



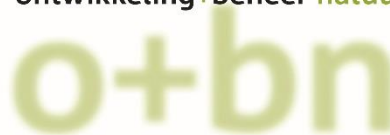
Kennisnetwerk OBN

Effectiviteit van herstelmaatregelen
voor de zinkvegetatie: de
middellange termijn



Effectiviteit van herstelmaatregelen voor de zinkvegetatie: de middellange termijn





© 2018 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Monitoring OBN-16-HE
Driebergen, 2018

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van de provincie Limburg, BIJ12 en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Wijze van citeren: van de Riet, B. & R. Bobbink (2018). Effectiviteit van herstelmaatregelen voor de zinkvegetatie: de middellange termijn. Monitoring OBN-16-HE. VBNE, Driebergen.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Samenstelling B. van de Riet, Onderzoekcentrum B-WARE
 R. Bobbink, Onderzoekcentrum B-WARE

Foto voorkant Foto: Bas van de Riet

Oplage Deze publicatie is online gepubliceerd op www.natuurkennis.nl

Productie Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)
 Adres : Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen
 Telefoon : 0343-745250
 E-mail : info@vbne.nl

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	5
Management summary	8
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Doel van het onderzoek	12
1.3 Leeswijzer	13
2 Methoden	14
2.1 Opzet	14
2.2 Vegetatie-opnamen en kartering zinkplanten	14
2.3 Bodemchemisch onderzoek	14
Drooggewicht en organisch stofgehalte	15
Destructie	15
Olsenextractie	17
Zout- en waterextractie	17
Chemische analyses	17
3 Resultaten vervolgmonitoring 2018	18
3.1 Vegetatie en bodemchemie in de plagzones	18
3.1.1 Algemene beschrijving van de vegetatie	18
3.1.2 Vegetatieontwikkeling 2009-2018 in de plagzones	21
3.1.3 Verspreiding van zinksoorten	22
3.1.4 Bodemchemie in de plagzones in vergelijking met ongeplagde delen	29
3.2 Ontwikkelingen op de historische groeiplaats	32
3.3 Potentiële locaties voor uitbreiding	38
4 Conclusies en aanbevelingen	42
4.1 Inleiding	42
4.2 Conclusies	42
4.3 Aanbevelingen	43

5 Referenties	46
Bijlage 1: Vegetatieopnamen (mei 2018)	47
Bijlage 2 (vervolg):	49

Samenvatting

In dit rapport zijn de uitkomsten van het onderzoek beschreven dat in 2018 in het zinkreservaat is uitgevoerd in het kader van OBN (Ontwikkelingen Beheer Natuurkwaliteit). Het betreft vervolgmonitoring, waarbij is gekeken naar de effectiviteit van maatregelen die in 2008 zijn genomen om de zinkvegetatie in het zinkreservaat te behouden en uit te breiden. Het hoofddoel van deze monitoring was om vast te stellen of de bodemchemie van de herstelde terreindelen op deze middellange termijn van voldoende kwaliteit is gebleven voor de groei van zinkplanten en of de verschillende opgekomen zinksoorten zich definitief hebben gehandhaafd bij het huidige vervolgbeheer (jaarlijks maaien en afvoeren). Daarnaast is bodemchemisch onderzoek uitgevoerd om vast te stellen of terreindelen binnen het zinkreservaat geschikt zijn voor eventuele uitvoering van maatregelen om de resterende groeiplaats van de zinkvegetatie verder uit te breiden.

Effectiviteit van de genomen herstelmaatregelen (plaggen en maaisel opbrengen)

Uit het vervolgonderzoek is gebleken dat de combinatie van plaggen en opbrengen van maaisel met diasporen én het instellen van verschrallingsbeheer van maaien en afvoeren effectief is om de zinkvegetatie te ontwikkelen en langdurig (10 jaar) in stand te houden. In 2009 werd al geconstateerd dat door de genomen maatregelen het areaal met zinkplanten was uitgebreid naar de plagzones in het midden en zuiden van het terrein. Tien jaar na plaggen zijn de zinkplanten (alle taxa) nog steeds aanwezig in de plagzones.

Op de middellange termijn hebben met name zink Engels gras en zinkschapengras geprofiteerd van de herstelmaatregelen. In 2008 waren beide soorten (nagenoeg) uitgestorven en 10 jaar later laten beide soorten een spectaculaire ontwikkeling zien: van zowel zink Engels gras als van zinkschapengras werden circa 1000 exemplaren geteld! Zinkboerenkers kiemde in grote aantallen vlak na plaggen (2008-2009), maar is op de meeste van de geplagde locaties weer verdwenen. Zinkviooltjes zijn in de geplagde delen zijn 10 jaar na de genomen maatregelen relatief beperkt aanwezig. Na eerste vestiging in 2009 is de soort op veel plekken ook weer verdwenen; in het zuidelijk deel heeft zich wel een populatie (bijna 200 individuen) gevestigd in een laagproductieve, schrale vegetatie, met daarnaast ook andere zinksoorten. De zinkvariant van Blaassilene (*Silene vulgaris*) komt slechts in de oude PQ's uit 2006; vermoedelijk gaat het om individuen die oorspronkelijk zijn uitgezaaid of uitgeplant ten behoeve van het experiment. In 2018 zijn ruim 20 individuen van zink-blaassilene terug gevonden in het reservaat.

In de plagzones is de vegetatie (veel) minder productief en kruidenrijker dan in de ongeplagde delen in het reservaat. Wel zijn er verschillen in vegetatiesamenstelling tussen de geplagde stukken, variërend van zinkplanten die een 'inslag' zijn in vrij productief, vrij kruidenrijk grasland tot locaties waar de zinksoorten frequent voorkomen in een schralere vegetaties met veel kenmerkende soorten van de Associatie van Schapengras en Tijn (Festuco-Thymetum serpylli).

De bodemcondities in de plagzones zijn nog steeds gunstig voor de instandhouding van de zinkflora. De bodem is voldoende arm aan fosfor (Olsen-P < 700 µmol) en door het beheer van 10 jaar maaien en afvoeren is de bodem verder verschraald (minder P en N!). De zinkconcentraties (Zn-tot) en Zn/Ca-ratio zijn in 2018 nog steeds voldoende hoog, maar in vergelijking met 2009 lijken de waarden licht te zijn afgenomen.

In het lage deel van één van de plagzones zijn zinkplanten verdwenen na de overstroming van 2010. De pH van de bodem is daar gestegen en de laagtes waar sediment werd afgezet, zijn verrijkt met fosfor en calcium. Dat laatste zorgt dat de beschikbaarheid van zink lager wordt.

Mogelijkheden voor uitbreiding van groeiplaatsen binnen het zinkreservaat

De bestaande en voormalige groeiplaatsen van de zinkflora waar geen herstelmaatregelen zijn uitgevoerd, zijn in vergelijking met 2004 verder vergrast. Tevens is een deel van de groeiplaats aan de noordzijde van het reservaat afgeschoven naar de Geul als gevolg van erosie. Van de populatie zinkviooltjes die in 2004 in dit gedeelte werd aangetroffen is in 15 jaar tijd 75% van de individuen verdwenen. Zinkboerenkers komt in de ongeplagde delen nog wel in redelijke aantallen voor en bij de tweede meander lijkt het aantal individuen zelfs te zijn uitgebreid.

Door het ingestelde beheer van maaien en afvoeren is de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfor significant afgenomen. Desondanks is na 10 jaar verschrallingsbeheer de toplaag van de bodem (0-10cm) in het noordelijk deel en in de meanders nog steeds te voedselrijk (fosfaat, maar ook ammonium). Eutrafente grassen domineren de vegetatie op de ongeplagde delen en zinkviooltje verdwijnt uit de vegetatie.

Voor herstel van de zinkflora zijn de bodemcondities in alle vier de onderzochte meanders in potentie geschikt te maken wanneer de voedselrijke bovenlaag wordt afgeplagd. De bodemcondities op 10-20 cm diepte blijken gunstig voor het ontwikkelen van zinkvegetaties: de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfor is laag (Olsen-P < 700 $\mu\text{mol/kg}$) en de totale concentratie zink en de Zn/Ca-ratio zijn voldoende hoog (> 40 mmol Zn-tot/kg bodem en Zn/Ca > 0,8).

Door uitvoering van de herstelmaatregelen in 2008 is het areaal van de zinkflora binnen het zinkreservaat succesvol uitgebreid. Tegelijk zien we een achteruitgang van de kwaliteit op de oorspronkelijke groeiplaatsen in de ongeplagde delen. De combinatie van plaggen en opbrengen van maaisel met diasporen én het instellen van verschrallingsbeheer van maaien en afvoeren lijkt ook in de onderzochte ongeplagde terreindelen kansrijk om de kwaliteit van de zinkflora te verbeteren en het areaal verder uit te breiden. Dit is in lijn met de instandhoudings- en uitbreidingsdoelstellingen voor de zinkvegetatie (habitattype H6130 Zinkweiden) uit het N2000-beheerplan.

Aanbevelingen voor instandhouding en uitbreiding van de zinkvegetatie in het reservaat

Op basis van de gevonden resultaten wordt een aantal aanbevelingen gedaan om de kwaliteit van de bestaande zinkvegetaties te verbeteren en het areaal van de zinksoorten uit te breiden:

- Het beheer van maaien en afvoeren is effectief gebleken om de plantbeschikbare hoeveelheid fosfor in de plagzones verder te verlagen. Wanneer dit beheer wordt voortgezet is het waarschijnlijk mogelijk om productieve grasvegetaties om te vormen naar laagproductieve vegetaties met een grotere diversiteit aan vaatplanten en een groter aandeel zinkplanten (type Festuco-Thymetum serpyllii). Begrazing door vee zou verder kunnen worden beperkt, omdat hiermee netto weinig nutriënten worden afgevoerd uit het reservaat.
- Om nieuwe vestiging van zinkplanten mogelijk te maken is het belangrijk om het maaibeheer af te stemmen op het afrijpen van zaden van zinkplanten. Dit kan door gefaseerd te maaien, waarbij productieve delen zonder zinkplanten als eerste worden gemaaid (en mogelijk tweemaal per jaar) en laagproductieve delen met zinksoorten pas in augustus.

- Op plaglocaties waar zich geen of heel weinig zinkplanten hebben gevestigd kan de kwaliteit verbeterd worden door de bodem opnieuw oppervlakkig te plaggen (schrappen of licht chopperen) en maaisel met diasporen aan te brengen.
- In het noordelijk deel van het zinkreservaat, op de historische groeiplaats (meander 1), zou de vergraste vegetatie en de fosfaat verrijkte toplaag van de bodem (0-10 cm) kunnen worden verwijderd. De nog aanwezige zinkviooltjes en zinkboerenkersen kunnen worden ontzien met behulp van de verspreidingskaart waarop de aangetroffen individuen zeer nauwkeurig zijn ingemeten. Ook hier is het advies om na plaggen weer vers maaisel aan te brengen met zaden van zinksoorten. In de eerste meander is de Olsen-P concentratie dusdanig laag dat na plaggen (10 cm) direct een goede uitgangssituatie ontstaat voor de ontwikkeling van een schrale variant van de zinkvegetatie.
- Door afplaggen (10cm) in combinatie met het opbrengen van maaisel is het ook in de andere meanders (2 t/m 4) mogelijk om goede uitgangscondities te scheppen om een zinkvegetatie te ontwikkelen. Bij afgraven moet worden voorkomen dat laagtes ontstaan waar na overstroming geulwater stagneert. Daarom zijn de hogere delen (oeverwallen) het meest geschikt om af te plaggen. Nadat de herstelmaatregelen zijn uitgevoerd wordt geadviseerd om verschrallingsbeheer in te stellen, omdat in de meanders de totaal-P concentraties nog vrij hoog zijn (>10 mmol P-tot/kg).

Aandachtspunten voor de toekomst

- Uit de vergelijking van bodemgegevens 2009-2018 blijkt in het hele zinkreservaat geleidelijke alkalisering op te treden. Dit heeft een negatief effect op de zinkbeschikbaarheid (Zn-tot, uitwisselbaar zink en Zn/Ca-ratio) en daarmee op de geschiktheid van de bodem voor de instandhouding van de zinkvegetatie. Mogelijk wordt dit proces veroorzaakt door overstroming door de Geul. We adviseren om in het zinkreservaat de alkalisering van de bodem in de komende PAS-perioden te monitoren.
- Veel zinksoorten zijn in Nederland gereduceerd tot een aantal kleine, vaak sterk geïsoleerde populaties. De herstelmaatregelen hebben aangetoond dat hervestiging van vitale populaties mogelijk is voor twee soorten (zinkschapengras & zink Engels gras). Ook de populaties van zinkboerenkers langs de Geul lijken voldoende groot te zijn. Het verlies aan genetische variatie zou wel een ernstig knelpunt kunnen zijn voor duurzame instandhouding van het zinkviooltje en de zinkvariant van blaassilene. Door middel van genetisch onderzoek kan worden vastgesteld of genetische processen, zoals *drift* of inteelt de levensvatbaarheid van de huidige populatie zinkviooltjes heeft aangetast.

Management summary

This report describes the results of a field monitoring campaign that was carried out in 2018 within the framework of OBN (Knowledge Network for restoration and management of nature in the Netherlands). In 2008, several restoration measures were taken for conserving and restoring the metallophyte vegetation (H6130 'Calaminarian grassland' characterized by zinc taxa, i.e. *Viola lutea* subsp. *calaminaria*, *Thlaspi caerulescens*, *Festuca ovina* subsp. *guestphalica*, and the zinc forms of *Armeria maritima* and *Silene vulgaris*) in a nature reserve near Epen, The Netherlands. This report evaluates the effectivity of the measures. The main goals were: (1) to investigate how soil biogeochemical conditions have developed over time (10 years); (2) whether these conditions were still suitable for establishment and development of zinc plants; (3) and whether the different zinc taxa have been able to establish permanently under the current management regime of mowing and haymaking. Additionally, soil chemical analyses were carried to investigate whether other parts within the reserve are suitable for application of these restoration measures and increase the area of metallophyte vegetation.

Effectivity of the restoration measures taken in 2008 (sod cutting and hay transfer)

The combination of sod-cutting, transfer of fresh hay containing diaspores of target species, and haymaking has proven to be successful in restoring metallophyte vegetation ('Calaminarian grassland') and its conservation on the long term (10 years). Already in 2009 it was clear that the distribution area of zinc plants expanded to parts where restoration measures were taken. Ten years after sod cutting and hay transfer all zinc taxa are still present in the areas that were sod-cut.

Especially *Armeria maritima* (zinc taxon) and *Festuca ovina* subsp. *guestphalica* responded very well to the restoration measures. In 2008 both species were (almost) absent; 10 years later they show a steep increase in population size: both *A. maritima* and *F. ovina* subsp. *guestphalica* counted almost 1.000 individuals in 2018! *Thlaspi caerulescens* germinated in large numbers in the first years after sod-cutting (2008-2009), but at most locations it disappeared again. The numbers of *Viola lutea* subsp. *calaminaria* remained rather low. After a first appearance in 2009 the species disappeared again from most sod-cut locations. In the southern part of the reserve, a new population of *Viola* has established of 200 individuals. This location is characterized by the development of a species-rich, low-productive vegetation. The distribution of *Silene vulgaris* (zinc taxon) is limited to the permanent quadrats that were established in 2006. It is likely that the ca. 20 individuals counted in 2018 originate from the experiments for which seeds and young plants were introduced.

In the parts of the reserve that were sod-cut, the vegetation is less productive and more species-rich compared to the non-sod-cut parts of the reserve. Between sod-cut zones we see differences in species composition, ranging from relatively productive vegetation types containing only a few metallophyte species to locations rich in metallophyte species that grow in a low-productive vegetation that is characterized by species of the syntaxon Festuco-Thymetum serpylli (e.g. *Polygala vulgaris* and *Potentilla erecta*).

In the sod-cut parts, soil conditions are still suitable for the conservation of metallophyte species. Soil phosphorus levels are low (Olsen-P <700 µmol/kg dry soil) and the management of mowing and haymaking even decreased soil nutrient availability (less N and P!). Total zinc concentration (Zn-tot) and the Zn/Ca-ratio are still high enough in 2018 (>40 mmol/kg dry soil and 0.8, respectively), but the concentration seem to have decreased slightly over time.

In a low-lying part of the reserve metallophytes disappeared after a flooding event in 2010. The soil-pH increased and sedimentation of soil particles enriched the soil significantly with phosphorus and calcium. The latter suppresses the availability of zinc ions.

Non-sod-cut areas: opportunities for expanding 'Calaminarian grassland' within the reserve

At the existing and former (non-sod-cut) locations where zinc taxa occur(ed), grasses became more dominant compared to the situation in 2004. Moreover, part of the main population of *Viola* collapsed due to erosion of the stream bank by the river Geul. The population of zinc violets in this part of the reserve decreased severely: within 15 years time 75% of the individuals of *Viola* disappeared. *Thlaspi caerulescens* is still relatively abundant in the non sod-cut parts; especially in the second meander along the river Geul the number of individuals increased.

Though 10 years of mowing and haymaking did result in a significant decrease of plant available phosphorus, the top soil layer in the meanders is still nutrient-rich in terms of phosphate (and ammonium). The grassland vegetation became dominated by eutraphent, productive grass species and *Viola lutea* subsp. *calaminaria* has been outcompeted.

The potential for successful restoration of the non-sod-cut meanders was determined based on soil chemical analyses. Sod cutting seems an appropriate restoration measure since soil conditions at 10-20 cm depth proved to meet the requirements for metallophyte species: the amount of plant available phosphorus is low (Olsen-P < 700 µmol/kg dry soil) and both the total concentration of zinc and the ratio between zinc and calcium are sufficiently high enough (>40 mmol Zn-tot/kg dry soil and Zn/Ca > 0.8, respectively).

The restoration measures taken in 2008 successfully restored metallophyte vegetation and led to an expansion of the distribution within the reserve. At the same time the population at the original, non-sod cut locations shows a steep decline. The combination of sod-cutting, hay transfer and a mowing regime that aims at reducing nutrient availability appears to be appropriate measures to restore the metallophyte vegetation in the non-sod-cut parts of the reserve. This is in line with the conservation- and expansion objectives for metallophyte vegetation (habitat type H6130 Calaminarian grasslands) as described in the N2000 management plan Geuldal.

Recommendations for conservation- and expansion objectives for Calaminarian grasslands in the reserve

- Haymaking has proven to be effective in reducing the amount of plant available phosphorus. Continuation of the mowing regime is likely to reduce grassland productivity even further and will help to develop low-productive grassland, rich in species and with a fair amount of metallophyte species (type Festuco-Thymetum serpyllii). Cattle grazing should be reduced, as its contribution to nutrient impoverishment is limited.
- For optimal dispersal and establishment of new sites it is important to cut the vegetation after the zinc plants have shed their seeds. It is therefore recommended to mow the low productive parts in August and productive parts –without metallophytes– could be mown twice a year in order to reduce nutrient availability.
- At sod-cut sites where no or hardly any zinc plants established it is recommended to repeat partly the restoration measures taken in 2008: to superficially scraping or chopping the topsoil and to apply fresh hay with diaspores of target species.

- In the northern part of the reserve (meander 1) removal of the nutrient-rich top soil (0-10 cm) could help restore the metallophyte vegetation. The current population of *Viola* and *Thlaspi* at this site can be spared as the exact location of each plant is mapped with a d-GPS. After sod-cutting fresh hay, containing diaspores of zinc plants, should be applied. In the first meander, Olsen-P concentrations are already low enough after sod cutting to enable establishment of a low productive species-rich grassland vegetation.
- Also in the other meanders (2 – 4), sod-cutting of the topsoil layer (10 cm) combined with fresh hay transfer seem appropriate measures to restore soil conditions and enable the establishment of zinc plants. In case of sod-cutting it is important to prevent the creation of low-lying parts with stagnating floodwater. Thus the elevated parts (stream banks) are most ideal locations for sod-cutting. After the restoration measures have been carried out it is recommended to aim for further reduction of nutrient availability by an adequate mowing regime, since total phosphorus concentrations (P-tot) in the meanders will remain relatively high (>10 mmol P-tot/kg).

Recommendations for future research

- Comparing soil chemical data over time (2009-2018) reveals a progressive alkalinisation within the reserve. As this process negatively affects the plant availability of zinc (Zn-tot, exchangeable Zn and Zn/Ca-ratio) it could undermine the preservation of the metallophyte vegetation in the longer term. It could be that flooding by the river Geul increases the buffering capacity of the grassland soil. It is to monitor the alkalinisation of the soil in the forthcoming period.
- All metallophyte species in the Netherlands declined severely during the past decades. These species survive in small, isolated populations. The studied restoration measures showed that redevelopment of vital populations was possible for two metallophytic species (*Festuca ovina* subsp. *gastrophysalis* and *Armeria maritima*). The population of *Thlaspi caerulescens* along the river Geul also seems to be viable. However, for *Viola lutea* subsp. *calaminaria* and the zinc form of *Silene vulgaris* genetic erosion might be a severe bottleneck for the long-term conservation of these species. Genetic research should clarify whether genetic processes, like genetic drift or erosion threaten the viability of *Viola* and *Silene* in the reserve.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Op wereldschaal is vegetatie die aangepast is aan 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 Plombières in België (Van de Riet et al., 2005; Van der Ent, 2008).

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. Deze vegetatie wordt ook wel zinkweiden genoemd. In Nederland wordt deze vegetatie gerekend tot de subassociatie Violetosum-Calaminariae van de Associatie van Schapengras en Tijm (*Festuco-Thymetum serpylli*), die tot de allerzeldzaamste vegetaties van ons land is te rekenen (Schaminée et al. 1996). 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. *guestphalica*) (fig. 1.1), 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 uitgebreid literatuuroverzicht daarin).



Figuur 1.1. Het zinkviooltje (*Viola lutea* subsp. *calaminaria*). Foto: R. Bobbink
Figure 1.1. The zinc violet (*Viola lutea* subsp. *calaminaria*). Photo: R. Bobbink

Door de ligging in dichtbevolkte en geïndustrialiseerde omgeving is de gemeenschap van zinkplanten in de laatste decennia in Europa aanzienlijk in haar bestaan bedreigd. Zinkvegetatie is door dit alles opgenomen in de Europese Habitatrichtlijn (Habitattype 6130) (Janssen & Schaminée, 2003). 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 zogenaamde zinkreservaat (voorheen Staatsbosbeheer, sinds 2007 Natuurmonumenten) dat al bijna 7 decennia wordt beheerd als natuurterrein. Dit terrein is onderdeel van het Natura 2000-gebied Geuldal en geniet daarmee een hoge mate van bescherming.

De oorspronkelijke zinkvegetatie in het Nederlandse gedeelte staat onder zware druk van vermessing en alkalisering en is sinds de jaren '50 van de vorige eeuw ernstig achteruitgegaan (van de Riet et al., 2005). Het is daarom van groot belang om een tweesporenbeleid met betrekking tot dit habitattype te voeren: a) behoud en versterking van de bestaande zinkvegetatie (kwaliteitsdoelstelling Natura 2000) en b) (her)ontwikkeling van zinkvegetaties op nabijgelegen landbouwgronden die jarenlang in intensief gebruik zijn geweest, maar nu in het Natura 2000-gebied vallen (Uitbreidingsdoelstelling Natura 2000) (Provincie Limburg, 2009).

In 2004 is in het kader van het toenmalige Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN) een kennisoverzicht opgesteld (Van de Riet et al., 2005). In dit preadvies zijn ook kennishiaten en/of problemen met betrekking tot beheer en herstel beschreven. Tevens zijn de abiotische randvoorwaarden voor de aanwezigheid van zinkvegetatie gekwantificeerd (Lucassen et al., 2008). Vervolgens werd in 2006 is een maai-/begrazingsexperiment en een kleinschalig plagexperiment uitgevoerd om de mogelijkheden voor ruimtelijke uitbreiding van de zinkvegetatie te verkennen (Bobbink et al., 2006). In de periode 2007-2009 werd in het kader van O+BN (Ontwikkeling+Beheer Natuurkwaliteit) het onderzoek uitgebreid met prioritaire onderzoeksvragen (Bobbink et al., 2011).

In 2008 werd naar aanleiding van de positieve uitkomsten van het kleinschalige plagexperiment (Lucassen et al., 2009) de herstelmaatregel opgeschaald met als doel om de sterk onder druk staande populaties van de zinkflora in het zinkreservaat te vergroten en recent verdwenen soorten te laten terugkeren. Daartoe zijn in het zuidelijk deel van het reservaat populieren gekapt en op verschillende plekken is na fosfaatvooronderzoek de bodem 15-20 cm geplagd en is vers maaisel met diasporen opgebracht dat werd verzameld van een zinkvegetatie in Plombières (voor details: Bobbink et al., 2011).

Tien jaar na uitvoering van genoemde herstelmaatregelen is in de eerste helft van 2018 onderzocht of de genomen maatregelen op de langere termijn hebben geleid tot uitbreiding en duurzame instandhouding van de zinkflora in het zinkreservaat. Deze vervolgmonitoring is wederom uitgevoerd in het kader van O+BN. Naast onderzoek gericht op de duurzame instandhouding van het habitattype, is ook uitgezocht hoe het habitattype binnen het zinkreservaat verder kan worden uitgebreid.

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is om de effectiviteit van het vorige decennium ingezette herstelbeheer in het zinkreservaat voor bodemchemie en vegetatiekwaliteit op middellange termijn (10 jaar) te bepalen. Het betreft een toen experimentele combinatie van maatregelen: plagen (15-20 cm) van de vegetatie met daarna het aanbrengen van vers maaisel van een

intacte zinkvegetatie uit aangrenzend België. Dit is op praktijkschaal opgestart in 2008 en vervolgens drie jaar gevolgd.

Het hoofddoel van deze monitoring is om vast te stellen of a) de bodemchemie van de herstelde terreindelen op deze middellange termijn (10 jaar) van voldoende kwaliteit blijft voor de groei van zinkplanten en b) of de verschillende opgekomen zinksoorten zich definitief handhaven bij het huidige vervolgbeheer.

Daarbij worden de volgende kennisvragen gesteld:

- 1) Is de vegetatiekwaliteit na plaggen en uitleggen van vers maaisel in het zinkreservaat nog steeds op orde? En hebben de terug gekeerde zinksoorten zich blijvend gevestigd en treedt er geen verruiging op?
- 2) Is de bodemchemie (o.a. beschikbaar P, N, Zn & Ca) in het zinkreservaat blijvend hersteld door het plaggen en toevoer van vers maaisel?
- 3) Is het huidige vervolgbeheer voldoende om de kwaliteit van de aanwezige zinkvegetatie langdurig te behouden?

1.3 Leeswijzer

In dit rapport worden de resultaten gegeven van de vervolgmonitoring die is uitgevoerd in het kader van het herstel van de zinkvegetatie in het zinkreservaat te Epen in 2018. In hoofdstuk 2 worden kort de onderzoeks- en analysemethoden beschreven. In hoofdstuk 3.1 worden de resultaten van de vegetatiemonitoring, florakartering en bodemchemische analyse in de geplagde en ongeplagde terreindelen besproken. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3.2 de ontwikkeling van de zinkflora op de oorspronkelijke groeiplaats behandeld en in hoofdstuk 3.3 wordt verkend welke locaties binnen het zinkreservaat geschikt zijn als uitbreidingslocatie van de zinkvegetatie. Tot slot worden in hoofdstuk 4 algemene conclusies getrokken met betrekking tot de effectiviteit van de genomen maatregelen en aanbevelingen gedaan om de kwaliteit van de zinkvegetatie te verbeteren en het areaal verder uit te breiden.

2 Methoden

2.1 Opzet

In het voorjaar van 2018 is zowel de vegetatie beschreven als bodemmateriaal verzameld voor de vervolgmonitoring van het zinkreservaat. Er zijn 11 opnamevlakken voor de vegetatie uitgezet in de in 2008 geplagde delen en 7 vlakken in de ongeplagde delen van de 4 meanders van het zinkreservaat, waarvan 3 in de meest noordelijke meander (meander 1), 1 in de daaronder gelegen meander (meander 2), 1 de derde meander (meander 3) en 2 in de meest zuidelijke meander (meander 4) van het zinkreservaat (fig. 2.1). In deze 18 vlakken zijn eerst 25 bodemmonsters genomen. De methodiek van de uitgevoerde bodembewerkingen en chemische analyse zijn beschreven in par. 2.3 en op identieke wijze uitgevoerd als in het eerdere OBN-onderzoek (Bobbink et al., 2011). Na de bodembemonstering is de samenstelling van de vegetatie beschreven van de 18 vlakken en is de verspreiding van de 5 soorten van de zinkflora in detail gekarteerd met een dGPS (par. 2.2).

2.2 Vegetatie-opnamen en kartering zinkplanten

Eind mei 2018 is de vegetatie in het zinkreservaat opgenomen met behulp van de Tansley-opnameschaal. De opnamen zijn gemaakt in de delen die in 2008 zijn geplagd en op plekken in de vier meanders waar mogelijk uitbreiding van de zinkflora kan worden gerealiseerd (fig. 2.1). Per opnamevlak zijn alle vaatplanten genoteerd en de (dominante) mossoorten en is hun abundantie ingeschat met de Tansley-schaal.

Alle locaties waar zinkplanten aanwezig waren zijn vervolgens ingemeten met een RTK-dGPS (Topcon Hiper SR FC-5000). Deze positiebepaling is zeer nauwkeurig en bedraagt circa 1 cm voor de X- en Y-coördinaten. Van zinkviooltje, zinkboerenkers, zinkblaassilene zijn de locaties van planten zoveel als mogelijk individueel (per plant) ingemeten. Bij zink engels gras en zinkschapengras waren individuen vanwege de klonale groeivorm moeilijk of niet te onderscheiden. Bij deze soorten is de dichtheid aan meetpunten een maat voor de dichtheid aan pollen.

2.3 Bodemchemisch onderzoek

Het bodemchemisch onderzoek is uitgevoerd in alle vlakken waar ook de vegetatieopnamen zijn gedaan. In ieder vlak is een mengmonster met een bodemguts verzameld van 4-5 steken. In de in 2008 geplagde delen is alleen de toplaag (0-10 cm) bemonsterd, terwijl in de ongeplagde delen van de 4 meanders zowel de toplaag (0-10 cm) als de diepere bodemlaag (10-20 cm) is verzameld. Dit is gebeurd om aan de hand van de P-beschikbaarheid de eventuele plagdiepte te weten te komen.

Op deze bodemmonsters zijn vervolgens de volgende bewerkingen uitgevoerd:

- bepaling drooggewicht en organische stofgehalte;
- Olsen-extractie voor plantbeschikbaar P;
- demiwater- en zoutextractie voor pH en overige plantenvoedingsstoffen;
- bodemdestructie voor totaalgehalten elementen (onder meer Zn).

Drooggewicht en organisch stofgehalte

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal per monster af te wegen in aluminium bakjes en gedurende minimaal 48 uur te drogen in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal terug gewogen en het vochtverlies berekend. Dit alles werd in duplo uitgevoerd. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal per monster, na het drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien van de monsters werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt in dit type bodems goed overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

Destructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Dit werd uitgevoerd door het materiaal na het drogen op 60°C te vermalen. Van het materiaal werd per monster nauwkeurig 200 mg afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3 , 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H_2O_2 , 30%) toegevoegd en de vaatjes werden geplaatst in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werden de monsters overgegoten in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml door toevoeging van milli-Q water. De destruatens werden vervolgens geanalyseerd op de ICP-OES.



Figuur 2.1. Luchtfoto van het onderzoeksgebied. Op de monsterlocaties zijn vegetatieopnamen gemaakt en bodemonsters verzameld. In geel de proefvlakken G1 t/m G11 in de in 2008 geplagde terreindelen (A-D) en in paars de bemonsterde locaties OG1 t/m 7 in de ongeplagde delen.

Figure 2.1. Aerial picture of the research site. At each sampling sites a vegetation releve was made and soil samples were collected for chemical analyses. The sampling locations G1-G11 are situated in areas that were sod cut in 2008 and are depicted in yellow (zone A-D). Sampling sites that were not sod-cut in purple (OG1-OG7).

Olsenextractie

Het Olsen-extract werd uitgevoerd ter bepaling van de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfaat. Hiervoor werd 3 gram droog bodemmateriaal met 60 ml Olsen-extract (0,5 M NaHCO_3 bij pH 8,4) gedurende 30 minuten uitgeschud op een schudmachine bij 105 rpm. Het extract werd vervolgens geanalyseerd op de ICP-OES.

Zout- en waterextractie

In de water- en zoutextracten werd de eerst pH van de bodem bepaald. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml zoutextract (0,2M NaCl) of 50 ml demiwater gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons en het filtraat dat gemeten werd op de ICP-OES werd aangezuurd en opgeslagen voor analyse. Vervolgens werd de hoeveelheid NO_3^- , NH_4^+ , Al en Ca bepaald, alsmede de hoeveelheid P en kationen, gemeten in het extract op de ICP-OES en Autoanalyser.

Chemische analyses

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) en fosfaat (PO_4^{3-}) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van respectievelijk salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl^-) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na^+) en kalium (K^+) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

3 Resultaten vervolgmonitoring 2018

3.1 Vegetatie en bodemchemie in de plagzones

3.1.1 Algemene beschrijving van de vegetatie

In mei 2018 zijn vegetatieopnamen gemaakt in zowel de geplagde als ongeplagde delen van het terrein (tabel 3.1). Hieronder wordt aan de hand van de opnamen een beschrijving van de vegetatie in deze twee terreindelen gegeven. De algemene vegetatiekenmerken zijn weergegeven in tabel 3.1 en de soortgegevens in een synoptisch overzicht in tabel 3.2. In bijlage 1 is de complete lijst met vegetatieopnamen opgenomen.

In de plagzones komen meer soorten vaatplanten voor dan in de ongeplagde delen van de 4 meanders (tabel 3.1). De in 2008 geplagde delen zijn na tien jaar weer volledig begroeid geraakt. De totale bedekking (vaatplanten en mossen) is overal ongeveer gelijk, maar de kruidlaag in de geplagde zones is minder dicht en hoog. In vergelijking met de ongeplagde delen van het reservaat bedekt de moslaag in de plagzones meer. Dominante mossen zijn gewoon haakmos (*Rhytidiadelphus squarrosus*) en groot laddermos (*Pseudoscleropodium purum*).

Tabel 3.1: Algemene kenmerken van de vegetatie in de geplagde en ongeplagde delen van het zinkreservaat.

Table 3.1 General characterization of the vegetation in the parts that were sod-cut in 2008 and the non-sod-cut grasslands in the reserve.

Vegetatieopnamen 2018	geplagd (n=10)	ongeplagd (n=7)
Aantal soorten vaatplanten	28,0 (± 1,5)	17,7 (± 1,8)
Aantal soorten mossen	2,1 (± 0,3)	1,7 (± 0,4)
Bedekking totaal (%)	98,0 (± 0,0)	100,0 (± 0,0)
Bedekking kruidlaag (%)	84,5 (± 3,4)	93,7 (± 1,4)
Bedekking moslaag (%)	79,5 (± 5,1)	30,7 (± 6,4)
Hoogte hoge kruidlaag (cm)	50,5 (± 0,0)	48,3 (± 5,7)
Hoogte lage kruidlaag (cm)	25,5 (± 4,4)	31,4 (± 1,8)

Door de herstelmaatregelen in 2008 is de soortenrijkdom in de geplagde zones aanzienlijk toegenomen. Naast de zinksoorten zijn in de geplagde delen ook een aantal karakteristieke soorten van schrale graslanden gevonden, zoals gewone vleugeltjesbloem (*Polygala vulgaris*), tormentil (*Potentilla erecta*) en gewone veldbies (*Luzula campestris*) (tabel 3.2). Qua grasachtigen bepalen gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*) en gewone veldbies de vegetatie. Daarnaast komen in de geplagde delen een behoorlijk aantal algemenere graslandplanten voor die in de ongeplagde terreindelen ontbreken of slechts beperkt voorkomen. Het gaat bijvoorbeeld om moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*), duizendblad (*Achillea millefolia*), margriet (*Leucanthemum vulgare*), kleine bevernel (*Pimpinella saxifraga*), bleke zegge (*Carex pallescens*) en hazenzegge (*C. ovalis*). Gestreepte witbol (*Holcus lanatus*), rood zwenkgras (*Festuca rubra*) en ruw beemdgras (*Poa trivialis*), die in de ongeplagde terreindelen dominant zijn (gemiddelde werkelijke bedekking 18-38%), bereiken in de plagzones een veel lagere gemiddeld bedekking (maximaal 8%).

Tabel 3.2. Synoptische tabel van de vegetatieopnamen gemaakt op 27 en 28 mei 2018 in het zinkreservaat. De soorten zijn gestructureerd in groepen gebaseerd op ecologische preferentie en/of soorten een duidelijke voorkeur hadden voor geplagde of ongeplagde terreindelen. Per soort is aangegeven de frequentie (aantal opnamen) en de gemiddelde bedekkingsklasse (I = 0-1%; II = 1-2%; III = 2-3%; IV = 3-4%; V = 4-8%; VI = 8-18%; VII = 18-38%). n = totaal aantal opnamen. Zie bijlage 1 voor de complete opnamen.

Table 3.2. Synoptic table based on the vegetation survey in the Zinkflora Reserve, May 27. & 28. 2018. Species are structured into groups based on their ecological preference and/or their preference for sod-cut areas. For each species the frequency of occurrence (number of relevés) and the average cover class is given (I = 0-1%; II = 1-2%; III = 2-3%; IV = 3-4%; V = 4-8%; VI = 8-18%; VII = 18-38%). N = total number of relevés.

Wetenschappelijke naam	geplagd n=10	ong geplagd n=7	Nederlandse naam
Zinkflora			
<i>Viola lutea</i> s. <i>calaminaria</i>	4 - II	4 - II	Zinkviooltje
<i>Thlaspi caerulescens</i>	8 - II	4 - III	Zinkboerenkers
<i>Armeria maritima</i>	9 - III	-	Engels gras
<i>Festuca ovina</i> s. <i>guestphalica</i>	9 - V	-	Genaald schapengras
<i>Silene vulgaris</i>	4 - III	-	Blaassilene
Soorten van schrale graslanden			
<i>Campanula rotundifolia</i>	4 - II	1 - IV	Grasklokje
<i>Luzula campestris</i>	10 - VI	2 - II	Gewone veldbies
<i>Potentilla erecta</i>	4 - V	-	Tormentil
<i>Polygala vulgaris</i>	6 - IV	-	Gewone vleugeltjesbloem s.l.
Geplagde delen - overige graslandsoorten			
<i>Lotus pedunculatus</i>	7 - IV	-	Moerasrolklaver
<i>Carex pallescens</i>	4 - III	-	Bleke zegge
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	4 - VI	-	Gewoon reukgras
<i>Equisetum palustre</i>	4 - IV	-	Lidrus
<i>Leucanthemum vulgare</i>	4 - IV	-	Gewone margriet
<i>Carex hirta</i>	3 - V	-	Ruige zegge
<i>Carex spicata</i>	2 - II	-	Gewone bermzegge
<i>Carex ovalis</i>	2 - II	-	Hazenzegge
<i>Bromus hordeaceus</i>	6 - V	1 - IV	Zachte dravik s.l.
<i>Achillea millefolium</i>	6 - IV	1 - IV	Gewoon duizendblad
<i>Trifolium dubium</i>	5 - V	1 - IV	Kleine klaver
<i>Filipendula ulmaria</i>	5 - IV	1 - IV	Moerasspirea
<i>Pimpinella saxifraga</i>	4 - II	1 - II	Kleine bevernel
<i>Deschampsia cespitosa</i>	3 - II	1 - II	Ruwe smeie
<i>Trifolium pratense</i>	9 - V	2 - V	Rode klaver
<i>Cruciata laevipes</i>	5 - II	2 - III	Kruisbladwalstro
<i>Crepis capillaris</i>	7 - V	3 - IV	Klein streepzaad
<i>Galium uliginosum</i>	7 - III	3 - III	Ruw walstro
Algemene graslandsoorten			
<i>Agrostis capillaris</i>	10 - VII	7 - VII	Gewoon struisgras
<i>Trifolium repens</i>	8 - VI	5 - V	Witte klaver
<i>Plantago lanceolata</i>	8 - VI	5 - V	Smalle weegbree
<i>Cerastium fontanum</i>	9 - V	6 - IV	Gewone en Glanzende hoornbloem
<i>Ranunculus acris</i>	10 - VI	6 - VI	Scherpe boterbloem
<i>Rumex acetosa</i>	10 - VI	5 - VI	Veldzuring
<i>Arrhenatherum elatius</i>	6 - III	7 - III	Glanshaver
<i>Poa pratensis</i>	9 - V	4 - VI	Veldbeemdgras
<i>Ranunculus repens</i>	3 - V	4 - VI	Kruipende boterbloem
<i>Veronica chamaedrys</i>	6 - III	5 - IV	Gewone ereprijs
<i>Calliergonella cuspidata</i>	4 - VI	2 - VI	Gewoon puntmos
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	9 - VI	5 - VI	Groot laddermos
<i>Rhytidadelphus squarrosus</i>	10 - VII	7 - VI	Gewoon haakmos
Ongeplagde delen - dominante soorten			
<i>Holcus lanatus</i>	10 - V	7 - VII	Gestreepte witbol
<i>Festuca rubra</i>	9 - V	7 - VI	Rood zwenkgras s.s.
<i>Poa trivialis</i>	5 - V	4 - VII	Ruw beemdgras
Overige soorten			
<i>Helictotrichon pubescens</i>	4 - III	2 - IV	Zachte haver
<i>Galium mollugo</i>	4 - VI	5 - II	Glad walstro
<i>Cardamine pratensis</i>	3 - II	-	Pinksterbloem
<i>Pimpinella major</i>	1 - IV	2 - III	Grote bevernel
<i>Cynosurus cristatus</i>	1 - II	-	Kamgras
<i>Picris hieracioides</i>	1 - II	-	Echt bitterkruid
<i>Vicia sepium</i>	1 - II	1 - IV	Heggenwikke
<i>Angelica sylvestris</i>	1 - IV	-	Gewone engelwortel
<i>Eupatorium cannabinum</i>	1 - II	-	Koninginnenkruid
<i>Heracleum sphondylium</i>	1 - II	1 - II	Gewone berenklauw
<i>Stellaria graminea</i>	-	1 - II	Grasmuur
<i>Poa annua</i>	-	1 - II	Straatgras
<i>Taraxacum officinalis</i> s.l.	1 - IV	2 - IV	Paardenbloem s.l.
<i>Juncus effusus</i>	3 - II	-	Pitrus
<i>Urtica dioica</i>	-	1 - IV	Grote brandnetel
<i>Lolium perenne</i>	2 - VI	3 - V	Engels raigras
<i>Glechoma hederacea</i>	2 - II	3 - IV	Hondsdrif
<i>Dactylis glomerata</i>	3 - II	2 - V	Kropaar
<i>Alnus glutinosa</i>	2 - II	-	Zwarte els
<i>Quercus robur</i>	-	1 - II	Zomereik
<i>Salix aurita</i> + <i>S. cinerea</i>	1 - II	-	Rossige, Geoorde en Grauwe wilg



Figuur 3.1: Impressie van de vegetatie in plagzone B, tien jaar na herstelmaatregelen. Op de foto staan zinkviooltje (rechts) en zink Engels gras (midden en links). Verspreid in de vegetatie komt ook zinkschapengras voor (niet op de foto). Foto: 27 mei 2018. Foto: B. van de Riet

Figure 3.1: Impression of the vegetation in an area that was sod-cut in 2009. *Viola lutea* subsp. *calaminaria* (on the right) and *Armeria maritima* (middle and left). Occasionally *Festuca ovina* subs. *guestphalica* is also present (not in the picture). Photo taken May 27., 2018. Photo: B. van de Riet

De vegetatie in de vier meanders langs de Geul is behoorlijk productief en dicht. De totale bedekking van de kruidlaag is gemiddeld 95 %. Grassen domineren de vegetatie (gestreepte witbol, ruw beemdgras, veldbeemdgras) samen met scherpe boterbloem (*Ranunculus acris*) en veldzuring (*Rumex acetosa*). In de eerste meander is de vegetatie soortenarm en opvallend is een dikke laag van strooisel die de bodem bedekt. In de overige meanders is de vegetatie iets bloemrijker door de aanwezigheid van algemene graslandsoorten. Naast scherpe boterbloem gaat het onder meer om gewone hoornbloem (*Cerastium fontanum*), rode en witte klaver (*Trifolium pratensis*, *T. repens*) en kruipende boterbloem (*R. repens*). In de eerste en de tweede meander komen tussen het dichte gras nog enkele zinkviooltjes voor. Zinkboerenkers komt lokaal op een steilkantje in de eerste meander voor en in de tweede meander groeit zinkboerenkers met een flink aantal 'in de ondergroei' van het verder vrij productieve grasland (zie ook paragraaf 3.2; fig. 3.18). Dit is opvallend, omdat in het algemeen wordt aangenomen dat zinkboerenkers zich vooral gedraagt als pionier en verdwijnt op moment dat een vegetatie zich sluit. Mogelijk kan de soort zich handhaven door het maaibeheer en de aanpassing dat de volledige levenscyclus (kieming, groei, bloei en zaadproductie) vroeg in het groeiseizoen plaatsvinden.

3.1.2 Vegetatieontwikkeling 2009-2018 in de plagzones

Voor een beeld van de vegetatieontwikkeling in de tijd kunnen de vegetatieopnamen uit 2018 worden vergeleken met die van 2009. In het tweede jaar na plaggen zijn Tansley-schattingen gemaakt in verschillende opnamevlakken binnen de plagzones. Hoewel in 2018 een iets andere (gedetailleerdere) indeling in opnamevlakken is gemaakt, zijn de resultaten uit beide jaren goed met elkaar te vergelijken (tabel 3.3).

In 2009 hadden alle zinksoorten zich succesvol gevestigd in de plagstukken (fig. 3.2 en 3.3). Afgezien van Zinkblaassilene, die buiten de experimentele proefvlakken uit 2006 slechts op één plek werd aangetroffen, hadden zink Engels gras, zinkboerenkers en zinkviooltje zich in 2009 op veel plaatsen en soms met grote dichtheid gevestigd in de geplagde terreindelen. Zinkschapengras had zich in die tijd op meerdere plaatsen (>10) gevestigd, maar met lage dichtheid (Bobbink et al., 2011; Lucassen et al., 2009).

Zoals hiervoor al geconstateerd komen in 2018 op de geplagde delen nog steeds alle zinksoorten voor, maar de ontwikkelingen verschillen per soort. In het zuidelijk deel van plagzone B groeien zinkviooltje, zink Engels gras en zinkschapengras in (vrij) hoge dichtheid bij elkaar. De plek wordt gekenmerkt door een laagproductieve, schrale vegetatie met onder meer gewone veldbies, gewone vleugeltjesbloem en tormentil. Verder komen zink Engels gras en zinkschapengras in vrij grote aantallen voor in het hoge deel van plagzone A (G2-G4) en het noordelijk deel van plagzone B (G5).

Zinkviooltje is sinds 2009 binnen de plagzones in aantal achteruitgegaan. De soort is nog verspreid aanwezig, maar in plagzone A is deze op enkele individuen na verdwenen. In vergelijking met 2009 hebben de viooltjes zich in het zuidelijk deel in plagzone B echter wel uitgebreid.

Een opvallend verschil met de opnamen uit 2009 is dat zinkboerenkers in bedekking is afgenomen of soms zelfs verdwenen. De grootste groeiplaats in 2009 (I B), waar de soort abundant aanwezig was, staat tien jaar later geen enkel individu meer (G3-G4). In 2018 werd redelijke aantallen zinkboerenkers binnen de plagzones slechts nog gevonden onder het prikkeldraad, aan de oostzijde van plagzone B. Verder weet de soort zich in beperkte aantallen goed te handhaven in de experimentele proefvlakken uit 2006 (zie * in tabel 3.3). Zinkboerenkers is een kortlevende soort, die zich gemakkelijk vestigt op open plekken. Zodra de vegetatie in de plagzones meer gaat bedekken lijkt deze soort hier toch te verdwijnen.

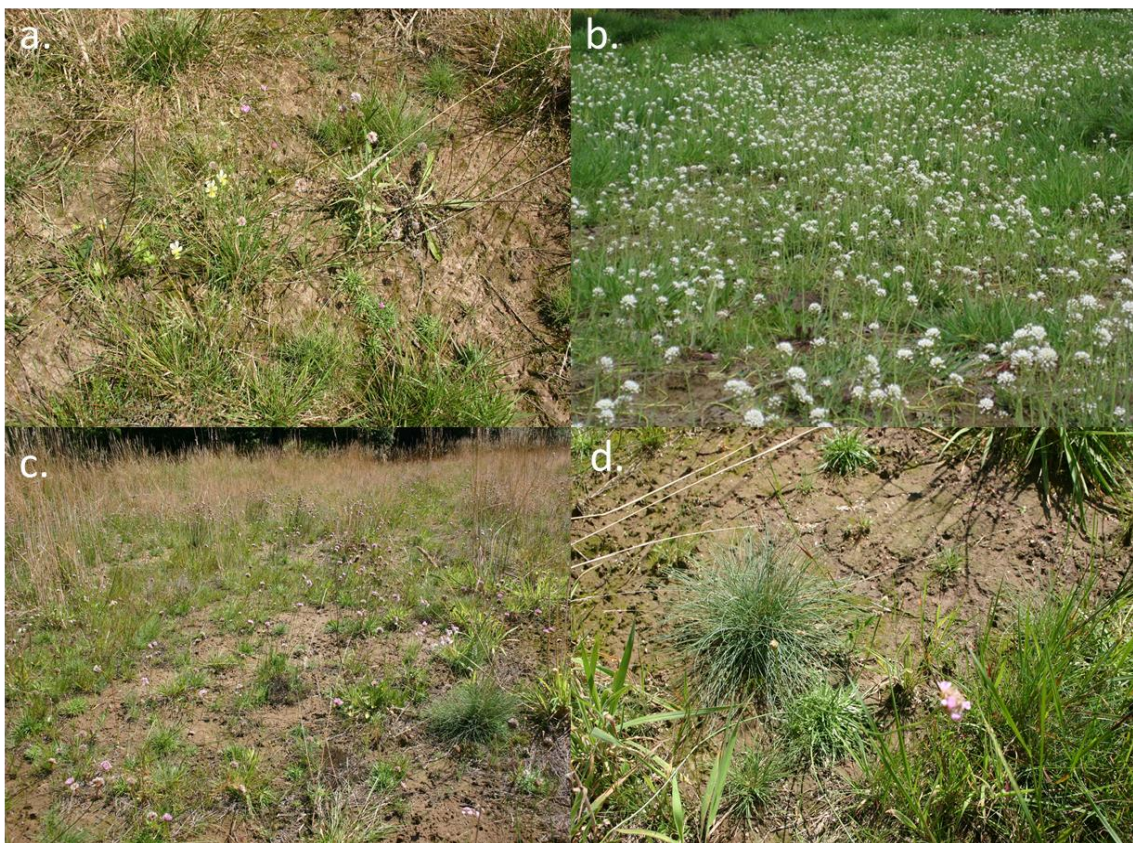
*Tabel 3.3: Het voorkomen van zinkplanten in 2009 en 2018 in de terreindelen die in 2008 zijn geplagd en voorzien van vers maaisel met diasporen. De nummers van de opnamevlakken uit 2009 (I A t/m VI) corresponderen met de opnamennummers 2018 tussen haakjes. r = zeldzaam, s = sporadisch, o = verspreid, f = vrij talrijk, a = veel aanwezig, l = lokaal. * = alleen present in proefvlakken uit 2006.*

*Tabel 3.3: Occurrence of metallophyte species in 2009 and 2018 in the zones that were sod-cut and provided with diaspores via hay transfer in 2008. The relevés numbers from 2009 (I A t/m VI) correspond to the numbers 2018 between brackets. r = rare, s = sparse, o = occasional, f = frequent, a = abundant, l = locally. * = occurs only in experimental plots (2006).*

Zinkflora in plagzones	vlak	I A (G1-G2)	I B (G3-G4)	II (G6)	III (G5+G7)	IV (G8-G9)	V (G11)	VI (G10)
Nederlandse naam								
Zinkviooltje	2009	f	f	r	o	o		
	2018	s			r	lf		
Zinkboerenkers	2009	o	a	r	o	r	r	
	2018	s		lo*	s-lo	lo	lo*	r*
Zink Engels gras	2009	f	f	o	f	o	o	r
	2018	lf	lf	lo	s-lf	lf	lf	s*
Zinkschapengras	2009	s	o		r	r	r	
	2018	r-lf	lo		lf-f	la-lc	lf	lf*
Zinkblaassilene	2009		s					
	2018			s*		r*	lo*	f*



Figuur 3.2: In 2008 is in circa 0,25 ha grasland in het zinkreservaat geplagd. Vervolgens is op de geplagde delen vers maaisel opgebracht uit Plombières met daarin diasporen van zinkplanten. Foto: E. Lucassen
 Figure 3.4: In 2008 circa 0,25 ha of grassland was sod-cut. Afterwards hay, collected from a metallophyte vegetation at Plombières, was spread out on the location. Photo: E. Lucassen.



Figuur 3.3: Vestiging van zinkplanten vanuit het opgebrachte maaisel (2009): a. zinkviooltje en zink Engels gras, b. massale bloei van zinkboerenkers, c. zink Engels gras, d. zinkschapengras. Foto's: E. Lucassen & R. Bobbink.

Figuur 3.5: Metallophyte plant species establish after hay transfer (2009): a. *Viola lutea* s. *calaminaria* and *Armeria maritima*, b. large numbers of flowering *Thlaspi caerulescens*, c. *Armeria maritima*, d. *Festuca ovina* s. *guestphalica*. Photos: E. Lucassen & R. Bobbink.

3.1.3 Verspreiding van zinksoorten

De groeiplaatsen van de zinkplanten zijn in 2018 nauwkeurig ingemeten met een dGPS. Op basis daarvan is op te maken hoeveel 'individuen' van iedere zinksoort in het reservaat

aanwezig zijn. Daaruit wordt duidelijk dat de in 2009 genomen herstelmaatregelen succesvol zijn geweest voor de uitbreiding van de zinkflora in het zinkreservaat (tabel 3.4). Van iedere zinksoort is tevens verspreidingskaart gemaakt van het voorkomen in het zinkreservaat (fig. 3.4 t/m 3.8).

*Tabel 3.4: Aantal individuen (zinkviooltje, zinkboerenkers, zinkblaassilene), respectievelijk aantal pollen (zink Engels gras, zinkschapengras) dat werd aangetroffen in de delen waar herstelmaatregelen werden uitgevoerd ('geplagd+ maaisel') en in de ongeplagde delen in mei/juni 2018. * = alleen aangetroffen in de proefvlakken uit 2006.*

*Table 3.4: Number of individuals (for Viola, Thlaspi, Silene) and tussocks (for Armeria and Festuca) in the parts of the reserve with and without restoration measures. * = only present in the experimental plots that were established in 2006.*

Inventarisatie aantal zinkplanten (2018)	geplagd + maaisel	ongeplagd
Zinkviooltje	196	73
Zinkboerenkers	131	678
Zink Engels gras	925	21
Zinkschapengras	1088	12
Zinkblaassilene	22*	0

Van het zinkviooltje zijn in de plagzones in 2018 bijna 200 individuen aangetroffen. Buiten de plagzones werden slechts 73 exemplaren gevonden. In 2004, voor uitvoering van de herstelmaatregelen, waren naar schatting 300 zinkviooltjes in het gehele reservaat aanwezig (Van de Riet *et al.*, 2005; Rossenaar & Odé, 2004). Dat illustreert dat de genomen maatregelen voor herontwikkeling van groeiplaatsen noodzakelijk zijn om de soort niet verder te laten verdwijnen. De best ontwikkelde groeiplaats van zinkviooltje is het zuidelijk deel van plagzone B, waar de vegetatie schraal is en naast zinkschapengras en zink Engels gras ook andere kenmerkende soorten bevat als gewone vleugeltjesbloem en gewone veldbies. In plagzone A en het noordelijk deel van plagzone B is een enkel zinkviooltje gevonden en in plagzone C en D zijn in 2018 geen zinkviooltjes meer aangetroffen, ook niet in de experimentele proefvlakken uit 2006 (fig. 3.4).

Zinkboerenkers werd het meest aangetroffen aan de noordkant van het reservaat en in de eerste en tweede meander (fig. 3.5). Het betreft ongeplagde delen van het terrein, waar zinkboerenkers een inslag is in een vrij productieve graslandvegetatie met onder meer gestreepte witbol, ruw en gewoon beemdgras, veldzuring en scherpe boterbloem. De populatie zinkboerenkers kan zich blijkbaar lange tijd handhaven, want ook in 2004 was de soort op deze groeiplekken reeds vrij talrijk aanwezig (Van de Riet *et al.*, 2005). Zinkboerenkers is monocarp en mogelijk dat de vroege kieming, bloei en vruchtzetting in combinatie met het maaibeheer helpen bij de jaarlijkse aanwas van jonge planten. In de eerste jaren na plaggen heeft zinkboerenkers zich goed uitgebreid op de plagplekken (fig. 3.3b), maar na 10 jaar is de soort op de geplagde plekken weer verdwenen. In 2018 komen de meeste individuen voor onder de afrastering van plagzone B, op de grens waar geplagd is. Mogelijk dat hier minder frequent of minder vroeg gemaaid wordt. Ook bodemverwonding door pinken kan mogelijk een effect hebben, omdat het vee langs de draad een smal looppaadje heeft. Verder zijn enkele individuen van zinkboerenkers gevonden in het noordelijk deel van plagzone B en in de experimentele proefvlakken die in 2006 zijn aangelegd.

Zinkschapengras en Zink Engels gras zijn van de zinkplanten het meest talrijk (fig. 3.6 en 3.7). Voordat de herstelmaatregelen werden uitgevoerd was zinkschapengras beperkt tot



Figuur 3.4. Verspreiding van zinkviooltje in het zinkreservaat in mei/juni 2018. Exemplaren die zijn aangetroffen in de ongeplagde delen zijn in geel weergegeven. De individuen die op de plekken zijn gevonden waar herstelmaatregelen zijn uitgevoerd zijn in oranje. Foto: Google Maps.

Figure 3.4. The distribution of *Viola lutea* s. *calaminaria* in the Zinc Nature Reserve in May/June 2018. Individuals found in areas that were not sod-cut are depicted in yellow. Those growing in areas where restoration measures were taken are depicted in orange. Photo: Google Maps.



Figuur 3.5. Verspreiding van zinkboerenkers in het zinkreservaat in mei/juni 2018. Exemplaren die zijn aangetroffen in de ongeplagde delen zijn in wit weergegeven. De individuen die op de plekken zijn gevonden waar herstelmaatregelen zijn uitgevoerd zijn in groen. Foto: Google Maps.

Figure 3.5. The distribution of *Thlaspi caerulescens* in the Zinc Nature Reserve in May/June 2018. Individuals found in areas that were not sod-cut are depicted in white. Those growing in areas where restoration measures were taken are depicted in green. Photo: Google Maps.



Figuur 3.6. Verspreiding van zink Engels gras in het zinkreservaat in mei/juni 2018. Exemplaren die zijn aangetroffen in de ongeplagde delen zijn in paars weergegeven. De individuen die op de plekken zijn gevonden waar herstelmaatregelen zijn uitgevoerd zijn in roze. Foto: Google Maps.

Figure 3.6. The distribution of *Armeria maritima* in the Zinc Nature Reserve in May/June 2018. Individuals found in areas that were not sod-cut are depicted in purple. Those growing in areas where restoration measures were taken are depicted in pink. Photo: Google Maps.



Figuur 3.7. Verspreiding van zinkschapengras in het zinkreservaat in mei/juni 2018. Exemplaren die zijn aangetroffen in de ongeplagde delen zijn in blauw weergegeven. De individuen die op de plekken zijn gevonden waar herstelmaatregelen zijn uitgevoerd zijn in turquoise. Foto: Google Maps.

Figure 3.7. The distribution of *Festuca ovina* s. *guestphalica* in the Zinc Nature Reserve in May/June 2018. Individuals found in areas that were not sod-cut are depicted in turquoise. Those growing in areas where restoration measures were taken are depicted in blue. Photo: Google Maps.



Figuur 3.8. Verspreiding van zinkblaassilene in het zinkreservaat in mei/juni 2018. Exemplaren zijn alleen aangetroffen op de plekken waar in 2006 experimentele proefvlakken zijn ingericht. Foto: Google Maps.
Figure 3.8. The distribution of Silene vulgaris in the Zinc Nature Reserve in May/June 2018. Individuals were only found in the experimental plots that were established in 2006. Photo: Google Maps.

twee groeiplaatsen met in totaal enkele pollen; zink Engels gras was reeds in de jaren '80 uitgestorven (Van de Riet et al., 2005). Beide soorten hebben zich in grote aantallen in de plagzones gevestigd en laten op een enkele plek ook spontane uitbreiding zien. Aan de zuidelijke kant van de tweede meander hebben zich direct langs de steile oever enkele tientallen planten van beide soorten nieuw gevestigd. Mogelijk zijn bij de overstroming in november 2010 diasporen verspreid van elders uit de geplagde delen van het reservaat en zijn deze gekiemd op de dunne zandlaag die hier toen is afgezet (Verbaarschot et al., 2011).

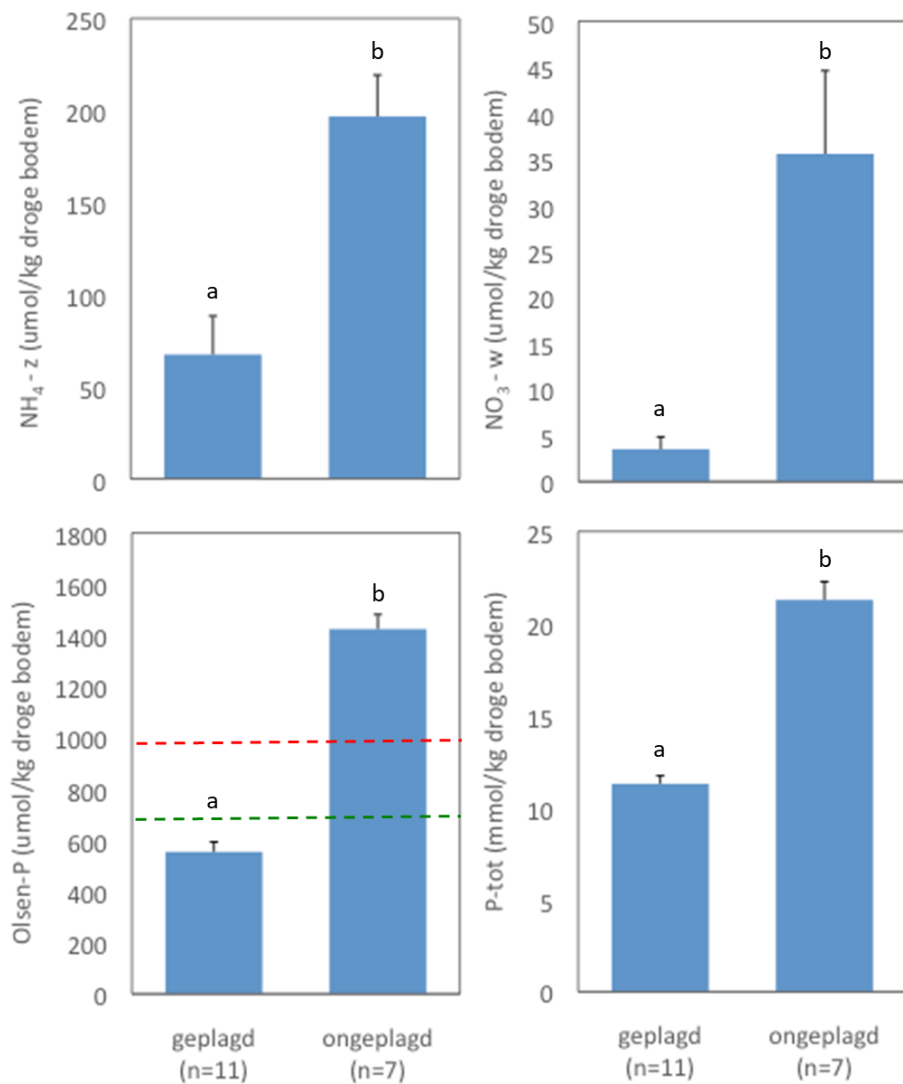
Zinkblaassilene is in 2018 slechts enkele malen gevonden (fig. 3.8). De verspreiding van de soort blijft beperkt tot de locaties van de experimentele proefvlakken, die voorafgaand aan de herstelmaatregelen in 2006 zijn aangelegd. Zinkblaassilene is een meerjarige plant die mogelijk jaren oud kan worden. Het is niet ondenkbaar dat de aangetroffen planten de exemplaren zijn die in 2006 zijn uitgeplant of uitgezaaid ten behoeve van de veldexperimenten. Buiten de proefvlakken is zinkblaassilene niet gevonden. De planten in het reservaat vormen wel vruchtdozen, maar in de meeste gevallen bleken de zaden gepredeerd te worden (mogelijk door larven van het Anjeruiltje).

3.1.4 Bodemchemie in de plagzones in vergelijking met ongeplagde delen

Het bodemchemisch onderzoek heeft zich in eerste instantie gericht op de geplagde delen in het reservaat. De vraag was of de genomen herstelmaatregelen zorgen dat de bodemcondities voor lange tijd gunstig blijven voor de ontwikkeling en instandhouding van zinkvegetaties. Om de effectiviteit van plagen inzichtelijk te maken vergelijken we de bodemchemie in de plagzones met die in de ongeplagde delen in het reservaat.

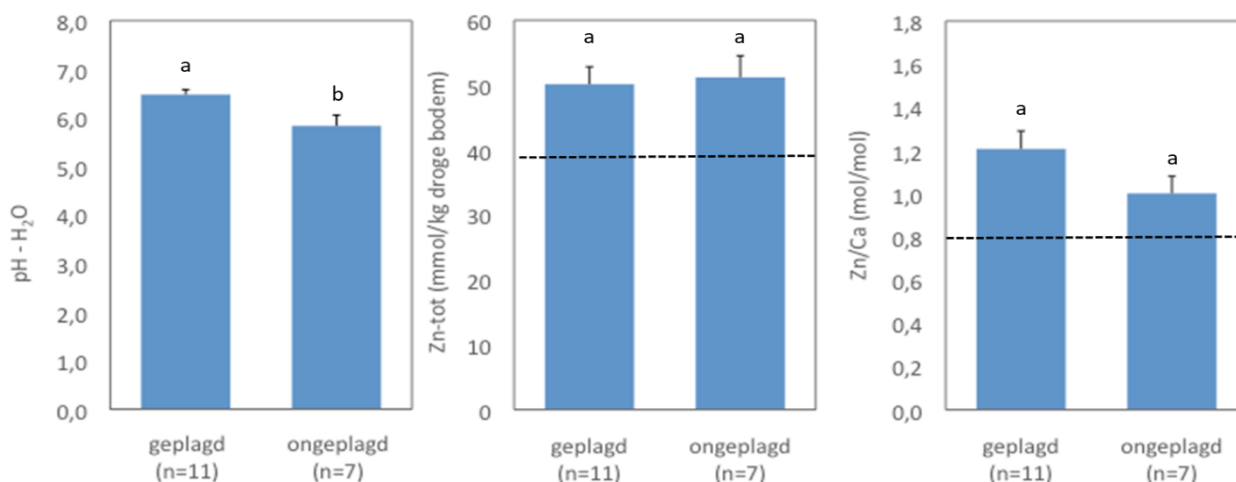
Daarnaast worden de analyseresultaten vergeleken met de kritische waarden die zijn bepaald door Lucassen et al., 2008. Uit deze studie blijkt dat enerzijds de Olsen-P concentratie voldoende laag moet zijn ($<1000 \mu\text{mol/kg}$ droge bodem of zelfs lager; zie hoofdstuk 3.3) en anderzijds voldoende zink in de bodem aanwezig moet zijn ($\text{Zn-tot} > 40 \text{ mmol/kg}$ droge bodem). De totale hoeveelheid zink in de bodem beïnvloedt de fractie die daarvan beschikbaar is. De zinkbeschikbaarheid wordt op zijn beurt beïnvloed door de hoeveelheid calcium en de zuurgraad van de bodem. Uit het onderzoek is gebleken dat de verhouding tussen zink en calcium (Zn/Ca-ratio) in de bodem een belangrijke indicator is. Als de $\text{Zn/Ca} > 0,8$ kan worden aangenomen dat voldoende zink beschikbaar is voor een goed ontwikkelde zinkvegetatie (Lucassen et al., 2009). Verder bepaalt de pH in sterke mate de oplosbaarheid van zink. Bij hogere pH's (~ 7) neemt de oplosbaarheid sterk af, terwijl bij lagere pH zink juist goed oplosbaar is. Verder kan bij hoge pH zink worden vastgelegd door ijzer(hydr)oxiden, waardoor zink onoplosbaar wordt (Lucassen et al., 2008).

Tien jaar na de genomen herstelmaatregelen is de nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem in de plagzones significant lager dan in de ongeplagde delen (fig. 3.9). De concentratie uitwisselbaar ammonium in de plagzones is met gemiddeld $68 \mu\text{mol/kg}$ droge bodem significant lager dan in de ongeplagde delen. Hier is de ammoniumconcentratie maar liefst $200 \mu\text{mol/kg}$ droge bodem. Nitraatconcentraties zijn zeer laag en laten eenzelfde patroon zien met $4 \mu\text{mol/kg}$ droge bodem en $36 \mu\text{mol/kg}$ droge bodem in de geplagde, respectievelijk de ongeplagde delen. Ook de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfor en totaal fosfor zijn significant lager in de geplagde delen ($555 \mu\text{mol Olsen-P/kg}$ droge bodem, respectievelijk 11 mmol P-tot/kg droge bodem) dan in de meanders en de noordkant van het reservaat ($1425 \mu\text{mol Olsen-P}$, respectievelijk 21 mmol P-tot/kg droge bodem). In de geplagde delen is de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfor (Olsen-P) voldoende laag. In de ongeplagde zone, dus ook de bestaande groeiplaats van de zinkflora in meander 1 en 2 die wordt bedreigd door verdergaande vergassing, is Olsen-P nog ruim boven de kritische grenswaarde (fig. 3.9).



Figuur 3.9. Resultaten bodemchemie. Gemiddelde concentratie ($\pm$ SEM) van ammonium (NH₄), nitraat (NO₃), plantbeschikbaar fosfor (Olsen-P) en totaal fosfor (P-tot) in de toplaag van de bodem (0-10 cm) in de plagzones en in de ongeplagde delen van de meanders langs de Geul. Verschillende letters geven aan of waarden significant verschillen ($p < 0,05$). De groene stippellijn geeft de kritische waarde weer van 700 µmol Olsen-P/kg droge bodem en de rode lijn de kritische bovengrens van 1000 mol/kg droge bodem (Bobbink et al., 2011)

Figure 3.: soil chemistry. Average concentration ($\pm$ SEM) of ammonium (NH₄), plant available phosphorus (Olsen-P) and total phosphorus concentration (P-tot) in the topsoil layer (0-10 cm) of the areas where restoration measures were taken, in the northern part of the reserve and the meanders along the river Geul. Different letters indicate significant differences between locations ($p < 0,05$). The red dotted line indicates the critical value of 700 µmol Olsen-P/kg dry soil and in red the upper limit of 1000 mol/kg dry soil. (Bobbink et al., 2011).

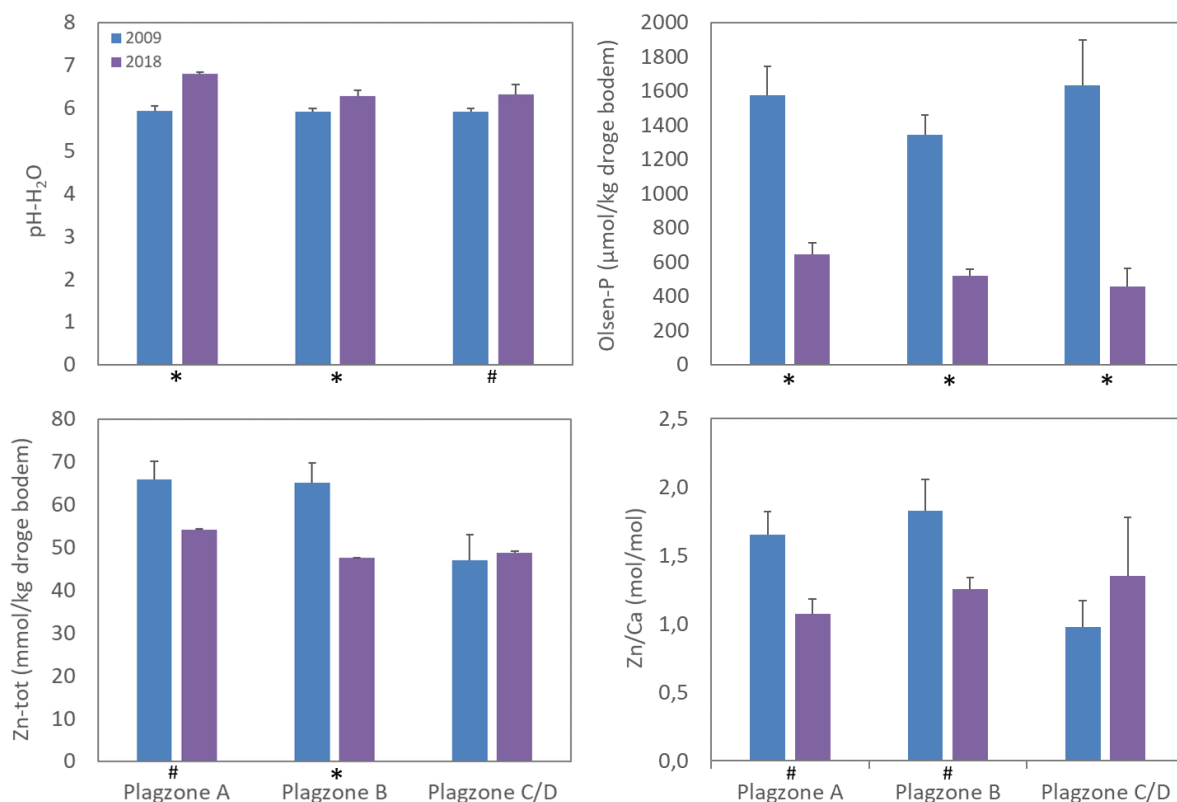


Figuur 3.10. Resultaten bodemchemie. Gemiddelde ($\pm$ SEM) pH, de totale concentratie zink (Zn-tot) en de verhouding zink:calcium (Zn/Ca) in de toplaag van de bodem (0-10 cm) in de plagzones en in de ongeplagde delen van de meanders langs de Geul. Verschillende letters geven aan of waarden significant verschillen ($p < 0,05$). De stippellijnen geven de kritische waarde weer van 40 mmol Zn/kg droge bodem, respectievelijk een Zn/Ca = 0,8 (Lucassen et al., 2009).

Figure 3.10. Soil chemistry. Average ($\pm$ SEM) pH, total zinc concentration (Zn-tot) and the ratio between zinc and calcium (Zn/Ca) in the topsoil layer (0-10 cm) of the areas where restoration measures were taken, and in the meanders along the river Geul. Different letters indicate significant differences between locations ($p < 0,05$). The dotted line indicates the critical value of 40 mmol Zn/kg dry soil, Zn/Ca of 0,8 (Lucassen et al., 2009)

De pH-H₂O van de bodem in de geplagde delen is significant hoger (6,48) dan in de ongeplagde delen (5,83) (fig. 3.10). Mogelijk heeft dat een negatief effect op de zinkbeschikbaarheid in de bodem. De totale hoeveelheid zink in de bodem verschilt niet tussen de verschillende delen in het reservaat (fig. 3.10). Op alle bemonsterde locaties zit gemiddeld 50 mmol Zn-tot/kg droge bodem, wat betekent dat ruim voldoende zink aanwezig is in de bodem om boven de kritische waarde van 40 mmol Zn-tot uit te komen. De zink:calcium-ratio ligt op alle plekken boven 0,8. Hoewel de verschillen niet significant zijn lijkt in de meanders de Zn/Ca iets lager te zijn dan in de geplagde delen.

In vergelijking met negen jaar geleden zijn de bodemcondities in de plagzones nog steeds gunstig. Opvallend verschil is dat de Olsen-P concentraties in de plagzones zijn afgenomen van rond 1300-1700 naar minder dan 600 μ mol/kg droge bodem (fig. 3.11). Dit betekent dat door het uitsluiten van vee en consequent jaarlijks maaien en afvoeren de bodem in de geplagde delen verder verschaald is. Dit is zeker gunstig voor de instandhouding en uitbreiding van zinkplanten omdat hierdoor de concurrentiekracht van de algemene grassen verminderd wordt. De concentratie zink (Zn-tot) en de Zn/Ca-ratio liggen nog steeds boven de criteria voor zinkflora, maar gedurende de monitoringsperiode lijken ze wel te zijn afgenomen (fig. 3.11). Deze bodemcondities hebben zich dus minder gunstig ontwikkeld.



Figuur 3.11. Vergelijking bodemchemische condities in de plagzones in 2009 en 2018. Gemiddelde ($\pm$ SEM) pH, plantbeschikbaar fosfor (Olsen-P), totale concentratie zink (Zn-tot) en de verhouding zink:calcium (Zn/Ca) in de toplaag van de bodem (0-10 cm). * = significant verschil tussen jaren ($p < 0,05$; # = trend ($0,05 < p < 0,1$).

Figure 3.11. Comparison of soil chemistry measured in the sod-cut zones in 2009 and 2018. Average ($\pm$ SEM) pH, plant available phosphorus (Olsen-P), total zinc concentration (Zn-tot) and the ratio between zinc and calcium (Zn/Ca) in the topsoil layer (0-10 cm) * = significant difference between years ($p < 0,05$; # = trend ($0,05 < p < 0,1$).

Ook is de pH op de geplagde locaties met circa een 0,5 gestegen, wat ongunstig is voor de beschikbaarheid van zware metalen. In 2010 is tijdens een overstroming een laag sediment afgezet dat rijk is aan calcium en fosfor (Verbaarschot et al., 2011). In ieder geval in de lage delen van plagzone A en het noordelijk deel van plagzone B dit ongunstig geweest voor de ontwikkeling van de zinkflora. Daarnaast is ook het Geulwater zelf rijk aan bicarbonaat en zal door overstroming zorgen voor alkalinerig van de bodem.

Al met al is door de in 2008 uitgevoerde herstelmaatregelen de bodemchemie gunstig veranderd. Zoals ook in eerder onderzoek (Bobbink et al., 2011) is geconstateerd is met name de P-rijkdom en niet zozeer de totale zinkconcentratie en zinkbeschikbaarheid een knelpunt voor de ontwikkeling van zinkvegetaties in het zinkreservaat. Door afplaggen van de toplaag en tien jaar beheer van maaien en afvoeren is de plantbeschikbare hoeveelheid fosfor dusdanig afgenomen dat de bodemcondities nog steeds gunstig zijn voor de duurzame vestiging en handhaving van zinkvegetatie. Wel is er een stijging van de bodem-pH (alkalinisering) gevonden, dit kan op lange termijn de beschikbaarheid van zink voor planten verminderen.

3.2 Ontwikkelingen op de historische groeiplaats

De noordkant van het reservaat (meander 1 en 2) vormt in ieder geval in de laatste decennia de belangrijkste groeiplaats van de zinkflora in het reservaat. In het preadvies werd echter al geconstateerd dat de groeiplaatsen bedreigd worden door afkalving en door vergrassing en

vervilt van de vegetatie (Van de Riet et al., 2005). Om een indruk te krijgen van de ontwikkeling van de zinkvegetatie tussen 2004 en 2018 kunnen de afbeeldingen uit juni 2005 (fig. 3.12) worden vergeleken met de situatie van dezelfde locatie in 2018 (fig. 3.14 en 3.15). Deze laat een toename zien in de productiviteit van de vegetatie en de groeiplaatsen met zinkviooltjes zijn veelal verdwenen. Om de verandering van de vegetatie verder te onderzoeken kunnen de gegevens van de inventarisatie uit 2018 worden vergeleken met de verspreidingskaart van de zinkflora uit 2004 (Van de Riet et al., 2005).

Op de kaart uit 2004 zijn de groeiplaatsen van zinkviooltje en zinkboerenkers ingetekend; op deze kaart staan de stippen echter niet gelijk aan individuele planten, zoals dat in 2018 wel is. Een één-op-één vergelijking van aantallen planten in 2004 en 2018 is daardoor niet helemaal mogelijk, maar desondanks is op de kaart duidelijk te zien dat het aantal zinkviooltjes in de afgelopen 14 jaar sterk is teruggelopen in meander 1 en 2 (fig. 3.14). Dit is in lijn met afname die te zien is wanneer we de aantallen zinkviooltjes vergelijken die geteld zijn in 2003 in het kader van het bedreigde soortenproject (K. Brussée in Rossenaar & Odé, 2004) en de soortkartering in 2018. Die laat een achteruitgang zien van 300 exemplaren in 2003 naar 73 exemplaren die in 2018 zijn waargenomen in de niet geplagde delen van het reservaat (tabel 3.4): een afname van 75%!

Zinkboerenkers lijkt qua aantallen min of meer stabiel te zijn over deze periode, maar exacte aantallen zijn in het verleden niet bepaald. Opvallend is dat zinkboerenkers zich goed lijkt te handhaven in de 'ondergroei' van de graslandvegetatie (fig. 3.17). Met name in de tweede meander staan honderden exemplaren in een vrij productieve graslandvegetatie gedomineerd door beemdgras (*Poa trivialis*, *P. pratensis*), Veldzuring (*Rumex acetosa*) en scherpe boterbloem (*Ranunculus acris*).

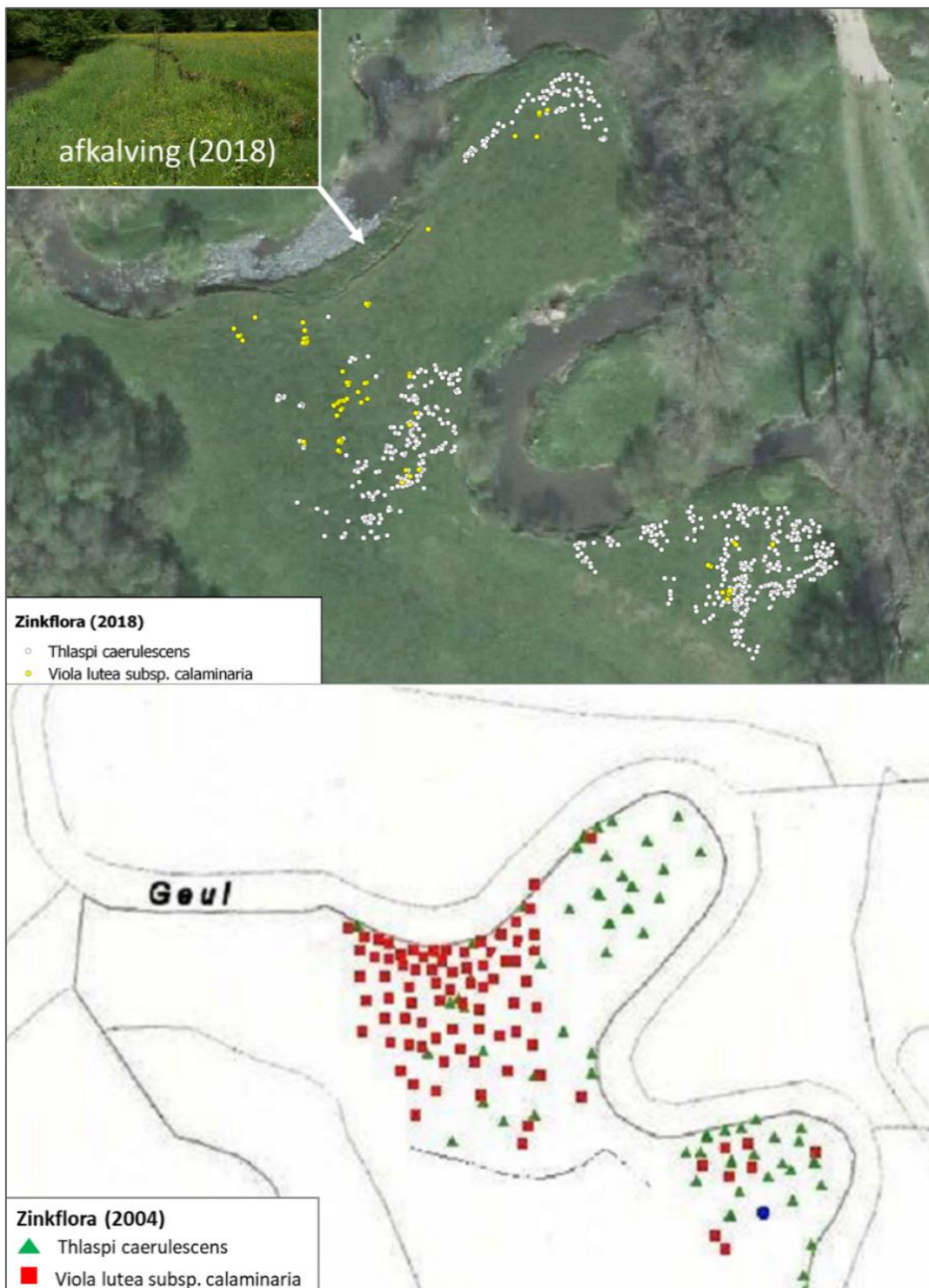
Door erosie door de Geul wordt de groeiplaats nog steeds ondermijnd en de steilwand is inmiddels ingestort (fig. 3.13, foto inzet). Ten opzichte van 2004 (Van de Riet et al., 2005) is de vegetatie in de loop van de jaren verder vergrast (fig. 3.12). Waar toentertijd de zinkviooltjes in pollen bijeen stonden staan de resterende zinkviooltjes in 2018 slechts als losse individuen in een soortenarme grasvegetatie (fig. 3.15).

Circa 10 jaar geleden was al duidelijk dat de Olsen-P waarden met 1500-2500 $\mu\text{mol/kg}$ droge bodem ruim boven de kritische grens lagen (fig. 3.1c in Bobbink et al., 2011). Ook de gegevens uit de controleproefvlakken van het 'anti-verviltingsexperiment' dat in het kader van O+BN is uitgevoerd aan de noordzijde van het reservaat (Bobbink et al., 2011) laten in 2006-2009 zien dat de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfor te hoog is (gemiddeld 2500 $\mu\text{mol P/kg}$). Uit de metingen in 2018 blijkt dat concentratie Olsen-P aan de noordkant nu circa 1600 $\mu\text{mol/kg}$ droge bodem is (fig. 3.18). Hoewel de variatie binnen het gebied vrij groot is, lijkt na 10 jaar maaien en afvoeren de Olsen-P concentraties in de bodem te dalen. Het is echter in 10 jaar nog niet gelukt om de bodem voldoende te verschralen voor ontwikkeling van een laagproductieve, goed ontwikkelde zinkvegetatie. De verwachting is dat bij voortzetten van het jaarlijks maaien en afvoeren van het maaisel de beschikbaarheid van fosfaat nog meer zal dalen, maar het is te vrezen dat dit niet voldoende snel is om de achteruitgang van nog aanwezig ruim 70 zinkviooltjes te stoppen. Het ligt voor de hand ook in meander 1 ook iets te doen om het P versneld af te voeren, bijvoorbeeld door het afplaggen van 10 cm met uitsparen van de restpopulatie (fig. 3.13). Na 10 (15) cm plaggen zijn zowel de P-concentraties als de Zn-waarden op orde (tabel 3.5).



Figuur 3.12. Vegetatie in het zinkreservaat in 2004. Boven: noordelijke oever (gefotografeerd richting westen). Onder: detail op deze locatie van o.m. zinkviooltje, rood zwenkgras en gewone hoornbloem. Vergelijk de situatie in 2018 van dezelfde locatie in fig. 3.14 en 3.15. Foto's: B. van de Riet, 5 juni 2004.

Figuur 3.12. Vegetation in the Reserve in 2004. Area in the northern part with in detail *Viola lutea s. calaminaria*, *Festuca rubra* and *Cerastium fontanum*. Compare the vegetation at the same location in 2018 in fig. 3.14 and 3.15. Photo's: B. van de Riet, June 5th, 2004.



Figuur 3.13. Kaart met de verspreiding van zinkviooltjes en zinkboerenkers in het noordelijk deel van het zinkreservaat in 2018 en 2004. Inzet: door afkalving is een deel van de oorspronkelijke populatie zinkviooltjes verdwenen.

Figure 3.13. Distribution maps of *Viola lutea* s. *calaminaria* and *Thlaspi caerulescens* in the northern part of the reserve in 2004 and 2018. After 2004 a large part of the population of *Viola* has been destroyed by erosion of the bank (picture in the upper left corner).



Figuur 3.14. Impressie van de vegetatie aan de noordzijde van het reservaat op de plek waar in 2004 de belangrijkste groeiplaats van zinkviooltje was (foto richting oosten). De vegetatie wordt nu voornamelijk bepaald door gestreepte witbol, rood zwenkgras en scherpe boterbloem. Zinkviooltje is nog steeds aanwezig, maar de aantallen zijn sterk achteruitgegaan. Foto: 27 mei 2018, B. van de Riet.

Figure 3.14. Impression of the vegetation in the northern part of the reserve. This used to be the main location where *Viola lutea* s. *calaminaria* was growing. In 2018 the vegetation is dominated by *Holcus lanatus*, *Festuca rubra*, and *Ranunculus acris*. *Viola* is still present, but the numbers have decreased. Photo taken May 27., 2018, B. van de Riet.



Figuur 3.15. Impressie van de groeiplaats van zinkflora aan de noordkant van het reservaat. In de rode cirkel een enkel individu van zinkviooltje. De vegetatie is sterk vergrast door onder meer rood zwenkgras en gestreepte witbol, en zinkviooltjes zijn sterk achteruitgegaan. Foto: 28 mei 2018., B. van de Riet.

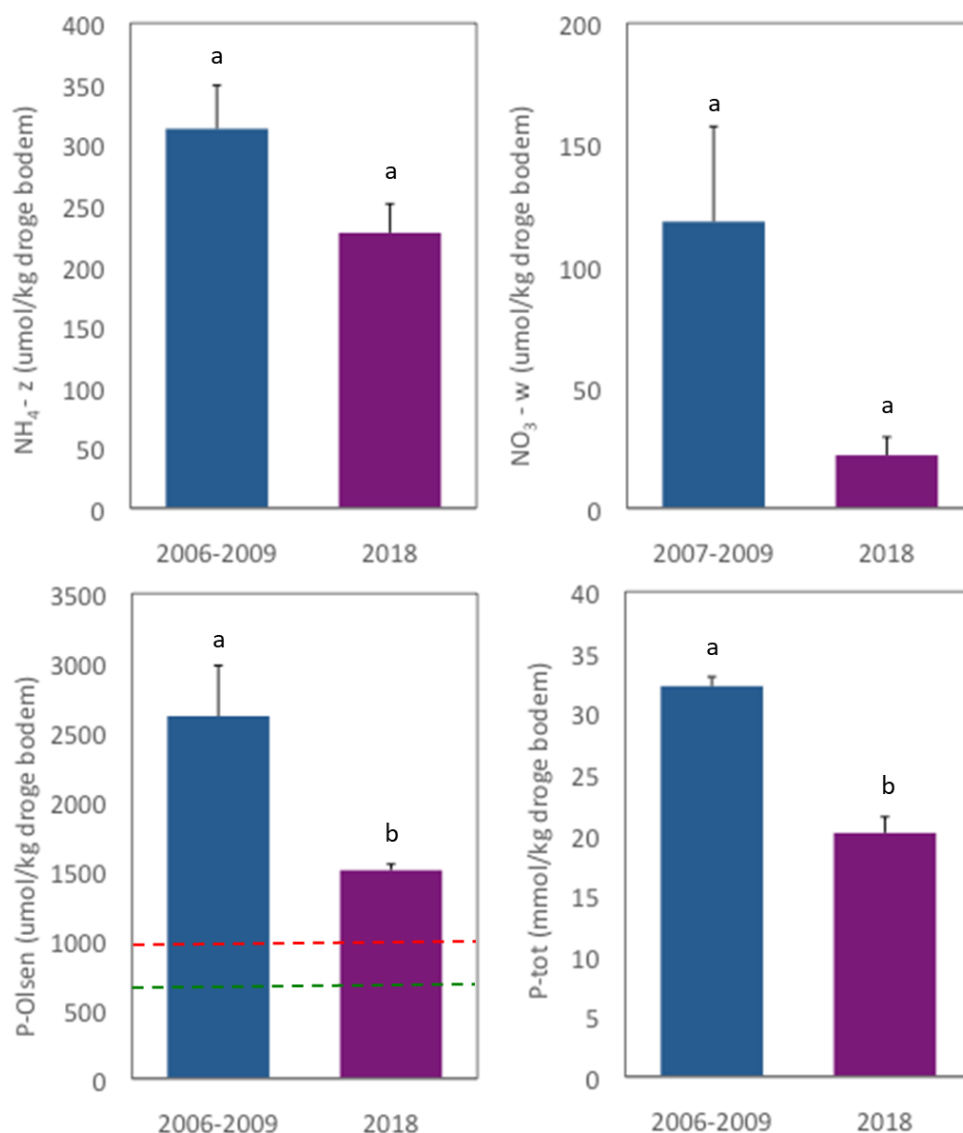
Figure 3.15. Impression of the vegetation at the north of the Reserve. In the red circle a single individual of *Viola lutea* s. *calaminaria*. The vegetation has become dominated by grasses (e.g. *Festuca rubra*, *Holcus lanatus*). Photo: May 28., 2018, B. van de Riet.



Figuur 3.16. Impressie van de vegetatie in de vierde meander. De vegetatie wordt gedomineerd door eutrafente grassen. Zinkflora is afwezig. In de achtergrond ligt plagzone B. Foto: 27 mei 2018.
 Figure 3.16. Impression of the vegetation along the fourth meander. The vegetation is dominated by eutraphent species. Zinc plants are absent. Photo taken May 27., 2018, B. van de Riet



Figuur 3.17. Impressie van de groeiplaats van zinkflora in de tweede meander. Zinkboerenkers (rode cirkels) groeit hier met behoorlijk wat individuen als 'ondergroei' van de graslandvegetatie (60-70 cm hoog) met eutrafente grassen, veldzuring en scherpe boterbloem. Foto: 28 mei 2018., B. van de Riet
 Figure 3.17. Impression of the vegetation along the second meander. *Thlaspi caerulescens* (red cirkels) grows in quite some numbers in the 'understory' of the 60-70 cm high grassland vegetation, dominated by eutraphent grasses, *Rumex acetosa* and *Ranunculus acris*. Photo: May 28., 2018, B. van de Riet.



Figuur 3.18. Vergelijking van ammonium, nitraat, Olsen-P en P-totaalconcentratie in de bodem (0-10 cm) in periode 2006-2009 en 2018 in het noordelijk deel van het reservaat. De metingen in periode 2006-2009 (n=15) zijn gedaan in het kader van het 'anti-vervaltingsexperiment' (controle-vlakken; n=5) (Bobbink et al. (2011)). De metingen in 2018 (n=4) zijn gebaseerd op mengmonsters genomen in hetzelfde deelgebied (noordkant en meander 1 en 2). Verschillende letters geven significant verschil aan tussen jaren ($p < 0,05$). De groene stippellijn geeft de kritische waarde weer van 700 μmol Olsen-P/kg droge bodem en de rode de kritische bovengrens van 1000 mol/kg droge bodem (Bobbink et al., 2011)

Figure 3.18: Comparison of exchangeable ammonium, plant available nitrate and phosphorus (Olsen-P) and total phosphorus in the topsoil layer (0-10 cm) in the northern part of the reserve in 2006-2009 and in 2018. Measurements in 2006-2009 were taken in the control plots of a field experiment (n=15) (see Bobbink et al., 2011). Different letters indicate significant differences between locations ($p < 0,05$). The red dotted line indicates the critical value of 700 μmol Olsen-P/kg dry soil and in red the upper limit of 1000 mol/kg dry soil. (Bobbink et al., 2009).

3.3 Potentiële locaties voor uitbreiding

Om de potenties in te schatten voor de uitbreiding van het areaal van de zinkvegetatie in het zinkreservaat is op een aantal locaties (fig. 2.1) buiten de plagplekken de bodemchemie van verschillende lagen doorgemeten, 0-10 cm en 10-20 cm. Daarmee is te beoordelen of door plaggen of ondiep afgraven de bodemcondities voor zinkflora kunnen worden verbeterd.

Uit onze eerdere onderzoeken is gebleken dat de hoeveelheid zink (Zn-tot en Zn/Ca) en de hoeveelheid fosfor (Olsen-P en in zekere mate ook P-tot) in de bodem een sleutelrol spelen in het wel of niet voorkomen van zinksoorten. Per locatie en per parameter is met kleuren aangegeven wat de potentie voor herstel is (tabel 3.5). Daarbij is uitgegaan van de kritische waarden voor zink van >40 µmol Zn-tot/kg droge bodem en een Zn/Ca ratio >0,8 (Lucassen et al., 2008). De grenswaarde van Olsen-P is gesteld op 700 µmol/kg droge bodem, omdat uit het huidige onderzoek is gebleken dat zinkvioletje zich op langere termijn alleen lijkt te kunnen handhaven op locaties waarde P-beschikbaarheid echt laag is. Dit komt overeen met waarden die bekend zijn uit droge stroomdalvegetaties, waarvan de zinkvegetatie syntaxonomisch gezien een bijzondere subassociatie is (Festuco-Thymetum serpylli).

Uit de analyses wordt duidelijk dat de mooist ontwikkelde plaglocatie (B: G7-9) een Olsen-P concentratie hebben <500 µmol/kg droge bodem en een P-tot < 10 mmol/kg droge bodem. De vegetatie is hier rijk aan zinksoorten (zinkschapengras, zink Engels gras en zinkvioletje) en wordt verder gekenmerkt door gewone veldbies, gewone vleugeltjesbloem en grasklokje.

Zoals in paragraaf 3.1 al werd geconstateerd is in de ongeplagde delen in de meanders en aan de noordkant van het reservaat de hoeveelheid zink in de bodem voldoende hoog. Afgezien van een enkel punt in de vierde meander is de totale concentratie zink en de Zn/Ca ratio op alle bemonsterde plekken (ruim) boven de kritische waarden. Ook in de diepere bodemlaag (10-20 cm) is dit het geval (tabel 3.5). Dat betekent dat de beschikbaarheid van fosfor leidend is voor de kansen op succesvolle ontwikkeling van de zinkvegetatie.

In de ongeplagde delen is de toplaag van de bodem (0-10 cm) te rijk aan fosfor (Olsen-P en P-tot) en daardoor nu ongeschikt voor de ontwikkeling van zinkflora. De bodemlaag op 10-20 cm diepte is voldoende laag in plantbeschikbaar fosfaat en matig rijk aan totaal fosfor. Op basis daarvan kan worden geconcludeerd dat afplaggen van de bovenste bodemlaag (0-10 cm) op alle locaties een adequate maatregel is om de bodemcondities geschikt te maken voor de vestiging van zinkvegetatie.

*Tabel 3.5. Relevante bodemchemische parameters voor de ontwikkeling van zinkvegetaties. De kleuren indiceren de kansrijkdom of op die locatie zinkvegetaties kunnen worden ontwikkeld: rood = ongeschikt, oranje = redelijk kansrijk, lichtgroen = kansrijk, donkergroen = zeer kansrijk. * = geplagd in 2009.*

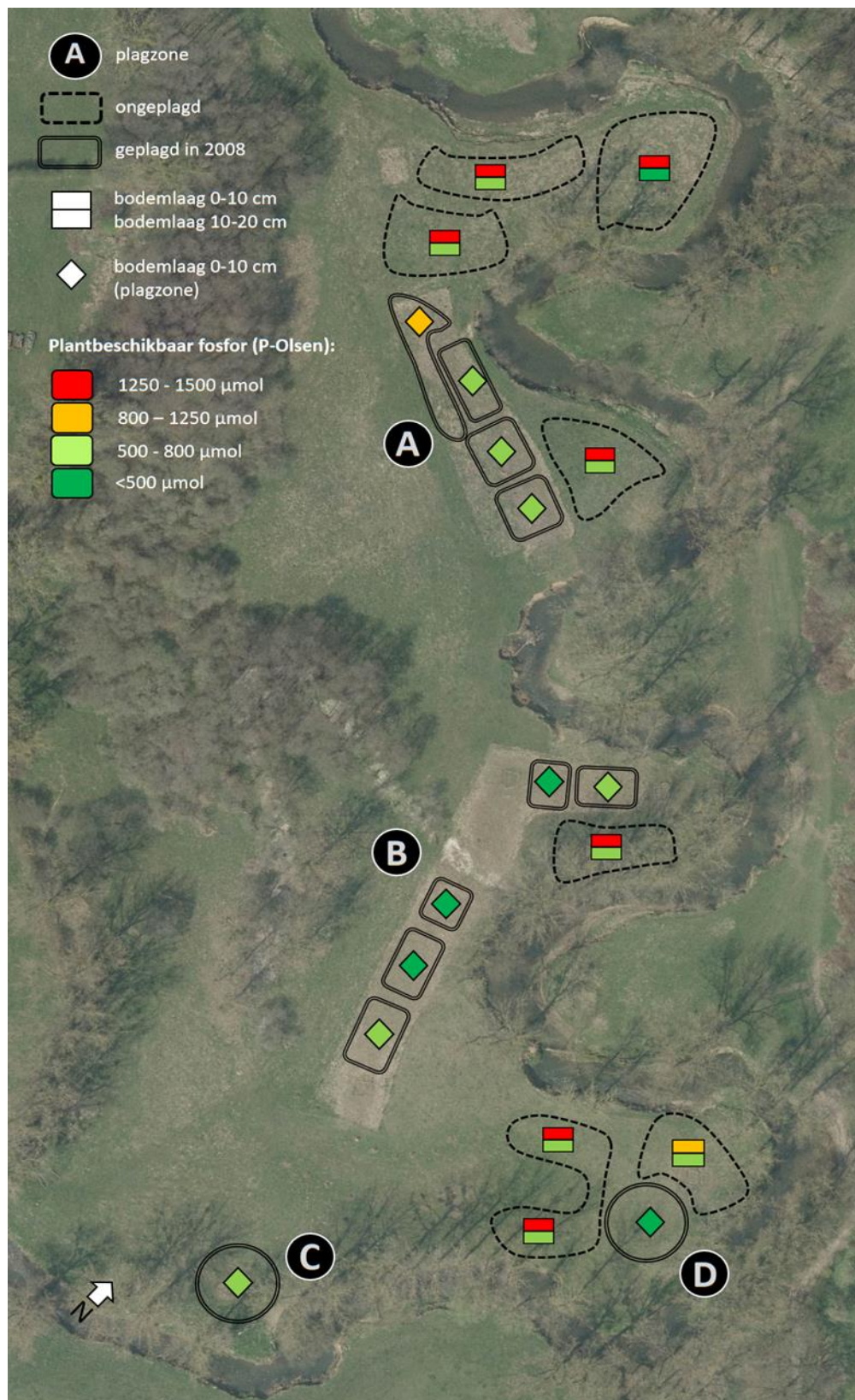
*Table 3.5: Relevant biogeochemical parameters for restoring zinc flora habitat. The colors indicate the opportunity for successful restoration: red = not suitable, orange = moderate, light green = promising, dark green = very promising. * = sod-cut in 2009.*

Locatie (nr)	Beschrijving vegetatie (2018)	Diepte	pH -w	Olsen-P	P-tot	Zn-tot	Zn/Ca
				µmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mol/mol
plag A1 (G1)	matig productief grasland, geen zinkflora, laagte (overstroming)	0-10 cm *	6,84	812	13,19	54,05	0,92
plag A2 (G2)	matig productief grasland, vrij rijk aan Festuca en Armeria	0-10 cm *	6,77	529	11,10	57,31	1,39
plag A2 (G3)	matig productief grasland, vrij rijk aan Festuca en Armeria	0-10 cm *	6,75	547	11,72	50,08	1,04
plag A2 (G4)	matig productief grasland, vrij rijk aan Festuca en Armeria	0-10 cm *	6,86	700	13,84	55,20	0,95
plag B1 (G5)	laag-productief grasland, vrij rijk aan Festuca, Armeria; af en toe Viola	0-10 cm *	6,48	468	10,69	56,73	1,47
plag B1 (G6)	matig productief grasland, vrij arm aan zinkplanten	0-10 cm *	6,72	564	12,38	60,25	1,31
plag B2 (G7)	schraal grasland, rijk aan alle zinksoorten	0-10 cm *	6,03	468	9,79	45,37	1,09
plag B2 (G8)	schraal grasland, rijk aan alle zinksoorten	0-10 cm *	6,11	458	8,97	32,86	1,04
plag B2 (G9)	schraal grasland, rijk aan alle zinksoorten	0-10 cm *	6,07	647	10,81	42,35	1,36
plag C (G10)	vrij productief grasland, enkele exx. Festuca en Thlaspi	0-10 cm *	6,09	562	10,58	39,41	0,93
plag D (G11)	matig productief grasland, enkele exx. Festuca en Thlaspi	0-10 cm *	6,54	352	11,19	57,95	1,78
noordkant (OG1)	vrij productief grasland, enkele exx. Viola	0-10 cm	5,53	1567	22,46	47,76	1,00
noordkant (OG2)	vrij productief grasland, enkele exx. Viola en lokaal Thlaspi	0-10 cm	5,83	1568	22,13	60,96	1,27
1e meander (OG3)	productief grasland, enkele exx. Viola en lokaal Thlaspi	0-10 cm	4,72	1389	17,04	40,77	1,02
2e meander (OG4)	productief grasland, enkele exx. Viola en veel Thlaspi	0-10 cm	5,86	1491	18,78	54,10	1,27
3e meander (OG5)	productief grasland, geen zinkflora	0-10 cm	6,29	1383	23,46	59,08	0,83
4e meander (OG6)	productief grasland, geen zinkflora	0-10 cm	6,18	1445	20,74	39,03	0,72
4e meander (OG7)	productief grasland, geen zinkflora	0-10 cm	6,42	1131	24,37	56,75	0,91
noordkant (OG1)	n.v.t.	10-20 cm	4,85	567	13,52	59,81	1,49
noordkant (OG2)	n.v.t.	10-20 cm	5,83	527	11,58	61,04	1,62
1e meander (OG3)	n.v.t.	10-20 cm	6,01	440	11,34	52,62	1,71
2e meander (OG4)	n.v.t.	10-20 cm	6,07	533	11,58	51,15	1,63
3e meander (OG5)	n.v.t.	10-20 cm	6,34	539	14,36	59,61	1,26
4e meander (OG6)	n.v.t.	10-20 cm	6,18	668	12,31	37,06	0,88
4e meander (OG7)	n.v.t.	10-20 cm	6,61	651	21,43	69,82	1,23

Op basis van de resultaten in tabel 3.5 is een kaart gemaakt met de bemonsterde locaties met daarin aangegeven of de Olsen-P concentratie in de bodem voldoet aan de randvoorwaarden zoals hierboven gesteld. Op de kaart (fig. 3.18) is voor de niet geplagde delen aangegeven wat de Olsen-P concentratie is voor de bodemlaag van 0-10 cm, maar ook voor die van 10-20 cm. Hierdoor wordt per locatie inzichtelijk of plaggen eventueel bijdraagt aan het creëren van geschikte bodemcondities voor herstel van de zinkvegetatie.

Initiatieven voor afplaggen van deze delen moet worden afgewogen tegen het voorkomen van eventuele zinksoorten (fig. 3.4 – 3.8) en de mogelijkheden voor aanvullende maatregelen en vervolgbeheer. In de aanbevelingen (hoofdstuk 4) wordt een concreet voorstel gedaan voor (een combinatie van) maatregelen.

Verder is het belangrijk om in geval van plaggen te zorgen dat de geplagde terreindelen niet een “badkuipvorm” krijgen, waardoor bij eventuele overstroming door de Geul kleine “sedimentatiebekkens” ontstaan en het risico op te veel P-rijk sediment toeneemt. Op de plaglocatie (A), die in 2010 overstroomd raakte en waar de Geul een dikke laag sediment heeft afgezet (Verbaarschot et al., 2011), is de zinkflora voor een flink deel weer verdwenen. De bodem is hier (G1) ook rijker aan plantbeschikbaar fosfor ($>800 \mu\text{mol Olsen-P/kg}$) en calcium ($58 \text{ mmol Ca-tot/kg}$).



Figuur 3.19. Kaart met de kansrijkdom voor de ontwikkeling van zinkvegetatie op basis van de Olsen-P concentratie in de bodem. Weergegeven zijn de ongeplagde delen van het reservaat die in potentie geplagd zouden kunnen worden (stippellijn) en de in 2009 geplagde delen (dubbele lijn). In groen zijn de locaties/bodemlagen die geschikt zijn voor ontwikkeling van zinkvegetaties. Zie tabel 3.5 voor de analyseresultaten.

Figure 3.19. Map visualizing the opportunities for successful restoration of zinc flora habitat. It shows the areas that potentially could be sod-cut in future to restore zinc flora (dotted lines) and the areas that were sod-cut in 2009 (double line). See table 3.5 for the analyses.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Inleiding

In dit rapport zijn de uitkomsten van het onderzoek beschreven dat in 2018 in het zinkreservaat is uitgevoerd in het kader van OBN (Ontwikkelingen Beheer Natuurkwaliteit). Het betreft een vervolgmonitoring, waarbij is gekeken naar de effectiviteit van maatregelen die in 2008 zijn genomen om de zinkvegetatie in het zinkreservaat te behouden en uit te breiden. Het hoofddoel van deze monitoring is om vast te stellen of a) de bodemchemie van de herstelde terreindelen op deze middellange termijn van voldoende kwaliteit blijft voor de groei van zinkplanten en b) of de verschillende opgekomen zinksoorten zich definitief handhaven bij het huidige vervolgbeheer (jaarlijks maaien en afvoeren).

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de effectiviteit van plaggen en uitleggen van vers maaisel op de langere termijn en dan concreet of de zinksoorten zich blijvend hebben kunnen vestigen en of de bodemcondities in de geplagde delen nog steeds op orde zijn. Daarnaast wordt ingegaan op de ontwikkeling in de ongeplagde delen. Tot slot wordt advies gegeven voor verbetering van de kwaliteit van de bestaande zinkvegetaties en de mogelijkheid voor uitbreiding van zinksoorten naar plekken binnen het zinkreservaat.

4.2 Conclusies

Voordat de herstelmaatregelen in 2008 zijn genomen was de zinkvegetatie bijna geheel beperkt tot de noordzijde van het zinkreservaat (de eerste en tweede meander). Door de maatregelen is het areaal met zinkplanten uitgebreid naar de plagzones in het midden en zuiden van het terrein. Op basis van de uitkomsten van de vervolgmonitoring is vast te stellen of de maatregelen effectief zijn voor langdurig herstel en ontwikkeling van de zinkvegetaties.

Ten aanzien van de genomen maatregelen (plaggen en toediening vers maaisel) heeft het vervolgonderzoek het volgende aangetoond:

- De gecombineerde herstelmaatregel is effectief om zinkvegetaties duurzaam te ontwikkelen op groeiplaatsen waar zinksoorten zijn verdwenen.
- Tien jaar na plaggen zijn de zinkplanten (alle taxa) nog steeds aanwezig in de plagzones. Met name zinkschapengras en zink Engels gras hebben zijn zeer talrijk (beide soorten circa 1000 exemplaren). Zinkboerenkers kiemde in grote aantallen vlak na plaggen (2008-2009), maar is op de meeste van de geplagde locaties weer verdwenen. De soort is nu beperkt tot één groeiplaats (onder de afrastering), waar relatief nog veel individuen aanwezig zijn.
- De aantallen zinkviooltjes in de geplagde delen blijven beperkt. Zinkviooltje is na vestiging in 2009 op veel plekken ook weer verdwenen; in het zuidelijk deel heeft zich wel een populatie (bijna 200 individuen) gevestigd in een laagproductieve, schrale vegetatie, met daarnaast ook andere zinksoorten.
- In de plagzones is de vegetatie (veel) minder productief en kruidenrijker dan in de ongeplagde delen in het reservaat. Wel zijn er verschillen in vegetatiesamenstelling tussen de geplagde stukken, variërend van zinkplanten die een 'inslag' zijn in vrij productief, vrij kruidenrijk grasland tot locaties waar de zinksoorten frequent voorkomen in een schralere

vegetaties met veel kenmerkende soorten van de Associatie van Schapengras en Tijn (Festuco-Thymetum serpylli).

- De bodemcondities in de plagzones zijn nog steeds gunstig voor de instandhouding van de zinkflora. De bodem is voldoende arm aan fosfor (Olsen-P < 700 µmol/kg) en door het beheer van 10 jaar maaien en afvoeren is de bodem verder verschaald (minder P en N!). De zinkconcentraties (Zn-tot) en Zn/Ca-ratio zijn in 2018 nog steeds voldoende hoog, maar in vergelijking met 2009 lijken de waarden licht te zijn afgenomen.
- Overstroming – met veel sedimentatie – heeft waarschijnlijk een sterke negatieve invloed op het voorkomen van zinkplanten in de plagzones. In het lage deel van plagzone A zijn zinkplanten verdwenen na de overstroming van 2010. De pH van de bodem is daar gestegen en de laagtes waar sediment wordt afgezet worden verrijkt met fosfor en calcium. Dat laatste zorgt dat de beschikbaarheid van zink lager wordt.

Met betrekking tot de ontwikkeling van de historische (ongeplagde) groeiplaats aan de noordkant van het reservaat (eerste en tweede meander) wordt geconcludeerd dat:

- De zinkviooltjes zijn sterk in aantal afgenomen doordat de groeiplaats verder is vergrast. Tevens is een deel van de groeiplaats afgeschoven naar de Geul als gevolg van erosie. Zo'n 75% van de individuen is verdwenen ten opzichte van 2004.
- Zinkboerenkers komt in de ongeplagde delen in redelijke aantallen voor. De groeiplaats in de tweede meander is mogelijk zelfs uitgebreid als gevolg van de grote beschikbaarheid van diasporen vanuit de plagzones in de eerste jaren na uitvoeren van de herstelmaatregelen.
- Door het ingestelde beheer van maaien en afvoeren is de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfor in significant afgenomen. Desondanks is na 10 jaar verschrallingsbeheer de bodem in het noordelijk deel en in de meanders nog steeds te voedselrijk (fosfaat, maar ook ammonium). Eutrafente grassen domineren de vegetatie op de ongeplagde delen en zinkviooltje verdwijnt uit de vegetatie.
- De toplaag van de bodem (0-10 cm) is nog steeds te rijk aan plantbeschikbaar fosfor (Olsen-P) voor een goed ontwikkelde zinkvegetatie, maar de bodemcondities op 10-20 cm diepte in alle 4 onderzochte meanders zijn gunstig voor het ontwikkelen van zinkvegetaties: de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfor is laag (Olsen-P < 700 µmol/kg) en de totale concentratie zink en de Zn/Ca-ratio zijn voldoende hoog (> 40 mmol Zn-tot/kg bodem en Zn/Ca > 0,8).

4.3 Aanbevelingen

Voor de zinkvegetatie (habitattype H6130 Zinkweiden) staat in het N2000-beheerplan zowel een instandhoudings- als een uitbreidingsdoelstelling. Door uitvoering van de herstelmaatregelen in 2008 is het areaal van de zinkflora binnen het zinkreservaat succesvol uitgebreid. Twee zinksoorten waren (bijna) uit Nederlands verdwenen: van zinkschapengras resteerden in 2004 2 pollens en zink Engels gras was reeds midden jaren '80 uitgestorven. Beiden zijn door de maatregelen spectaculair toegenomen. Zinkboerenkers is min of meer stabiel gebleven of iets toegenomen. Het zinkviooltje is nog echter nog steeds in haar voortbestaan bedreigd, omdat de soort zich op veel plekken niet permanent heeft kunnen handhaven en tegelijk de aantallen op de oorspronkelijk groeiplaats nog steeds sterk achteruitgaan. De combinatie van plaggen en opbrengen van maaisel met diasporen én het instellen van verschrallingsbeheer van maaien en afvoeren is effectief gebleken om de zinkvegetatie te ontwikkelen en langdurig (10 jaar) in stand te houden.

Om de kwaliteit van de bestaande zinkvegetaties te verbeteren en het areaal van de zinksoorten uit te breiden doen we de volgende aanbevelingen:

Verbetering van de kwaliteit:

1. Voortzetting van maaien en afvoeren. Het beheer van maaien en afvoeren is effectief geweest om de plantbeschikbare hoeveelheid fosfor in de plagzones verder te verlagen. Indien de Olsen-P concentraties verder verlaagd worden is het waarschijnlijk mogelijk om productieve grasvegetaties om te vormen naar laagproductieve vegetaties met een grotere diversiteit aan vaatplanten en een groter aandeel zinkplanten (type Festuco-Thymetum serpyllii). Begrazing door vee zou verder kunnen worden beperkt, omdat hiermee netto weinig nutriënten worden afgevoerd uit het reservaat.

2. Om nieuwe vestiging van zinkplanten mogelijk te maken is het belangrijk om het maaibeheer af te stemmen op het afrijpen van zaden van zinkplanten. Dit kan door gefaseerd te maaien, waarbij productieve delen zonder zinkplanten als eerste worden gemaaid (en mogelijk tweemaal per jaar) en laagproductieve delen met zinksoorten pas in augustus. Een mogelijke oorzaak van het niet verder verspreiden van zinkviooltje is wellicht dat de soort vrij laat in het seizoen vrucht zet (in vergelijking met zinkboerenkers en zink Engel gras) en daardoor niet goed in zaad kan komen.

3. Op plaglocaties waar zich geen of heel weinig zinkplanten hebben gevestigd kan de kwaliteit verbeterd worden door de bodem opnieuw oppervlakkig te plaggen (schrappen of licht chopperen) en maaisel met diasporen aan te brengen. Locaties die hiervoor in aanmerking zouden kunnen komen zijn de laagte in plagzone A (locatie G1 en delen van G2-G4) en het noordelijk deel van plagzone B in de derde meander (G5-G6).

4. In het noordelijk deel van het zinkreservaat, op de historische groeiplaats (meander 1), zou de vergraste vegetatie en de fosfaat verrijkte toplaag van de bodem (0-10 cm) kunnen worden verwijderd. Op basis van de verspreidingskaart (fig. 3.4 en 3.5) kunnen de nog aanwezige zinkviooltjes en zinkboerenkersen daarbij worden ontzien omdat die aan de rand staan. Ook hier is het advies om na plaggen weer vers maaisel aan te brengen met zaden van zinksoorten. In de eerste meander is de Olsen-P concentratie dusdanig laag dat na plaggen (10 cm) direct een goede uitgangssituatie ontstaat voor de ontwikkeling van een schrale variant van de zinkvegetatie.

Uitbreiding van het areaal:

5. Door afplaggen (10cm) in combinatie met het opbrengen van maaisel is het in de meanders (1 t/m 4) mogelijk om goede uitgangscondities te scheppen om een zinkvegetatie te ontwikkelen. Bij afgraven moet worden voorkomen dat laagtes ontstaan waar na overstroming geulwater stagneert. Daarom zijn de hogere delen (oeverwallen) het meest geschikt om af te plaggen.

6. Nadat de herstelmaatregelen zijn uitgevoerd wordt geadviseerd om verschrallingsbeheer in te stellen, omdat in de meanders de totaal-P concentraties nog vrij hoog zijn (>10 mmol P-tot/kg). Zie verder aanbeveling 1 en 2.

Vervolgonderzoek:

7. Uit de vergelijking van bodemgegevens 2009-2018 blijkt in het hele zinkreservaat geleidelijke alkalinisering op te treden. Dit heeft een negatief effect op de zinkbeschikbaarheid (Zn-tot, uitwisselbaar zink en Zn/Ca-ratio) en daarmee op de geschiktheid van de bodem voor de instandhouding van de zinkvegetatie. Mogelijk wordt dit proces veroorzaakt door overstroming door de Geul. We adviseren om in het zinkreservaat de alkalinisering van de bodem in de komende PAS-perioden te monitoren.

8. Veel zinksoorten zijn in Nederland gereduceerd tot een aantal kleine, vaak sterk geïsoleerde populaties. De herstelmaatregelen hebben aangetoond dat hervestiging van vitale populaties mogelijk is voor twee soorten (zinkschapengras & zink Engels gras). Ook de populaties van zinkboerenkers langs de Geul lijken voldoende groot te zijn. Het verlies aan genetische variatie zou wel een ernstig knelpunt kunnen zijn voor duurzame instandhouding van het zinkviooltje en de zinkvariant van blaassilene. Door middel van genetisch onderzoek kan worden vastgesteld of genetische processen, zoals drift of inteelt de levensvatbaarheid van de huidige populatie zinkviooltjes heeft aangetast.

5 Referenties

Bobbink, R., E.C.H.E.T. Lucassen & J.G.M. Roelofs (2011). Onderzoek naar herstel en (her)ontwikkeling van zinkvegetaties. O+BN rapport DKI-LNV, nr. 2011/OBN146-HE.

van der Ent, A. (2008). Kansen voor herstel van zinkflora in het boven-Geuldal. De Levende Natuur 108 (1): 14-19.

Janssen, J.A.M. & J.H.J. Schaminée (2003). Europese Natuur in Nederland. Habitattypen. Uitgeverij KNNV, Utrecht.

Lucassen, E.C.H.E.T., J.G.M. Roelofs & R. Bobbink (2009). Herstel en herontwikkeling van zinkvegetaties. De Levende Natuur 110, 116-117.

Lucassen, E.C.H.E.T., J. Eygensteyn, R. Bobbink, A.J.P. Smolders, B.P. van de Riet, D.J.C. Kuijpers & J.G.M. Roelofs (2008). The decline of metallophyte vegetation in floodplain grasslands: implication for conservation and restoration. Applied Vegetation Science 12: 69-80.

Lucassen, E.C.H.E.T., M.M.L. van Kempen, J.G.M. Roelofs & G. van der Velde (2010). Decline in metallophytes in tertiary polluted floodplain grasslands in the Netherlands: experimental evidence for metal and nutritional changes in soil as driver factors.

Provincie Limburg, 2009, Natura 2000 Concept-beheerplan Geuldal, 9 augustus 2009.

van de Riet, B.P., E.C.H.E.T. Lucassen, R. Bobbink, J.H. Willems & J.G.M. Roelofs (2005). Preadvies Zinkflora. Rapport DK, nr. 2005/Dk007-O, Directie Kennis, LNV, Ede

Rossenaar, A.J. & B. Odé (2004). De resultaten van het Bedreigde Soortenproject in 2003. Gorteria 30: 33-41.

Schaminée, J.H.J.; Stortelder, A.H.F.; Weeda, E.J. (1996). De Vegetatie van Nederland. Deel 3: Plantengemeenschappen van graslanden, zomen en droge heiden.

Verbaarschot, E., J. Roelofs, E. Brouwer, E. Lucassen (2011). Herstel van de zinkflora in het Geuldal: nieuwe inzichten in relatie tot overstromingen. Vakblad Natuur, Bos & Landschap, september 2011: 14-17.

Willems, J.H. (2004). Hoe is het eigenlijk met onze zinkflora gesteld? Natuurhistorisch Maandblad 93 (3): 23-25.

Bijlage 1: Vegetatieopnamen (mei 2018)

VLAKNUMMER	G1	G2	G3-4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	OG1	OG2	OG3	OG4	OG5	OG6	OG7	
Geplagd (I/N)	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	N	N	N	N	N	N	N	
Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam																	
Zinkflora																		
<i>Viola lutea</i> s. <i>calaminaria</i>	s			r			lf	lf			s	s	o	r				Zinkviooltje
<i>Thlaspi caerulescens</i>	s			s	lo	lo	lo	lo	r	lo		o	lf	lf	s			Zinkboerenkers
<i>Armeria maritima</i>	lf	lf	lf	lo	s	lf	lf	s	lf									Engels gras
<i>Festuca ovina</i> s. <i>guestphalica</i>	r	lf	lo	lf		f	la	lc	lf	lf								Genaald schapengras
<i>Silene vulgaris</i>					s			r	f	lo								Blaassilene
Soorten van schrale graslanden																		
<i>Campanula rotundifolia</i>			r				lo	s	s			o						Grasklokje
<i>Luzula campestris</i>	o	la	la	la	lf	lc	cd	lc	o	lo	o				r			Gewone veldbies
<i>Potentilla erecta</i>						lf	f	la		s								Tormentil
<i>Polygala vulgaris</i>	lf	lo	s		la	lf	lo											Gewone vleugeltjesbloem s.l.
Geplagde delen - overige graslandsoorten																		
<i>Lotus pedunculatus</i>	f	o	o		lf	lo	o		o									Moerasrolklaver
<i>Carex pallescens</i>	r					o	lf		r									Bleke zegge
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	f	a	f							la								Gewoon reukgras
<i>Equisetum palustre</i>	f					o	o	s										Lidrus
<i>Leucanthemum vulgare</i>		o	o	o	o													Gewone margriet
<i>Carex hirta</i>	f						o	s										Ruige zegge
<i>Carex spicata</i>			s						s									Gewone bermzegge
<i>Carex ovalis</i>	r						r											Hazenzegge
<i>Bromus hordeaceus</i>	lf	f	f	o	lo				f						o			Zachte dravik s.l.
<i>Achillea millefolium</i>	o	f	lf	o	lf	s					o							Gewoon duizendblad
<i>Trifolium dubium</i>		f	la	la	la		o								o			Kleine klaver
<i>Filipendula ulmaria</i>	f		s	o	o				lo						o			Moerasspirea
<i>Pimpinella saxifraga</i>		o	s	s			s					s						Kleine bevernel
<i>Deschampsia cespitosa</i>				s		s			s							s		Ruwe smele
<i>Trifolium pratense</i>	lf	la	f	o	la	o	s	r		s					f	o		Rode klaver
<i>Cruciata laevipes</i>	o	s	o						r	s						r	o	Kruisbladwalstro
<i>Crepis capillaris</i>	f		f	o	f	s	s		s				o	o			o	Klein streepzaad
<i>Galium uliginosum</i>	lf				o	o	s	s	lo	lf	lf		lf			s		Ruw walstro
Algemene graslandsoorten																		
<i>Agrostis capillaris</i>	la	lc	lc	lc	ld	cd	lc	lc	cd	cd	ld	ld	lc	la	lc	cd	lc	Gewoon struisgras
<i>Trifolium repens</i>		la	lc	la	la		la	la	a	a	la	lf			lf	f	f	Witte klaver
<i>Plantago lanceolata</i>	f		a	a	a	la	a	f		o	f	f	la		f	o		Smalle weegbree
<i>Cerastium fontanum</i>	o		f	lf	la	lo	s	o	f	lf	o	o	o	o	o	o	o	Gewone hoornbloem
<i>Ranunculus acris</i>	a	la	lc	a	a	a	a	a	a	cd	a	lc		a	lc	lc	la	Scherpe boterbloem
<i>Rumex acetosa</i>	a	f	f	fa	f	f	la	a	a	la	a	a	lc		la	la	la	Veldzuring
<i>Arrhenatherum elatius</i>	o		o		s		s		o	o	o	o	s	lf	o	lf	lf	Glanshaver
<i>Poa pratensis</i>	lf	a	lc	la	lf	s	lf		lc	lf	la	f			la	a		Veldbeemdgras
<i>Ranunculus repens</i>	s		o					f						f	f	f	la	Kruipende boterbloem
<i>Veronica chamaedrys</i>	o		o	o	o			s	o	o	o				o	lf	lf	Gewone ereprijs
<i>Calliergonella cuspidata</i>	f	f	a	a						f	f							Gewoon puntmos
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	f	a	a	a	f	d	lc	ld	o		lc	ld		la	s	a		Groot laddermos
<i>Rhytidadelphus squarrosus</i>	f	lc	cd	a	f	a	lc	d	d	d	f	f	f	f	f	f	f	Gewoon haakmos
Ongeplagde delen - dominante soorten																		
<i>Holcus lanatus</i>	a	f	lf	f	la	f	lf	f	a	lf	lc	a	ld	ld	lc	lc	ld	Gestreepte witbol
<i>Festuca rubra</i>	lf	la	la	lf	la	f	f		lf	la	ld	ld	cd	lc	lc	lf	o	Rood zwenkgras s.s.
<i>Poa trivialis</i>			f	f	o	s			lc				ld	ld	ld	cd	ld	Ruw beemdgras
Overige soorten																		
<i>Helictotrichon pubescens</i>	s	o	o	s							o	o						Zachte haver
<i>Galium mollugo</i>	a	la	f	o							o			lf	s	s	s	Glad walstro
<i>Cardamine pratensis</i>	s			o		s					s	o						Pinksterbloem
<i>Pimpinella major</i>		o																Grote bevernel
<i>Cynosurus cristatus</i>					s													Kamgras
<i>Picris hieracioides</i>				r														Echt bitterkruid
<i>Vicia sepium</i>										s						lf		Heggenwikke
<i>Angelica sylvestris</i>	o																	Gewone engelwortel
<i>Eupatorium cannabinum</i>	r																	Koninginnenkruid
<i>Heracleum sphondylium</i>	r														r			Gewone berenklauw
<i>Stellaria graminea</i>													s					Grasmuur
<i>Poa annua</i>											s							Straatgras
<i>Taraxacum officinalis</i> s.l.	o														o		lf	Paardenbloem s.l.
<i>Juncus effusus</i>				r			r			r								Pitrus
<i>Urtica dioica</i>																o		Grote brandnetel
<i>Lolium perenne</i>	f								f						o	f	o	Engels raai gras
<i>Glechoma hederacea</i>	s									s				o	o			Hondsdrif
<i>Dactylis glomerata</i>	lf	s	r													f	o	Kropaar
<i>Alnus glutinosa</i>				s	r													Zwarte els
<i>Quercus robur</i>																	r	Zomereik
<i>Salix aurita</i> + <i>S. cinerea</i>	s																	Geoorde en Grauwe wilg

