

Kansen voor herstel van zinkflora in het boven-Geuldal

Mei 1914 publiceerde Eli Heimans een drietal artikelen in dit tijdschrift over de 'herkomst van de Geul-flora'. Hij was de eerste Nederlandse specialist die het oorzakelijke verband tussen het voorkomen van beekbegeleidende (tertiere) zinkflora en een zekere zware metaalconcentratie vermoedde. Thans is de zinkflora ernstig bedreigd in haar voortbestaan. De verschillende deskundigen hebben nog geen eenduidig inzicht in de oorzaken van de achteruitgang en de mogelijkheden voor herstel. In dit artikel ga ik in op de verschillende inzichten en geef ik tevens mijn eigen opinie.

Eli Heimans beschreef in 1914 hoe ertswasserijen in Kelmis (België) grote hoeveelheden met zink vervuild water op de Geul loosden, en zo het voorkomen van zinkflora in Nederland veroorzaakten (foto 1 & 2). Deze ertswasserijen zijn al lang gesloten en de zinkflora in Zuid-Limburg en de aangrenzende delen van België is nu sterk bedreigd (van de Riet et al., 2005).

Door de auteur werd in 2006 een internationaal zinkfloracongres georganiseerd in Kelmis (België). Hier kwamen circa 50 ecologen en terreinbeheerders van acht universiteiten en evenveel onderzoeksinstituten uit Nederland, België, Duitsland en Polen bijeen. Tijdens dit congres bleken zeer verschillende visies op mogelijkheden voor herstel te bestaan. Ook werd een groot aantal hiaten in kennis benoemd. Een vervolg op het congres was een internationale excursie in mei 2006, waarin Europese experts verschillende groeiplaatsen bezochten. De recente oprichting van het European Heavy Metal Ecology Network (EHMEN) beoogt de samenwerking en het inzicht te vergroten.

Historisch industrieel landgebruik

De specifieke geologie in het boven-Geuldal veroorzaakte het voorkomen van zink- en loodertsen in het dal, die al vroeg door de mens geëxploiteerd werden. De regio heeft een belangrijke mijnbouwkundige geschiedenis met een totale productie van 1,4 miljoen ton zink en lood (Dejonghe et al., 1993). Het was daarmee lange tijd de grootste producent ter wereld. De eerste mijnbouwactiviteiten dateren uit de Romeinse Tijd. Plinius de

Oudere (77 na Chr.) vermeldt 'Germania'; waarschijnlijk wordt naast de Breiniger Berg bij Aken ook de nabijgelegen Altenberg in Kelmis (België) bedoeld. De luchtvervuiling die van deze open ertssmelterijen uitging is nog steeds als verhoogde lood- en zinkconcentraties in de hoogveenafzettingen in Nederland en Duitsland te vinden (van Geel et al., 1989; Ernst, 1974).

In de Middeleeuwen groeide de mijnbouw op de Altenberg bij Kelmis exponentieel. Gezien de gebruikte metaalwinningstechnieken, die niet erg efficiënt waren, kon de zinkflora goed gedijen en zich verder uitbreiden (fig. 1). Het hoogtepunt van de mijnbouw was de periode 1830 - 1890, toen de meeste mijnen in gebruik waren. In 1937 sloot de laatste mijn; alle werken werden afgebroken. Omstreeks 1950 werd ook de verwerking van buitenlandse zinkertsen gestaakt. Hoewel in Nederland geen zinkwinning heeft plaatsgevonden, komt de zinkflora toch voor

langs de Geul. Dit is het gevolg van de zinkindustrie bovenstrooms in het dal, waardoor $Zn^{2+}/Cd^{2+}/Pb^{2+}/4^{+}$ (respectievelijk zink, cadmium en lood) rijke beekbegeleidende bodems zijn ontstaan.

Ecologie van zinkflora

De zinkflora bestaat uit door micro-evolutionaire processen genetisch 'aangepaste' ecotypen met een specifieke tolerantie tegen zink, cadmium en lood. Deze aangepaste ecotypen zijn het gevolg van een serie mutaties gevolgd door natuurlijke selectie ('survival of the fittest'). Door bijzondere cellulaire mechanismen vermijden ze een vergiftiging met een overmaat aan deze zware metalen. Aldus kunnen zij groeien op bodems die voor niet-aangepaste ecotypen giftig zijn. De metaalresistente ecotypen hebben enzymen ontwikkeld om een overmaat aan zware metalen uit de plantencel te verwijderen en zo fysiologische schade te voorkomen (Ernst et al., 1992). Zware-metaalresistente ecotypen van zinkplanten komen niet voor op niet-vervuilde bodems. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door hun verhoogde behoefte aan zink als micro-element vanwege hun specifieke zink-'de-activeringsprocessen' (Kakes, 1980) en door hun schaduwgevoeligheid. Grassen en ruigtekruiden kunnen vanwege de hoge concentratie zware metalen slecht groeien op de groeiplaatsen van de zinkflora.

