Er zijn aanwijzingen dat de primaire productie van de heide op Strabrecht lager is dan op de Hoge Veluwe en in Dwingeloo (Diemont et al., in voorbereiding). Overigens moet daarbij worden opgemerkt dat ook andere factoren een rol kunnen spelen. Dergelijke veranderingen in de primaire productie kunnen worden opgevat als

aanpassingen aan veranderde omstandigheden. Voor struikheide is aangetoond dat, op een door zware metalen verontreinigde bodem, een ras kan ontstaan dat beter bestand is tegen zware metalen (Tyler, 1972).

Hoe verder

Overzien we alle tot nu toe vergaarde gegevens, dan is de vraag: "Hoe verder . . . ?" In de directe omgeving van de smelterij is de situatie duidelijk: planten vertonen een gestoorde groei, het biologisch afbraakproces wordt sterk geremd en bodemdieren vertonen onacceptabel hoge belastingen met zware metalen.

Wat verder in de omtrek zijn de schadelijke effecten minder merkbaar. Weliswaar zijn ook daar de gehalten aan zware metalen duidelijk verhoogd en de activiteiten geremd, maar er spelen zoveel andere factoren doorheen dat eenduidige conclusies niet mogelijk zijn. Als onderzoekers zeggen wij dan dat één en ander verder moet worden onderzocht.

Over de eventuele effecten van zware metalen in dieren die de belaste wormen opeten is nog weinig bekend. Effecten op de soortensamenstelling van de regenwormen en andere organismen moeten verder worden onderzocht.

Maar de situatie zou ook anders kunnen worden bekeken; ondanks de verhoogde gehalten zijn er regenwormen in redelijke aantallen aanwezig, wordt er microbiële activiteit geme-



In de onmiddellijke omgeving van de smelterij ligt een dikke laag onverteerd organisch materiaal los op de minerale grond

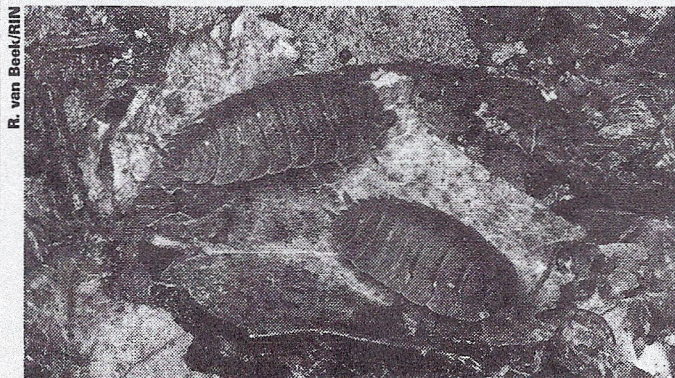
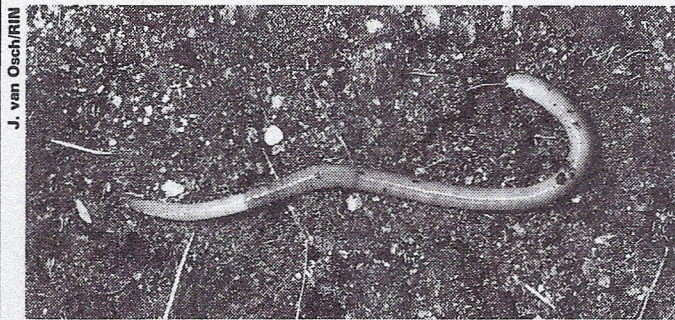
ten en groeit de heide. Nader onderzoek heeft uitgewezen dat planten en bodemdieren zich weten aan te passen aan hoge gehalten aan zware metalen (zie Joosse et al., 1981).

Deze aanpassingsprocessen hebben echter een duidelijke keerzijde. Want biologische organismen hebben voor die aanpassing energie nodig. En die energie kan dan niet meer gebruikt worden voor andere onontbeerlijke levensprocessen. Die aanpassing zal bovendien samengaan met een selectieproces waarbij voor zware metalen

gevoelige organismen verdwijnen. Hoe de situatie rond Budel zich verder zal ontwikkelen onttrekt zich nog aan ons gezichtsveld. Gezien de huidige resultaten zal het onderzoek nauwgezet (moeten) worden vervolgd.

Literatuur

- Bradley, R., A. J. Burt & D. J. Read, 1981. Mycorrhizal infection and resistance to heavy metal toxicity in *Calluna vulgaris*. *Nature* 292: 335-337.
- Bosmans H. en J. Paenhuys, 1980. The distribution of heavy metals in the soils of the Kempen. *Pedologie* 30, 191-223.
- Burg, J. van den, C. P. van Goor & L. Oldenkamp, 1973. De invloed van zinkovermaat op de groei van boomsoorten in zuidoostelijk Noord-Brabant. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 45, 329-359.
- Diemont, W. H., F. G. Blanckenborg & H. Kampf (red.). *Het plaggen van heidevelden. Rapport van de werkgroep Afzet en Verwerking van Heideplaggen* (in voorbereiding).
- Doelman, P. & L. Haanstra (1981). De invloed van zware metalen op de bodemmicroflora. Intern onderzoekrapport* Rijksinstituut voor Natuurbeheer.
- Edelman, Th., 1982. Onderzoek naar de referentiewaarden van anorganische en organische stoffen in Nederlandse natuurterreinen. Intern onderzoekrapport* Rijksinstituut voor Natuurbeheer.
- Harmsen, K., 1977. Behaviour of heavy metals in soils. *Agricultural Research Reports* 866. Landbouwhogeschool Wageningen. 171 pp.
- Joosse, E. N. G., K. J. Wulffraat & H. P. Glas, 1981. Tolerance and acclimatization to zinc of the isopod *Porcellio scaber* Latt. 3rd Int. Conf. Heavy Metals in the Environment, Amsterdam, 425-428.
- Ma, W., 1981. De invloed van zware metalen en bestrijdingsmiddelen op regenwormen (Lumbricidae, Oligochaeta) als biologische indicatie van bodemverontreiniging. Intern onderzoekrapport* Rijksinstituut voor Natuurbeheer.
- Paul, P. G., J. A. Somers en D. W. Scholte Übing, 1981. Een verkenning van de belasting van de bodem in Nederland met zware metalen. *De Ingenieur* 8, 15-19.
- Tyler G., 1972. Heavy metal pollutes nature, may reduce productivity. *Ambio* 1 (2), 52-59.



Regenwormen zijn bij uitstek in staat (gif)stoffen uit de bodem op te nemen, via darmkanaal en huid

Ook andere ongewervelde dieren, zoals pissebedden, hebben deze eigenschap

* Deze rapporten zullen in de loop van dit jaar worden gepubliceerd in de reeks Bodembeschermingsrapporten van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne.