

# Onderzoek naar herstel en (her)ontwikkeling van zinkvegetaties

## *Eindrapport*

R. Bobbink  
E.C.H.E.T. Lucassen  
J.G.M. Roelofs



Ministerie van Economische Zaken,  
Landbouw en Innovatie

© 2011 Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken,  
Landbouw en Innovatie

Rapport nr. 2011/OBN146-HE  
Den Haag, 2011

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het  
Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap  
onder vermelding van code 2011/OBN146-HE en het aantal exemplaren.

Oplage 100 exemplaren

Samenstelling R. Bobbink, E.C.H.E.T. Lucassen en J.G.M. Roelofs

Druk Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Bosschap, bedrijfschap voor bos en natuur  
Bezoekadres : Princenhof Park 9, Driebergen  
Postadres : Postbus 65, 3970 AB Driebergen  
Telefoon : 030 693 01 30  
Fax : 030 693 36 21  
E-mail : [algemeen@bosschap.nl](mailto:algemeen@bosschap.nl)

# Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (O+BN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

Op wereldschaal zijn vegetaties die zijn aangepast aan hoge concentraties zware metalen erg zeldzaam. Zinkvegetaties zijn beschermd in de Habitatrictlijn onder Habitattype 6130 zinkweiden. Zinkvegetatie komt voor in het bijzondere Natura 2000-gebied het Geuldal in Zuid-Limburg. Het totale oppervlak zinkvegetatie in Nederland is nu minder dan 1 hectare en wordt bedreigd door vermessing, gebrek aan zinkhoudend sediment en afkalving van de oevers.

In het voorliggende rapport worden in hoofdstuk 7 aanbevelingen gedaan voor het handhaven en uitbreiden van de zinkvegetatie in het bestaande zinkreservaat en om de zinkvegetatie weer terug te laten keren op voormalige groeiplaatsen langs de Geul. Dit onderzoek is vooral van belang voor de beheerder van de laatste populatie in het Geuldal en voor beheerders van overige plekken waar nieuwe zinkvegetatie ontwikkeld zou kunnen worden.

Drs. E.H.T.M. Nijpels  
Voorzitter Bosschap



# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	Inleiding	7
1.2	Preadvies Zinkflora	8
1.3	O+BN Zinkonderzoek 2007 – 2009	9
1.4	Leeswijzer	10
<b>2</b>	<b>Maai- en “antiverviltings”experiment (SBB-NM zinkreservaat)</b>	<b>12</b>
2.1	Inleiding	12
2.2	Methode bodemanalyses	14
2.3	Resultaten	15
2.4	Conclusies	19
<b>3</b>	<b>Plagexperiment in het SBB-NM-zinkreservaat</b>	<b>20</b>
3.1	Vooronderzoek bodem	20
3.2	Opzet plagexperiment	24
3.3	Resultaten	26
3.4	Conclusies	29
<b>4</b>	<b>Verzuringsexperimenten</b>	<b>31</b>
4.1	Methode	31
4.2	Resultaten	33
4.3	Conclusies	39
<b>5</b>	<b>Bodemchemie voormalige groeiplaatsen van de zinkvegetatie</b>	<b>40</b>
5.1	Inleiding	40
5.2	Methode	40
5.3	Resultaten	42

5.4	Conclusies	44
<b>6</b>	<b>Uitvoering van herstelmaatregelen in het zinkreservaat op praktijkschaal</b>	<b>45</b>
6.1	Uitgevoerde herstelmaatregelen	45
6.2	Resultaten van de uitgevoerde maatregelen	48
6.3	Conclusies	52
<b>7</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen voor beheer</b>	<b>54</b>
7.1	Inleiding	54
7.2	Conclusies	54
7.3	Aanbevelingen	56
<b>8</b>	<b>Referenties</b>	<b>58</b>
	<b>Bijlage 1</b>	<b>59</b>
	<b>Bijlage 2</b>	<b>62</b>







# 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

Op wereldschaal zijn vegetaties die aangepast zijn aan relatief hoge concentraties van zware metalen, buitengewoon zeldzaam. Het voorkomen van de zinkflora in ons land is al bekend sedert de 19e eeuw, en heeft vooral in de belangstelling gestaan sedert Eli Heimans hier uitvoerig aandacht aan heeft besteed in zijn in 1911 verschenen boek over "Ons Krijtland". In Nederland komt zinkvegetatie alleen voor in de overstromingsvlakte (vooral de meer zandige delen) langs de Geul in Zuid-Limburg. Hier is in het verleden zinkhoudend sediment afgezet, afkomstig van zink- en loodmijnen in La Calamine (Kelmis) en Plombière in België. De eerste melding van ertswinning in La Calamine stamt al uit 1344. Echter, de grootschalige zinkexploitatie startte in 1806. Gedurende de hele bloeiperiode van de zinkindustrie, van 1820 tot 1880, is La Calamine, door de daar aanwezige groeve Vieille Montagne (Altenberg), het middelpunt geweest van de mijnindustrie. Ertsen, gewonnen in mijnen in de omgeving werden daar naartoe getransporteerd ter verdere bewerking. De exploitatie in Plombières (Bleiberg) startte pas in 1844. Ook daar werden grote fabrieken opgezet om de ertsen te wassen, te smelten en verder te bewerken. Omstreeks 1920 werd de ertswinning in Plombières definitief beëindigd, voornamelijk omdat de hoge kosten als gevolg van de wateroverlast verdere exploitatie onrendabel maakten. De mijn in La Calamine sloot in 1884-'85, omdat deze uitgeput was. Toch is na sluiting van de mijnen de zinkindustrie doorgegaan met het verwerken van uit het buitenland aangevoerde ertsen. Tenslotte is rond 1950 een einde gekomen aan de zinkindustrie in Plombières en La Calamine en omgeving (voor details zie Van de Riet et al., 2005; Van der Ent, 2007).

Op de zinkhoudende afzettingen in de overstromingsvlakte van de Geul, heeft zich in de afgelopen eeuwen een zinkvegetatie ontwikkeld, een begroeiing die door een aantal specifieke zinksoorten is gekenmerkt. In Nederland wordt deze vegetatie gerekend tot de Subassociatie violetosum calaminariae van de Associatie van Schapengras en Tijn (FESTUCO-THYMETUM SERPYLLI), die tot de allerzeldzaamste vegetaties van ons land is te rekenen. Deze vegetaties zijn min of meer gesloten halfnatuurlijke graslanden op droge, kalkarme en niet te voedselrijke bodems en hebben een flora met diverse (onder)soorten en ecotypen die zijn aangepast aan de bijzondere bodemcondities (zink!). Kenmerkende soorten zijn zinkviooltje (*Viola lutea* subsp. *calaminaria*), zinkboerenkers (*Thlaspi caerulescens*), zinkschapegras (*Festuca ovina* subsp. *ophiolicola*), zinkblaassilene (*Silene vulgaris*, zinkvorm), en zink engels gras (*Armeria maritima*, zinkvorm) (Willems, 2004; Van de Riet et al., 2005). Deze soorten of taxa hebben een hogere tolerantie voor zware metalen, met name zink, waardoor deze de concurrentie met andere graslandsoorten gemakkelijk aankonden. Opvallende begeleidende soorten zijn grasklokje, gewoon struisgras en kleine bevernel (Van de Riet et al., 2005; inclusief een uitgebreide literatuuroverzicht daarin).

Door de ligging in dichtbevolkte en geïndustrialiseerde omgeving is de gemeenschap van zinkplanten in de laatste decennia in Europa aanzienlijk in haar bestaan bedreigd. De Zuid-Limburgse zinkvegetatie is verschillend van de zinkvegetaties van de ertsaders en storthopen (secundaire zinkvegetaties) en behoort tot de zogenaamde tertiaire (alluviale) zinkvegetaties, namelijk die vegetatie die beperkt is tot de zinkrijke stroomdalen van kleine rivieren zoals de Geul en bijvoorbeeld de Oker in Duitsland. Tot 1930 kwam zinkvegetatie veelvuldig voor langs de Geul tot voorbij Mechelen, rond 1970 was het areaal al beperkt tot 3 locaties ten zuiden van Epen, maar is nu vrijwel alleen aanwezig in één terrein: het zinkreservaat van Staatsbosbeheer (SBB), dat sinds begin 2007 in handen is gekomen van Natuurmonumenten. In het vervolg van dit rapport wordt dit terrein het SBB-NM zinkreservaat genoemd. Het totale oppervlak zinkvegetatie bedraagt nu flink minder dan 1 ha, waarvan 0,3-0,4 ha redelijk is ontwikkeld (Van de Riet et al. 2005). Dit heeft er toe geleid dat de zinkvegetatie is opgenomen in de Habitatrichtlijn (Habitattype 6130) en een hoge mate van bescherming geniet (Janssen & Schaminée, 2003).



*Figuur 1.1. Het zinkviooltje (Viola lutea subsp. calaminaria). Foto: R. Bobbink*

## **1.2 Preadvies Zinkflora**

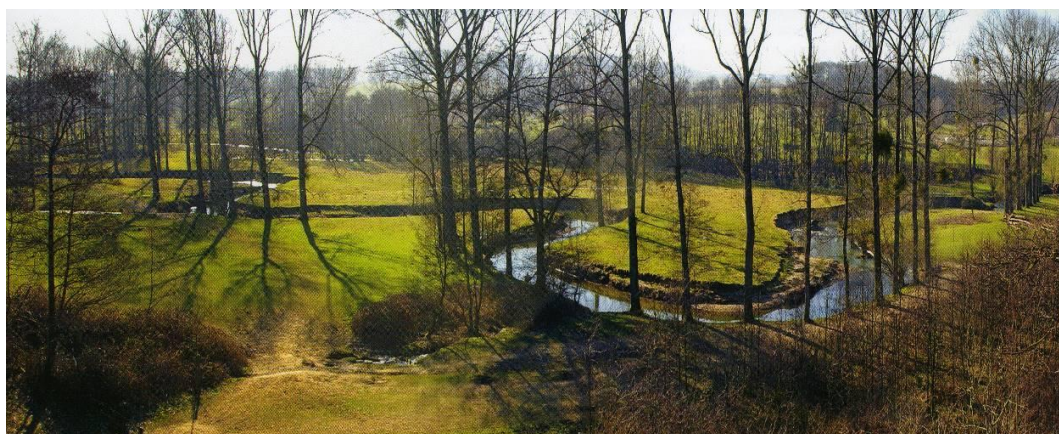
Door deze ernstige bedreiging van de Nederlandse zinkvegetatie is in het kader van het toenmalige overlevingsplan Bos en Natuur (OBN) in 2004 de bestaande kennis over zinkvegetaties geïnventariseerd, en zijn kennishiaten en/of problemen bij het beheer geconstateerd en beschreven in het preadvies Zinkflora (Van de Riet et al., 2005). Ook zijn in het preadvies aanbevelingen gegeven voor prioritair onderzoek om kennishiaten en eventuele knelpunten in herstelmaatregelen op te lossen (blz. 83-84) en daarna getoetst in het toenmalige OBN DT droge en vochtige schraallanden. De verschillende

aanbevelingen in het preadvies voor onderzoek zijn daarbij over twee aandachtsvelden verdeeld:

1. Behoud van de nog aanwezige zinkvegetatie en uitbreiding ervan in het SBB-NM-reservaat;
2. Uitbreiding van het nog resterende areaal van de zinkvegetatie ("ontwikkelingsbeheer") over graslanden (voormalige groeiplaatsen) in het Geuldal.

### 1.3 O+BN Zinkonderzoek 2007 – 2009

In juni 2007 is in het kader van O+BN (Ontwikkeling+Beheer Natuurkwaliteit) door de directie Kennis van LNV opdracht verleend aan Onderzoekcentrum B-WARE B.V., Radboud Universiteit Nijmegen om voor drie jaar vervolgonderzoek uit te voeren naar herstel en (her)ontwikkeling, zowel in het SBB-NM zinkreservaat, als op voormalige groeiplaatsen daarbuiten. In de periode 2007 – 2009 is het in 2006 opgestarte onderzoek voortgezet en aangevuld met de prioritaire onderzoeksvragen zoals aangegeven in het preadvies Zinkflora. In 2006 was een tweetal experimenten opgezet in de meest noordelijke meander van het SBB-NM zinkreservaat (met nog zinkvegetatie): a) een "antiverviltings"-experiment en b) een maaierexperiment (zie ook Bobbink et al., 2006) (Fig. 1.2). Verder is in 2006 onderzoek gestart om de mogelijkheden voor ruimtelijke uitbreiding van zinkvegetatie in het SBB-NM waar nu niets meer staat, te kwantificeren. Daarvoor is in februari 2006 de bodemchemie over het SBB-NM terrein in kaart gebracht. Aan de hand van deze bodemgegevens is in april 2006 een plagexperiment (n=6; plagdiepte ca. 20 cm) opgestart. In de proefvelden zijn kiemings- en vestigingproeven met een vijftal zinkplanten (zinkviooltje, zinkboerenkers, zink engels gras, zinkblaassilene en zinkschapengras) gestart en gevolgd (Bobbink et al., 2006).



*Figuur 1.2. Overzicht van het SBB-NM Zinkreservaat. Deze foto is genomen van de tegen overliggende helling (Foto: copyright St. Limburgs Landschap).*

Einddoel van het onderzoek is daarbij om tot een gefundeerd advies voor herstelbeheer te komen in zowel situaties waar nog restanten van

zinkvegetatie aanwezig is als op locaties waar deze in de laatste decennia is verdwenen. Het volgende onderzoek is daarom uitgevoerd:

- 1) voortzetten van het ingezette maai- en antiverviltingsexperiment zodat een goed beeld verkregen kan worden van de ontwikkeling van de vegetatie en bodemchemie bij dit (mogelijke) herstelbeheer in het SBB-NM zinkreservaat (periode 2007 - 2009);
- 2) voortzetten van het plagexperiment (2007-2009; vegetatieontwikkeling en bodem) en uitbreiden van de vestigingszones (na plaggen door NM in 2008) naar de directe omgeving voor vestiging en uitbreiding van de zinkflora in delen van het SBB-NM zinkreservaat, waar alle zinkvegetatie al was verdwenen;
- 3) onderzoek naar verhogen van de Zn/Ca-ratio's door verzuringsexperimenten (intacte bodemkolommen in 2007-2008, daarna opschalen naar veldsituatie (medio 2008 - 2009)) voor meer optimale "zinkcondities" (hogere toxiciteit) en daarmee dus betere concurrentiepositie van de zinkflora tegenover mogelijke dominante planten (voornamelijk grassen en mossen);
- 4) in kaart brengen (zomer 2007) van de bodemchemie (o.a. Zn, nutriënten) in Geuldalgraslanden (sLL, NM), waar tot voor kort (1975 - '85) nog zinkflora aanwezig was, om tot selectie van kansrijke plekken voor uitbreiding van zinksoorten buiten het SBB-NM-reservaat te komen.

Het onderzoek in dit project is uitgevoerd onder begeleiding van het OBN-DT Heuvellandschap, bestaande uit de volgende personen:

- Bart van Tooren, Natuurmonumenten (voorzitter)
- Roland Bobbink (vice-voorzitter)
- Friso van der Zee, DK-LNV (secretaris)
- Dries Boxman, Radboud Universiteit, Nijmegen
- Tim van der Broek, Natuurmonumenten
- Harry van Buggenum, Waterschap Roer en Overmaas
- Jan Hermans, NHG, Linne
- Hans de Mars, Royal Haskoning, Maastricht
- Toos van Noordwijk, St. Bargerveen, Nijmegen
- Arjan Ovaa, Stichting Limburgs Landschap
- Joop Schaminée, Alterra, Wageningen
- Michiel Wallis de Vries, Vlinderstichting, Wageningen
- Hans Weinrich, DLG, Roermond
- Freek van Westreenen, SBB
- Jo Willems, Bilthoven.

## 1.4 Leeswijzer

In dit eindrapport wordt een overzicht gegeven van het sinds 2007 tot november 2009 uitgevoerde onderzoek in het kader van het herstel van de Zuid-Limburgse zinkvegetaties. Het rapport is opgebouwd, zoals hierboven met de vier aandachtspunten (1 - 4) is aangegeven. In hoofdstuk 2 zijn de metingen en resultaten van het maaiexperiment en antiverviltingsexperiment in het deel van het SBB-NM-reservaat met nog zinkvegetatie over de hele onderzoeksperiode (2006-2009) beschreven. In het volgende hoofdstuk (H-3) worden de uitkomsten besproken van het plagexperiment dat in het zelfde

reservaat is uitgevoerd in delen waar de zinkvegetatie al volledig was verdwenen. Daarna beschrijft Hoofdstuk 4 hoe het onderzoek naar experimentele verzuring om de beschikbaarheid en daarmee de toxiciteit van Zn te verhogen is uitgevoerd met een groot kolommenexperiment en een eerste veldtrial. In hoofdstuk 5 is de bodemchemie in nog niet eerder onderzochte voormalige groeiplaatsen van de zinkflora beschreven, om inzicht te verkrijgen op welke locaties eventuele herontwikkeling van zinkvegetaties het meest kansrijk is. Vervolgens worden de eerste resultaten van de opschaling van het herstelbeheer op praktijkschaal in het SBB-NM reservaat, uitgevoerd in zomer 2008 in hoofdstuk 6 behandeld. Tenslotte worden algemene conclusies met betrekking tot betreffende knelpunten en mogelijkheden voor herstel van de zinkvegetatie besproken in het synthese hoofdstuk (H-7). Verder is een overzicht van literatuurverwijzingen en verschillende bijlagen toegevoegd.

## **2 Maai- en “antiverviltings”experiment (SBB-NM zinkreservaat)**

### **2.1 Inleiding**

In 2006 is een tweetal experimenten opgezet in de meest noordelijke meander van het SBB-NM zinkreservaat, het deel van het reservaat met nog enigszins redelijk ontwikkelde zinkvegetatie (Figuur 1.2, meest rechtse meander; zie ook Figuur 3.7; preadvies): a) een maaierperiment en b) een “antiverviltings”-experiment (Bobbink et al. 2006).

#### **Maaierperiment**

Om het effect van maaien en afvoeren op de verruigde vegetatie te onderzoeken als mogelijkheid om het beheer te optimaliseren, is een afrastering als “exclosure” van ca. 50 m<sup>2</sup> (Figuur 2.1) geplaatst voor het inscharen van het rundvee (02-06-2006). In deze exclosure zijn vijf permanente proefvlakken (1,5 x 1,5 m) uitgezet. Het reguliere beheer (begrazing) is ook gevolgd, en wel in vijf proefvlakken die paarsgewijs met de gemaaide proefvlakken, op 2 m buiten het raster zijn ingemeten. Begin juli 2006 is de vegetatiesamenstelling beschreven via de Braun-Blanquet methode. Het maaien plus afvoeren van de vegetatie is tussen eind juli – half augustus uitgevoerd, behalve in 2006, toen door de vele regenval het maaien en afvoeren is uitgesteld tot begin september. Juist voor het maaien zijn in 2007, 2008 en 2009 bodemonsters (0-10 cm) genomen van zowel de begraasde als experimentele proefvlakken. Ook zijn elk jaar vegetatieopnames volgens de methode Braun-Blanquet gemaakt van zowel de gemaaide als begraasde proefvelden.