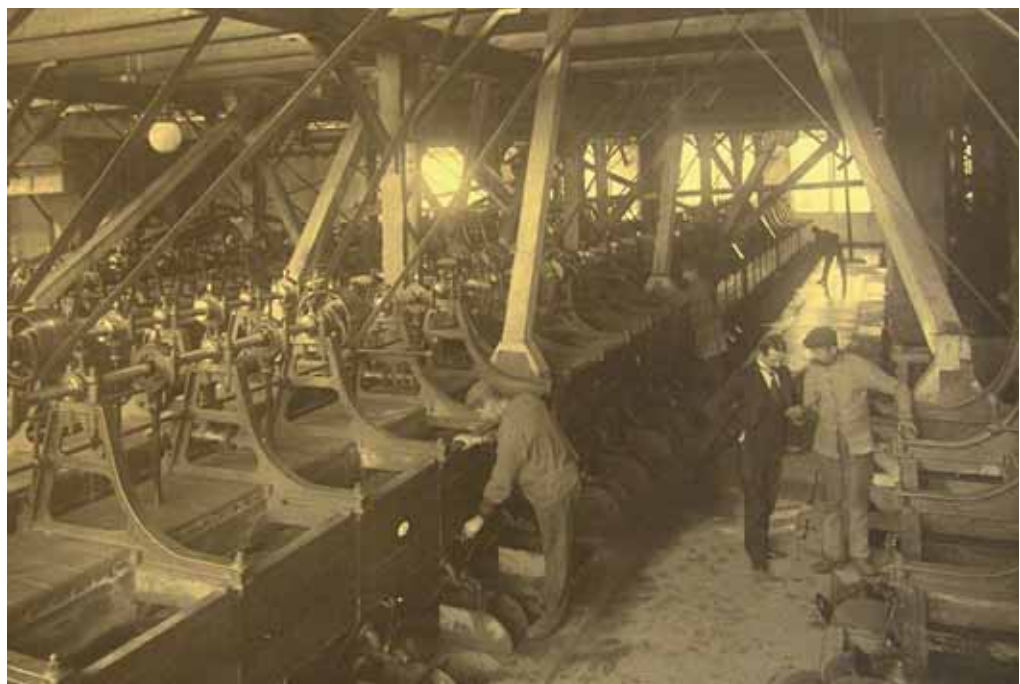
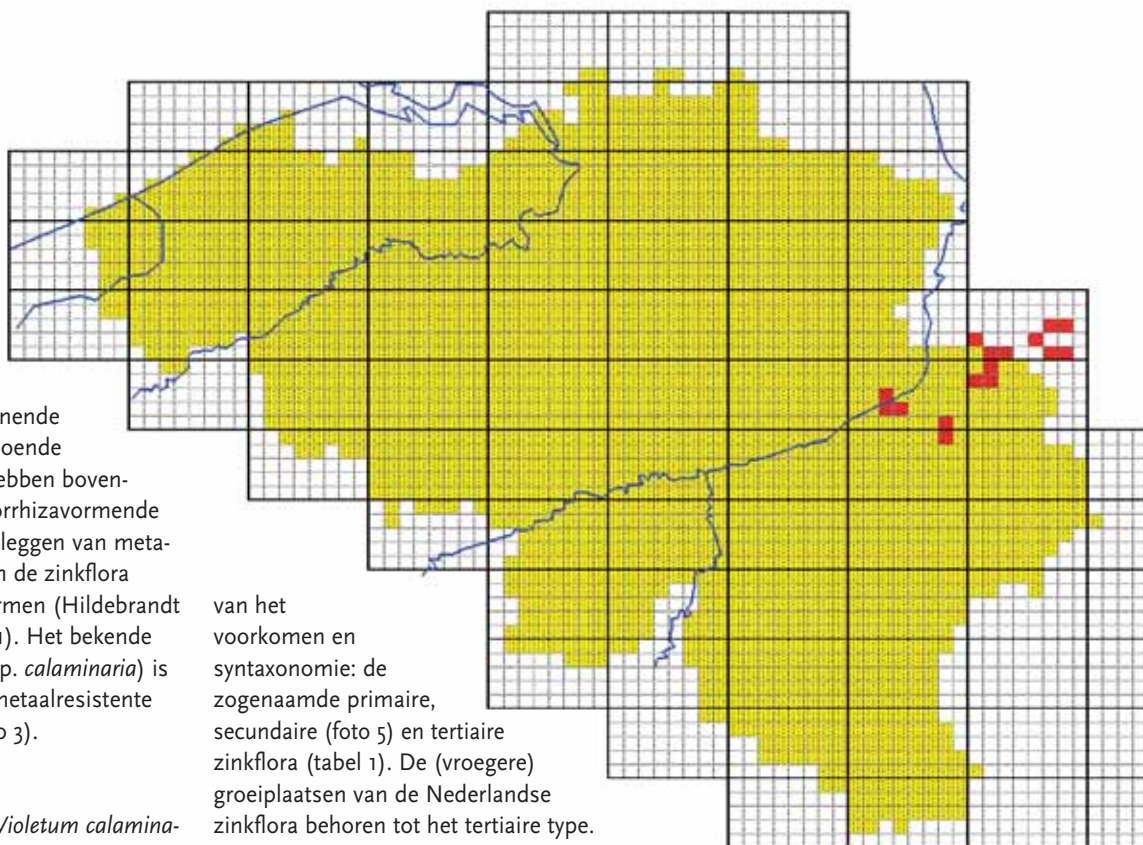


Foto 1 & 2. Ertswasserijen eind 19e eeuw te Kelmis, België gebruikten enorme hoeveelheden spoelwater om erts te wassen. Dit spoelwater werd ter plaatse uit de bodem opgepompt en na gebruik geloosd in de Geul.

Fig. 1. Verspreiding zinkflora in het drielandengebied van Nederland, België en Duitsland (Rompaey & Delvosalle, 1979 uit Brévers, 2003).



Daardoor krijgen de lichtminnende soorten van de zinkflora voldoende licht. Veel zinkflorasoorten hebben bovendien een symbiose met mycorrhizavormende schimmels, die door het vastleggen van metalen in de schimmelcelwanden de zinkflora tegen zware metalen beschermen (Hildebrandt et al., 1999; Tonin et al., 2001). Het bekende Zinkviooltje (*Viola lutea* subsp. *calaminaria*) is trouwens één van de minst metaalresistente soorten van de zinkflora (foto 3).

Vegetatie

De Zinkviooltjes-associatie (*Violetum calaminariae*) is de kenmerkende plantengemeenschap van met $Zn^{2+}/Cd^{2+}/Pb^{2+}/4^{+}$ -vervuilde bodems van België en Nederland (Ernst, 1974). De klasse heeft als kensoorten: Zinkviooltje, Zinkengelsgras (*Armeria maritima* var. *Hallen*), Zinkboerenkers (*Thlaspi caerulescens*), Zinkblaassilene (*Silene vulgaris*) en Zinkgenaald Schapegras (*Festuca ovina*). Naast hoge concentraties van zink, cadmium en lood in de bodem worden de groeiplaatsen gekenmerkt door een lage beschikbaarheid van nutriënten in de bodem. De Zinkviooltjes-associatie is dan ook een laag productieve gemeenschap. Beschaduwing wordt slecht verdragen; de gemeenschap is warmteminrend en staat in de volle zon (foto 4). Men kan drie typen onderscheiden op grond

van het voorkomen en syntaxonomie: de zogenaamde primaire, secundaire (foto 5) en tertiaire zinkflora (tabel 1). De (vroegere) groeiplaatsen van de Nederlandse zinkflora behoren tot het tertiaire type.

Bodemchemie

De tertiaire groeiplaatsen in het Boven-Geuldal bevatten ten opzichte van de nabij gelegen secundaire groeiplaatsen de laagste concentratie zink, cadmium en lood. Deze tertiaire groeiplaatsen zijn daarbij ook alkalisch en vochtig, hetgeen de eco-toxiciteit van deze zware metalen negatief beïnvloedt (in kader 1 wordt uitgebreid ingegaan op de bodemchemie, foto 6). Het evenwicht tussen zinkflora en overige vegetatie (= grassen+ruigtekruiden) is hier dan ook het meest wankel. Waar primaire groeiplaatsen (en in mindere mate secundaire groeiplaatsen) door eerder genoemde factoren wellicht duizenden jaren kunnen bestaan, zijn de tertiaire groeiplaatsen

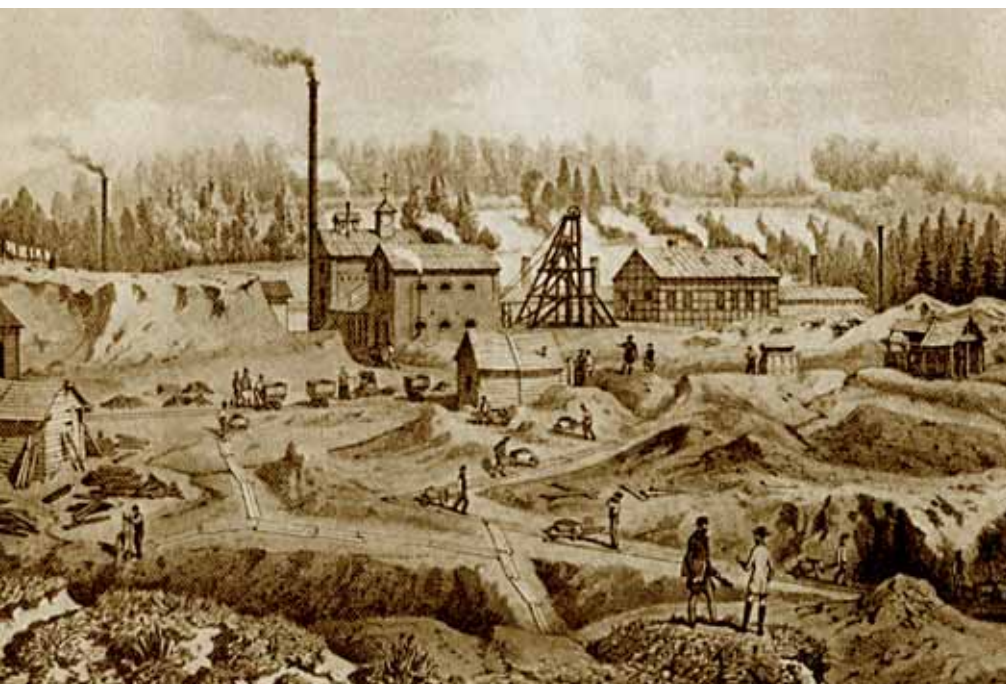
afhankelijk van mijnbouwactiviteiten. Na beëindiging daarvan kunnen ze tot maximaal enkele decennia voortbestaan. Voor de instandhouding van zo'n 'halfnatuurlijk' vegetatietype is beheer noodzakelijk. Wanneer dat uitblijft, dan verdwijnt ook de tertiaire zinkflora (foto 7).

