



Advies aanvullende maatregelen Meerven

Resultaten onderzoek bodemkwaliteit – Eindrapport

Januari 2021



COLOFON

Titel: Advies aanvullende maatregelen Meerven – resultaten onderzoek bodemkwaliteit

Kenmerk: Eindrapportage

Auteurs: [REDACTED]

In opdracht van: [REDACTED]

Foto's voorkant: [REDACTED]

Stichting Bargerveen | Nijmegen | Januari 2021

www.stichtingbargerveen.nl | www.linkedin.com/company/stichting-bargerveen



Inhoudsopgave

1	Introductie.....	3
1.1	Deze rapportage	3
1.2	Het projectgebied	4
1.3	Uitgevoerde maatregelen.....	5
2	Aanpak.....	8
2.1	Aanpak.....	8
2.1.1	Bemonstering.....	8
2.1.2	Bodem analyse	8
2.1.3	Interpretatie van de gegevens	10
3	Resultaten	11
3.1	Organisch stof	11
3.2	Zuurstatus van de bodem	12
3.2.1	pH	12
3.2.2	Al/Ca ratio	13
3.3	Nutriëntenstatus.....	15
3.3.1	Uitwisselbaar ammonium.....	16
3.3.2	Plant beschikbaar fosfaat.....	18
3.4	Vestiging van vaatplanten.....	19
4	Conclusies en aanbevelingen	22
5	Literatuur	25
6	Bijlagen	28
6.1	Bijlage 6A. Foto's van bodemonsters en monsterpunten.....	28
6.2	Bijlage 6B. Detailbeschrijvingen monsterpunten	44
6.3	Bijlage 6C. Aangetroffen soorten per monsterpunt	47

1 Introductie

1.1 Deze rapportage

In het projectplan 'herstelmaatregelen Natura 2000-gebied Het Meerven' (Bureau van Nierop, 2017) is aangegeven dat het gebied sterk door Pijpenstrootje vergrast is geraakt. Ook wordt opgemerkt dat de huidige depositie van stikstof nog steeds de KDW waarden van de in het gebied gelegen habitattypen forse overschrijdingen laten zien. Daarom is het zeer aannemelijk dat problemen die gepaard gaan met te hoge stikstofdepositie, zoals versnelde verzuring (Bobbink et al., 2017, Bergsma et al., 2018) en opbouw van hoge concentraties ammonium (Houdijk, 1993) in de bodem in het plangebied optreden. Dat laatste is ook aangetoond in vooronderzoek ten behoeve van bufferherstel in het plangebied (Vogels & Bergsma, 2019). Als gevolg van deze abiotische aantasting is een afname van gevoelige plant- (van den Berg et al., 2005) en diersoorten (Vogels et al., 2013, Vogels et al., 2017c, Siepel et al., 2018) ook reëel, waardoor het behalen van de doelstellingen met betrekking tot de gewenste habitattypen zonder ingrijpen niet mogelijk zijn.

Om de vraag te kunnen beantwoorden of, en in welke mate verzuring en stikstof vermisting een belangrijke rol speelt is in het projectplan uitvoering van bodemonderzoek voorgesteld in (beoogde) habitattypen Droge Heide (H4030), Stuifzandheide (H2310), Zandverstuivingen (H2330) en Vochtige Heide (H4010A). Concreet betreffen dit locaties in recent ontboste en afgeschaapte voormalige naaldbosaanplant, en door Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en/of Bochtige Smele (*Deschampsia flexuosa*) vergraste vegetaties die recent zijn gehopperd.

In deze rapportage worden de resultaten van bodemonderzoek voorafgaand aan, en na het uitvoeren van maatregelen gericht op het herstel van buffercapaciteit gepresenteerd. Op basis van deze vergelijking wordt vastgesteld of het uitgevoerde herstelbeheer heeft geleid tot herstel van bodembuffering, wordt nagegaan of er voldoende stikstof uit het systeem verwijderd is door de uitgevoerde maatregelen en wordt een passend advies voor vervolgbeheer gegeven.

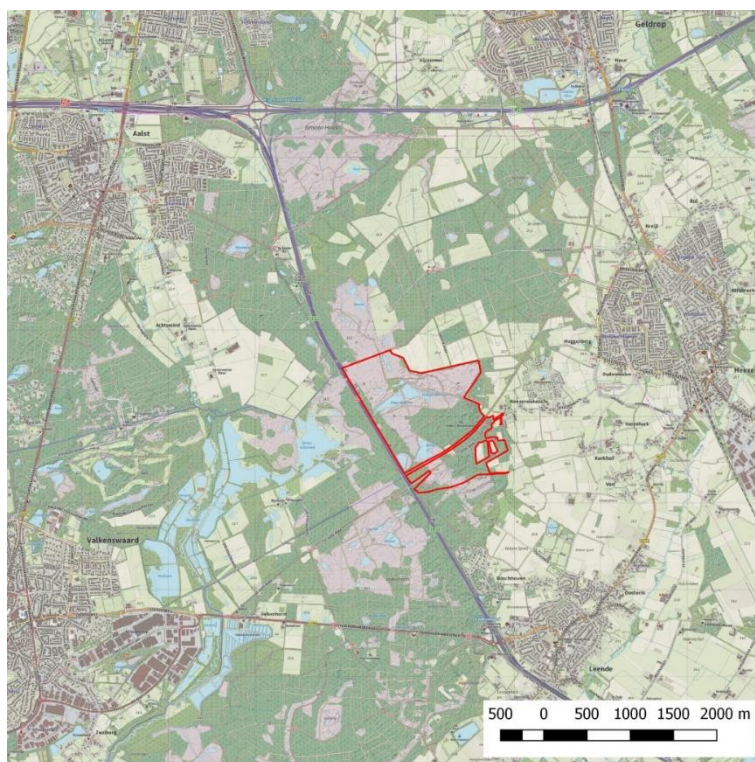


Fig. 1.1 Overzicht plangebied en omgeving.

1.2 Het projectgebied

Het projectgebied 'Meervren' is een 169 ha groot natuurgebied in eigendom van de gemeente Heeze-Leende en bestaat uit droge en vochtige heide, stuifzandheide, naaldbosbeplantingen en zure tot zeer zwak gebufferde vennen (Fig. 1.1). Het gebied is gelegen op een hoge dekzandrug bestaande uit de formatie van Boxtel. Omdat het pakket is afgezet in de Roerdalslenk is het ter plaatse ca 23 meter dik en bestaat uit fijne zanden, afgewisseld met leemafzettingen. De mineralogie is zeer arm met lage gehalten aan K-veldspaat (2-3%), albit (0,5-1%) en muscoviet (0,3-0,5%) in de ondergrond. Deze formatie is in verschillende perioden tussen bronstijd en heden, met een piek in de middeleeuwen, opnieuw verstoven geraakt (Fig. 1.2). Op het hoogtebestand is goed zichtbaar dat de grotere vennen in het gebied (afgezonderd van de gegraven vennen in het zuiden van het plangebied) zijn ontstaan in de uitgestoven laagten. De stuifzandruggen bevatten tegenwoordig nog kleine relictten van stuifzandheide, maar bestaan in de huidige situatie vooral uit droge heide begroeiingen en door Bochtige smeke vergraste vervangingsgemeenschappen van droge heide.

Het gebied is toegewezen als onderdeel van het Natura 2000 gebied 'Leenderbos, Groote Heide & de Plateaux'. Het plangebied is tevens volledig beschermd volgens de habitatrichtlijn. In de Noordwestelijke hoek van het gebied is in 2014 een ecoduct over de A2 aangelegd die het gebied verbindt met het gebied 'Valkenhorst'. In het projectplan (Bureau van Nierop, 2017) is een overzicht van de voor het Natura 2000 gebied 'Leenderbos, Groote Heide & de Plateaux' gebied opgestelde kernopgaven en doelstellingen, die tevens relevant zijn voor het deelgebied 'Meervren' gegeven.

