

# Fytoremediatie "in situ": een veelbelovende techniek om verontreinigde bodems te saneren

*Fytoremediatie is een vorm van bioremediatie, waarbij hogere planten gebruikt worden om bodems, die verontreinigd zijn met anorganische en/of organische toxische stoffen, te saneren. Er zijn in principe twee benaderingen van fyto-remediatie mogelijk. Bij zeer hoge verontreiniging, die geen (volledige) begroeiing toelaat, wordt de verontreinigende stof vastgelegd door aan de bodem stoffen toe te voegen die de contaminant binden. Daarna wordt via beplanting of bezaaiing weer een gesloten vegetatiedek gecreëerd, wat de vastlegging van de contaminanten verder bevordert. Bij licht tot matig verontreinigde bodems wordt de overmaat aan verontreiniging geëxtraheerd m.b.v. zgn. (hyper)accumulatorplanten, die de toxische stof ophopen in de bovengrondse delen, die vervolgens geoogst en verbrand kunnen worden. Hoewel fyto-remediatie een relatief langzamer proces is dan fysisch-chemische methoden van sanering, is er wereldwijd grote belangstelling voor deze techniek en lijkt zij zeer goed toepasbaar bij weinig mobiele contaminanten zoals zware metalen die zich voornamelijk in de toplaag van het bodemprofiel bevinden.*

Jos Verkleij en Henk Schat

## Inleiding

Fysische, chemische en biologische processen om verontreinigde bodems te saneren, zijn gebaseerd op het "decontamineren" van de bodems of op het "stabiliseren" i.e., vastleggen van de contaminant. Sanering van bodems

met een overmaat aan zware metalen is niet gemakkelijk. Zulke bodems worden meestal uitgegraven en vervangen door schone grond; de vervuilde bodem wordt schoon gemaakt met chemische of fysisch-chemische extractiemethoden, maar dit kan weer nieuwe problemen opleveren. Door een verhoging van de biobeschikbaarheid van de restfractie en verandering van fysisch-chemische eigenschappen kunnen deze gronden meestal niet meer worden gebruikt als "normale" land- en tuinbouwgronden. Bij organische verontreiniging wordt steeds meer gebruik gemaakt van micro-organismen, die de betreffende stoffen kunnen afbreken, maar deze methode wordt op dit moment alleen nog op kleine schaal toegepast.

Sanering van de bodemverontreiniging m.b.v. conventionele technieken is een kostbare zaak en varieert van \$50 tot \$500 per m<sup>3</sup> grond en bij radionuclide verontreiniging kan dit bedrag oplopen tot \$ 1000-3000.<sup>1</sup> De toenemende belangstelling voor fyto-remediatie als saneringstechniek is dan ook voor een groot deel gebaseerd op economische motieven: de kosten van het simpel laten groeien en eventueel verwerken van planten liggen een factor 10-1000 lager dan de huidige saneringstechnieken. Hoe-

wel er al enige veldproeven zijn verricht, staat onderzoek naar de mogelijkheden van fyto-remediatie echter nog aan het begin van zijn ontwikkeling.

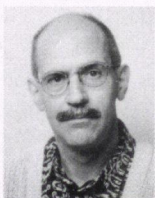
## fyto-remediatie van verontreinigde bodems

Fyto-remediatie of, anders gezegd, sanering m.b.v. hogere planten is geen nieuw concept. Bij de behandeling van afvalwater wordt er al langer gebruik gemaakt van rietkragen, drijvende planten en moerasvegetaties om het afvalwaterprobleem op te lossen. Voor het saneren van verontreinigde bodems is het echter een nieuwe benadering. Uiteraard heeft deze techniek zijn beperkingen. Voor de groei van planten zijn zuurstof, water en nutriënten essentieel en (optimale) groei vindt alleen maar plaats als de pH, zoutgraad, en concentratie van contaminanten niet te extreem zijn. Daarbij verloopt fyto-remediatie relatief langzaam t.o.v. fysisch-chemische processen en biedt derhalve alleen oplossingen op lange termijn. Desondanks lijkt het zeer goed toepasbaar te zijn bij zware metalen, die zich gewoonlijk vooral in de oppervlakkige bodemlagen ophopen.

## benadering 1: fytostabilisatie (immobilisatie en revegetatie)

Op sterk verontreinigde bodems, waar geen plantengroei meer mogelijk is, is "in situ" immobilisatie van de verontreiniging door het toevoegen van metaalbindende additieven en vervolgens revegetatie van de bodem, de meest aanbevolen methode van fyto-remediatie. Het principe staat uitgewerkt in Figuur 1. Het gaat hierbij niet om het schoonmaken van de bodem, maar om het irreversibel vastleggen van overmaat zware metalen. Het blijkt zeer goed toepasbaar te zijn op voormalige industrieterreinen en stortplaatsen, waar hoge concentraties van zware metalen in de bodem voorkomen. Door sterke binding van metalen en metalloïden aan deze bo-

## Over de auteurs



### Dr. J.A.C. Verkleij

Universitair Hoofddocent  
Vakgroep Oecologie en Oecotoxicologie, Vrije Universiteit Amsterdam.

De auteur is hoofd van de sectie Moleculaire Oecologie van Plan-

ten, waarin onderzoek naar metaaltolerantie (fysiologisch, genetisch) bij hogere planten centraal staat. Daarnaast wordt onderzoek verricht naar de interactie tussen parasitaire planten (Oronanche, Striga) en hun gastheren.

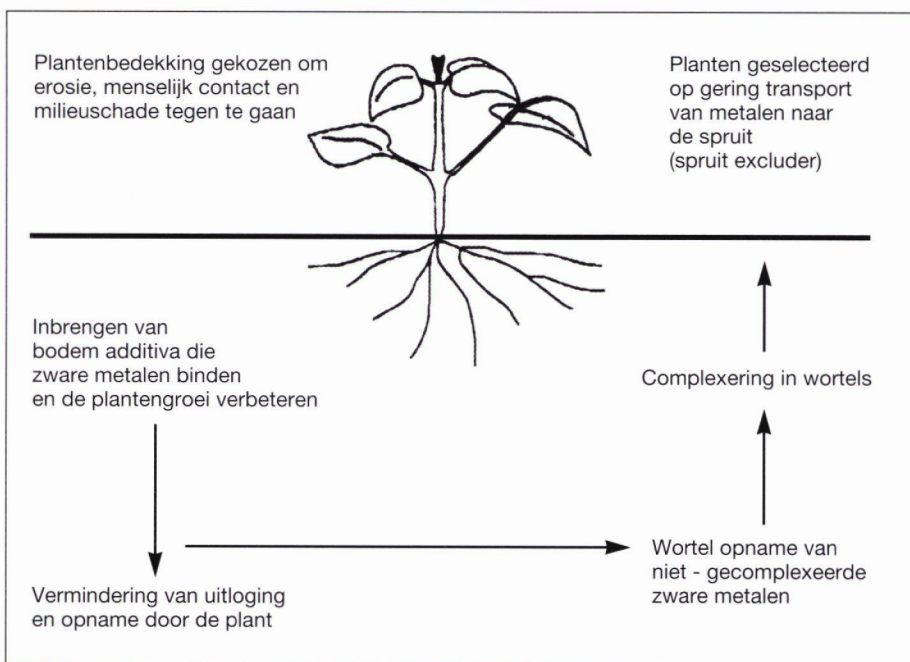


### Dr. H. Schat

Universitair Docent Vakgroep Oecologie en Oecotoxicologie, Vrije Universiteit Amsterdam.

De auteur verricht onderzoek naar de moleculaire mechanismen van metaaltolerantie bij

hogere planten, waarbij *Silene vulgaris* (blaassilene) als modelsoort fungeert. Daarnaast houdt hij zich bezig met onderzoek naar metaal hyperaccumulatie en mengseltoxiciteit.



**Figuur 1: Processen die betrokken zijn bij de fytostabilisatie van verontreinigde grond.**

Naar Cunningham et al (1995).

demadditieven is de fytotoxiciteit sterk verminderd en kan er weer plantengroei plaatsvinden, weliswaar soms alleen maar mogelijk voor plantesoorten die metaaltolerant zijn. De zo ontstane vegetatielaag stabiliseert de bodem, verhindert verdere winderosie en vermindert het uitspoelen van metalen naar de diepere bodemlagen en het grondwater. Een succesvol voorbeeld van zo'n aanpak is te zien op de Maatheide in België, een sterk met Cd en Zn verontreinigd industrieterrein.

Na behandeling van de bodem met een bodemadditief (in dit geval berengiet, een aluminosilicaat) en het inzaaien van metaaltolerante grassen, is er een eenzijdige, maar complete vegetatielaag ontstaan, die zich nog steeds verder ontwikkelt tot een "normale" vegetatie, waarin ook niet-tolerante soorten zich hebben geves-

tigd.<sup>2</sup> De metaalconcentraties in de bovengrondse delen van grassen van de met berengiet behandelde verontreinigde grond zijn zeer laag t.o.v. planten van niet behandelde grond op hetzelfde terrein en zijn vergelijkbaar met die gemeten in grassen van niet-verontreinigde bodems in hetzelfde gebied (voor Zn: 150 mg kg<sup>-1</sup> d.s.) (Tabel 1). Het blijft evenwel noodzakelijk dat nieuwe bodemadditieven worden ontwikkeld en getest op hun vermogen om andere metalen en metalloïden irreversibel te binden (zoals Cu, Pb, As) zowel in het laboratorium als in "in situ" veldstudies.

Voor de revegetatie van sterk verontreinigde bodems zijn, al dan niet in combinatie met immobilisatie technieken, tolerante planten benodigd, bij voorkeur planten die het metaal niet naar de spruit transporteren, om

metaaltransport via de voedselketen (herbivoren) zo laag mogelijk te houden. Er zijn echter slechts een tiental wilde plantensoorten die tolerant zijn. Deze soorten zijn bovendien meestal weinig productief, waardoor er een onaantrekkelijke en soortenarme vegetatie overblijft. Meer soorten, waaronder bomen, zouden gescreend moeten worden op metaaltolerante genotypen en ingezet bij revegetatie-experimenten. Berk en wilg zouden daarbij geschikt kunnen zijn vanwege het feit dat deze soorten variatie in metaaltolerantie laten zien.

### fytoextractie: benadering 2: fytoextractie

Het concept van bodemsanering via fytoextractie is al meer dan 15 jaar geleden bedacht, maar heeft pas handen en voeten gekregen, toen de zgn. hyperaccumulatorplanten in zicht kwamen (zie Fig. 2). Deze planten kunnen metalen in hun spruit ophopen tot 4 a 5% van hun drooggewicht zonder dat schade optreedt (zie Tabel 2). Bij de meeste "normale" planten, kan zo'n accumulatie eenvoudigweg niet plaatsvinden omdat de metaalconcentraties te hoog zouden worden om te kunnen overleven.

Hoewel hyperaccumulatorplanten een grote potentie lijken te hebben voor fyto-extractie, zijn er verschillende factoren die tegenwerken:

- hyperaccumulatoren hopen meestal alleen één bepaald metaal op (Ni-hyperaccumulatie, Zn-hyperaccumulatie, etc.). Er zijn nog geen soorten gevonden die alle metalen in vergelijkbare mate accumuleren;
- de meeste hyperaccumulatoren groeien langzaam en produceren weinig biomassa;
- er is weinig tot niets bekend over de genetica, fysiologie, teeltmogelijkheden en plaagbestrijding van hyperaccumulatorsoorten.

Desondanks is op grond van resultaten van een aantal veldexperimenten met *Thlaspi caerulescens* (zinkboerenkers) en andere accumulatorsoorten op met Zn en Cd gecontamineerde grond uitgerekend dat binnen een periode van 20 jaar licht verontreinigde grond zodanig kan worden "geschoond" dat zij onder de interventiewaarde zou komen te liggen.<sup>3</sup>

Verschuillende aanpakken zijn voorgesteld om de fyto-extractiemogelijkheden te vergroten:

- via een selectieprogramma zouden uit de langzaam groeiende, weinig biomassa producerende hyperac-

**Tabel 1. Bedekkingsgraad (in %) met metaaltolerante grassen en metaalconcentraties (in mg kg<sup>-1</sup> d.s.) in de bovengrondse delen na toevoeging van extra hoeveelheden Zn aan een metaalverontreinigde grond M (Maatheide) na behandeling met berengiet (+B).**

Bodem	bedekkingsgraad (%)	Metaalconcentratie (mg kg <sup>-1</sup> d.s.)			
		Zn	Cd	Cu	Pb
M	100	582 <sup>c</sup>	1.15 <sup>b</sup>	68 <sup>d</sup>	17.5 <sup>b</sup>
M + B	100	92 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>	<4 <sup>a</sup>	<10 <sup>a</sup>
M + 2000 mg kg <sup>-1</sup> Zn	85	1352 <sup>d</sup>	1.70 <sup>c</sup>	24 <sup>c</sup>	40 <sup>d</sup>
M + 2000 mg kg <sup>-1</sup> Zn + B	100	104 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>	<4 <sup>a</sup>	<10 <sup>a</sup>
M + 8000 mg kg <sup>-1</sup> Zn	0	-	-	-	-
M + 8000 mg kg <sup>-1</sup> Zn + B	100	94 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>	<4 <sup>a</sup>	<10 <sup>a</sup>

De metingen zijn verricht na een groeiperiode van 12 maanden.

De gemiddelde waarden, gevolgd door dezelfde letter, zijn niet significant verschillend (5% interval).

Naar Vangronsveld et al. (1995).

**Tabel 2: Metaalconcentraties (in bovengrondse delen) in een aantal hyperaccumulatorsoorten, die voorkomen op met zwaar metaal gecontamineerde bodems.**

Metaal	Plantensoort	Concentraties in bovengrondse delen (mg kg <sup>-1</sup> d.s.)
Zn	<i>Thlaspi caerulescens</i>	51.600
Ni	<i>Alyssum bertolonii</i>	13.400
Cu	<i>Ipomoea alpina</i>	12.300
Co	<i>Haumaniastrum robertii</i>	10.200
Pb	<i>Thlaspi rotundifolium</i>	8.200

Naar Baker en Walker (1990).

cumulatoren variëteiten kunnen worden gekweekt die snel groeien en veel biomassa produceren.

- metaalhyperaccumulatie-eigenschappen moeten geïdentificeerd en via genetische modificatie geïntroduceerd worden in snelgroeiende, veel biomassa producerende planten.

Tot op heden is het nog niet gelukt om via mutagenese (onderzoek aan erwten en *Arabidopsis*), danwel via inbouw van genen, verantwoordelijk voor de aanmaak van metaalbindende eiwitten (metallothioninen in tabak) verhoogde tolerantie te verkrijgen. De meest spectaculaire, maar weinig toepasbare genetische modificatie, is de inbouw van een bacterieel gen *Mer* in *Arabidopsis*, waarbij de getransformeerde plant in staat is hoge kwik concentraties te verdragen en te verdampen.<sup>4</sup>

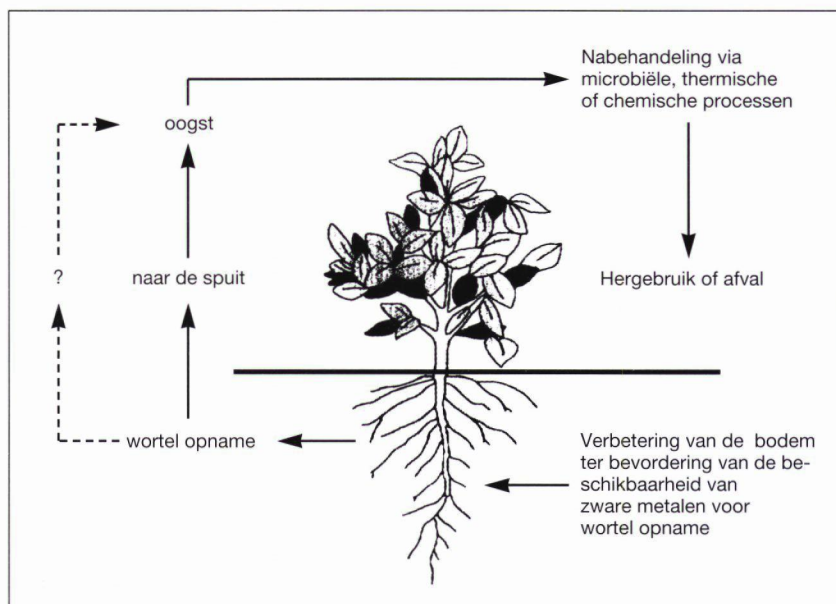
Voor een succesvolle fyto-extractie (bio-extractie) zijn planten nodig die voldoen aan de volgende kenmerken:

- 1 efficiënte ophoping van de metalen bij voorkeur in de bovengrondse delen;

- 2 snelle groei en hoge biomassa;
- 3 gemakkelijk te oogsten en
- 4 tolerant voor de opgehoopte metaal concentraties.

Om dit doel te bereiken is meer basale kennis nodig over de mechanismen van metaaltolerantie en de mogelijkheden om pro- en eukaryote metaaltolerantie- en accumulatiegenen over te brengen in snel groeiende modelplanten via biotechnologische technieken. Daarnaast is het van belang dat verschillende aspecten van het wortelstelsel worden onderzocht, zoals worteldiepte, penetratie in anaerobe zones en worteldichtheid. Verder kan de (bio)beschikbaarheid van metalen in de bodem worden verhoogd door toevoegen van chelatoren zoals EDTA, waarbij in een recente studie Pb concentraties in de plant tot 1% van het drooggewicht konden worden vastgesteld.<sup>5</sup>

Fyto-remediatie en met name het aspect fyto-extractie staat nog in de kinderschoenen. De onderzoekers, zowel fundamenteel als toegepast, hebben een unieke mogelijkheid om een



**Fig. 2. Processen die betrokken zijn bij de fytoextractie van zware metalen uit vervuilde bodems.** Naar Cunningham et al (1995).

technologie te ontwikkelen die weinig kost, nauwelijks schade geeft, visueel prachtig is en ecologisch gezond. In een door de EG gesubsidieerd project PHYTOREHABILITATION, waarin onderzoekers van België, Frankrijk, Portugal, Finland en Nederland participeren, worden beide benaderingen via multidisciplinair onderzoek nader uitgewerkt met als doel de toepasbaarheid van deze unieke remediatietechniek een verdere impuls te geven.

#### Referenties

- 1 Cunningham, S.D., W.R. Berti, en J.W. Huang, 1995. Phytoremediation of contaminated soils. *Trends in Biotechnology* 13: 393-397.
- 2 Vangronsveld, J., F. van Asche en H. Clijsters, 1995. Reclamation of a bare industrial area contaminated by non-ferrous metals: in situ metal immobilization and revegetation. *Environmental Pollution* 87: 51-59.
- 3 Baker, A.J.M., S.P. McGrath, C.D.M. Sidoli en R.D. Reeves, 1994. The possibility of "in situ" heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal accumulating plants. *Resources, Conservation and Recycling* 11: 41-49.
- 4 Rugh, C.L., H.D. Wilde, N.M. Stack, D.M. Thompson, A.O. Summers en R.B. Meagher, 1996. Mercuric ion reduction and resistance in transgenic *Arabidopsis thaliana* plants expressing a modified bacterial *merA* gene. *Proc. Natl. Acad. Sci USA* (in druk).
- 5 Cunningham, S.D. en D.W. Ow, 1996. Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiol.* 110: 715-719.
- 6 Baker, A.J.M. en P.L. Walker, 1990. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In: A.J. Shaw ed. *Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*. CRC Press Boca Raton Fl. pp. 155-177.