Achteruitgang

Tijdens de bloeitijd van de mijnbouw had de zinkflora haar grootste areaal. Met de teloorgang van de mijnbouw is de kwaliteit en het areaal van de zinkflora dramatisch afgenomen, in zowel België als Nederland. Vandaag de dag is slechts een zeer beperkt areaal aanwezig. In België omvat het areaal van de gemeenschap *Violetum calaminariae* slechts 38 hectare; het gaat vooral om groeiplaatsen van het secundaire type (Graitson et al., 2003). Wat betreft de tertiaire zinkflora in het Nederlandse deel; geschat wordt dat in 1925 de beekbegeleide graslanden van de Geul over 10 km gedomineerd werden door zinkflora. Sindsdien is het areaal afgenomen met meer dan 99%; tegenwoordig resteert minder dan 0,5 hectare zinkviooltjesgrasland bij Epen (van de Riet et al., 2005).

Afname zinktoevoer en toegenomen eutrofiëring

Wanneer de concentratie (beschikbaar) zink afneemt, gaan andere soorten domineren. Dit effect wordt versterkt door bemesting en bekalking. Bekalking leidt tot een lagere zinkbeschikbaarheid én verminderde zinktoxiciteit. Door het wegvallen van de 'zink' rem op de groei van grassen en ruigtekruiden, neemt de overschaduw van de laagblijvende zinkflora



toe en wordt de competitie beslecht in het nadeel van de zinkflora. Hoewel de landbouw de voornaamste bron van eutrofiëring (bemesten/bekalken) is, moet ook atmosferische depositie van stikstofverbindingen genoemd worden, alsook overstrooming met het voedselrijke water van de Geul. Het nadeel voor de zinkflora wordt verder versterkt door het achterwege blijven van een gepast beheer. In plaats van een verschrallingsbeheer van maaien en afvoeren bestond het 'beheer' van de tertiaire zinkflora uit bemesten, bekalken en beweiden.

Volgens Swennen et al. (1994) was de aanvoer van zink via de afzetting van vers zinkhoudend slib al hoog in de 17e eeuw, maar bereikte het een top gedurende de hoogtijdagen van de zinkindustrie in België tijdens de periode 1830-1890. Kurris & Pagnier vonden in 1925 bij Epen tussen 2100 en 7500 mg zink/kg droge grond; Leenaers (1989) vond bij Epen meer dan 3000 mg zink/kg. Dankzij het onderzoek van Rang et al. (1986) weten we dat, na de hoogtijdagen van de mijnbouw in Plombières/Kelmis (tweede helft 19e eeuw tot 1925) de zinkconcentratie in de bodem van de Geulgraslanden gedaald is van 10.600 naar 1535 mg zink/kg (is ongeveer gelijk aan de natuurlijke achtergrondconcentratie), maar dat sindsdien de zinkconcentratie van de bodem weinig meer is veranderd. De volgens Van de Riet et al. (2005) gegeven zinkwaarden voor de bovenste 5 cm van de bodem, namelijk 1635 - 3600 mg zink/kg liggen in het door Leenaers (voor zinkflora gunstige) genoemde traject.

Samenvattend: gedurende de hoogtijdagen van de mijnbouw was de concentratie zink in de bodem grofweg zes maal hoger dan nu. Echter, sinds de stopzetting van de mijnbouw

Foto 3. Het Zinkviooltje; de bekendste van de zinkflora, hier bloeiend op de Casino Weiher Halde bij Kelmis, België.



is de concentratie zink in de bodem eigenlijk nauwelijks veranderd. Desondanks is bij die gelijkblijvende concentratie zink het areaal zinkflora met 99 % afgenomen. De zinkconcentratie is dus niet alleen doorslaggevend geweest in deze dramatische achteruitgang.

Wettelijk bescherming

De zinkflora is via diverse juridische instrumenten beschermd. Deze bescherming ondersteunt het behoud en kan bijdragen aan het herstel van de zinkflora. Onder de EU Habitats Directive (Habitatrichtlijn) Annex I als 'calaminarian grasslands van de klasse *Violetalia calaminariae*' onder code 6130. EUNIS Habitat Classification codeerde 'Heavy-metal grassland' E1.B en Natura 2000 classificeert het vegetatietype onder 34.221, als 92/43/CEE I non-priority protection. Alle zinkflora-soorten staan op de Rode Lijsten en zijn beschermd in het kader van de Flora en Fauna Wet. Verder is het overgrote deel van de sites in Wallonië opgenomen in CORINE (Inventaire des sites d'importance majeure pour la conservation de la nature dans la Communauté européenne); in ISIWAL (Inventaire des Sites Wallons d'un très grand intérêt biologique) en in SGIB (Sites de Grand Intérêt Biologique). Ondanks deze 'juridisch administratieve' aandacht kan het gebeuren dat een camping net ten zuiden van Epen werd aangelegd in een rijke groeiplaats van zinkflora, de mijnbouwlocatie Plombières werd gesaneerd en bouwactiviteiten plaatsvinden op de Casino Weiher Halde bij Kelmis.

Beheer, herstel en ontwikkeling

Conflicterend met deze juridische bescherming zijn de Kaderrichtlijn Water (deels; deze richtlijn zal ook bijdragen aan een aanzienlijke vermindering van de vermessing van de Geul), de Wet Bodembeheer en het Bouwstoffenbesluit, die juist 'saneringsmaatregelen' en dus vernietiging van deze biotoop voorschrijven. De Nederlandse overheid en milieuorganisaties eisen bovendien al decennialang dat de vervuiling van oppervlaktewateren moet afnemen. Dit pakt slecht uit voor de tertiäre zinkflora die samenhangt met de afzetting van zware metalen in beekbegeleidende graslanden. Het handhaven en eventueel herstel van de zinkflora in België en Nederland moet worden gezien als een 'aandenken' aan een vroeger milieuvriendelijk landgebruik. Voor dit cultuurhistorisch ofwel archeologisch relict moet absoluut een uitzondering worden gemaakt. Het 'natuurlijke' voorkomen van zinkflora in de overstroomingsvlakte van de Geul was waarschijnlijk zeer beperkt; er dagzomen zeer wei-

Tabel 1

zinkfloratypen	voorkomen	vegetatie
Primaire zinkflora	Voorkomende op natuurlijk dagzomende ertsen; zonder enige menselijke invloeden. Het voorkomen van hoge concentraties $Zn^{2+}/Cd^{2+}/Pb^{2+}/4^{+}$ is een gevolg van natuurlijke mineralisatie.	Dominerende subassociatie is het <i>Violetum calaminariae typicum</i> dat in het gebied van de Breiniger Berg (net over de grens in Duitsland) aanwezig is. Niet voorkomend in het Boven-Geuldal van Nederland en België.
Secondaire zinkflora	Voorkomende op bodems ontstaan door mijnbouwactiviteiten.	De dominerende subassociaties zijn het <i>Violetum calaminariae typicum</i> op substraat met een hoog metaalgehalte zoals in Plombières (België) en op metaal-armere bodems het <i>Violetum calaminariae achilletesum</i> . Op verzurende metaalrijke bodems komen de subassociaties <i>typicum</i> en <i>callunetosum</i> voor (foto 5).
Tertiaire (of alluviale) zinkflora	Voorkomende in beemden; langs een aantal beken in België en vroeger zeer veel voorkomend langs de Geul in Nederland.	Het <i>Violetum calaminariae alluviale</i> (of beter gezegd de subassociatie <i>violetosum calaminaria</i>) wordt soms beschouwd als een op zichzelf staande subassociatie (foto 7). Het is een inslag binnen de associatie <i>Festuceto-Thymetum serpylli</i> van de klasse <i>Koelerio-Corynephoretea</i> (Willems, 2004).



Foto 4.
Zinkviooltje en Zinkboerenkers op een zeer zongeëxponeerde helling bij Schmalgraf, vlakbij Lontzen, België.



Foto 5.
Zinkengelsgras, Zinkviooltje en Zinkboerenkers op een zeer rijke secundaire locatie te Rabotrath.



Foto 7.
Alluviale (of tertiaire) zinkflora in optima forma te Rabotrath, België. Zeer gedomineerd door Zinkviooltje en Zinkboerenkers.

nig ertsaders en nog minder aders dagzomen in het stroombed van de Geul. Rang et al. (1986) laten zien dat de natuurlijke achtergrondconcentratie van zink door verwerking van ertsaderen 'slechts' 1576 mg/kg bedraagt (gemeten op 130 cm beneden maaiveld in de overstromingsvlakten van de Geul). Zelfs in beekdalen met veel meer aangesneden ertsaderen, zoals in de Harz, is de beekbegeleidende zinkflora alleen op ertsverwerking terug te voeren.

Kortom, we mogen aannemen dat het beekbegeleidend voorkomen van zinkflora sterk antropogeen bepaald is. Het is een relict van het lokale recent-historische landgebruik. Het is dus een halfnatuurlijke plantengemeenschap. En zulke plantengemeenschappen behoeven beheer.

Herstelbeheer

Tussen de nutriëntenconcentratie en de concentratie zink bestaat een evenredig verband d.w.z. hoe lager de zinkconcentratie hoe lager de beschikbaarheid van voedingsstoffen moet zijn om toch een goed ontwikkelde zinkflora voor te laten komen. Dit verband is van doorslaggevend belang voor juist de groeiplaatsen van de tertiaire zinkflora. Dit evenwicht is wankel en kan alleen worden hersteld door een hogere concentratie (beschikbaar!) zink en lagere gehalten aan voedingsstoffen. Dit kan alleen worden bereikt door jaarlijks maaien en afvoeren van het gewas. Dit beheer zorgt voor effectievere afvoer van nutriënten dan begrazing en zorgt – mits met de juiste apparatuur uitgevoerd – voor minder vertrapping c.q. bodemverdichting van de beekbegeleidende groeiplaatsen. Het uiteindelijke doel is door nutriëntenarme omstandigheden én een hoge concentratie beschikbare zware metalen concurrentie op het scherpst van de snede te laten plaatsvinden; wanneer men daar in slaagt, zal de zinkflora terugkeren.

Voor de kortere termijn zal eutrofiëringbestrijding van de eens zeer soortenrijke Zuid-Limburgse beekbeemden alleen kunnen plaatsvinden via een intensief verschrallingsbeheer: op de matig vermeste locaties via maaien en afvoeren, op de sterk vermeste plaatsen via verwijderen van de topklaag om zo met name fosfor te verwijderen. Voorts is vermindering van piekafvoeren door de Geul van het allergrootste belang. Door ernstige erosie wordt namelijk de zinkhoudende bodem weggespoeld.

Verder is het nodig experimentele praktijkmaatregelen te nemen. Vers 'mijnslib' kan worden aangebracht op de topklaag; om zo de overmaat aan nutriënten met 'vergiftiging' te drukken. Juridisch is dit echter niet toegestaan,

Kader 1.

Bodemchemie van zinkflora groeiplaatsen

In hoogtijdagen van de zinkindustrie in België werden de beekbegeleidende graslanden van de Geul met zink-, cadmium- en loodzouten 'geïmpregneerd'; dit was de beginfase van de Nederlandse en Belgische tertiaire zinkflora. Het waren met name sulfiden die door redox-reacties sterk verzurend, en dus zinkbeschikbaarheid verhogend werkten.

Het voorkomen en de vitaliteit van de zinkflora in een zeker evenwicht met grassen hangt samen met de voor planten beschikbare concentratie zware metalen ($Zn^{2+}/Cd^{2+}/Pb^{2+}/4^{+}$). Daarnaast is ook de wijze waarop deze metaalionen in de bodem gebonden zijn van groot belang. Een gedeelte is gebonden in zoutcomplexen, die zeer moeilijk oplosbaar zijn en daardoor vrijwel niet beschikbaar voor planten. Een ander deel is gebonden aan lutum en aan organische complexen zoals humuszuren en weer een ander deel is opgelost in het bodemvocht. De verdeling over deze compartimenten wordt bepaald door bodemeigenschappen zoals pH (hoe hoger de concentratie H^{+} , hoe meer metalen verdrongen worden uit complexen, en dus beschikbaar komen), lutumgehalte (hoe hoger het lutumgehalte, hoe meer zware metalen aan het uitwisselingscomplex zijn gebonden en hoe lager de beschikbaarheid), percentage organische stof (hoe hoger de concentratie organische stof, hoe lager de beschikbaarheid van metalen) en calciumgehalte (calciumcarbonaat buffert de pH en vermindert de beschikbaarheid van zink). In zinkrijke, maar calciumarme bodems wordt het zink bovendien gebonden aan fosfaat.

Op zich zijn deze zouten slecht oplosbaar voor planten, maar voor soorten die een symbiose hebben met mycorrhizavormende schimmels zijn ze van minder belang. De betrokken schimmels kunnen deze verbindingen verbreken en zo de zware metalen beschikbaar maken voor de zinkflora.

Bij een $pH < 5$ is zink beter oplosbaar in de bodem en dus beter beschikbaar voor planten, terwijl bij een $pH > 6$ zink sterker gebonden is in complexen. Door vertering van zinkverbindingen in de bodem (oplossing o.i.v. pH, oxidatie en complexvorming) ontstaan in een vochtige, kalkrijke omgeving hydrozinkiet ($Zn_5(OH)_3/CO_3)_2$) en diverse andere complexe verbindingen. Hydrozinkiet wordt gevormd door oplossing van zinksulfide en de daarop volgende oxidatie en neerslag van de oplossingsrest in de bovenste lagen van de bodem. Het is zichtbaar als een witte, hoog-fluorescente laag in de bovenste bodemhorizonten (foto 6). Het gaat afhankelijk van de pH in oplossing en komt dan beschikbaar voor planten.

Groeiplaatsen

De bodemchemische omstandigheden zijn sterk bepaald door de groeiplaats.

Op primaire (en sommige secundaire) groeiplaatsen overheersen zure omstandigheden en inzijing van neerslagwater. Hierdoor zijn zware metalen meestal goed beschikbaar en is de zinkflora dus duidelijk in het voordeel.

Secundaire groeiplaatsen zijn oligotroof, hebben een lage vochtbeschikbaarheid (ontbreken van humus en een stenige ondergrond), een lage concentratie calcium (en daardoor lage buffercapaciteit) en zeer hoge concentraties zware metalen die gebonden zijn in sulfiden, hydroxiden, carbonaten en silicaten. Deze metalen zijn door vertering of vanwege metallurgie (afhankelijk van het vroegere smeltproces) redelijk goed beschikbaar. Door deze omstandigheden is het evenwicht grassen/kruiden en zinkflora in het voordeel van de zinkflora.

Op tertiaire groeiplaatsen treedt afzetting van zware metalen op via overstromingen met oppervlaktewater. Op tertiaire groeiplaatsen in het Boven-Geuldal werden sulfiden van zware metalen (bijvoorbeeld ZnS) op een nutriëntenrijkere beekdalbodem afgezet. Door chemische vertering hiervan komen zuren vrij waardoor de beschikbaarheid van zink toeneemt, hetgeen de zinkflora begunstigt. Na afzetting van sulfiden van zware metalen in het beekdal zal in de zuurstofhoudende zone van de bodem oxidatie van deze verbindingen plaatsvinden, waarna Zn^{2+} complexen gevormd worden met carbonaten, silicaten en fosfaten. De uitwisselbaarheid van zink in deze verbindingen verschilt. Met de tijd ontstaan door reactie met o.a. silicaten steeds grotere complexen, waarvan de uitwisselbaarheid van zink afneemt en daarmee de beschikbaarheid voor de zinkflora. Door dit proces zal de oorspronkelijke gelaagdheid in meer of minder zware metalen bevattende sliblaagjes plaatsmaken voor een meer gelijkmatige verdeling over het bodemprofiel.



Foto 6. Fluorescentie van bodem-mineralen onder kortgolvig UV, bodemmateriaal van de Casino Weiher Halde te Kelmis.

omdat mijnsediment naast zink ook cadmium, lood en arsenicum bevat; metalen, die op de lijst van prioritaire contaminerende stoffen staan. Bemesting met een zuiver zinkzout is dus een goede, maar uiterst controversiële alternatieve hersteltechniek.

Alternatief is de beschikbaarheid van het aanwezige zink te verhogen. Dat zou wellicht goed kunnen door opnieuw sulfiden aan te brengen, bijvoorbeeld ijzersulfide, dat verzurend werkt. Gevolg is dat de beschikbaarheid van zink wordt verhoogd, de calciumconcentratie verlaagd en fosfor gebonden.

Met name in het Belgische deel zijn voldoende percelen voorhanden die niet zo sterk bemest zijn als die in Nederland. In deze percelen werden in de afgelopen 30-45 jaar veel zinkhoudende lagen afgezet als gevolg van de substantiële nalevering van zink door onder andere stroombederosie (Leenaers, 1989). Zulke locaties bieden goede perspectieven voor experimenteel herstel dat gepaard gaat met onderzoek dat gericht is op een beter begrip van de sturende biogeochemische processen op standplaatschaal.

In het algemeen kan men stellen dat intensief verschrallingsbeheer en beheer van eutrofiëringsbronnen in het kader van 'integraal waterbeheer' op stroomgebiedschaal van het Boven-Geuldal de enige serieuze oplossing biedt om de eens zeer waardevolle en soortenrijke vegetatie van rivierbeemden (waaronder de tertiaire zinkflora) te herstellen.

Voor behoud en herstel van de secundaire groeiplaatsen is vertering van de toplaag noodzakelijk om de concentratie zink voldoende hoog te houden en om vegetatiesuccessie tegen te gaan. Het verschuiven van grond en plaggen kan hiervoor zorgen. Hier ligt het voor de hand vervolgens een geïntegreerde beheermethode te kiezen waarin natuurbeheer en toerisme samengaan. Men kan daartoe archeologische relicten blootleggen, informatieve panelen plaatsen en metaalhoudend bodemmateriaal naar de oppervlakte brengen op een aantal locaties (foto 8).

Multidisciplinaire aanpak

De zinkflora heeft niet alleen een ecologische waarde; maar evenzeer een grote cultuurhistorische en zelfs archeologische waarde. Conform de geest van het Europese Verdrag ter bescherming van het archeologisch erfgoed (European Convention on the Protection of the Archaeological Heritage; Valetta, 16.I.1992) kan een pragmatische implementatie plaatsvinden door het restaureren van archeologische relicten, het heropenen van enkele onder-

grondse werken ten behoeve van onderzoek en toerisme en het aanbrengen van 'vers' erts voor herstel van de zinkflora. Hiermee kan de plaatselijke archeologie van secundaire groeiplaatsen worden gevisualiseerd en het areaal van de zinkflora worden vergroot.

De Nederlandse en Belgische locaties staan niet op zichzelf. Ze zijn deel van een vergelijkbare Europese reeks, die zich voortzet in nabijgelegen gebieden in Duitsland. Dit vraagt om aanpak in Europees verband aangezien de zinkflora op al deze groeiplaatsen blootstaat aan dezelfde problematiek. Het European Heavy Metal Ecology Network (EHMEN) dat als vervolg op het door auteur georganiseerde internationale congres en excursie in 2006 is opgericht, zal zich inzetten voor het beheer en de ontwikkeling van zinkfloragroeiplaatsen, in zeer nauwe samenwerking met al bestaande groepen, zoals de Arbeitsgemeinschaft Bergbaufolgelandschaften.

Literatuur

- Brévers, F., 2003.** Ecogéographie et conservation des populations de *Viola calaminaria* (DC.) Lej. en Région Wallonne. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.
- Dejonghe, L., F. Ladeuze & D. Jans, 1993.** Atlas des gisements plombo-zincifères du synclinorium de Verviers (est de la Belgique). Service Géologique de Belgique, Brussel.
- Ernst, W.H.O., 1974.** Schwermetallvegetation der Erde. Geobotanica selecta, Band V. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Ernst, W.H.O., J.A.C. Verkleij & H. Schat, 1992.**

Metal tolerance in plants. *Acta Botanica Neerlandica* 41: 229 - 248.

- Geel, B. van, R. Bregman, P.C. van der Molen, L.M. Dupont & C. van Driel-Murray, 1989.** Holocene raised bog deposits in the Netherlands as geochemical archives of prehistoric aerosols. *Acta Botanica Neerlandica* 38: 467 - 476.
- Graitson, E., E. Melin & M. Goffin, 2003.** Inventaire et caractérisation des sites calaminaires en Région wallonne. Société Publique d'Aide à la Qualité de l'Environnement G.I.R.E.A.- Université de Liège.
- Heimans, E., 1914.** De Oorsprong van de Geulflora. *De Levende Natuur*, afl. 2: 25 -30.
- Hildebrandt, U., M. Kaldorf & H. Bothe, 1999.** The Zinc Violet and its colonisation by arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Physiology*. 154: 709-717. Urban & Fisher, Duitsland.
- Kakes, P., 1980.** Genecological investigations on zinc plants. Doctorate Thesis. UvA, Amsterdam.
- Kurris, F. & J. Pagnier, 1925.** Botanisch-chemische waarnemingen over de zinkvegetatie van Epen. *Natuurhistorisch Maandblad* 14 (6): 86 - 89.
- Leenaers, H., 1989.** The dispersal of metal mining wastes in the catchment of the river Geul (Belgium-The Netherlands). *Nederlandse Geografische Studies* 102: 1 - 200 and maps in the appendix.
- Rang, M.C., C.E. Kleijn & C.J. Schouten, 1986.** Historical changes in the enrichment of fluvial deposits with heavy metals. In: *Monitoring to Detect Changes in Water Quality Series*. (D. Lerner ed.). IAHS Publication 157: 47 - 59.
- Riet, B.P. van de, E.C.H.E.T. Lucassen, R. Bobbink, J.H. Willems & J.G.M. Roelofs, 2005.** Preadvies Zinkflora. Directie Kennis, Ministerie van LNV.
- Tonin, C., P. Vandenkoornhuysen, E.J. Joner, J. Straczek & C. Leyval, 2001.** Assessment of arbus-

cular mycorrhizal fungi diversity in the rhizosphere of *Viola calaminaria* and the effect of these fungi on heavy metal uptake by clover. *Mycorrhiza* 10: 161 - 168.

Swennen, R., I. Van Keer & W. De Vos, 1994. Heavy metal contamination in overbank sediments of the Geul river (East Belgium): Its relation to former Pb-Zn mining activities. *Environmental Geology* 24: 12 - 21.

Willems, J.H., 2004. Hoe is het eigenlijk met onze zinkflora gesteld? *Natuurhistorisch Maandblad* februari 2004, jaargang 93.

Summary

Opportunities for management and (re) development of zinc flora of the Upper-Geul valley

As a follow-up of the International Zinc Flora Congress of January 2006, this article discusses the abiotic and historical background of zinc Flora sites in Belgium and The Netherlands and the requirements for suitable management of the remaining sites. The zinc flora is severely threatened. Therefore, the restoration possibilities of the zinc flora are also discussed. During the flowering-age of the mining-industry in the Upper-Geul valley of Belgium, the zinc flora occurred abundantly. After the fall of this industry the zinc flora declined. Zinc flora species have developed special enzymes or other mechanisms to reduce the incorporation of zinc and other (toxic) heavy metals or to neutralize these within the organism. One can classify the zinc flora and their associated plant communities in three classes: Primary zinc-flora sites: zinc flora occurring on natural exposed ore veins Secondary zinc-flora sites: zinc flora occurring due to excavations or old exploitations of the heavy metal ore bodies, halden and surface excavations. Tertiary zinc-flora sites: zinc flora on the alluvial plains of the Geul inundated by surface water rich in heavy metals. The deterioration of the zinc flora is mainly caused by eutrophication (increased concentration of N and P) and an increase of the Ca²⁺- concentration of the soil. An increased concentration N and P requires a higher Zn²⁺ concentration to counteract encroachment of the low productive zinc flora vegetation. To counteract the impact of eutrophication removal of the top layer and subsequent hay-making are required to restore the former nutrient-poor vegetation as well as increasing Zn²⁺ availability in soil by acidification by addition of for instance iron sulfide. It is likely that the future of the zinc flora is best ensured by an integral approach, including nature management, ecotourism, education and (re)development of archaeological relics.

A. van der Ent
Milieu-bioloog
e-mail: antonyvanderent@yahoo.co.uk
www.nouvelle-montagne.com

Foto 8. Voor behoud en herstel van de secundaire groeiplaatsen is verwerking van de top laag noodzakelijk om de concentratie zink voldoende hoog te houden en om vegetatiesuccessie tegen te gaan. Het verschuiven van grond en plaggen kan hiervoor zorgen. Hier de secundaire groeiplaats Plombières, België, voornamelijk gedomineerd door Zinkblaassilene en Zink-genaald Schapegras.