*Figuur 2.1. Overzicht van de afrastering ("exclosure") die is opgericht om het maaixperiment te kunnen uitvoeren*

### **"antiverviltings"experiment**

Om de invloed van de aanwezige verviltingslaag op de zinkflora te onderzoeken zijn vijf permanente proefvlakken uitgezet in de zelfde meander van het zinkreservaat (eveneens op 02-06-2006). In een vijftal proefvlakken (1 x 2 m) is per toeval van één helft (1 x 1m) van het proefvlak de verviltingslaag (3-4 cm) met behulp van een spade verwijderd (Figuur 2.2). Medio september 2006 zijn in zowel de onbehandelde als de experimentele proefvlakken bodemonsters genomen (0-10 cm); verder is in de experimentele situatie het aantal (kiem)planten van zinkviooltje en zinkboerenkers gekwantificeerd, plus de bedekking van de aangetroffen koeienvlaaien (zomer 2006). Verder zijn bodemonsters genomen in 2007 en 2009, en is begin mei en begin augustus 2009 het aantal planten van eventuele zinksoorten gekwantificeerd.



*Figuur 2.2* Overzicht van een van de deelproefvelden waar de vegetatie en de verviltingslaag is verwijderd.

## 2.2 Methode bodemanalyses

Van de verzamelde bodemonsters (ook die voor het onderzoek zoals beschreven in de volgende hoofdstukken) werden de volgende analyses uitgevoerd:

- waterextractie (voor nauwelijks aan de bodem gebonden ionen als nitraat)
- NaCl (0.2M)-extractie (voor beschikbaarheid van ionen (o.a. ammonium) die aan het bodemadsorptiecomplex zijn gebonden)
- Bodemdestructies (voor totaal Zn-gehalte en Zn/Ca-ratio)
- Olsen-P (plantenbeschikbare P-fractie)

### **Vocht- en gehalte aan organische stof**

Het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal te drogen gedurende 24 uur bij 105 °C. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal, na drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550 °C. Het gloeiverlies komt goed overeen met de fractie organisch materiaal in deze typen bodem.

### **Bodemdestructie**

Van de gedroogde bodem of plantenmateriaal (24 uur bij 60 °C) werd een destructie uitgevoerd ter bepaling van de totale concentraties aan elementen in de bodem (o.a. Zn, Ca, Mg, K, P). Hiertoe werd 200 milligram gedroogd bodem of 100-150 milligram gedroogd plantenmateriaal met 4 ml salpeterzuur en 1 ml waterstofperoxide in gesloten teflon cups ontsloten in een destructiemagnetron. Vervolgens werd de monsters aangevuld met 100 ml gedemineraliseerd water voor verder chemische analyse.



### **Waterextractie**

Vrij beschikbare nutriënten en de pH-water werden bepaald met behulp van een waterextractie. Hiervoor werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml milli Q water toegevoegd. Gedurende 60 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna de pH werd gemeten. Het supernatant werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars en bewaard bij 4 °C tot verdere analyse. De elementen- of nutriëntconcentraties werden berekend in  $\mu\text{mol}$  per kilogram droge bodem.

### **Zoutextractie**

Uitwisselbare nutriëntenconcentraties en de pH-NaCl werden bepaald met een extractie met 0.2 M NaCl. Hiervoor werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml milli Q water (0.2 M NaCl) toegevoegd. Gedurende 60 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna de pH werd gemeten. Het supernatant werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars en bewaard bij 4 °C tot verdere analyse. De elementen- of nutriëntconcentraties werden berekend in  $\mu\text{mol}$  per kilogram droge bodem.

### **Olsen-extractie**

Deze extractie is uitgevoerd omdat dit de meest geschikte methode blijkt te zijn voor de bepaling van plantenbeschikbaar fosfaat. Voor de bepaling van fosfaat, met behulp van een Olsen-extractie, werd aan 3 gram droog bodemmateriaal 100 ml 0,5 M natriumbicarbonaat ( $\text{NaHCO}_3$ ) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,5 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bij 4 °C bewaard tot verdere analyse. De Olsen-P concentraties werden berekend in  $\mu\text{mol}$  per gram droge bodem.

### **Chemische analyse**

De chemische analyse van de monsters vond plaats op het Gemeenschappelijk Instrumentarium van de Radboud Universiteit Nijmegen. De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl<sub>2</sub> elektrode verbonden met een radiometer Copenhagen type PHM 82. De analyses van calcium, magnesium, ijzer, aluminium, zink, mangaan, totaal fosfor en totaal zwavel werden uitgevoerd met behulp van Inductief Gekoppeld Plasma - Optische Emissie Spectrometrie (ICP-OES; Thermo Electron Cooperation IRIS Intrepid II-XPL). Natrium en kalium werden vlamfotometrisch bepaald (Radiometer FLM3 Flame Photometer). De volgende elementen werden colorimetrisch bepaald met behulp van een Bran+Luebbe AutoAnalyser 3: chloride met ferri-ammoniumsulfaat, nitraat met hydrazinesulfaat en ammonium met salicylaatreagens.

## **2.3 Resultaten**

### **Maaixperiment**

Zoals al eerder aangegeven (Van de Riet et al. 2005; Bobbink et al. 2007) wordt de zinkvegetatie in het SBB-NM-zinkreservaat steeds meer overheerst door soorten uit de voedselrijke glanshavergraslanden. Ook in de vegetatie-opnames van het maaixperiment is dat duidelijk te zien: de totale

bedekking van de vegetatie is hoog (> 95%) in zowel de gemaaide als begraaide proefvelden, en het aantal soorten per opname van 1,5 bij 1,5 m is laag, respectievelijk tussen de 10,6 en 12,0 in de gemaaide situatie en iets lager (9,8 – 10,4) in de begraaide proefvlakken (de controle) (Tabel 2.1). De vegetatie wordt sterk gedomineerd door grassen als rood zwenkgras, gewoon struisgras en gestreepte witbol. De rest van de aangetroffen soorten zijn gewone graslandsoorten als scherpe boterbloem en veldzuring. De enige twee soorten uit meer schrale graslanden zijn kleine bevernel en grasklokje, overigens in lage bedekking. In zowel maai- als graasbehandeling zijn zinkviooltje en zinkboerenkers aangetroffen, waarbij de presentie van de laatste soort erg laag is. In het tweede jaar van het experiment (2007) zijn er geen verschillen in soortensamenstelling en –rijkdom aanwezig tussen de behandelingen, wel lijkt er een tendens te zijn dat er meer zinkviooltjes aanwezig zijn in de gemaaide situatie (Tabel 2.1). Ook in 2008 zijn wat meer zinkviooltjes aangetroffen bij het maai-beheer dan in de begraaide delen van de vegetatie, maar het verschil tussen de behandelingen was minder groot dan in 2007. Wel was het gemiddelde soortenaantal iets hoger in de gemaaide proefvelden in 2008, vooral door iets hogere frequentie van kleine bevernel en grasklokje. In het vierde jaar (2009) zijn er, helaas, vrijwel geen verschillen tussen het maai-beheer of het reguliere beheer door begrazing aangetroffen (Tabel 2.1)

*Tabel 2.1 Overzicht soortenaantal hogere planten, aantal zinkviooltjes, aantal zinkboerenkersplanten en hun presentie van 2007 tot zomer 2009. Alle gegevens zijn gemiddelde waarden ( $\pm$  S.E.)*

	<i>Maaiproefvelden</i>	<i>Begraasde proefvelden</i>
<b>2007</b>		
Soortenaantal	11,6 (0,25)	10,4 (0,10)
Aantal zinkviooltjes	21,4 (5,65)	1,0 (0,63)
Presentie zinkviooltje	5	2
Aantal zinkboerenkers	0,4 (0,4)	1,6 (1,6)
Presentie zinkboerenkers	1	1
<b>2008</b>		
Soortenaantal	12,0 (0,84)	10,4 (0,45)
Aantal zinkviooltjes	7,4 (3,2)	1,6 (0,7)
Presentie zinkviooltje	4	4
Aantal zinkboerenkers	0,2 (0,2)	0
Presentie zinkboerenkers	1	0
<b>2009</b>		
Soortenaantal	10,6 (0,60)	9,8 (0,20)
Aantal zinkviooltjes	1,2 (0,97)	0,6 (0,40)
Presentie zinkviooltje	2	2
Aantal zinkboerenkers	2,0 (1,38)	0
Presentie zinkboerenkers	2	0

De totale hoeveelheid Zn en de Zn/Ca-ratio in de bodem van de proefvlakken van beide behandelingen in de hele meetperiode (2006-2009) maakt deze zeker geschikt voor de groei van de zinkflora. De pH-NaCl water is ongeveer 4,9 - 5,3 en er is voor alle parameters, inclusief plantbeschikbaar P- en beschikbaar N-gehaltes, geen significant verschil tussen de gemaaide en begraaide situaties gevonden. (Tabel 2.2). Wel dient opgemerkt te worden dat de gehalten van plant beschikbaar P (P-Olsen) erg hoog zijn voor een

schraal stroomdalgrasland als de gemeenschap van schapengras en gewone tijm is en zelfs lijken toe te nemen gedurende de meetperiode. Deze zeer hoge gehalten (1650-3040  $\mu\text{mol P/kg}$  gram droge bodem) zijn hoogstwaarschijnlijk de oorzaak van de vervilting en verruiging van de zinkvegetatie in het reservaat, zelfs daar waar nog de meeste zinkplanten aanwezig zijn. Zo zijn in goed ontwikkelde Schapengras-tijm graslanden 250 – 500  $\mu\text{mol P/kg}$  droge bodem als referentiewaarden gemeten, met enkele uitschieters naar 700- 880  $\mu\text{mol/kg}$  gram droge bodem (Databestand B-WARE BV). In dit vierjarig experiment heeft maaien met afvoeren van het maaisel er niet toegeleid dat de beschikbaarheid van P voor planten structureel is verlaagd. De gemeten Olsen P waarden zijn dermate hoog dat het niet waarschijnlijk is dat door maaien op redelijk korte termijn 10-20 jaar voldoende P uit het systeem wordt verwijderd.

*Tabel 2.2. Overzicht van de bodemchemie in het "maaiexperiment". Alle gegevens zijn gemiddelde waarden ( $\pm$  S.E.) en uitgedrukt in  $\mu\text{mol/kg}$  gram droge bodem, uitgezonderd het totaal Zn-gehalte (mmol/kg gram droge bodem), pH en Zn/Ca ratio (mol/mol).*

	<i>Maaiproefvelden</i>	<i>Begraasde proefvelden</i>
<b>2006</b>		
pH-NaCl	4,87 (0,09)	4,86 (0,09)
Totaal Zn	64,3 (7,93)	52,5 (5,5)
Zn/Ca-ratio	1,34 (0,11)	1,16 (0,13)
Olsen-P	1648 (131)	1993 (212)
Zout-extraheerbaar $\text{NH}_4^+$	387 (128)	425 (67)
Demi-extraheerbaar $\text{NO}_3^+$	244 (50)	226 (50)
<b>2007</b>		
pH-NaCl	5,26 (0,10)	5,26 (0,07)
Totaal Zn	50,0 (3,5)	46,9 (3,9)
Zn/Ca-ratio	1,09 (0,08)	1,07 (0,04)
Olsen-P	2781 (274)	2583 (285)
Zout-extraheerbaar $\text{NH}_4^+$	256 (69)	209 (15)
Demi-extraheerbaar $\text{NO}_3^+$	62 (20)	95 (7)
<b>2009</b>		
pH-NaCl	4,93 (0,07)	5,09 (0,04)
Totaal Zn	62,8 (4,6)	54,3 (3,5)
Zn/Ca-ratio	1,20 (0,13)	1,03 (0,13)
Olsen-P	2655 (541)	3039 (281)
Extraheerbaar $\text{NH}_4^+$	156 (28)	117 (24)
Demi-extraheerbaar $\text{NO}_3^+$	199 (88)	128 (29)

### **"Antiverviltingsexperiment"**

Uit de gegevens van dit experiment uit 2006 is gebleken dat de hergroei van de vegetatie in de meeste behandelde proefvelden erg snel is, en dat op ca. 20 % van het oppervlakte koeienmest terecht komt (Bobbink et al. 2007). Dit is ook terug gevonden in de hoogte van de vegetatie en de vegetatiebedekking van deze proefvelden in juli 2007. In vier van in 2006 behandelde proefvelden is de vegetatie duidelijk hoger dan in de controleproefvelden (normale grasbeheer), en ook is het aandeel grassen (vooral gestreepte witbol) in de eerstgenoemde situatie erg hoog, veelal

hoger dan in de controlesituatie (Figuur 2.3). Ook in 2009 is dit verschil nog terug te zien: in de controleproefvlakken is rood zwenkgras het dominante gras (gemiddelde bedekking 55 % ( $\pm 3,5$  SE)), terwijl gestreepte witbol dat in de proefvlakken is waar de antiverviltingsmaatregel is genomen (59 %  $\pm 8,4$  SE). Het aantal planten van zinkviooltje en zinkboerenkers kon in 2007 niet goed bepaald worden tijdens het geplande bezoek, aangezien de koeien dat jaar erg vroeg waren ingeschaard. (zie eerder). Daarom is daar in 2009 extra aandacht aanbesteed door de proefvlakken 2x te onderzoeken op exemplaren van zinkviooltje en zinkboerenkers. Het resultaat was teleurstellend: zowel in de controleproefvlakken (begrast) als in de proefvelden met "antiverviltingsbehandeling" is in 2009 helemaal geen zinkboerenkers aangetroffen. Voor zinkviooltje was dat ook het geval in laatst genoemde behandeling, terwijl in de controle proefvlakken in 2 (van de 5) enkele individuen van zinkviooltje zijn aangetroffen (totaal 7 individuen op 2 m<sup>2</sup>). Kortom, de uitgevoerde maatregel heeft de groei van de zinksoorten zeker niet gestimuleerd.



*Figuur 2.3 Beeld van één van de series (nr. 4) waar wel of niet de vegetatie en de verviltingslaag is verwijderd (begin juni 2006). Links het behandelde proefveld, rechts het aangrenzende controleproefveld (foto half juli 2007).*

Zoals eerder beschreven, is de bodem in deze proefvelden in 2006, 2007 en 2009 bemonsterd. De belangrijkste bodemparameters zijn gegeven in tabel 2.3. Duidelijk is geworden is dat de totale hoeveelheid zink en de Zn/Ca-ratio ook hier voldoet aan de minimale eisen voor de groei van zinkvegetatie, met een tendens tot wat (10 -15%) hogere waarden voor de Zn/Ca-ratio in de proefvelden waar de verviltingslaag ( $\pm 3$  cm bodem) is verwijderd. De concentratie plantbeschikbaar P is ook in deze proefvlakken erg hoog (1900 – 3200  $\mu\text{mol P/kg}$  droge bodem) voor een onbemest grasland in een natuurgebied (zie eerder), en ook de concentratie beschikbaar ammonium is wat aan de hoge kant (Tabel 2.2).

Tabel 2.3. Overzicht van de bodemchemie in het "antiverviltingsexperiment". Alle gegevens zijn gemiddelde waarden (+ S.E.) en uitgedrukt in  $\mu\text{mol/kg}$  droge bodem, uitgezonderd het totaal Zn-gehalte ( $\text{mmol/kg}$  gram droge bodem), pH en Zn/Ca ratio ( $\text{mol/mol}$ ).

	Controle proefvelden	Behandelde proefvelden
<b>2006</b>		
pH-NaCl	5,03 (0,10)	5,02 (0,04)
Totaal Zn	52,5 (5,5)	64,3 (7,93)
Zn/Ca-ratio	1,16 (0,13)	1,34 (0,11)
Olsen-P	1993 (212)	1648 (131)
Zout-extraheerbaar $\text{NH}_4^+$	425 (67)	387 (128)
Demi-extraheerbaar $\text{NO}_3^-$	1158 (595)	996 (553)
<b>2007</b>		
pH-NaCl	5,56 (0,14)	5,34 (0,08)
Totaal Zn	50,4 (4,2)	45,1 (3,0)
Zn/Ca-ratio	0,93 (0,03)	1,14 (0,06)
Olsen-P	2596 (135)	1929 (171)
Zout-extraheerbaar $\text{NH}_4^+$	254 (33)	162 (35)
Demi-extraheerbaar $\text{NO}_3^-$	75 (20)	49 (15)
<b>2009</b>		
pH-NaCl	4,82 (0,15)	4,90 (0,02)
Totaal Zn	48,3 (2,7)	67,2 (5,6)
Zn/Ca-ratio	0,89 (0,05)	1,39 (0,13)
Olsen-P	3257 (250)	2949 (342)
Zout/extraheerbaar $\text{NH}_4^+$	259 (55)	79 (19)
Demi-extraheerbaar $\text{NO}_3^-$	162 (74)	27 (5)

## 2.4 Conclusies

Uit de resultaten van deze vierjarige experimenten kunnen de volgende conclusies worden getrokken betreffende het herstel van de verzuivering van de nog aanwezige vegetatie met zinkplanten:

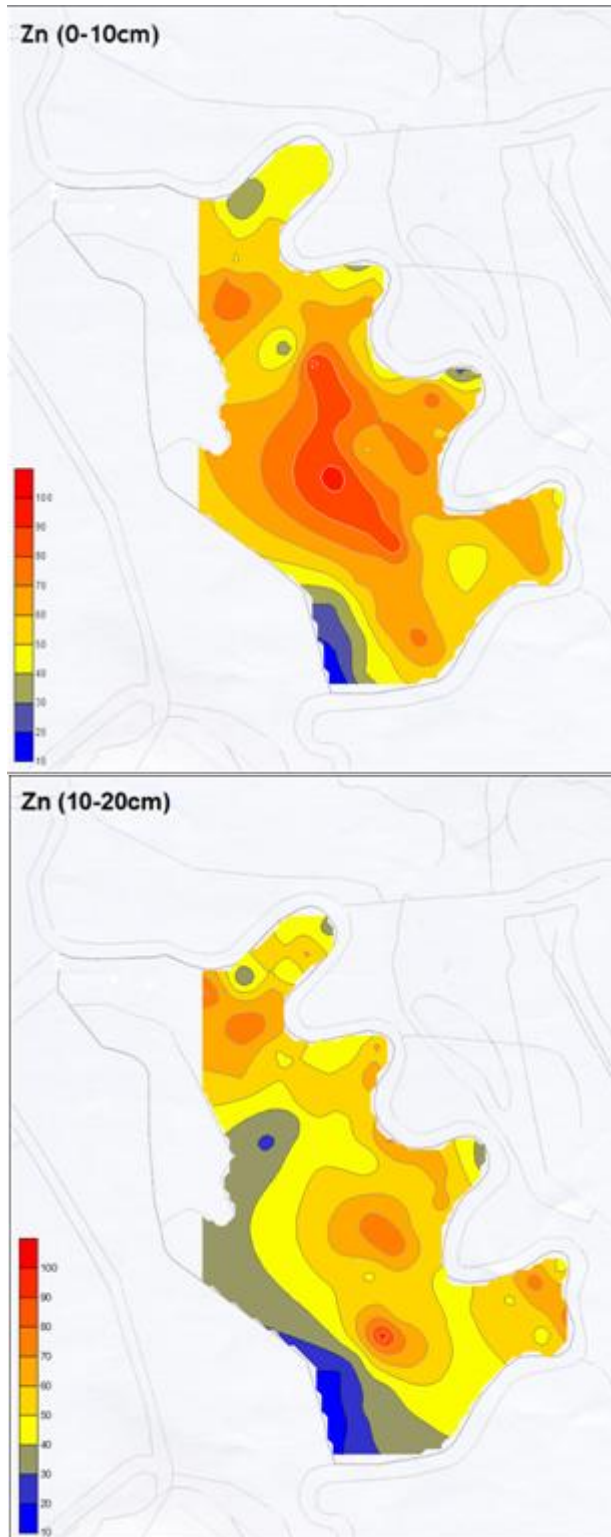
- Maaien in de zomer heeft nauwelijks tot enige verbetering in de situatie van de verzuivde vegetatie geleid;
- Verwijdering van de vervuilde bodemlaag heeft helemaal niet tot een verbetering van de situatie voor de zinkflora geleid;
- In het begraaide gedeelte van het zinkreservaat (SBB-NM) vindt een te hoge "depositie" van koeienmest plaats;
- Het is zeer waarschijnlijk dat de sterk verhoogde P-concentraties in de bodem de oorzaak zijn van de verzuivering, en daarmee van de waargenomen achteruitgang van de nog aanwezige zinksoorten (zinkviooltje en zinkboerenkers) in de laatste 20 jaar.