Bijlage 2: analyseresultaten bodemchemie

DWOS, OLSEN- & WATEREXTRACTIE mei 2018				vocht	bulk dens.	OS	Olsen-P	pH w	NO3- w	NH4+ w	PO4 w	K w
Nr	locatie	diepte	geplagd/ongeplagd	%	kg DW/l FW	%	µmol/kg DW		µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW
G1	plag A1	0-10 cm (p)	geplagd	4,14	0,93	10,6	811,60	6,84	13,10	0,86	5,95	98,28
G2	plag A2	0-10 cm (p)	geplagd	20,94	1,01	5,3	528,67	6,77	2,53	0,58	2,70	45,77
G3	plag A2	0-10 cm (p)	geplagd	19,23	0,93	5,1	546,52	6,75	0,59	0,04	3,87	39,82
G4	plag A2	0-10 cm (p)	geplagd	23,06	1,01	6,0	699,78	6,86	2,12	1,09	1,14	87,14
G5	plag B1	0-10 cm (p)	geplagd	19,73	0,99	5,0	467,98	6,48	1,16	1,19	0,74	41,44
G6	plag B1	0-10 cm (p)	geplagd	20,10	1,00	5,5	564,28	6,72	1,78	1,24	0,75	42,01
G7	plag B2	0-10 cm (p)	geplagd	19,74	0,96	5,5	467,98	6,03	1,22	0,90	0,82	40,18
G8	plag B2	0-10 cm (p)	geplagd	20,86	1,06	4,1	458,16	6,11	1,33	0,71	0,76	40,80
G9	plag B2	0-10 cm (p)	geplagd	20,34	0,90	4,9	646,87	6,07	1,18	0,06	0,75	44,04
G10	plag C	0-10 cm (p)	geplagd	18,51	0,96	4,9	561,51	6,09	2,04	0,97	1,03	40,36
G11	plag D	0-10 cm (p)	geplagd	19,52	1,02	4,8	351,64	6,54	11,80	0,82	0,99	107,25
OG1	noordkant	0-10 cm	ongeplagd ondiep	19,83	0,72	12,8	1566,79	5,53	7,75	3,92	6,18	68,66
OG1	noordkant	10-20 cm	ongeplagd diep	20,11	0,91	5,4	566,71	4,85	9,95	2,30	0,47	47,22
OG2	noordkant	0-10 cm	ongeplagd ondiep	20,85	0,71	11,9	1568,34	5,83	14,06	2,88	0,63	78,16
OG2	noordkant	10-20 cm	ongeplagd diep	19,16	1,07	4,4	527,17	5,83	12,59	1,88	1,02	40,28
OG3	1e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	25,49	0,71	10,1	1388,99	4,72	42,18	3,86	4,92	45,16
OG3	1e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	20,65	0,99	4,6	440,02	6,01	42,59	2,11	0,42	41,16
OG4	2e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	36,80	0,73	9,6	1491,30	5,86	23,21	1,67	0,96	55,67
OG4	2e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	20,18	0,94	5,1	532,77	6,07	10,43	1,01	0,61	58,47
OG5	3e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	22,64	0,85	10,7	1383,35	6,29	31,08	1,71	9,56	42,83
OG5	3e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	18,71	0,98	5,8	538,89	6,34	13,34	0,65	0,79	39,26
OG6	4e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	26,00	0,77	9,3	1444,87	6,18	74,93	0,15	1,31	46,08
OG6	4e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	21,08	0,99	5,4	667,60	6,18	26,10	0,80	1,22	41,63
OG7	4e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	23,61	0,85	8,8	1130,68	6,42	56,05	0,83	1,91	57,17
OG7	4e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	20,35	0,96	6,4	651,30	6,61	51,96	0,65	1,35	41,56

ZOUTEXTRACTIE mei 2018				pH zout	NO3 z	NH4 z	Al z	Ca z	Fe z	K z	Mg z	Mn z	P z	S z	Si z	Zn z
Nr	locatie	diepte	geplagd/ongeplagd		µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW	µmol/kg DW
G1	plag A1	0-10 cm (p)	geplagd	5,84	30,30	45,86	61,95	14753	0,93	1403	4298	1,66	1,28	194,98	125,07	569
G2	plag A2	0-10 cm (p)	geplagd	5,84	25,30	131,71	2,86	15979	0,83	618	5374	1,41	1,00	180,67	100,32	662
G3	plag A2	0-10 cm (p)	geplagd	5,74	55,52	117,80	13,06	16765	1,15	369	5816	3,03	0,86	172,08	138,35	777
G4	plag A2	0-10 cm (p)	geplagd	5,77	10,85	58,99	2,23	17247	0,07	300	5201	2,99	0,39	198,90	133,65	912
G5	plag B1	0-10 cm (p)	geplagd	5,27	8,66	74,96	6,23	15620	0,62	786	4882	6,81	0,12	153,21	131,43	1496
G6	plag B1	0-10 cm (p)	geplagd	5,77	4,96	21,04	11,21	16575	2,26	422	5723	1,67	0,37	166,73	124,40	726
G7	plag B2	0-10 cm (p)	geplagd	4,70	9,72	232,86	28,12	17570	0,68	336	3369	19,50	0,25	140,51	126,08	2243
G8	plag B2	0-10 cm (p)	geplagd	4,66	1,72	5,13	93,64	15749	1,51	393	2789	16,59	0,00	134,42	96,10	2289
G9	plag B2	0-10 cm (p)	geplagd	4,67	0,63	22,52	49,96	14639	0,48	1328	2540	20,53	0,37	148,51	67,93	3919
G10	plag C	0-10 cm (p)	geplagd	4,94	2,07	4,05	18,26	16224	1,19	942	3372	11,19	0,12	133,72	58,93	2386
G11	plag D	0-10 cm (p)	geplagd	5,19	9,95	27,87	12,98	13877	0,20	2964	3137	4,85	0,25	152,42	69,53	2728
OG1	noordkant	0-10 cm	ongeplagd ondiep	4,65	26,97	252,40	79,56	19065	4,17	1672	3017	71,12	2,59	211,88	107,42	4523
OG1	noordkant	10-20 cm	ongeplagd diep	4,71	27,77	78,19	58,52	15305	1,71	1204	2212	6,87	0,49	160,18	71,41	5054
OG2	noordkant	0-10 cm	ongeplagd ondiep	4,85	30,60	155,41	59,09	19025	10,48	1005	2945	53,48	3,11	187,43	97,47	3935
OG2	noordkant	10-20 cm	ongeplagd diep	4,46	41,73	49,28	51,89	16486	3,50	239	2535	5,00	0,12	174,61	73,55	4498
OG3	1e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	4,74	70,58	249,24	32,94	17159	3,36	559	2597	38,58	2,43	221,83	81,70	3601
OG3	1e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	4,71	50,01	88,42	46,25	14712	1,73	292	2635	6,70	0,25	147,66	50,63	3989
OG4	2e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	4,69	48,04	251,28	51,91	21315	3,28	610	3573	49,31	2,80	271,23	106,97	4804
OG4	2e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	4,58	22,57	43,34	37,90	14817	1,02	843	2436	6,32	0,25	141,71	63,98	5356
OG5	3e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	5,27	15,14	205,29	8,89	24985	2,22	431	4517	47,31	5,94	267,07	182,78	1765
OG5	3e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	5,04	22,39	38,76	14,65	18224	0,27	214	3068	5,14	0,36	152,52	70,91	3253
OG6	4e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	5,13	125,88	165,33	9,78	19743	1,73	604	3466	10,45	1,49	206,32	131,13	2023
OG6	4e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	4,82	36,56	59,74	28,93	17896	0,90	366	3508	4,24	0,50	146,28	71,61	2764
OG7	4e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	5,48	95,03	98,41	19,06	19489	2,01	602	4171	5,34	2,46	246,15	147,88	1729
OG7	4e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	5,31	39,90	34,87	10,33	16843	1,09	218	3644	2,78	0,49	167,78	94,96	2491

Bijlage 2 (vervolg):

DESTRUCTIE mei 2018				Al-tot	As-tot	B-tot	Ca-tot	Cd-tot	Co-tot	Cr-tot	Cu-tot	Fe-tot	Hg-tot	K-tot
Nr	locatie	diepte	geplagd/ongeplagd	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW
G1	plag A1	0-10 cm (p)	geplagd	280,11	0,13	1,07	58,54	0,05	0,14	0,32	0,27	313,45	0,00	16,92
G2	plag A2	0-10 cm (p)	geplagd	253,87	0,10	1,10	41,16	0,06	0,16	0,29	0,24	284,81	0,00	14,65
G3	plag A2	0-10 cm (p)	geplagd	243,04	0,13	1,05	47,98	0,05	0,17	0,28	0,24	282,54	0,00	13,01
G4	plag A2	0-10 cm (p)	geplagd	251,01	0,12	0,99	58,13	0,06	0,17	0,28	0,26	285,63	0,01	13,32
G5	plag B1	0-10 cm (p)	geplagd	275,21	0,10	1,07	38,47	0,05	0,18	0,30	0,22	303,82	0,00	15,42
G6	plag B1	0-10 cm (p)	geplagd	280,84	0,12	1,03	46,04	0,07	0,19	0,31	0,23	305,31	0,00	16,79
G7	plag B2	0-10 cm (p)	geplagd	401,13	0,16	1,40	41,73	0,07	0,23	0,40	0,24	446,19	0,00	18,84
G8	plag B2	0-10 cm (p)	geplagd	347,77	0,13	1,08	31,67	0,05	0,18	0,35	0,18	323,37	0,00	17,16
G9	plag B2	0-10 cm (p)	geplagd	330,74	0,11	1,14	31,12	0,07	0,18	0,35	0,22	312,84	0,00	21,62
G10	plag C	0-10 cm (p)	geplagd	285,14	0,14	1,98	42,53	0,06	0,18	0,31	0,22	312,13	0,00	22,34
G11	plag D	0-10 cm (p)	geplagd	288,53	0,12	1,16	32,56	0,07	0,17	0,31	0,22	305,77	0,01	22,79
OG1	noordkant	0-10 cm	ongeplagd ondiep	445,66	0,58	1,53	47,71	0,08	0,25	0,52	0,44	423,32	0,00	35,92
OG1	noordkant	10-20 cm	ongeplagd diep	406,45	0,21	1,25	40,07	0,08	0,22	0,41	0,34	377,25	0,00	25,54
OG2	noordkant	0-10 cm	ongeplagd ondiep	392,66	0,55	1,52	48,10	0,09	0,27	0,48	0,49	427,66	0,00	26,37
OG2	noordkant	10-20 cm	ongeplagd diep	375,32	0,15	1,20	37,77	0,08	0,21	0,39	0,27	352,03	0,00	22,38
OG3	1e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	328,53	0,41	1,26	40,04	0,07	0,21	0,42	0,37	353,66	0,00	22,28
OG3	1e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	288,90	0,16	1,14	30,73	0,07	0,19	0,32	0,29	316,39	0,00	15,14
OG4	2e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	314,32	0,41	1,20	42,61	0,07	0,21	0,41	0,43	363,39	0,00	19,68
OG4	2e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	311,58	0,16	1,30	31,33	0,08	0,20	0,34	0,30	329,29	0,00	19,12
OG5	3e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	313,30	0,44	1,24	70,92	0,09	0,28	0,41	0,45	364,63	0,00	19,85
OG5	3e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	324,29	0,28	1,23	47,27	0,09	0,22	0,39	0,36	364,65	0,00	17,82
OG6	4e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	282,31	0,37	1,10	54,41	0,08	0,19	0,37	0,38	320,92	0,00	16,67
OG6	4e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	305,63	0,19	1,04	42,05	0,07	0,18	0,33	0,28	315,56	0,00	15,31
OG7	4e meander	0-10 cm	ongeplagd ondiep	240,65	0,37	1,18	62,63	0,10	0,24	0,34	0,46	321,84	0,00	14,20
OG7	4e meander	10-20 cm	ongeplagd diep	260,98	0,62	1,16	56,79	0,10	0,25	0,40	0,59	363,71	0,00	12,80

DESTRUCTIE mei 2018				Mg-tot	Mn-tot	Mo-tot	Na-tot	Ni-tot	P-tot	Pb-tot	S-tot	Si-tot	Sr-tot	Zn-tot	Zn/Ca
Nr	locatie			mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mol/mol
G1	plag A1			78,62	7,69	0,01	1,38	0,57	13,19	2,43	8,46	14,90	0,10	54,05	0,92
G2	plag A2			67,09	12,15	0,00	1,28	0,60	11,10	2,77	6,97	14,69	0,08	57,31	1,39
G3	plag A2			70,70	13,03	0,01	1,46	0,56	11,72	2,78	7,48	14,81	0,09	50,08	1,04
G4	plag A2			74,20	13,35	0,01	1,66	0,56	13,84	2,59	8,37	13,45	0,09	55,20	0,95
G5	plag B1			71,54	13,23	0,00	1,85	0,64	10,69	2,30	6,34	16,58	0,08	56,73	1,47
G6	plag B1			72,15	14,99	0,00	0,52	0,66	12,38	2,72	7,54	18,90	0,09	60,25	1,31
G7	plag B2			82,80	12,04	0,01	1,25	0,53	9,79	2,97	5,80	16,92	0,11	45,37	1,09
G8	plag B2			74,82	16,74	0,01	2,68	0,45	8,97	2,72	4,97	17,04	0,09	32,86	1,04
G9	plag B2			71,83	13,32	0,01	0,37	0,51	10,81	2,37	6,42	15,38	0,10	42,35	1,36
G10	plag C			70,65	16,33	0,00	23,73	0,50	10,58	2,61	7,55	17,29	0,13	39,41	0,93
G11	plag D			70,09	13,25	0,01	1,04	0,62	11,19	2,67	6,43	16,12	0,09	57,95	1,78
OG1	noordkant			87,06	17,11	0,01	2,35	0,67	22,46	9,35	18,69	14,61	0,15	47,76	1,00
OG1	noordkant			84,53	16,49	0,01	2,31	0,75	13,52	4,99	8,95	15,13	0,12	59,81	1,49
OG2	noordkant			80,20	17,95	0,01	1,69	0,84	22,13	10,40	17,32	15,13	0,13	60,96	1,27
OG2	noordkant			80,09	16,04	0,00	1,64	0,70	11,58	3,18	7,11	20,28	0,11	61,04	1,62
OG3	1e meander			70,66	14,72	0,01	1,68	0,54	17,04	8,00	12,11	18,00	0,12	40,77	1,02
OG3	1e meander			67,34	14,22	0,00	1,39	0,67	11,34	4,21	6,74	26,77	0,08	52,62	1,71
OG4	2e meander			70,45	13,37	0,01	1,49	0,72	18,78	8,67	14,04	14,08	0,11	54,10	1,27
OG4	2e meander			71,72	14,89	0,00	1,52	0,59	11,58	3,70	7,50	13,73	0,09	51,15	1,63
OG5	3e meander			72,75	18,23	0,01	0,27	0,73	23,46	9,96	15,99	15,86	0,14	59,08	0,83
OG5	3e meander			75,89	15,95	0,01	0,01	0,71	14,36	6,33	8,76	13,56	0,11	59,61	1,26
OG6	4e meander			66,51	11,84	0,01	0,18	0,49	20,74	6,96	13,36	15,74	0,12	39,03	0,72
OG6	4e meander			70,07	13,90	0,01	0,09	0,48	12,31	4,68	7,49	15,04	0,09	37,06	0,88
OG7	4e meander			61,22	15,34	0,01	0,45	0,59	24,37	8,49	14,40	17,48	0,12	56,75	0,91
OG7	4e meander			65,70	16,23	0,01	0,39	0,75	21,43	14,88	11,90	14,56	0,13	69,82	1,23

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Het Kennisnetwerk Ontwikkeling Beheer Natuurkwaliteit:

- is een onafhankelijk en innovatief platform waarin beheer, beleid en wetenschap op het gebied van natuurherstel en -beheer samenwerken;
- ontwikkelt en verspreidt kennis met als doel het structureel herstel en beheer van natuurkwaliteit.



Kennisnetwerk OBN wordt gecoördineerd door de VBNE en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en BIJ12

Vereniging van bos- en natuurterreineigenaren (VBNE)

Princenhof Park 9
3972 NG Driebergen
0343-745250

drs. W.A. (Wim) Wiersinga
Adviseur Plein van de kennis/
Programmaleider Kennisnetwerk OBN
0343-745255 / 06-38825303
w.wiersinga@vbne.nl

M. (Mark) Brunsveld MSc
Programma-medewerker Kennisnetwerk OBN
0343-745256 / 06-31978590
m.brunsveld@vbne.nl