## **3 Plagexperiment in het SBB-NM-zinkreservaat**

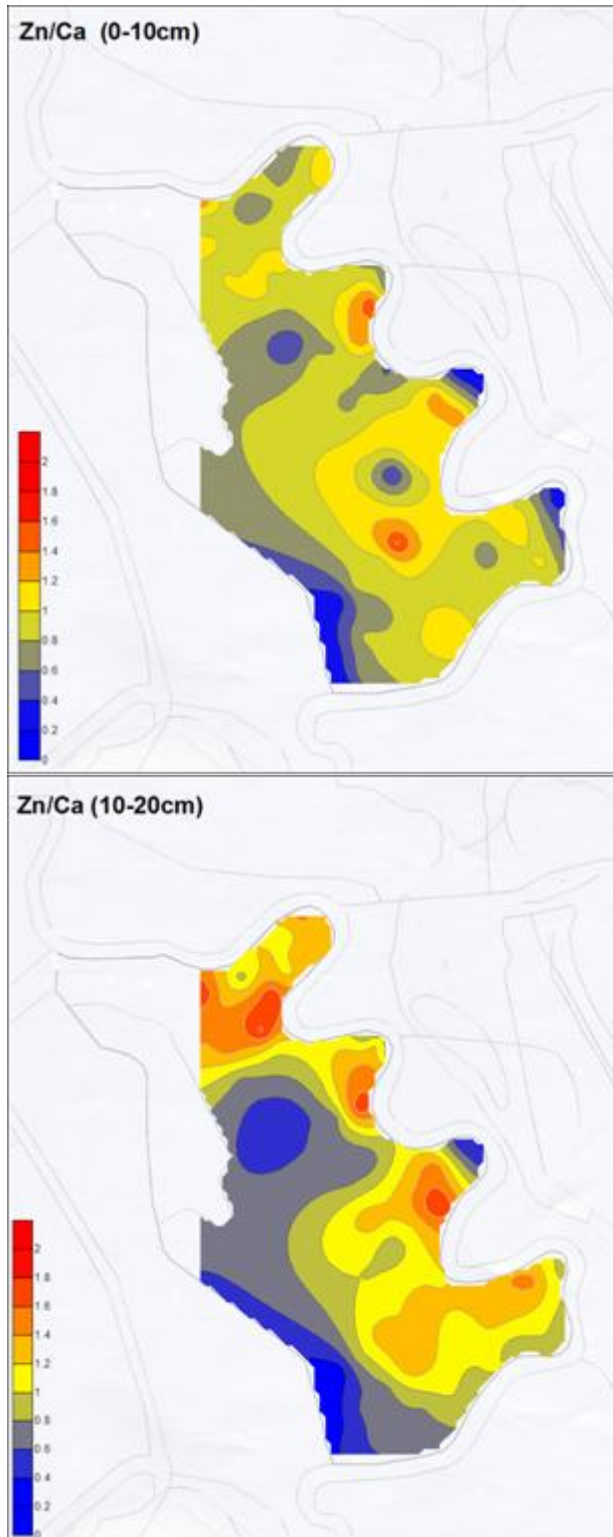
### **3.1 Vooronderzoek bodem**

Redelijk ontwikkelde zinkvegetatie komt voornamelijk voor in de meest noordelijk gelegen meanderbocht van het SBB-NM-zinkreservaat. In de overige terreindelen is bijna geen zinkvegetatie meer aanwezig. In april 2006 is een raster over het terrein (uitgezonderd het broekbosje) uitgezet. Vervolgens zijn bodemmonsters (twee dieptes: 0-10, 10-20 cm) volgens dit raster genomen (n=70). Van deze bodemmonsters zijn bodemextracties en – destructies uitgevoerd (zie par. 2.2 voor methode) en is zo de bodemchemie gekwantificeerd. De bodemchemie is achtereenvolgens in kaart gebracht met het programma Surfer 8.

Het voorkomen van zinkflora in stroomdalgraslanden is gecorreleerd aan de zinkbeschikbaarheid en de concentratie plantbeschikbaar fosfaat (Olsen-P) in de bodem. De zinkflora komt voor op bodems met een totaal Zn concentratie hoger dan 40 mmol/kg droge bodem, een Zn/Ca ratio > 0.8 en een Olsen-P concentratie lager dan 1000 (liefst < 500-600)  $\mu\text{mol/kg}$  droge bodem (Lucassen et al. 2009). In Figuur 3.1a-c zijn de resultaten van deze cruciale parameters voor de bodem in het zinkreservaat gegeven.

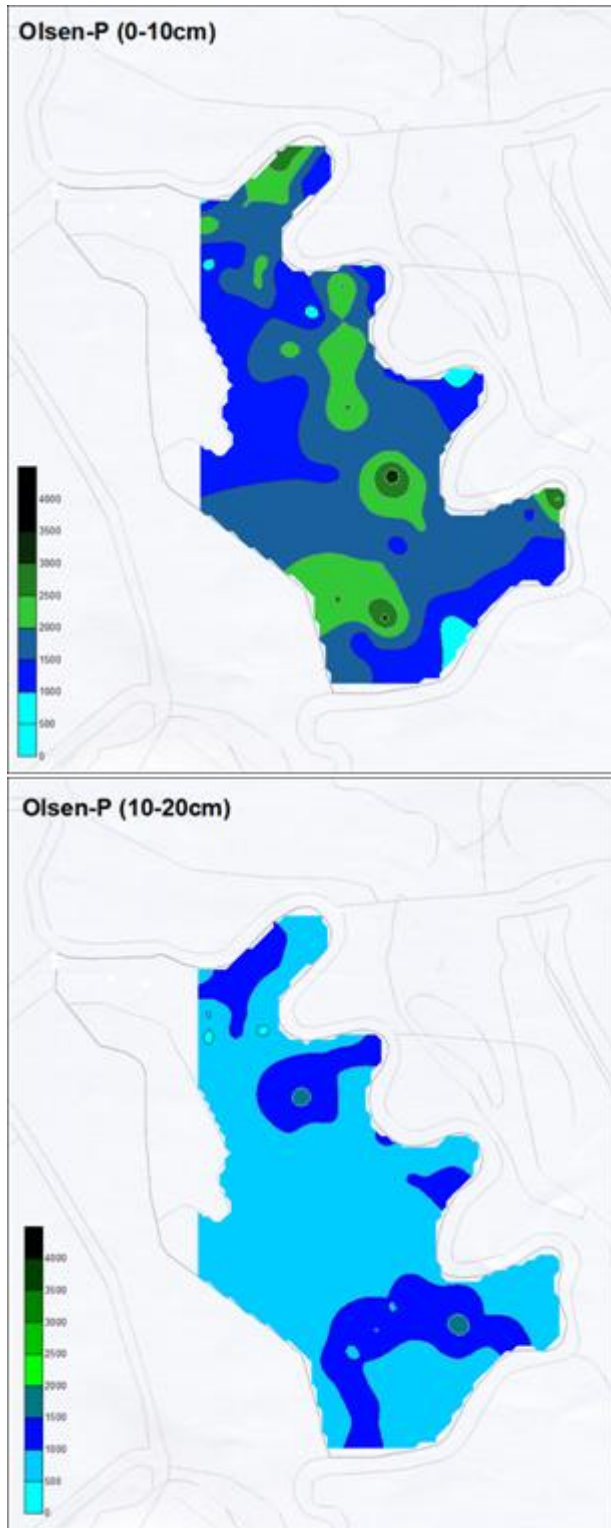


*Figuur 3.1a. De zinkconcentratie ( $\mu\text{mol}/\text{gram}$  droge bodem) in het SBB-NM zinkreservaat op een diepte van 0-10 cm en 10-20 cm.*



*Figuur 3.1b. De zink-calcium ratio in het SBB zinkreservaat op een diepte van 0-10 cm en 10-20 cm.*

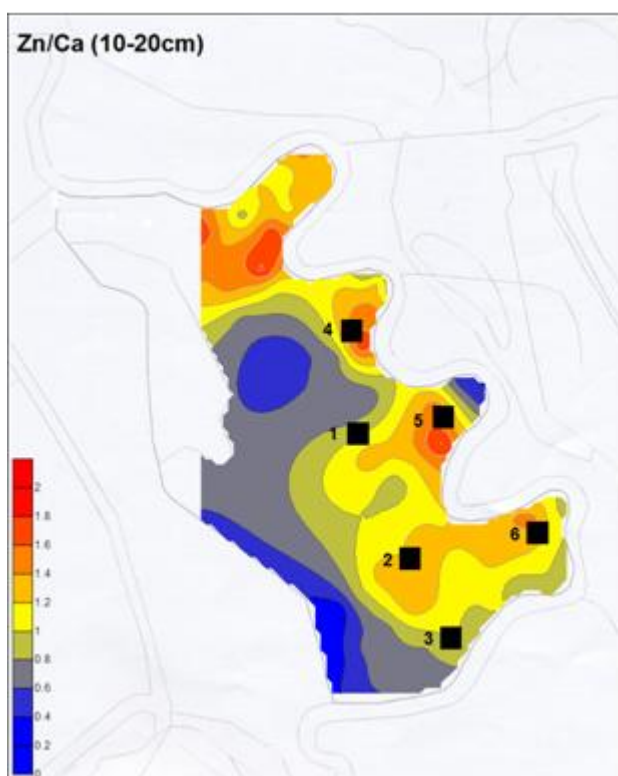




Figuur 3.1c. De plantbeschikbare fosfaatconcentratie (Olsen-P) ( $\mu\text{mol/kg}$  droge bodem) in het SBB-NM zinkreservaat op een diepte van 0-10 cm en 10-20 cm.

## 3.2 Opzet plagexperiment

Uit deze gegevens is gebleken dat zowel de totaal zinkconcentratie als de zink-calcium ratio in de bovenste 10 cm van de bodem aan deze eis voldoet in het overgrote deel van het SBB-NM zinkreservaat. Echter, de Olsen-P concentratie is in het grootste deel van het terrein veel te hoog. Het fosfaat concentreert zich voornamelijk in de bovenste 15-20 cm van de bodem. Door de toplaag af te graven neemt de concentratie plantbeschikbaar fosfaat dusdanig af, dat in het overgrote deel van het terrein wel voldaan wordt aan de randvoorwaarde voor groei van de zinkflora. Ook de concentratie zink is in het overgrote deel van het terrein in dat geval nog steeds toereikend. De zink-calcium ratio wordt echter plaatselijk wat ongunstiger na afgraven van de bovenste 10 cm bodem. De zes proefvlakken zijn daarom buiten de delen van het terrein gelegd waar de zink-calcium ratio op een diepte van 15 cm lager is dan 0,8. De ligging van de zes proefvlakken, gebaseerd op de zink-calcium ratio in de bodem, is gegeven in Figuur 3.2. Hierbij is ervoor gekozen om drie van de proefvlakken aan de rand van het gebied te leggen (nr 4 t/m 6) en drie in het meer centraal gelegen deel van het gebied (nr 1 t/m 3). De proefvelden (9 m<sup>2</sup>) zijn in april 2006 handmatig geplagd tot 20 cm diepte. Elk proefvlak is verdeeld in vier subproefvlakken (1 m<sup>2</sup>) waarbij één verrijkt is met Zn-rijke bodem uit Plombière. Vervolgens zijn zaden en deels planten van vijf zinksoorten (zinkviooltje, zinkboerenkers, engelsgras-zinkvorm, blaassilene-zinkvorm en zinkschapegras) volgens een raster uitgelegd of uitgezet. Tenslotte zijn de zes proefvlakken met gaas afgeschermd van de begrazing door rundvee (Figuur 3.3).



*Figuur 3.2. Ligging van de zes proefvlakken aan de rand (4 t/m 6) en in het centrale deel (1 t/m 3) in het SBB-NM zinkreservaat gebaseerd op de Zn/Ca ratio op een diepte van 10-20 cm.*

In juli 2006 zijn bodemonsters in het plagexperiment verzameld om de actuele bodemchemie vast te stellen. In elke deelproefvlak werden vier monsters verzameld op een diepte van 0-5 cm en gemengd tot één mengmonster (n=24). Voor de uitgevoerde analyses zie par. 2.2. De ontwikkeling van de zinkvegetatie is gekwantificeerd via schatting van de bedekking (in procenten) van de vijf genoemde soorten in de periode april 2007 en oktober 2009. Tevens is de ontwikkeling van grassen gekwantificeerd. In april 2007 is scheutmateriaal van alle plantensoorten behorend tot de zinkflora verzameld in alle deelproefvelden. Sommige planten van Zinkboerenkers waren (tijdelijk) paars van kleur en daarom zijn van deze soort zowel paarse als groene bladeren verzameld. De bladeren werden in het lab gewassen met demi. Het materiaal is vervolgens gedroogd (24 uur bij 60 °C) en vermalen met vloeibare stikstof. 200 mg materiaal is vervolgens gedestruerd (zoals beschreven in § 2.2) voor bepaling van de concentratie Zn en Pb. De waarden zijn vergeleken met referentieconcentraties van plantmateriaal uit het Epen en uit Plombière, om vast te kunnen stellen of de planten uit de proefvlakken, op basis hiervan, over voldoende Zn en Pb beschikken.



*Figuur 3.3. De aanleg van één van de proefvelden (9 m<sup>2</sup>) in april 2006. A) Het handmatig verwijderen van een deel van de bodemlaag; B) Het inrichten van de proefvlakken in vier subproefvlakken (1 m<sup>2</sup>) waarbij één subplot verrijkt is met bodem uit Plombière; C) Het uitzetten van planten en zaden volgens een raster; D) Het omheinen van de proefvlakken met gaas.*

### 3.3 Resultaten

#### Bodem

De belangrijkste bodemchemische parameters in de proefvelden, na het verwijderen van de bovenste 20 cm bodem, zijn vermeld in tabel 3.1. Hieruit blijkt dat de Olsen-P concentratie in de bodem is teruggebracht naar de verwachte waarden zoals vastgesteld in het vooronderzoek (Lucassen et al. 2009). Er zijn geen duidelijke verschillen in de pH-H<sub>2</sub>O en de concentraties Olsen-P en Ca tussen de verschillende proefvelden (perifeer vs centraal) en deelproefvelden (controle en met additie van Plombière bodem). De totale concentratie zink (Zn-d) en de concentratie zink in het waterextract (Zn-H<sub>2</sub>O) zijn hoger in de perifeer gelegen proefvlakken dan in de centraal gelegen proefvlakken. Daarnaast zijn deze concentraties ook hoger in de subproefvlakken waar bodem afkomstig uit Plombière aan toegevoegd is. Aangezien de buffercapaciteit (pH en Ca-d) tussen de deelproefvelden met en zonder additie van Plombière bodem gelijk is gebleven, is het zink in de bodem uit Plombière waarschijnlijk aanwezig in de vorm van zinksulfiden. Dit wordt ondersteund door het hogere zwavelgehalte in de bodem.

Tabel 3.1. Enkele belangrijke bodemchemische parameters (gemeten in waterextracten (H<sub>2</sub>O) en bodemdestructies (d)) in de proefvlakken. De concentratie Zn-H<sub>2</sub>O en Olsen-P zijn gegeven in  $\mu\text{mol/kg}$  droge bodem. De concentraties aan totaal Zn, Ca en S zijn gegeven in  $\mu\text{mol/gram}$  droge bodem.

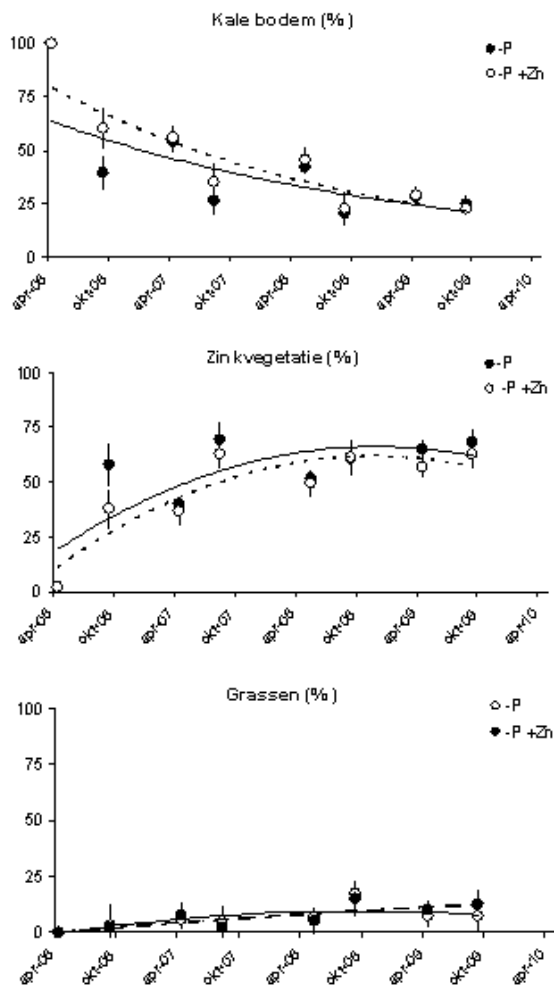
	pH-H <sub>2</sub> O	Zn-H <sub>2</sub> O	Zn-d	Ca-d	Zn/Ca-d	S-d	Olsen-P
<b>CENTRAAL Ctr</b>	5,75 (0,04)	276 (7,5)	45,1 (7,0)	36,0 (2,6)	1,3 (0,1)	8,1 (0,3)	569 (67)
<b>Plomb.</b>	5,67 (0,05)	361 (4,2)	57,3 (5,1)	35,2 (1,7)	1,4 (0,2)	21,7 (7,6)	602 (24)
<b>PERIFEER Ctr</b>	5,80 (0,06)	310 (1,7)	54,1 (2,7)	34,8 (3,7)	1,6 (0,1)	7,9 (1,7)	518 (36)
<b>Plomb.</b>	5,84 (0,09)	410 (13,2)	60,5 (3,8)	37,6 (7,1)	1,5 (0,1)	16,2 (3,5)	593 (55)

#### Vegetatieontwikkeling

De gemiddelde bedekking van de zinkvegetatie en grassen is gegeven in Figuur 3.5. De bedekking van de verschillende plantensoorten is gegeven in Figuur 3.6. De zinkvegetatie heeft zich vanaf de start van het experiment uitgebreid tot een bedekking van ongeveer 70 % in 2009. Grassen hebben zich gedurende de experimentele periode van vier jaar uitgebreid tot een bedekking van circa 10 %. Vier jaar na inzet van het experiment is in de proefvlakken gemiddeld nog circa 25 % kale bodem aanwezig. De bedekking van zinkschapegras en engels gras is gedurende de vier jaar toegenomen terwijl de bedekking van zinkboerenkers, zinkblaassilene, zinkviooltje en gestreepte witbol een optimum tonen in 2008 en hierna weer iets zijn afgenomen. De gezamenlijke bedekking van de zinksoorten is tot ca. 50 % gestegen in 2008 (Figuur 3.4) en blijft daarna stabiel. Het toedienen van mijnafval uit Plombière heeft geen aanvullend effect gehad op de ontwikkeling van de vegetatiesamenstelling hetgeen erop duidt dat de bodem in het reservaat inderdaad voldoende zink bevat voor groei van de zinkvegetatie.

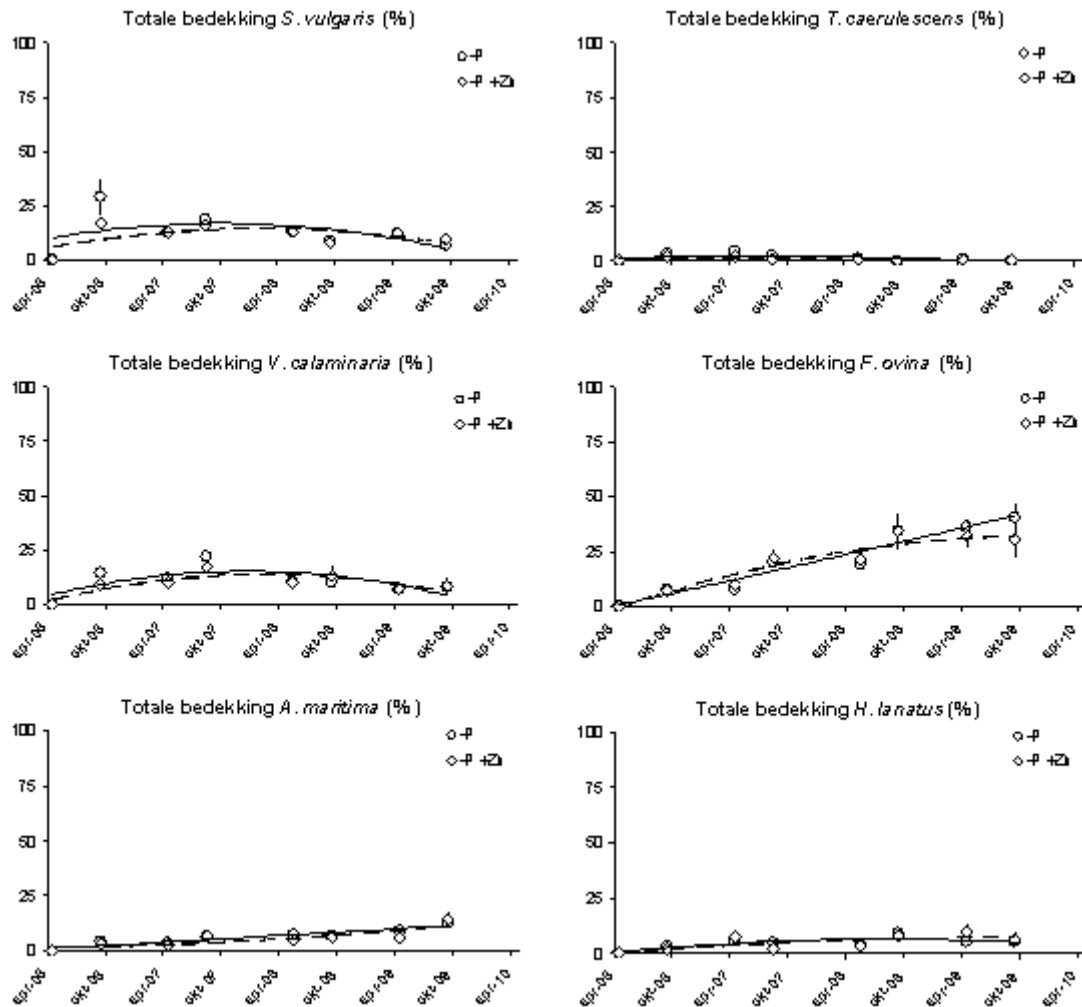


Figuur 3.4. Indruk van een proefvlak met zinkflora in juni 2008.



Figuur 3.5. Percentage kale bodem en bedekking van zinkvegetatie en grassen in het plagexperiment, met (-P+Zn) en zonder (-P) toediening van

Plombière bodem, in de periode april 2006 t/m oktober 2009. Gemiddelden en standaard fout zijn gegeven.

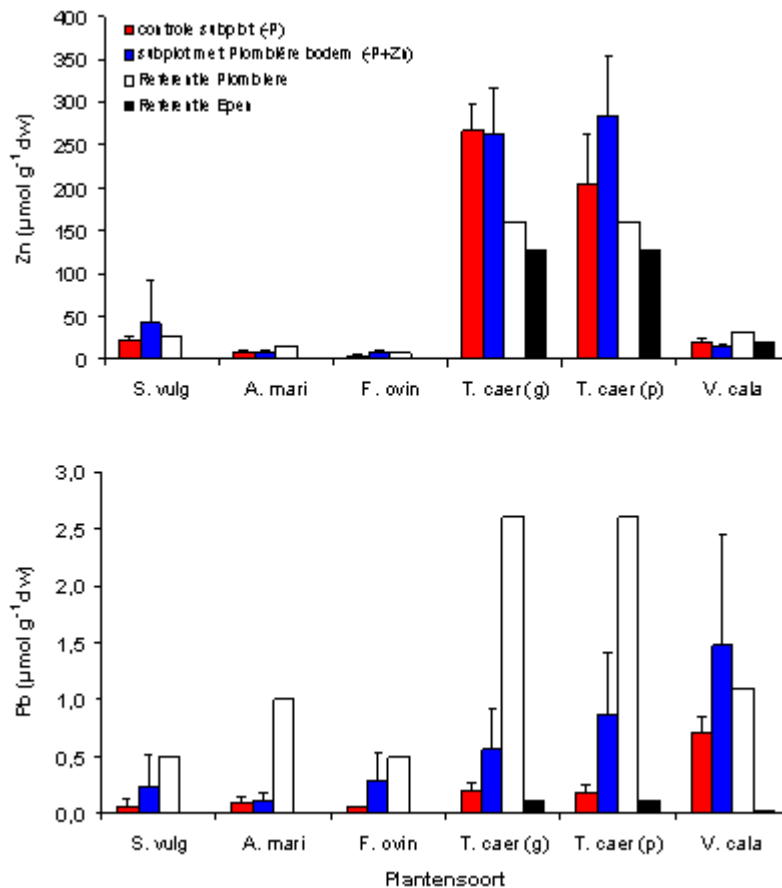


Figuur 3.6. Percentage kale bodem en bedekking van zinkvegetatie en grassen in het plagexperiment, met (-P+Zn) en zonder (-P) toediening van Plombière bodem, in de periode april 2006 t/m oktober 2009. Gemiddelden en standaardfout zijn gegeven.

### Samenstelling van het plantmateriaal

De concentraties aan zink en lood in de scheuten van de verschillende plantensoorten behorend tot de zinkflora zijn gegeven in figuur 3.4. Hieruit blijkt dat voor alle plantensoorten de concentraties aan zink in het plantmateriaal gelijkwaardig is aan dat van referentie- plantmateriaal uit Plombière en Epen. Ook is geen verschil in concentratie in het plantmateriaal na plaggen met of zonder bodem uit Plombière. Wat betreft de concentratie lood zijn de gehalten in het plantmateriaal lager dan in referentie plantmateriaal uit Plombière en gelijkwaardig of hoger aan referentie plantmateriaal uit Epen. De tijdelijke paarse kleuring in Zinkboerenkers wordt niet veroorzaakt door een tekort aan zink of lood. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de bodem uit de proefvelden, ook op basis van de zink- en loodconcentraties in het plantmateriaal, geen te lage concentraties aan zink en lood hebben aangezien de waarden goed overeen

komen met de concentraties zoals gemeten in een secundaire zinkvegetatie als Plombière.



Figuur 3.4. Concentratie zink en lood in het plantmateriaal uit de controle deelproefvlakken (rode kolom) en de deelproefvlakken verrijkt met Plombièrebodem (blauwe kolom). De referentiewaarden van planten uit Plombière en Epen zijn gegeven in wit (derde kolom) en zwart (vierde kolom). *S. vulg*=*Silene vulgaris*; *A. mari*=*Armeria maritima*; *F. ovin*=*Festuca ovina*; *T. caer*=*Thlaspi caerulescens* (met groene (g) en paarse (p) bladeren); *V. cala*=*Viola calaminaria*. Voor SV, AM en FO zijn geen referentiewaarden uit Epen bekend. Gemiddelden en standaard fout ( $n=6$ ) zijn gegeven. Concentraties zijn gegeven in  $\mu\text{mol}/\text{gram}$  drooggewicht.

### 3.4 Conclusies

De uitkomsten van het vierjarige plagexperiment in het SBB-NM zinkreservaat heeft het volgende aangetoond:

- Plaggen van de bodem tot 20 cm diepte maakt de bodem voldoende arm aan P;

- De abiotiek na plaggen is zeer geschikt (voldoende Zn, goede Zn/Ca-ratio) voor de vestiging van alle, eens aanwezige zinksoorten; toevoer van extra zink verbetert de situatie niet;
- Na aanbrengen van zaad en kiemplanten heeft zich een kenmerkende begroeiing van zinkflora gevestigd, zonder dominantie van grassen;
- Ruim 4 en half jaar na uitvoering van de combinatie van maatregelen is de vegetatie nog steeds laag productief.



## 4 Verzuringsexperimenten

Uit het onderzoek in het preadvies is gebleken dat door het langdurig agrarisch gebruik (bekalking!) van de stroomdalgraslanden van de Geul de pH van de bodem gestegen is ten opzichte van de tijd waarin naast zinkrijk ook metaalsulfiderijk sediment werd afgezet. Door de afgenomen zuurgraad is  $Zn^{2+}$  in de bodem minder goed beschikbaar voor de vegetatie, en is de "Zinkrem" op de vegetatie in kracht afgenomen. Ook is de Zn/Ca-ratio gedaald en te laag voor het instandhouden van de zinkplanten (Van de Riet et al. 2005; Lucassen et al. 2009). Dit is een belangrijk knelpunt voor de eventuele (her)ontwikkeling van zinkvegetatie buiten het nog resterende SBB-NM-zinkreservaat, naast de (bijna) altijd te hoge P-beschikbaarheid in de bovenste lagen van de bodem (zie hoofdstuk 6). Door kunstmatig te verzuren kunnen weer betere uitgangsposities voor de tertiaire zinkflora worden herschapen. Daarom is in 2007 een verzuringsexperiment in kolommen gestart met bodemmateriaal van een mogelijk geschikte locatie (na plaggen), maar met te hoge pH en te lage Zn/Ca-ratio. De locatie waar het bodemmateriaal verzameld is, is vervolgens in 2008 en 2009 gebruikt om de "verzuringsmethodiek" op te schalen naar een eerste, zeer kleinschalig veldexperiment.

### 4.1 Methode

Gebaseerd op de resultaten van het bodemonderzoek in de voormalige groeiplaatsen van de zinkvegetatie (zie hoofdstuk 6 & preadvies) is de meest geschikte locatie geselecteerd om bodemmateriaal te verzamelen, namelijk die locatie met, na plaggen, lage P-Olsen gehalten en voldoende totaal Zn in de bodem. Deze situatie bleek ondermeer aanwezig te zijn bij het terrein van Stichting "het Limburgs Landschap op de oostelijke oever net tegen over het SBB-NM-zinkreservaat. Aldaar is in september 2007 bodemmateriaal verzameld op een diepte van 25 – 35 cm (Figuur 4.1) om te gebruiken in de kolommen voor het eerste verzuringsexperiment. Tevens is hier eind 2007-begin de eerste pilot voor een uitgebreide veldproef gestart.



*Figuur 4.1. Beeld van de locatie waar het bodemmateriaal voor de kolomproef is verzameld (sept. 2007)*

#### **Proefopstelling–opzet**

Nadat het bodemmateriaal eind september 2007 was verzameld, werden begin oktober 16 kolommen (diameter 20 cm, 50 cm hoog; gedraineerd) gevuld met dit bodemmateriaal. De volgende behandelingen (4 replica's) zijn vervolgens vanaf eind oktober 2007 ingesteld:

*IJzer(II)sulfaat* (gemengd door de bovenste 10 cm; 5 g/kg droge bodem);

*IJzersulfide* (amorf) (gemengd door de bovenste 10 cm; 5 g/ kg droge bodem);

*Zoutzuur* (als oplossing; 153 ml 0,24 N HCl per kg droge bodem, in 2x toegediend);

*Controle.*

De toegepaste hoeveelheden zijn bepaald aan de hand van de gemeten buffercapaciteit en pH van de bodem en zodanig berekend dat in principe een pH van 5,0 wordt bereikt. In de kolommen zijn rhizons geplaatst op 0-10, 10-15 en 20-30 cm diepte om het bodemporiewater te kunnen bemonsteren zonder de kolommen te verstoren (Figuur 4.2). De bodemkolommen zijn berekend met een equivalent van 1000 mm neerslag per jaar, en de looptijd van het experiment was 12 maanden. De kolommen zijn geplaatst in een klimaatcel. Direct na de start van het experiment (week 1) en daarna ongeveer 1x per maand is het bodemporiewater per diepte verzameld en daarna volledig chemisch geanalyseerd. Aan het eind van het experiment is het bodemmateriaal ook middels verschillende extractiemethoden (zie par. 2.2) doorgemeten.



*Figuur 4.2. Overzicht van de kolommen waarin het verzuringsexperiment wordt uitgevoerd (okt. 2007)*

## 4.2 Resultaten

### Kolommenexperiment

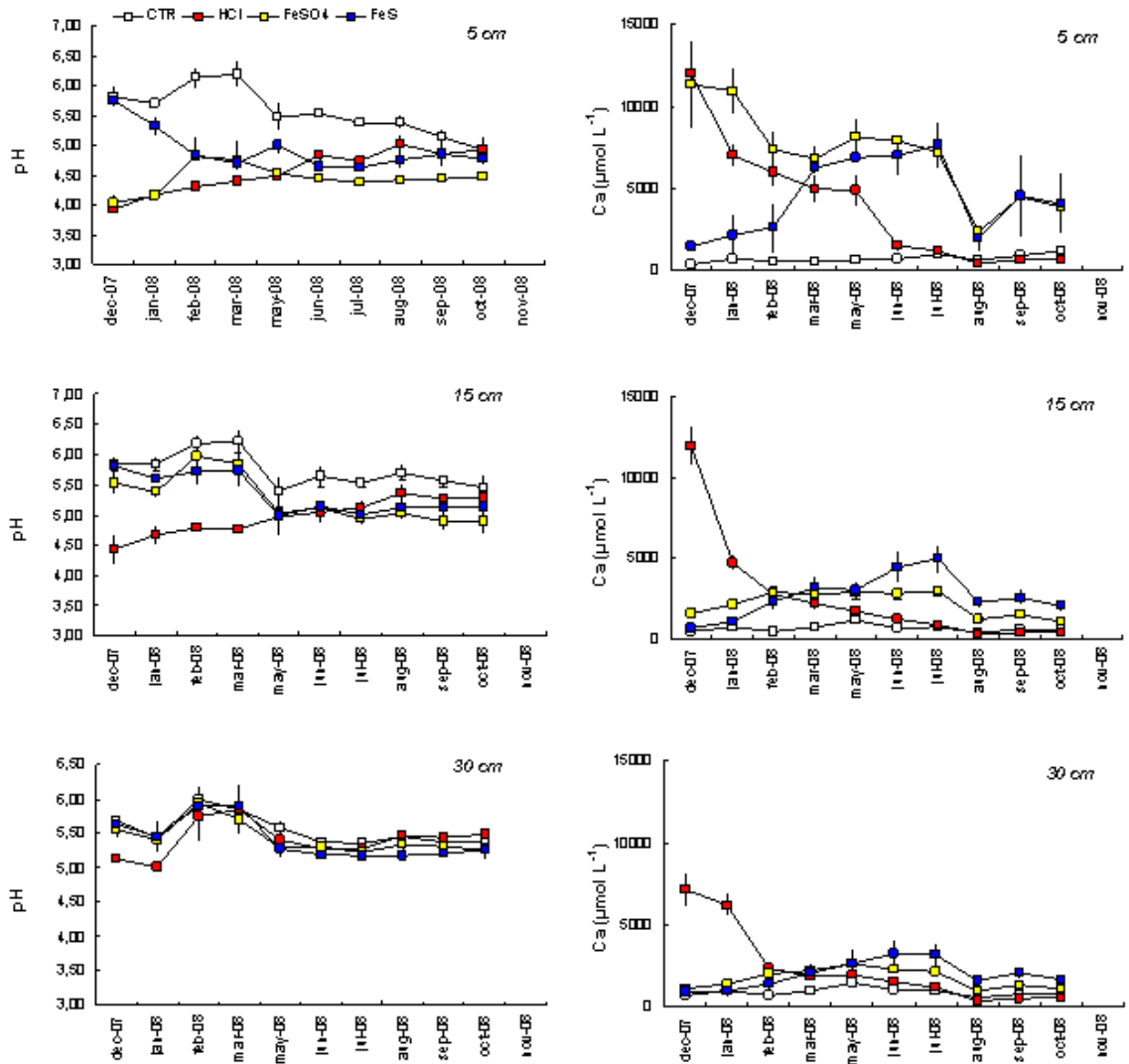
Uit figuur 4.3 blijkt dat in zowel de met HCl, FeS als FeSO<sub>4</sub> behandelde kolommen een sterke pH daling optreedt in de bovenste 5 cm van de kolom. De pH in het bodemvocht daalt van 5,75 (pH in de blanco behandeling) naar 4,00-4,25. In de met HCl en FeSO<sub>4</sub> behandelde kolommen treedt de verzuring direct op, terwijl de daling van de pH in de FeS behandelde kolommen geleidelijk plaatsvindt gedurende de eerste twee maanden. De verzurende werking van de drie chemicaliën is ook op een diepte van 15 cm zichtbaar, met name in de met HCl- behandelde kolommen. Echter, voor alle chemicaliën geldt dat het verzurende effect op een diepte van 15 cm minders sterk is dan in de bovenste 5 cm van de kolom (Figuur 4.3).

HCl (zoutzuur) is een sterk zuur dat als vloeistof is toegediend en daardoor leidt tot een relatief snelle sterke verzuring van de bodem. FeSO<sub>4</sub> en FeS (toegediend als zout en als amorfe stof) staan minder in contact met de bodem waardoor de contactzone geringer is en verzuring minders minder sterk is maar langer doorwerkt. Dit blijkt ook uit de concentratie sulfaat die gedurende de gehele experimentele periode sterk verhoogd blijft in het gehele bodemprofiel van de FeS en FeSO<sub>4</sub> behandelde kolommen.

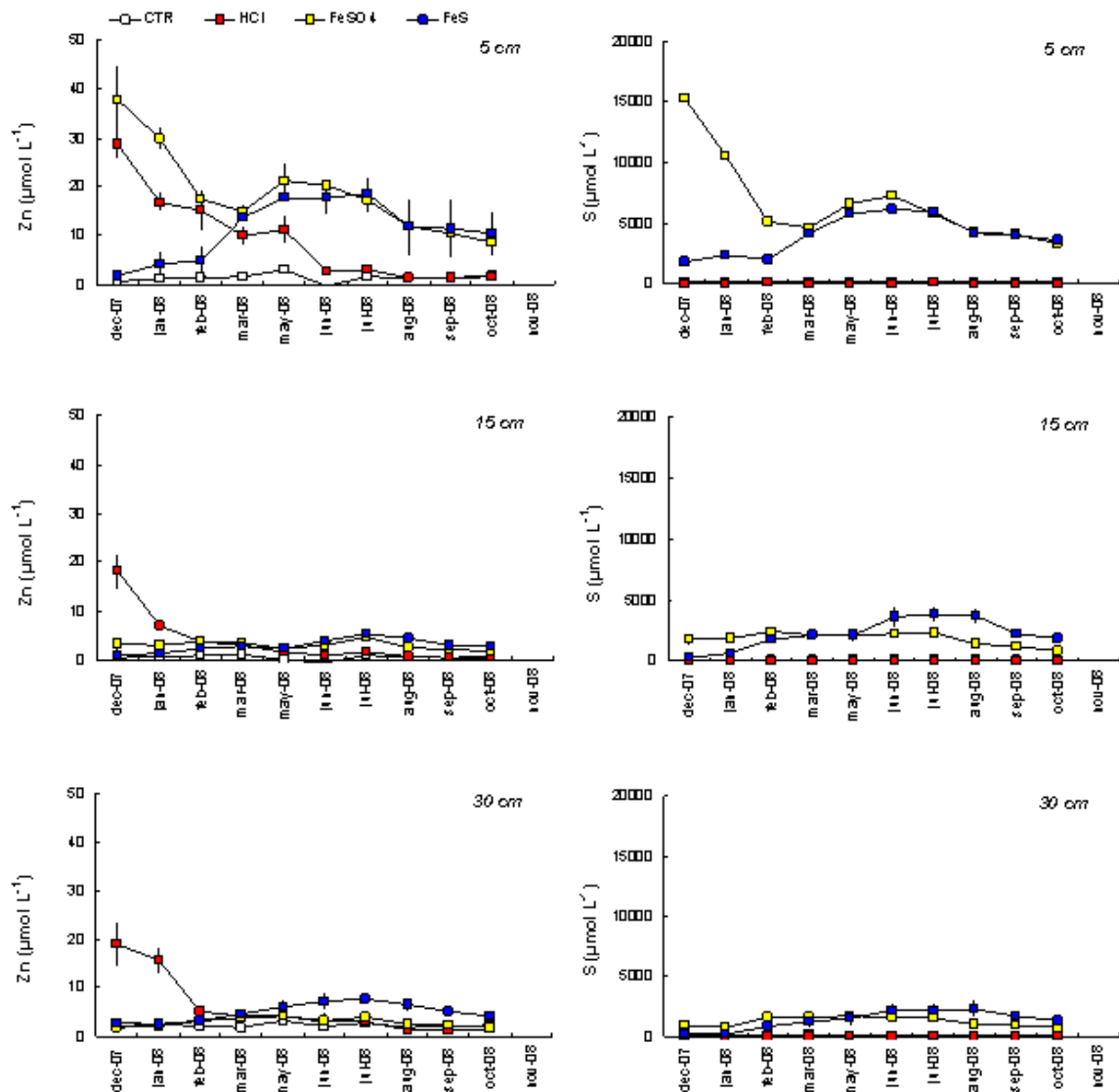
De concentratie calcium in het bodemvocht neemt door de productie van zuur sterk toe. Dit komt enerzijds door de uitwisseling van zuur met calcium aan het bodemadsorptiecomplex, en anderzijds door het oplossen van calciumcarbonaten in de bodem onder invloed van een lage pH. Door de relatief sterke kortstondige werking van het HCl vindt er een sterke mobilisatie van calcium plaats dat nagenoeg gedurende het eerste half jaar uit de bodemkolom uitspoelt. Door de langzamere werking van FeS en FeSO<sub>4</sub> spoelt het calcium minders sterk maar gedurende een langere periode uit. Na één jaar van beregenen spoelt nog steeds meer calcium uit dan in de controlebehandeling.

Beneden een pH van ca. 5 lossen ijzer(hydr)oxiden op waardoor er geen zink meer aan kan binden. Het zink spoelt hierdoor uit. Dit blijkt duidelijk uit de verhoogde zinkwaarden in de HCl-behandelde (op een diepte van zowel 5 cm als 15 cm) en in de FeSO<sub>4</sub> (op een diepte van 5 cm) behandelde kolommen waar de pH daalde tot pH 4,00-4,25 en de zinkconcentratie in het poriewater sterk toenam.

Willen we in calciumrijke bodem tot een verhoogde zinkbeschikbaarheid komen dan is het van belang dat er relatief veel calcium uitspoelt en zo min mogelijk zink. Alleen op die wijze kan een nieuw evenwicht ontstaan met een gunstigere Zn/Ca ratio. Boven pH 7,0 is de binding van zink aan ijzer maximaal, terwijl deze beneden pH 5,0 minimaal is. Verzuring tot een pH van 5,00-6,00 is daarom wellicht ideaal. In de FeS behandelde kolom is de uitspoeling van zink relatief het geringst geweest doordat hier in wat betreft pH, en dus zinkmobilisatie, in mindere mate sprake is geweest van een "shock-effect".



Figuur 4.3. pH en concentratie aan calcium, zink en zwavel ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) in het bodemvocht van de kolommen waarin de bodem kunstmatig verzuurd is gedurende één jaar (overeenkomend met een jaarlijkse neerslag). wit=blanco; rood= HCl; geel= FeSO<sub>4</sub>; blauw= FeS.



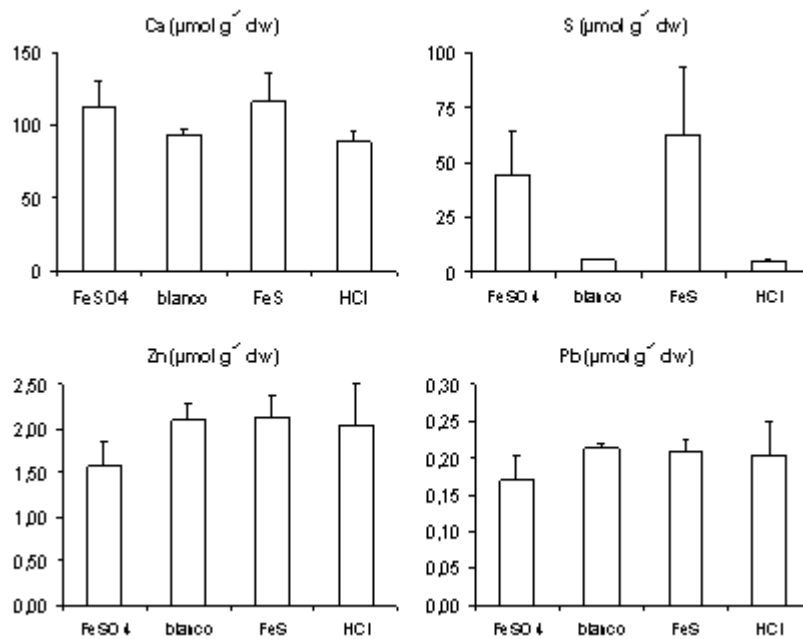
Figuur 4.3. vervolg.

In Figuur 4.4 staan de concentraties aan calcium, zwavel, zink en lood vermeld die op het einde van het experiment in de toplaag (0-5 cm) van de verschillende bodems aanwezig waren. Opmerkelijk is dat de hoeveelheid calcium in de bodems behandeld met FeSO<sub>4</sub> en FeS hoger zijn dan in de bodems van de blancobehandeling. De concentratie calcium in de bodems behandeld met HCl zijn daarentegen gelijk aan de bodems van de blanco behandeling. Hieruit blijkt dat calcium dat vrijkomt door verzuring (door uitwisseling van H<sup>+</sup> ionen met Ca<sup>2+</sup> aan het bodemadsorptiecomplex en het oplossen van CaCO<sub>3</sub>) neerslaat met het sulfaat onder de vorming van gips (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O). Op de toplaag van deze kolommen waren dan ook witte kristallen zichtbaar. De vorming van gips blijkt tevens uit de sterke correlatie tussen het totale gehalte aan zwavel en calcium in deze bodems (R<sup>2</sup> = 0,79) zoals zichtbaar is in Figuur 4.5. Door de vorming van gips is het niet mogelijk op basis van een simpele bodemdestructie vast te stellen of verzuring het gewenste effect heeft gehad door de Zn/Ca ratio in de bodem te verhogen.

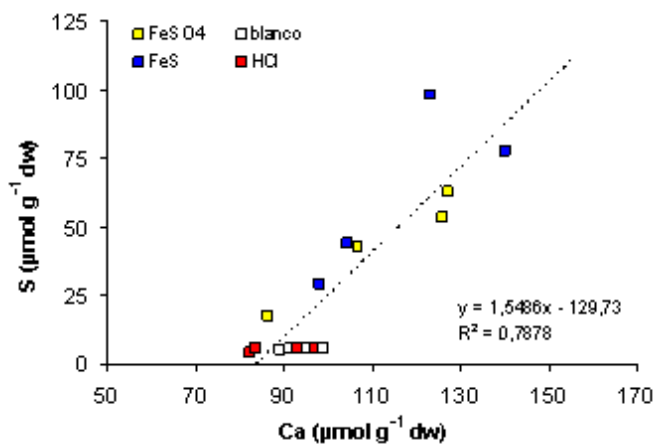
Wel blijkt dat in de FeS behandeling de hoeveelheid zink in de toplaag van de bodem gelijk is aan die in de controle behandeling. In de kolommen

behandeld met HCl is het zinkgehalte ook vergelijkbaar, echter de spreiding tussen de kolommen is hier groter hetgeen erop wijst dat er toch wat verlies van zink zal zijn opgetreden. In de kolommen behandeld met  $\text{FeSO}_4$  is de concentratie aan Zn in de bodem circa 25 % lager dan in de blanco kolommen.

Zowel de analyses aan het bodemvocht gedurende het experiment, als de analyses aan de bodem op het einde van het experiment, duiden erop dat in de FeS behandelde kolom de uitspoeling van zink relatief het geringst geweest is. Doordat amorf FeS langzaam oxideert en oplost, is wat betreft pH, en dus zinkmobilisatie, in mindere mate sprake is geweest van een "shock-effect". Dit pleit ervoor dat FeS waarschijnlijk het gunstigst is om uit te testen op grotere schaal (in een veldexperiment).



Figuur 4.4. Concentraties aan calcium, zwavel, zink en lood ( $\mu\text{mol/gram}$  drooggewicht) die op het einde van het experiment in de toplaag (0-5 cm) van de verschillende bodems aanwezig waren. Gemiddelden en standaarddeviatie ( $n=4$ ) zijn gegeven.



Figuur 4.5. Correlatie tussen de totale zwavel- en calciumconcentratie in de toplaag (0-5 cm) van de bodems blootgesteld aan de verschillende behandelingen (blanco,  $\text{FeSO}_4$ , FeS, HCl).

In Engeland is de laatste 10-15 jaar experimenteel veldonderzoek uitgevoerd om de omzetting van voormalige landbouwgrond naar heide te versnellen via kunstmatige bodemverzuring. Voormalige landbouwgrond heeft ook daar een veel te hoge pH (6-7) gekregen om bij natuurontwikkeling een successie naar heide door te maken. Uit de resultaten van deze veldexperimenten is duidelijk geworden dat toediening van elementair zwavel op deze droge zandgronden een adequate methode was om de pH langdurig te doen dalen tot waarden tussen de 4 en 5. Wel moest ook fosfaataccumulatie eerst zijn verwijderd via plaggen of ontgronden, anders bleef de vegetatie veel te ruig. Toevoer van heidemateriaal (zaad of plagsel) versnelde duidelijk de ontwikkeling van een heidevegetatie op deze kunstmatig verzuurde bodems (Owen & Marrs 2000; Walker et al. 2007; Diaz et al. 2008). Deze resultaten zijn echter niet direct vertaalbaar naar de meer lemige en soms natte bodems die in overstromingsvlakten van kleine rivieren als de Geul aanwezig zijn, maar geven wel aan dat herstel van de meer "zure" bodemchemie ook in de praktijk mogelijk kan zijn.

### Veldexperiment

Op de locatie waar het bodemmateriaal tot ca. 30 cm was verzameld, is in het voorjaar van 2008 als eerste veldpilot (2,5 x 2,5 m) amorf FeS verspreid, met de zelfde hoeveelheid als in het kolommenexperiment, waarbij het toegediende FeS ca. 5 cm diep is ingeharkt. Tevens zijn daarna zaden van de in hoofdstuk 3 gebruikte zinksoorten in hoge dichtheid aangebracht. In zomer van 2009 is tevens de vegetatiesamenstelling van deze situatie beschreven, en zijn 4 bodemmonsters verzameld om de chemie van de bodem te beschrijven.

In de vegetatieopname van het proefvlak (zonder rand, 2 x 2 m) in de zomer van 2009 zijn 21 plantensoorten waargenomen, bijna allemaal meer algemene graslandsoorten. De totale bedekking van de vegetatie was 55 %. Ook zijn 50-60 individuen van zinkviooltje en ca. 90 van zink Engels gras aangetroffen, waarvan een enkel exemplaar bloeide. Helaas kwam uit de bodemchemie naar voren dat het zinkgehalte en de Zn/Ca-ratio erg laag waren voor de beoogde pilot. Wel is gebleken dat ca. 30 cm verwijderen van de bovenlaag de hoeveelheid plantbeschikbaar P sterk heeft verlaagd tot net iets meer dan 1000  $\mu\text{mol P/kg}$  droge bodem en ook de N-concentraties zijn laag. Door de te lage Zn-gehalten is besloten om deze pilot te stoppen en vanaf 2011 een nieuwe praktijkproef te starten in een situatie waar wel voldoende zink, maar een te lage Zn/Ca-ratio (en te hoge pH) aanwezig was (terreindeel sLL).

*Tabel 4.1 Overzicht van de bodemchemie van de verzuringspilot. Alle gegevens zijn gemiddelde waarden (+ S.E.) en uitgedrukt in  $\mu\text{mol/kg}$  droge bodem, uitgezonderd het totaal Zn-gehalte (mmol/kg gram droge bodem), pH en Zn/Ca ratio (mol/mol).*

	verzuringsproefvlak
<b>2009</b>	
pH-NaCl	5,0 (0,04)
Totaal Zn	1,74 (0,33)
Zn/Ca-ratio	0,02 (0,00)
Olsen-P	1077 (113)
Zout-extraheerbaar $\text{NH}_4^+$	10 (2)
Demi-extraheerbaar $\text{NO}_3^-$	29 (10)



## 4.3 Conclusies

Uit de gegevens, verkregen in het éénjarige kolomexperiment is het volgende duidelijk geworden:

- Met verschillende toevoegingen van verzurende stoffen is het mogelijk gebleken de bodem- pH versneld te doen dalen;
- Zoutzuur (HCl)-toevoeging geeft de snelste verzuring, die ten gevolge van ijzer(II)sulfaat en amorf ijzersulfide werken veel geleidelijker;
- Gebaseerd op de waargenomen veranderingen in de bodemwater- en bodemchemie aan het eind van het experiment is behandeling met ijzersulfide het meest geschikt om uit te testen in een veldexperiment met voldoende replica's e.d.

## 5 Bodemchemie voormalige groeiplaatsen van de zinkvegetatie

### 5.1 Inleiding

In het onderzoek voor het preadvies over de zinkflora (Van de Riet et al. 2004) is een eerste overzicht verkregen van de bodemchemie in een aantal voormalige groeiplaatsen van de zinkvegetatie langs de Geul (terreinen van stichting Het Limburgs Landschap - sLL en NM). In 2007 is aanvullend bodemchemisch onderzoek uitgevoerd in nog niet onderzochte stroomdalgraslanden langs de Geul (sLL, NM), waar tot niet al te lang geleden (1975 – '85) nog populaties van de zinkflora aanwezig waren (of soms nu nog een soort, zinkboerenkers, aanwezig is). Dit is gebeurd om tot een selectie van kansrijke plekken voor mogelijke herontwikkeling van populaties van zinkplanten buiten het SBB-NM-reservaat te komen. De zinkflora in tertiaire vegetaties komt voor op liefst niet al te gebufferde (pH 5-5,0) bodems met een totaal Zn concentratie hoger dan 40  $\mu\text{mol/g}$  droge grond, een Zn/Ca ratio (mol/mol) groter dan 0.8 en een Olsen-P concentratie lager dan 1000  $\mu\text{mol/kg}$  droge grond, waarbij bij lager dan 500 - 600  $\mu\text{mol P/kg}$  droge grond een optimale vegetatie-ontwikkeling mogelijk is (zie bijv. tabel 3.1 en Figuur 3.2) (Lucassen et al. 2009). Mede op basis van deze nieuwe gegevens over de abiotiek op voormalige groeiplaatsen van zinkvegetatie, zullen vanaf 2010 in overleg met de beheerorganisaties op de meest kansrijke locaties experimentele herstelmaatregelen op praktijkschaal worden uitgetest om op praktijkschaal tot herontwikkeling van de adequate bodemcondities te komen en daarmee de vestiging van zinkplanten in deze percelen mogelijk te maken. Aangezien deze percelen allemaal langdurig in agrarisch gebruik zijn geweest, is definitieve hervestiging waarschijnlijk anders niet mogelijk.

### 5.2 Methode

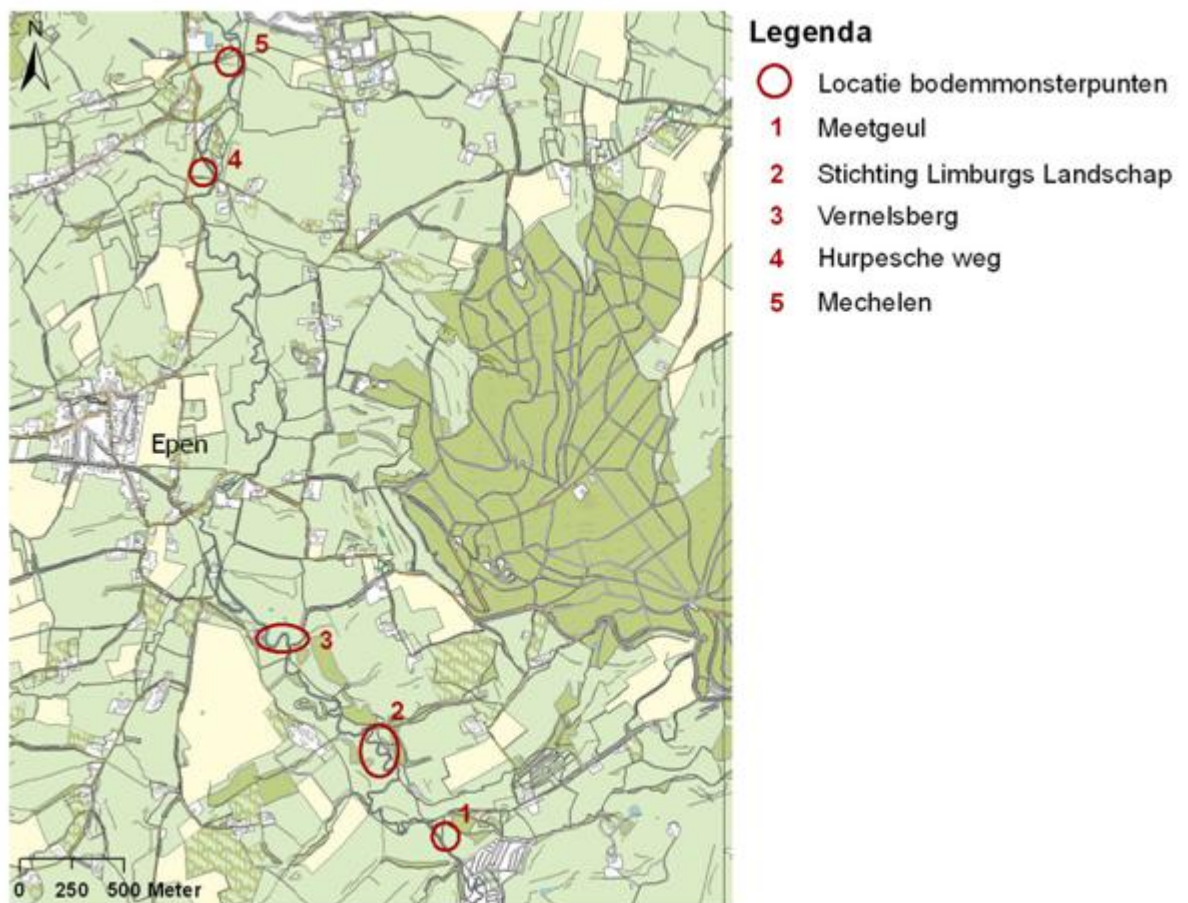
Na vooroverleg met de beherende instanties (sLL en NM) zijn begin augustus 2007 bodemboringen uitgevoerd in de vijf, nog niet onderzochte (voormalige) groeiplaatsen van de zinkflora (Figuur 5.1). Van de grens tot bij Mechelen zijn de volgende locaties geselecteerd, waarbij de perceelnaam die verder in dit hoofdstuk wordt gebruikt, is onderstreept:

1. Locatie meetgeul waterschap (ruigte oostoever, net in Nederland; coördinaten 307,8 – 193,6); met op 1 locatie enkele blaassilenes (zinkvariant?) (n=4);

2. Meanders (terrein Stichting Limburgs landschap, sLL) precies tegenover SBB-NM-zinkreservaat op de oostoever (nu soortenarm begraasd grasland; coördinaten 308,1 – 193,3) (n=6);
3. Vernelsberg (sLL, oostoever, soortenarm begraasd grasland; coördinaten 308,6 – 192,9) (n=5);
4. Hurpescheweg (NM, westoever, nog relatief grote populatie zinkboerenkers, gemaaid vrij productief grasland; coördinaten 310,8 – 192,5) (n=6);
5. Bij Mechelen (NM westoever, onder prikkeldraad nog enkele zinkboerenkers, verder productief soortenarm grasland, gemaaid ; coördinaten 311,5 – 192,6) (n=6).

Voor een gedetailleerd overzicht van de locaties van de bodemboringen in alle percelen, zie bijlage 1.

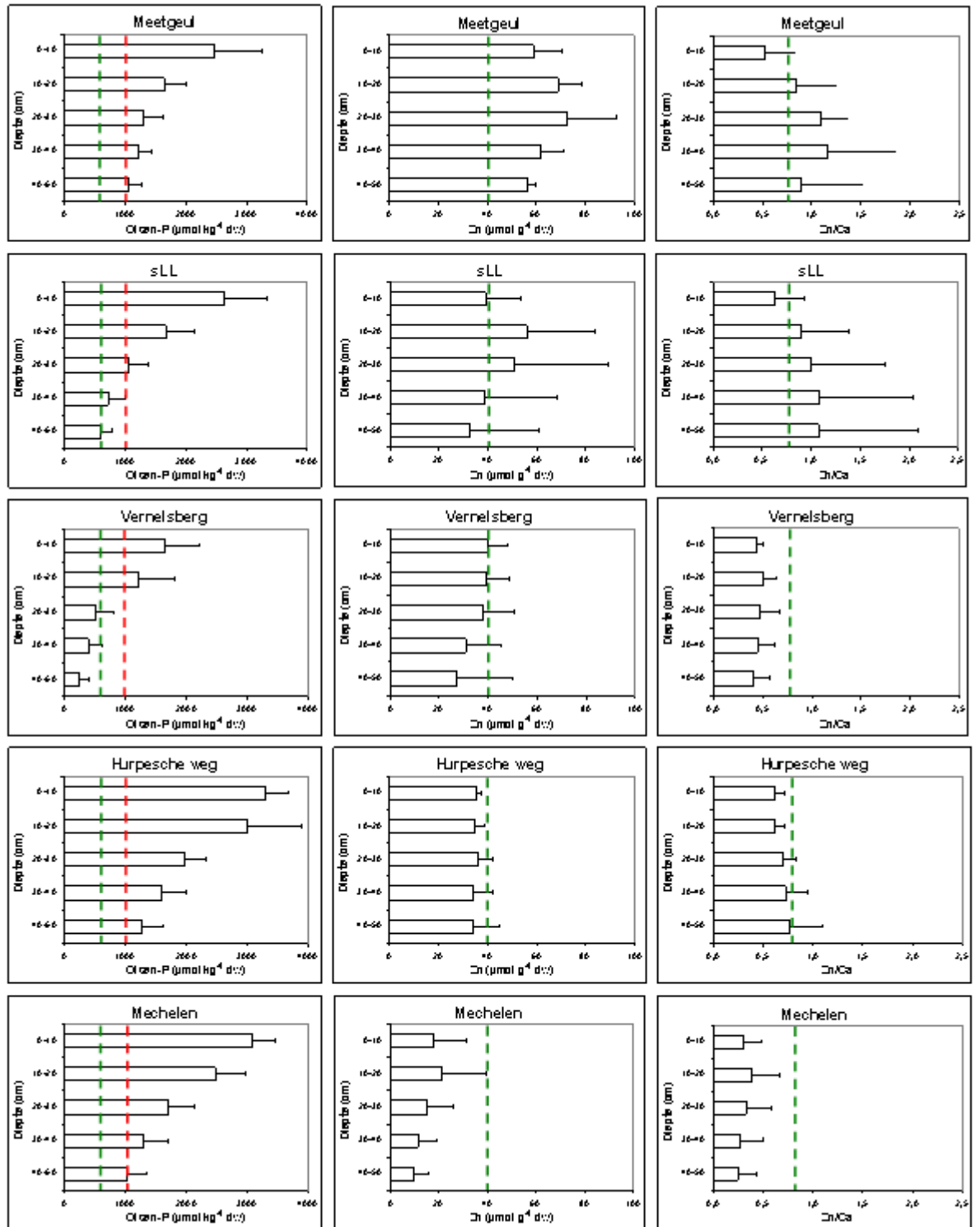
Per boring is bodemmateriaal van de volgende dieptes verzameld: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40 en 40 – 50 cm. Vervolgens zijn de volgende metingen uitgevoerd: water- en zoutextractie, P-Olsen extractie en destructie van het bodemmateriaal voor totaal gehalten. Voor de gebruikte methoden, zie par. 2.2.



Figuur 5.1. Locaties van de bodemmonsterpunten van voormalige groeiplaatsen van zinkflora.

### 5.3 Resultaten

Een overzicht van de bodemchemie (per boring) over de verschillende terreinen langs de Geul is gegeven in bijlage 2. Het totaal Zn-gehalte in de bodem wordt gemiddeld gezien steeds minder van de grens in de richting van Mechelen, de aangetroffen waarden zijn het hoogst in de meetgeul en op het SLL-terrein tegenover het SBB-NM-zinkreservaat. In beide genoemde terreinen is de gevonden waarde meestal boven de vereiste concentratie (Figuur 5.2). In het terrein Vernelsberg zijn de gevonden concentraties totaal Zn juist gelijk aan deze vereiste concentratie, in het terrein Hurpescheweg net wat lager en tenslotte het terreintje bij Mechelen flink daar onder (Figuur 5.2). Wel moet hierbij worden vermeld dat in de meeste terreinen (uitgezonderd Meetgeul) soms ook wat plekken met wat lagere waarden dan  $40 \mu\text{mol Zn/g}$  droge grond zijn aangetroffen. De resultaten voor de Zn/Ca-ratio's ( $> 0,8$ ) in de bodem zijn het meest geschikt in terrein bij de meetgeul en het SLL-terrein, terwijl de waarden in de bodem van het terrein bij de Hurpesche weg juist rond de vereiste waarde liggen. De Zn/Ca-ratio's in de twee overige terreinen (Vernelsberg & Mechelen) zijn duidelijk te laag ( $< 0,5$ ) (Figuur 5.2).



Figuur 5.2. Concentraties aan plantbeschikbaar fosfaat (links) ( $\mu\text{mol}/\text{kg}$  droge grond), concentratie aan totaal-Zn (midden) ( $\mu\text{mol}/\text{gram}$  droge grond) en de Zn/Ca ratio (rechts) die op verschillende diepten (0-50 cm) in de bodem aanwezig zijn in de vijf onderzochte terreinen. De stippellijnen geven kritische waarden voor ontwikkeling van zinkvegetatie zoals vastgesteld in Lucassen et al. (2009). De groene stippellijnen geven de minimale concentratie Zn, de minimale Zn/Ca ratio en de maximale concentratie Olsen-P voor ontwikkeling van schrale zinkvegetatie. De rode stippellijn in de linkse grafiek geeft de concentratie waarboven de vegetatie sterk verruigt.

Qua totaal Zn-gehalte en Zn/Ca-ratio's van de bodem zijn de meest geschikte condities voor herstel aangetroffen in: a) de meetgeul en b) terrein sLL tegenover zinkreservaat (maar hier niet overal!). Het totaal Zn-gehalte is weliswaar nog net voldoende in het terrein bij Vernelsberg, maar hier zijn de Zn/Ca-ratio's duidelijk te laag. In de bodem van het terrein Hurpesche weg is totaal Zn net onder de vereiste waarde, maar de Zn/Ca-ratio net op de grenswaarde.

Problematisch voor herontwikkeling van de populaties van zinkplanten zijn echter de gevonden gehalten van plantbeschikbaar P (P-Olsen) (Figuur 5.2). Tot vrij diep in de bodem worden waarden boven de 1000  $\mu\text{mol P/kg}$  droge grond aangetroffen, met veelal in de bovenste 20 cm waarden tussen de 1500 – 3000  $\mu\text{mol P/kg}$  droge grond. Alleen in diepere lagen van de bodem (meestal dieper dan 20 of 30 cm) worden in het sLL tegenover het zinkreservaat en het NM-terrein bij Vernelsberg lage concentraties van plantbeschikbaar-P aangetroffen ( $< 500 \mu\text{mol P/kg}$  droge grond). In het algemeen zijn de aangetroffen waarden bij de meetgeul lager dan elders, alleen meer gelijk verdeeld over het profiel.

## 5.4 Conclusies

Uit de verzamelde bodemgegevens zijn de volgende conclusies te trekken:

- Vanaf de grens tot bij Mechelen neemt het totaal Zn-gehalte van de bodem geleidelijk af; voor drie terreinen is het Zn-gehalte voldoende voor herontwikkeling: meetgeul  $>$  sLL-terrein  $>$  Vernelsberg;
- De Zn/Ca-ratio is meer variabel tussen en in de terreinen, maar meestal voldoende hoog ( $> 0,8$ ) in de bodem van de meetgeul, sLL-terrein en Hupersche weg (net aan); bij eventuele selectie van de locatie van een herstel experiment op praktijkschaal zal wel met de interne terreinvariatie rekening moeten worden gehouden;
- De bovengrond van alle vijf de terreinen is veel te rijk aan beschikbaar P. Door de bovenlaag van 20 cm (Vernelsberg) of met 30 cm (sLL-terrein & meetgeul) af te graven kan een voldoende (of net voldoende) P-arme uitgangssituatie worden bereikt. Helaas moet voor de Hupersche weg nog dieper worden ontgrond om het voldoende P-arm te krijgen;
- Combinatie van deze gegevens maakt dat voor herstel van de abiotiek verwijderen van ca. 30 cm een goede maatregel is voor de meetgeul en sLL-terrein. Additionele verzuring is soms nodig in het sLL-terrein om de Zn/Ca-ratio te optimaliseren, voor het perceel Vernelsberg is dit in hoge mate het geval, maar daar hoeft maar 20 cm te worden verwijderd i.v.m. de P-verrijking.

## 6 Uitvoering van herstelmaatregelen in het zinkreservaat op praktijkschaal

### 6.1 Uitgevoerde herstelmaatregelen

Naar aanleiding van de positieve uitkomsten van het kleinschalige plagexperiment in het zinkreservaat van SBB-NM (zie Hoofdstuk 3), is door Natuurmonumenten besloten om ook op praktijkschaal deze combinatie van maatregelen (plaggen plus toevoer van diasporen) te gaan uitvoeren in die delen van het zinkreservaat waar helemaal geen zinkplanten (op een enkele plant van zinkboerenkers na) meer aanwezig zijn. Het doel hierbij is om de sterk onder druk staande populaties van de zinkflora te vergroten, en recent verdwenen zinksoorten weer te laten terug keren. In de loop van 2008 zijn daarom in het zinkreservaat de volgende maatregelen uitgevoerd (Figuur 6.1):

1. In maart 2008 zijn populieren gekapt in het terrein. Aan de hand van metingen in de proefvlakken was namelijk gebleken dat de jaarlijks P-toevoer via bladinvallende hoog was (6-9 kg P/ha/jaar) hetgeen veel hoger is dan de atmosferische depositie (0,1-0,5 kg P/ha/jaar) (Lucassen et al. 2009). De populieren langs de Geul zijn om cultuurhistorische redenen niet gekapt, wel twee rijen populieren die aanwezig waren rondom de laagte in het zuidelijk deel van het zinkreservaat (Figuur 6.1).
2. Op 13 mei 2008 is kleinschalig (circa 0,5 ha) geplagd (15-20 cm) rondom de bestaande proefvlakken (Figuur 6.2). Hierbij zijn twee relatief grote en van elkaar geïsoleerde plaggedeelten gecreëerd (A+B). Daarnaast is er ook nog lokaal rondom twee bestaande proefvlakken geplagd (C+D). Het noordelijk gelegen plaggedeelte A is dusdanig omheind dat er geen rundvee in dit gedeelte kan komen. In de zuidelijk gelegen plaggedeelten (B+C+D) is de omheining niet afdoende, waardoor het vee regelmatig aanwezig is in het terrein aldaar. De geplagde bodem is verwerkt binnen het zinkreservaat zelf, namelijk in de laagte waar de populieren gekapt zijn (figuur 6.1 & 6.2).
3. Op 11 augustus 2008 is maaisel (circa 8 m<sup>3</sup>) verzameld in Plombière en vers aangebracht op de geplagde delen van het zinkreservaat (Figuur 6.2). Omdat in deze periode jaar al enkele soorten van de zinkflora zijn uitgebloeid, en derhalve te weinig in het maaisel aanwezig zouden zijn geweest, is in de periode mei-juli drie maal gerijpt bloemmateriaal (in totaal circa 1 m<sup>3</sup>) aangebracht van zinkblaassilene, zinkboerenkers, zink Engels gras en zinkviooltje. Het

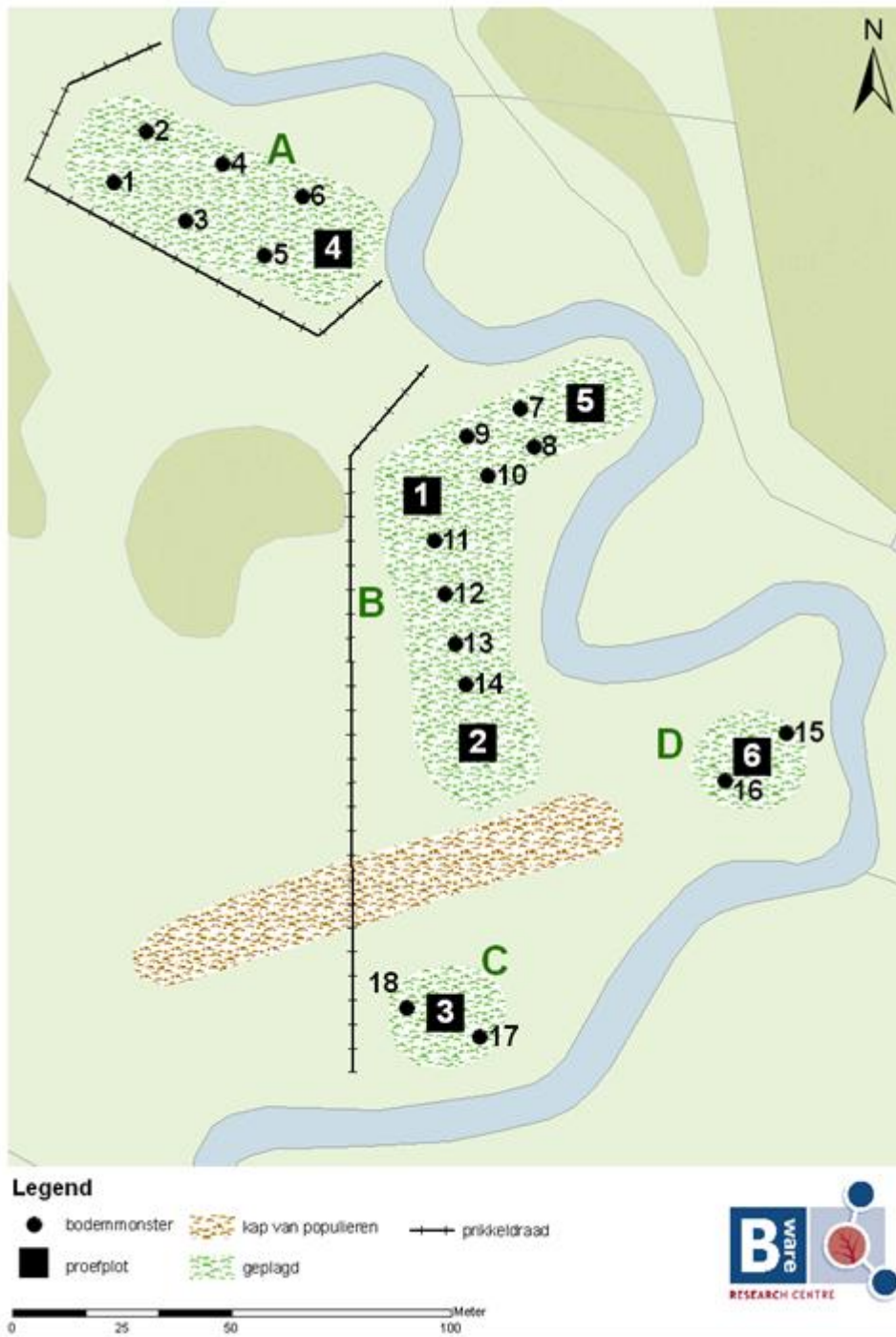
materiaal was deels afkomstig uit de experimentele proefvlakken in het zinkreservaat zelf en deels uit Plombière.

In juni 2008 zijn op 18 locaties bodemmonsters genomen van de toplaag in de geplagde delen van het zinkreservaat om te kunnen achterhalen of de bodemcondities na plaggen inderdaad voldoen aan de voorwaarden voor groei van de zinkflora. Tevens werd regelmatig geïnventariseerd of er al kiemlingen van de zinkflora in het terrein aanwezig waren. Verder zijn in de zomer van 2009 Tansley-schattingen gemaakt van de aanwezigheid van de zinksoorten over de geplagde terreindelen. In de komende jaren zal de ontwikkeling van de vegetatie verder gevolgd worden in enkele permanente kwadraten. De locaties waar bodemmateriaal is verzameld in de geplagde delen zijn weergegeven in Figuur 6.2. De vegetatie van de geplagde terreindelen is zomer 2009 gemaaid door NM, waarbij het maaisel handmatig is afgevoerd.



*Figuur 6.1 Maatregelen die in 2008 zijn genomen door NM om de zinkflora in het zinkreservaat te herstellen. A, plaatselijke kap van populieren in maart 2008; B+C, plaggen van de bovenste 10-20 cm bodem waarbij de af te voeren bodem verwerkt is binnen het terrein zelf; D, aanbrengen van maaisel uit Plombière op de geplagde delen van het terrein.*





Figuur 6.2 Ligging van de locaties waar in de geplagde terreindelen bodemonsters zijn verzameld. Tevens zijn de posities van de eerder geplagde proefvlakken (1-6), de afrastering en de laagte (waar populieren gekapt zijn en waar de bodem in is verwerkt) inzichtelijk gemaakt.

## 6.2 Resultaten van de uitgevoerde maatregelen

### Bodem

De resultaten van de bodemanalysen zijn vermeld in tabel 6.1. Uit de gegevens blijkt dat de totale hoeveelheid Zn en de Zn/Ca ratio in de bodem op nagenoeg alle bemonsterde locaties voldoet, uitgezonderd in deel C rond proefvlak 3 (meest zuidelijk gedeelte van het reservaat). De fosfaatbeschikbaarheid is echter waarschijnlijk niet overal voldoende laag geworden, slechts in 39 % van de bemonsterde locaties is de situatie gunstig en in 22 % van de bemonsterde locaties matig gunstig, terwijl 39 % van de locaties een, voor de ontwikkeling van zinkflora, ongunstige Olsen-P waarde heeft. De plekken met nog verhoogde P-beschikbaarheid zijn te vinden in het noordelijke deel van vlak A, het noordoostelijke deel van vlak B (tussen proefvlak 1 en 5 in) en de kleine plagplekken rond proefvlak 3 en 6. De Olsen-P waarden in de geplagde terreindelen (gem. 1484  $\mu\text{mol/kg}$  droge bodem) zijn daarbij duidelijk hoger dan die in de 2006 handmatig geplagde, experimentele proefvlakken (gem. 500  $\mu\text{mol/kg}$  droge bodem; tabel 3.1).

Het eerder uitgevoerde, vlakdekkende bodemonderzoek in het zinkreservaat heeft aannemelijk gemaakt dat de overgang naar een gunstige P-beschikbaarheid zich op alle onderzochte locaties (n=100) op een diepte van ca. 20 cm bevond (Hoofdstuk 3; Bobbink et al. 2006). Het is daarom waarschijnlijk dat de lokaal nog aanwezige hoge fosfaatbeschikbaarheid te maken heeft met het plaatselijk wat ondieper afgraven van bodem om de hoeveelheid te verwijderen materiaal te verkleinen. De lokaal te hoge fosfaatbeschikbaarheid maakt wel duidelijk dat zeker in de komende jaren maaien en afvoeren van het hooi noodzakelijk is om de vegetatie voldoende laag-productief te houden.

Tabel 6.1. Voor groei van de zinkflora kritische bodemparameters aanwezig in de toplaag van de geplagde terreindelen na plaggen . De concentratie plantbeschikbaar fosfaat (Olsen-P) is gegeven in  $\mu\text{mol/kg}$  droge bodem en de concentratie zink in  $\mu\text{mol/g}$  droge bodem. Kritische waarden: Olsen-P < 1250; Zn > 40; Zn/Ca > 0.8 (naar Lucassen et al., 2009). Groen= nagenoeg gunstig; Oranje= matig gunstig; Rood = ongunstig.

	pH-H <sub>2</sub> O	Olsen-P	Zn	Zn/Ca
1	5,48	1964	55	1,5
2	5,78	1480	69	1,7
3	5,99	1473	82	2,3
4	6,04	1156	64	1,9
5	6,06	2169	71	1,1
6	6,26	1199	54	1,4
7	5,66	1228	64	1,7
8	5,72	1662	62	2,2
9	5,72	1635	77	2,1
10	5,93	1354	75	2,1
11	6,22	937	84	2,8
12	6,08	1742	54	0,8
13	6,16	900	43	1,0
14	5,79	1299	62	1,9
15	5,81	1485	49	1,2
16	5,72	2363	63	1,4
17	6,09	1585	36	0,6
18	6,01	1091	40	0,7

### Ontwikkeling van de zinksoorten

In 2008, gedurende het eerste half jaar na de plagwerkzaamheden, is de bedekking van de vegetatie nog zeer laag en de bodem dus nog zeer open (Figuur 6.3). Plaatselijk zijn wel veel jonge individuen van zinkboerenkers en Engels gras aangetroffen, en in mindere mate van zinkviooltje, zinkschapegras en heel sporadisch zinkblaassilene. Tevens zijn in 2008 ook al enkele bloeiende exemplaren van zinkviooltje en engels gras aangetroffen (Figuur 6.3).



*Figuur 6.3 Indruk van de ontwikkeling van de zinkflora in de in mei 2008 geplagde terreindelen. A+B= juli 2008; C+D= november 2008.*

In het tweede jaar na plaggen (zomer van 2009) is eveneens aandacht besteed aan de verspreiding van de zinkflora over de geplagde delen. Hiervoor zijn Tansley-schattingen gemaakt van de 5 aangetroffen zinksoorten in op het oog homogene vegetatiezones van de geplagde terreindelen (Tabel 6.1). Uit deze waarnemingen is duidelijk dat de genoemde zinksoorten, uitgezonderd zinkblaassilene, zich op flink wat plaatsen in de geplagde delen hebben gevestigd. Vooral zink Engels gras, zinkboerenkers (lokaal soms massaal in voorjaar; Figuur 6.5) komen veel en verspreid voor, terwijl zinkschapegras wel met lage dichtheid, maar toch in veel van de opnamevlakken aanwezig is. Zinkblaassilene komt, daarentegen, in de zomer van 2009 nauwelijks voor (slechts enkele bloeiende planten). Wel is ook gevonden dat de bedekking van de grassen, met name in Ia, II, en vooral V en VI flink hoog is.



*Figuur 6.4. Overzicht van de ligging van de verschillende Tansley-opnames van de zinkflora.*

*Tabel. 6.1 Tansley-schatting van de vijf waargenomen zinksoorten over de verschillende opnamevlakken in het zinkreservaat (zie ook figuur 6.4).*

<i>opnamevlak</i>	Ia	Ib	II	III	IV	V	VI
<i>Soort</i>							
Zinkboerenkers	o	a	r	o	r	r	
Zinkviooltje	f	f	r	o	o		
Zink Engelsgras	f	f	o	f	o	o	r
Zinkblaassilene		s					
Zinkschapegras	s	o		r	r	r	



*Figuur 6.5 Indruk van de ontwikkeling van de vegetatie in het zinkreservaat in de in mei 2008 geplagde terreindelen. A+B= april 2009; C+D= september 2009.*

### 6.3 Conclusies

Uit de gegevens van de eerste twee groeiseizoenen na plaggen gevolgd door opbrengen van maaisel, in het zinkreservaat (SBB-NM) kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De hoeveelheid Zn in de bodem en de Zn/Ca-ratio is bijna overal geschikt voor de vestiging en uitbreiding van zinkvegetatie in stroomdalgraslanden;
- De fosfaatbeschikbaarheid is op ca. 40 % van het oppervlak van de plagzones nog hoger dan verwacht, dit komt waarschijnlijk doordat lokaal minder diep is geplagd;
- Drie van de vijf zinksoorten (zink Engels gras, zinkboerenkers en zinkviooltje) hebben zich op veel plaatsen en soms met grote dichtheid gevestigd in de geplagde terreindelen; één soort (zinkschapegras) wel op meerdere plaatsen (> 10), maar met lage dichtheid;
- De uitgevoerde herstelmaatregel (diep plaggen plus toevoer van plantenmateriaal met zaden) is zeer geschikt gebleken om de zinkflora in het reservaat te herstellen, ook voor al verdwenen soorten;
- Adequaate vervolfbeheer met verwijdering van nutriënten door maaien en afvoeren is waarschijnlijk essentieel om de vegetatie ook in de

- komende jaren voldoende laag te houden, zeker daar waar de P-beschikbaarheid nog hoog is;
- Het vervolgen van de (nieuwe) populaties van de zinksoorten is vereist om ook de duurzaamheid van de uitgevoerde maatregel te kunnen vaststellen, en, eventueel te kunnen bijsturen.

## 7 Conclusies en aanbevelingen voor beheer

### 7.1 Inleiding

Op de zinkhoudende afzettingen in de overstromingsvlakte van de Geul heeft zich in de afgelopen eeuwen een zinkvegetatie ontwikkeld. In Nederland wordt deze vegetatie gerekend tot de Subassociatie violetosum calaminariae van de Associatie van Schapengras en Tijm (*Festuco-Thymetum serpylli*), die tot de allereerste vegetaties van ons land is te rekenen. Kenmerkende zinksoorten zijn zinkviooltje (*Viola lutea* subsp. *calaminaria*), zinkboerenkers (*Thlaspi caerulescens*), zinkschapegras (*Festuca ovina* subsp. *ophiolicola*), zinkblaassilene (*Silene vulgaris*, zinkvorm), en zink engels gras (*Armeria maritima*, zinkvorm) (o.a. Janssen & Schaminée 2003; Willems 2004; Van de Riet et al. 2005; Van der Ent 2007). Deze soorten of taxa hebben een hogere tolerantie voor zink in de bodem, waardoor deze de concurrentie met andere graslandsoorten gemakkelijk aankonden. Tot 1930 kwam deze zogenaamde "tertiaire" zinkvegetatie veelvuldig voor langs de Geul tot voorbij Mechelen, rond 1970 was het areaal al beperkt tot 3 locaties ten zuiden van Epen, maar is in het laatste decennium vrijwel beperkt geraakt tot in één terrein: het SBB-NM zinkreservaat. Echter, ook in dit reservaat was de situatie in 2005 niet erg gunstig, alleen zinkviooltje en zinkboerenkers waren nog in redelijke hoeveelheid aanwezig in het noordelijke gedeelte van dit reservaat, overigens ook in een al verrijgde vorm van het vegetatietype. Verder waren nog 3-4 pollen zinkschapegras aanwezig in het reservaat (zie Van de Riet et al. 2005 voor details).

In dit rapport zijn de uitkomsten van het experimenteel en correlatief onderzoek beschreven dat is uitgevoerd in het kader van O+BN (Ontwikkeling+Beheer Natuurkwaliteit) in de periode 2007-2009, als vervolg op het in 2006 opgestarte onderzoek (Bobbink et al. 2006). Einddoel van het onderzoek is daarbij om tot een gefundeerd advies voor herstelbeheer te komen in zowel situaties waar nog restanten van zinkvegetatie aanwezig zijn (met name in SBB-NM zinkreservaat) als op locaties waar deze in de laatste decennia zijn verdwenen (zowel in SBB-NM zinkreservaat als daarbuiten).

### 7.2 Conclusies

Een tweetal experimenten is opgezet in de meest noordelijke meander van het SBB-NM zinkreservaat om daar de optredende verrijging een halt toe te



roepen en de populaties van de twee nog aanwezige zinksoorten te doen vergroten. Het volgende is daarbij duidelijk geworden:

- De beschikbaarheid van P in de bovenste 20 cm van de bodem is erg hoog, en waarschijnlijk de oorzaak van de voortschrijdende verruiging in dit terreingedeelte;
- In dit begraasde gedeelte van het zinkreservaat vindt een te hoge toevoer van koeienmest plaats;
- De populaties van het zinkviooltje en zinkboerenkers zijn in de periode 2006-2009 (verder) achteruitgegaan;
- Maaien in de zomer heeft nauwelijks tot verbetering in de situatie van de verruigde vegetatie geleid;
- Verwijdering van de vegetatie plus vervilte bodemlaag heeft helemaal niet tot een verbetering van de situatie voor de zinkflora geleid.

De zinkvegetatie is ook in het grootste gedeelte van het SBB-NM zinkreservaat niet meer aanwezig. Uit bodemchemische metingen is gebleken dat zowel de totaal zinkconcentratie als de zink-calcium ratio in het grootste gedeelte van het zinkreservaat voldoet aan de randvoorwaarden voor zinkvegetatie. Echter, de Olsen-P concentratie is in de bovenste 20 cm van de bodem van het grootste deel van het terrein duidelijk te hoog. De uitkomsten van het vierjarige plagexperiment in het SBB-NM zinkreservaat heeft het volgende aangetoond:

- Plaggen van de bodem tot 20 cm diepte maakt de bodem voldoende arm aan P;
- De abiotiek na plaggen is geschikt voor kieming en vestiging van alle, eens aanwezige zinksoorten; toevoer van extra zink is zeker niet noodzakelijk;
- Door aanbrengen van zaad en kiemplanten na plaggen heeft zich een kenmerkende begroeiing van zinkflora gevestigd, zonder dominantie van grassen;
- Ruim 4 en half jaar na uitvoering van de combinatie van maatregelen is de vegetatie nog steeds laag productief.

Gebaseerd op deze gegevens is deze maatregel vervolgens door NM opgeschaald en in de praktijk toegepast in voorjaar 2008. Hieruit is het volgende naar voren gekomen:

- Drie van de vijf zinksoorten (zink Engels gras, zinkboerenkers en zinkviooltje) hebben zich op veel plaatsen en soms met grote dichtheid gevestigd in de geplagde terreindelen; één soort (zinkschapegras) wel op meerdere plaatsen (> 10), maar met lage dichtheid;
- De uitgevoerde herstelmaatregel (plaggen plus toevoer van plantenmateriaal met zaden) is geschikt gebleken om de zinkflora op praktijkschaal te herstellen;
- Adequaat vervolgbeheer met verwijdering van nutriënten (maaieren en afvoeren) is waarschijnlijk van belang om de vegetatie in de komende jaren voldoende laag-productief te houden, zeker daar waar de P-beschikbaarheid nog wat te hoog is.

De abiotiek van voormalige groeiplaatsen van zinkvegetatie langs de Geul is geëvalueerd met als doel om de meest kansrijke plekken voor herstelmaatregelen voor herontwikkeling van de zinkvegetatie te selecteren. Hieruit zijn de volgende conclusies te trekken:

- Vanaf de grens tot bij Mechelen neemt het totaal Zn-gehalte van de bodem geleidelijk af; voor drie terreinen (meetgeul > sLL-terrein > Vernelsberg) is het Zn-gehalte zeker voldoende voor herontwikkeling;
- De Zn/Ca-ratio is meer variabel tussen en in de terreinen, maar meestal voldoende hoog (> 0,8) in de bodem van de meetgeul, sLL-terrein en Hupersche weg (in deze laatste 'net aan');
- De bovengrond van alle vijf de terreinen is veel te rijk aan beschikbaar P. Door deze bovenlaag (meestal 30 cm) af te graven kan een voldoende (of net voldoende) P-arme uitgangssituatie worden bereikt.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat de abiotiek van veel stroomdalgraslanden langs de Geul sterk is veranderd: de pH van de bodem is verhoogd, de Zn/Ca-ratio gedaald en de P-beschikbaarheid gestegen. Door kunstmatig te verzuren kunnen mogelijk weer betere uitgangsposities voor de zinkflora worden herschapen. Daarom is een verzuringsexperiment met bodemkolommen uitgevoerd om de te hoge pH te verlagen en de Zn/Ca-ratio te verhogen. Het volgende is hierbij duidelijk geworden:

- Met toevoegingen van verschillende verzurende stoffen is het mogelijk gebleken de bodem-pH versneld te doen dalen;
- Gebaseerd op de waargenomen veranderingen in de bodemwater- en bodemchemie is behandeling met amorf FeS het meest geschikt gebleken om uit te testen in een veldexperiment.

## 7.3 Aanbevelingen

### SBB-NM zinkreservaat

Voor het handhaven en uitbreiden van de populaties van de zinkflora in het SBB-NM zinkreservaat worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- De nog steeds optredende afkalving van de meest noordelijke meander (zie preadvies) dient op korte termijn gestopt te worden via ingrepen in de oeverstructuur van de Geul;
- Om de zinkvegetatie te doen uitbreiden is het aanbevelenswaardig om van die delen met voldoende Zn in de bodem, en waar nog niet geplagd is, de bovengrond (ca. 20 cm) te verwijderen en daarna plantenmateriaal met zaden aan te brengen om het areaal aan zinkflora te vergroten. Een gefaseerde en geleidelijke uitvoering in tijd en ruimte is hierbij gewenst;
- De situatie in de meest noordelijke meander is problematisch: mogelijk kan een adequaat maaibeheer de achteruitgang tijdelijk wat stoppen, maar ook hier lijkt verwijdering van de bovengrond met toevoer van plantenmateriaal met zaden onafwendbaar om de zinkflora te behouden;
- Maaien met licht materiaal (maaibalk) en handmatig hooien lijkt het beste vervolgsbeheer om de herstelde situaties in stand te houden;
- Monitoring van de productiviteit van de vegetatie (dominantie grassen, vervilting) en de populaties van de zinkplanten is essentieel om toestand van de zinkflora in de gaten te houden en mogelijke verslechtering snel te signaleren.

### **Overige voormalige groeiplaatsen**

Om de zinkflora weer te laten terug keren op voormalige groeiplaatsen langs de Geul is het volgende aan te bevelen:

- Op drie locaties (meetgeul, sLL tegenover zinkreservaat en Vernelsberg) lijkt het goed mogelijk om zinkvegetatie te herontwikkelen door een adequate combinatie van maatregelen, namelijk verwijderen van de bovengrond (meestal 30 cm) en aanbrengen van vers maaisel met zaden;
- Gelet op de (lokaal) te hoge pH en te lage Zn/Ca ratio's in de bodem is het hierbij van belang een experiment in het veld te starten waarbij de condities geoptimaliseerd worden via verzuringsmaatregelen (toevoer amorf FeS na plaggen).

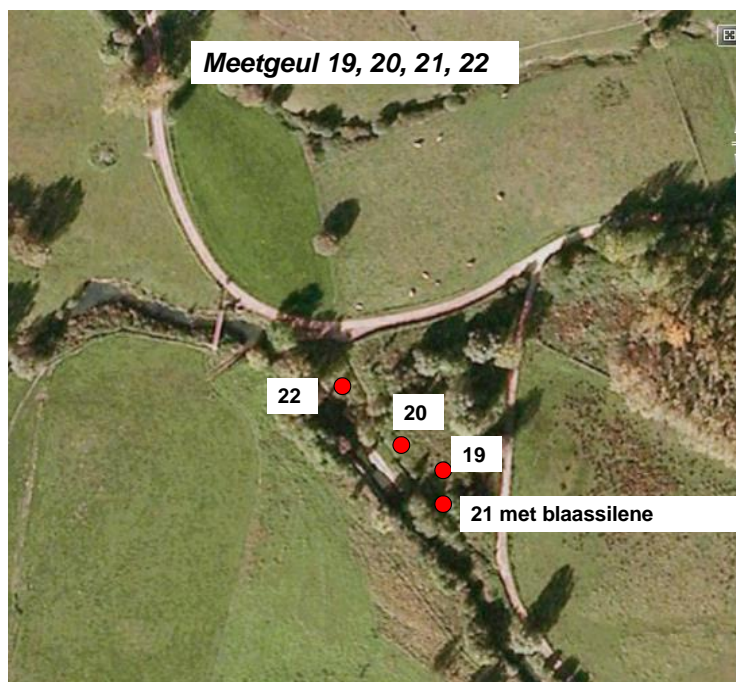
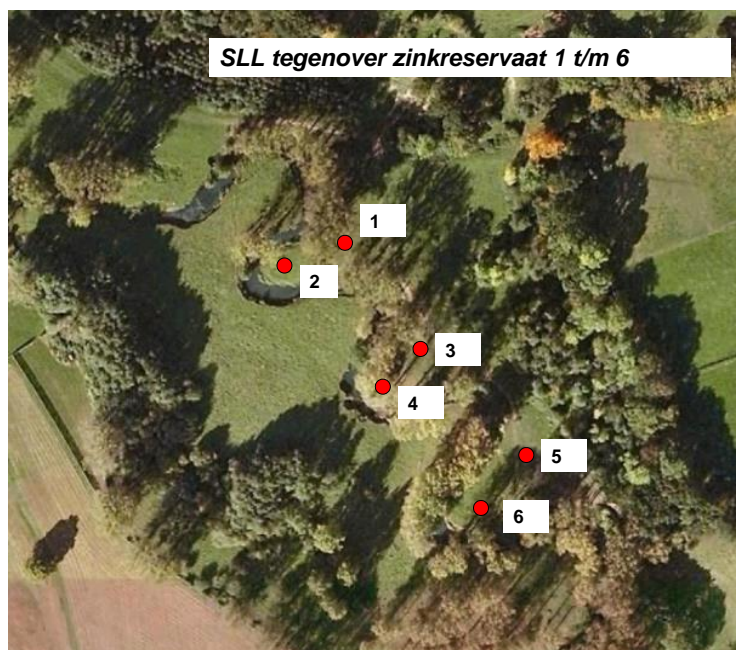
## 8 Referenties

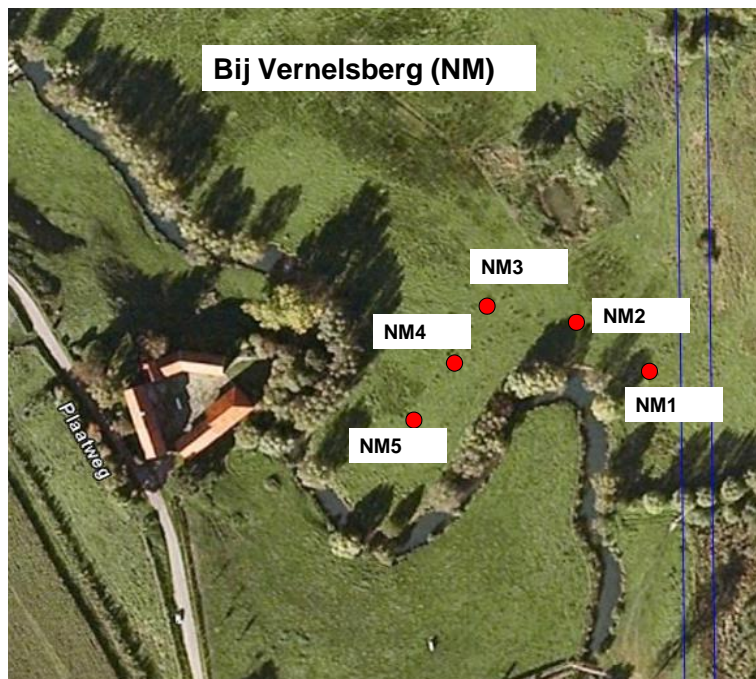
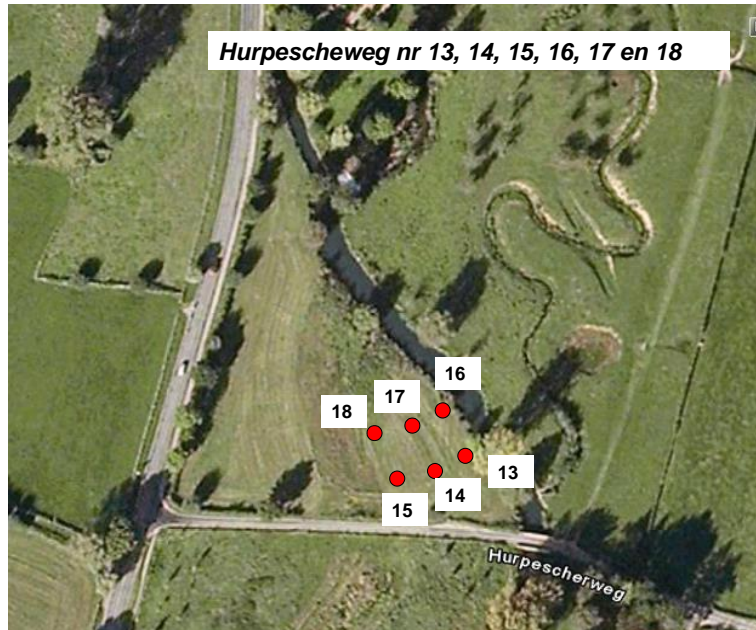
Om de leesbaarheid van dit onderzoeksrapport te vergroten is op beperkte wijze verwezen naar relevante publicaties. Voor een meer volledig overzicht van de referenties over zinkvegetaties, zie het eerder verschenen preadvies over de zinkvegetatie (Van de Riet et al. 2005).

- Bobbink, R., Lucassen, E. & Roelofs, J. (2006). Onderzoek naar het herstelbeheer van de zinkvegetaties in het SBB-reservaat (jaar 1). Rapport Onderzoekcentrum B-WARE, dec. 2006.
- Diaz, A., Green, I. & Tibbett, M. (2008). Re-creation of heathland on improved pasture using top soil removal and sulphur amendments: edaphic drivers and impacts on ericoid mycorrhizas. *Biological Conservation* 141: 1628-1635.
- Janssen, J.A.M. & Schaminée, J.H.J. (2003). Europese natuur in Nederland - Habitattypen. KNNV Uitgeverij, Utrecht.
- Lucassen, E.C.H.E.T., Eygensteyn, J., Bobbink, R., Van de Riet, B.P., Smolders, A.J.P., Kuijpers, D.J.C. & J.G.M. Roelofs (2008). The decline of metallophyte vegetation in floodplain grasslands: implications for conservation and restoration. *Applied Vegetation Science* 12: 69-80.
- Lucassen, E., Roelofs, J. & R. Bobbink (2009). Herstel en (her)ontwikkeling van zinkvegetatie. *De Levende Natuur* 110: 116-117.
- Owen, K.M. & Marrs, R.H. (2000). Creation of heathland on former arable land at Minshere, Suffolk, UK: the effects of soil acidification on the establishment of *Calluna* and ruderal species. *Biological Conservation* 93: 9-18.
- Van der Ent, A. (2007). Kansen voor herstel van zinkflora in het boven-Geuldal. *De Levende Natuur* 108: 14-19.
- Van de Riet, B.P., Lucassen, E.C.H.E.T., Bobbink, R., Willems, J.H. & Roelofs, J.G.M. (2005). Preadvies Zinkflora. Rapport DK, nr. 2005/Dk007-O, Directie Kennis, LNV, Ede.
- Walker, K.J., Warman, E.A., Bhogal, A., Cross, R.B., Pywell, R.F., Meek, B.R., Chambers, B.J. & Pakeman, R. (2007). Recreation of lowland heathland on ex-arable land: assessing the limiting processes on two sites with contrasting soil fertility and pH. *Journal of Applied Ecology* 44: 573-582.
- Willems, J.H. (2004). Hoe is het eigenlijk met onze zinkflora gesteld? *Natuurhistorisch Maandblad* 93 (2): 21-25.

# Bijlage 1

Overzicht van de locaties waar bodemonsters zijn genomen in voormalige groeiplaatsen van de zinkvegetatie.







## Bijlage 2

Bodemchemie in (voormalige) groeiplaatsen van de zinkflora per 10 cm diepte laag (tot 50 cm). Gegeven zijn: pH-water, totaal Zn-gehalte ( $\mu\text{mol/g}$  gram droge bodem), Zn/Ca ratio (mol/mol) en plantbeschikbaar P (Olsen-P) ( $\mu\text{mol/kg}$  gram droge bodem). (augustus 2007).

	Locatie	pH-water	Zn-totaal	Zn/Ca	Olsen-P
<b>Oostoever tegenover zinkreservaat (SLL)</b>					
1	SLL 1 (0-10)	6,23	10,7	0,11	3939
2	SLL 1 (10-20)	6,45	10,6	0,12	2595
3	SLL 1 (20-30)	6,59	7,5	0,08	1311
4	SLL 1 (30-40)	6,58	4,5	0,05	1084
5	SLL 1 (40-50)	6,62	2,0	0,03	640
6	SLL 2 (0-10)	6,91	42,2	0,63	1873
7	SLL 2 (10-20)	6,96	89,4	1,31	1347
8	SLL 2 (20-30)	7,02	117,6	2,10	788
9	SLL 2 (30-40)	7,05	79,7	2,55	446
10	SLL 2 (40-50)	7,14	63,8	2,47	436
11	SLL 3 (0-10)	6,39	39,3	0,62	2736
12	SLL 3 (10-20)	6,74	46,3	0,78	1494
13	SLL 3 (20-30)	6,90	36,2	0,82	1056
14	SLL 3 (30-40)	6,95	20,1	0,51	973
15	SLL 3 (40-50)	6,94	11,2	0,32	936
16	SLL 4 (0-10)	6,31	50,4	0,93	2237
17	SLL 4 (10-20)	6,45	78,6	1,15	1727
18	SLL 4 (20-30)	6,65	69,2	1,01	1470
19	SLL 4 (30-40)	6,78	55,7	1,40	719
20	SLL 4 (40-50)	6,12	51,6	1,48	482
21	SLL 5 (0-10)	6,64	43,4	0,56	2337
22	SLL 5 (10-20)	7,04	46,6	0,61	1569
23	SLL 5 (20-30)	7,27	24,1	0,45	1145
24	SLL 5 (30-40)	7,32	14,8	0,35	713
25	SLL 5 (40-50)	7,20	8,7	0,28	426
26	SLL 6 (0-10)	6,37	47,2	0,92	2650
27	SLL 6 (10-20)	6,61	63,3	1,43	1276
28	SLL 6 (20-30)	6,84	49,1	1,59	576
29	SLL 6 (30-40)	6,81	56,5	1,71	458
30	SLL 6 (40-50)	6,84	58,2	1,90	618



	<b>bij Mechelen (NM)</b>	<b>pH- water</b>	<b>Zn- totaal</b>	<b>Zn/Ca</b>	<b>Olsen-P</b>
31	Mechelen 7 (0-10)	6,48	33,2	0,50	2887
32	Mechelen 7 (10-20)	6,36	29,3	0,68	2037
33	Mechelen 7 (20-30)	6,45	19,8	0,51	1252
34	Mechelen 7 (30-40)	6,49	16,9	0,46	1194
35	Mechelen 7 (40-50)	6,50	14,0	0,41	867
36	Mechelen 8 (0-10)	6,15	21,6	0,30	3080
37	Mechelen 8 (10-20)	6,29	24,7	0,38	2262
38	Mechelen 8 (20-30)	6,50	22,1	0,33	1945
39	Mechelen 8 (30-40)	6,64	13,5	0,19	1153
40	Mechelen 8 (40-50)	6,67	11,3	0,17	966
41	Mechelen 9 (0-10)	5,74	4,6	0,11	3104
42	Mechelen 9 (10-20)	5,90	4,7	0,10	2273
43	Mechelen 9 (20-30)	6,02	4,1	0,08	2139
44	Mechelen 9 (30-40)	6,24	3,8	0,07	1509
45	Mechelen 9 (40-50)	6,45	4,3	0,08	1150
46	Mechelen 10 (0-10)	6,49	32,3	0,48	2726
47	Mechelen 10 (10-20)	6,42	52,1	0,72	2498
48	Mechelen 10 (20-30)	6,47	30,3	0,71	1219
49	Mechelen 10 (30-40)	6,46	21,8	0,64	926
50	Mechelen 10 (40-50)	6,08	19,1	0,56	733
51	Mechelen 11 (0-10)	5,81	12,5	0,31	2940
52	Mechelen 11 (10-20)	5,91	12,8	0,30	2261
53	Mechelen 11 (20-30)	6,15	10,0	0,24	1537
54	Mechelen 11 (30-40)	6,11	9,0	0,20	1016
55	Mechelen 11 (40-50)	6,28	7,2	0,17	829
56	Mechelen 12 (0-10)	5,68	3,7	0,09	3794
57	Mechelen 12 (10-20)	5,84	3,8	0,08	3476
58	Mechelen 12 (20-30)	5,87	3,5	0,07	2148
59	Mechelen 12 (30-40)	6,10	3,0	0,06	1982
60	Mechelen 12 (40-50)	6,31	3,1	0,06	1600
	<b>Hurpescheweg (NM)</b>	<b>pH- water</b>	<b>Zn- totaal</b>	<b>Zn/Ca</b>	<b>Olsen-P</b>
61	Hurpescheweg 13 (0-10)	6,14	35,9	0,62	3896
62	Hurpescheweg 13 (10-20)	6,35	38,7	0,56	3304
63	Hurpescheweg 13 (20-30)	6,48	37,6	0,84	1587
64	Hurpescheweg 13 (30-40)	6,63	38,9	0,83	1738
65	Hurpescheweg 13 (40-50)	6,75	47,3	1,03	1087
66	Hurpescheweg 14 (0-10)	6,18	32,5	0,68	3140
67	Hurpescheweg 14 (10-20)	6,25	38,9	0,70	2428
68	Hurpescheweg 14 (20-30)	6,45	38,9	0,80	2103
69	Hurpescheweg 14 (30-40)	6,50	36,7	0,78	1783
70	Hurpescheweg 14 (40-50)	6,65	31,7	0,72	1389
71	Hurpescheweg 15 (0-10)	6,30	31,4	0,50	3403
72	Hurpescheweg 15 (10-20)	6,44	33,2	0,54	3133
73	Hurpescheweg 15 (20-30)	6,52	27,0	0,48	2434

74	Hurpescheweg 15 (30-40)	6,53	17,9	0,30	2258
75	Hurpescheweg 15 (40-50)	6,74	15,6	0,25	1892
76	Hurpescheweg 16 (0-10)	6,27	37,1	0,61	3203
77	Hurpescheweg 16 (10-20)	6,09	27,5	0,53	4545
78	Hurpescheweg 16 (20-30)	6,11	34,3	0,73	2245
79	Hurpescheweg 16 (30-40)	6,48	34,6	0,87	1246
80	Hurpescheweg 16 (40-50)	6,64	35,2	1,04	976
81	Hurpescheweg 17 (0-10)	6,02	38,0	0,77	2683
82	Hurpescheweg 17 (10-20)	5,87	35,2	0,76	2589
83	Hurpescheweg 17 (20-30)	6,25	45,5	0,76	1789
84	Hurpescheweg 17 (30-40)	6,34	41,9	0,90	1369
85	Hurpescheweg 17 (40-50)	6,64	41,5	1,02	1209
86	Hurpescheweg 18 (0-10)	6,30	35,4	0,51	3386
87	Hurpescheweg 18 (10-20)	6,40	33,4	0,63	1943
88	Hurpescheweg 18 (20-30)	6,59	32,6	0,59	1634
89	Hurpescheweg 18 (30-40)	6,58	33,4	0,65	1156
90	Hurpescheweg 18 (40-50)	6,80	33,9	0,58	1069
	<b>Meetgeul (Cotessen)</b>	<b>pH-</b>	<b>Zn-</b>	<b>Zn/Ca</b>	<b>Olsen-P</b>
		<b>water</b>	<b>totaal</b>		
91	Cotessen Meetgeul 19 (0-10)	6,95	67,1	0,80	1873
92	Cotessen Meetgeul 19 (10-20)	7,01	72,7	0,99	1762
93	Cotessen Meetgeul 19 (20-30)	7,08	72,3	0,98	1702
94	Cotessen Meetgeul 19 (30-40)	7,17	71,9	1,43	1475
95	Cotessen Meetgeul 19 (40-50)	7,29	58,5	0,68	1073
96	Cotessen Meetgeul 20 (0-10)	7,12	68,7	0,75	3132
97	Cotessen Meetgeul 20 (10-20)	7,13	69,6	1,20	2087
98	Cotessen Meetgeul 20 (20-30)	7,13	69,4	1,27	1204
99	Cotessen Meetgeul 20 (30-40)	7,04	62,0	1,76	1155
100	Cotessen Meetgeul 20 (40-50)	6,91	60,0	1,65	1180
101	Cotessen Meetgeul 21 (0-10)	7,22	55,3	0,43	3163
102	Cotessen Meetgeul 21 (10-21)	7,21	55,2	0,94	1383
103	Cotessen Meetgeul 21 (21-30)	7,33	49,8	1,37	983
104	Cotessen Meetgeul 21 (30-40)	7,31	50,0	1,30	910
105	Cotessen Meetgeul 21 (40-50)	7,44	53,0	1,09	753
106	Cotessen Meetgeul 22 (0-10)	8,02	43,2	0,12	1684
107	Cotessen Meetgeul 22 (10-22)	7,69	77,2	0,24	1328
108	Cotessen Meetgeul 22 (22-30)	7,67	98,5	0,74	1360
109	Cotessen Meetgeul 22 (30-40)	8,31	63,4	0,18	1286
110	Cotessen Meetgeul 22 (40-50)	8,20	53,1	0,15	1205
	<b>bij Vernelsberg (NM)</b>	<b>pH-</b>	<b>Zn-</b>	<b>Zn/Ca</b>	<b>Olsen-P</b>
		<b>water</b>	<b>totaal</b>		
111	NM-1 0-10 cm	5,86	29,2	0,39	1084
112	10-20 cm	5,68	28,0	0,40	557
113	20-30 cm	5,62	25,3	0,35	322
114	30-40 cm	5,79	23,0	0,27	644
115	40-50cm	6,08	19,0	0,27	191
116	NM-2 0-10 cm	6,41	48,8	0,50	1238

117	10-20 cm	6,20	50,8	0,63	716
118	20-30 cm	6,26	55,6	0,60	947
119	30-40 cm	6,25	53,7	0,61	510
120	40-50cm	6,22	67,9	0,63	n.g
121	NM-3 0 -10 cm	6,22	35,2	0,43	1376
122	10-20 cm	6,07	34,2	0,50	1515
123	20-30 cm	6,27	35,3	0,57	631
124	30-40 cm	6,51	20,9	0,46	73
125	40-50cm	6,65	15,7	0,37	188
126	NM-4 0-10 cm	6,37	42,4	0,52	2229
127	10-20 cm	6,26	42,9	0,65	1313
128	20-30 cm	6,55	45,5	0,66	189
128	30-40 cm	6,56	35,5	0,64	258
130	40-50cm	6,66	21,6	0,53	71
131	NM-5 0-10 cm	6,53	44,3	0,33	2273
132	10-20 cm	6,98	41,7	0,31	1972
133	20-30 cm	7,45	27,3	0,20	505
134	30-40 cm	7,41	20,6	0,25	510
135	40-50cm	7,21	12,3	0,23	481