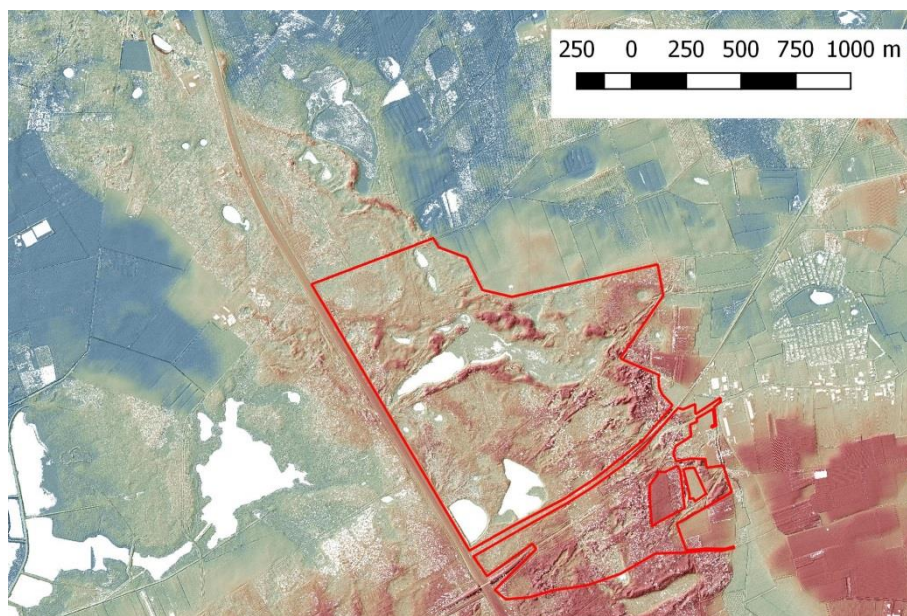


Fig. 1.2 Begrenzing plangebied Meervenen met AHN 2 reliëf/kleur hoogtekaart als ondergrond.

1.3 Uitgevoerde maatregelen

Vanaf 2003 zijn verschillende herstelmaatregelen in relatief hoge intensiteit en oppervlak uitgevoerd. Dit was nodig omdat het gebied zijn open karakter dreigde te verliezen door verbossing met Grove den (*Pinus sylvestris*) en omdat de bestaande open heide voor een groot deel vergrast was geraakt door Pijpenstrootje en Bochtige Smele. Om de openheid van de heide te garanderen zijn vliegdennen en spontane bosopstanden in de heide gekapt, zijn vrij grote oppervlakken delen van de heide geplagd en is recent een grote heideverbindingzone gerealiseerd (Fig. 1.3; Fig. 1.4).

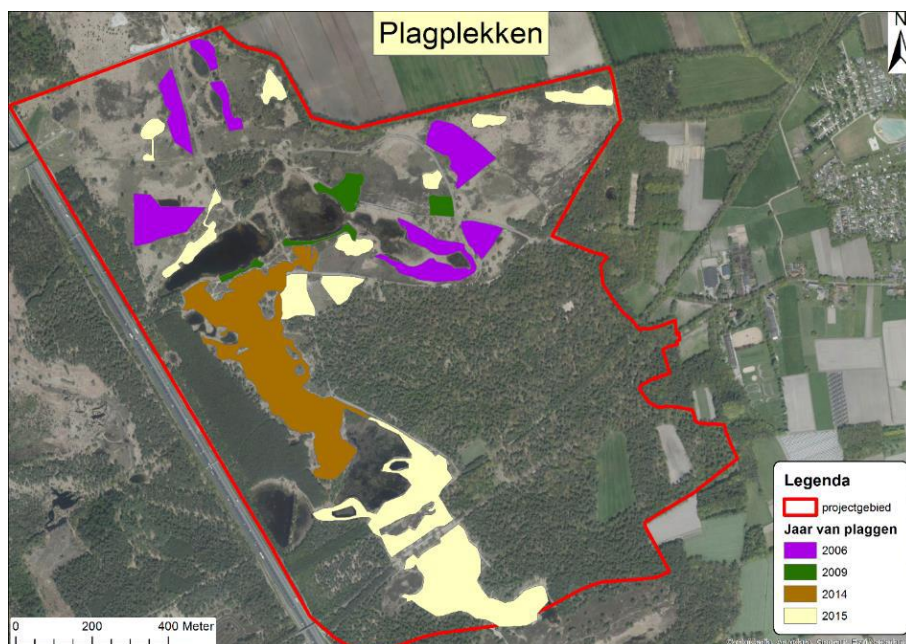


Fig. 1.3 Overzicht van geplagde en afgeschaapte bodem in het plangebied. Bron: Bureau van Nierop, 2017.

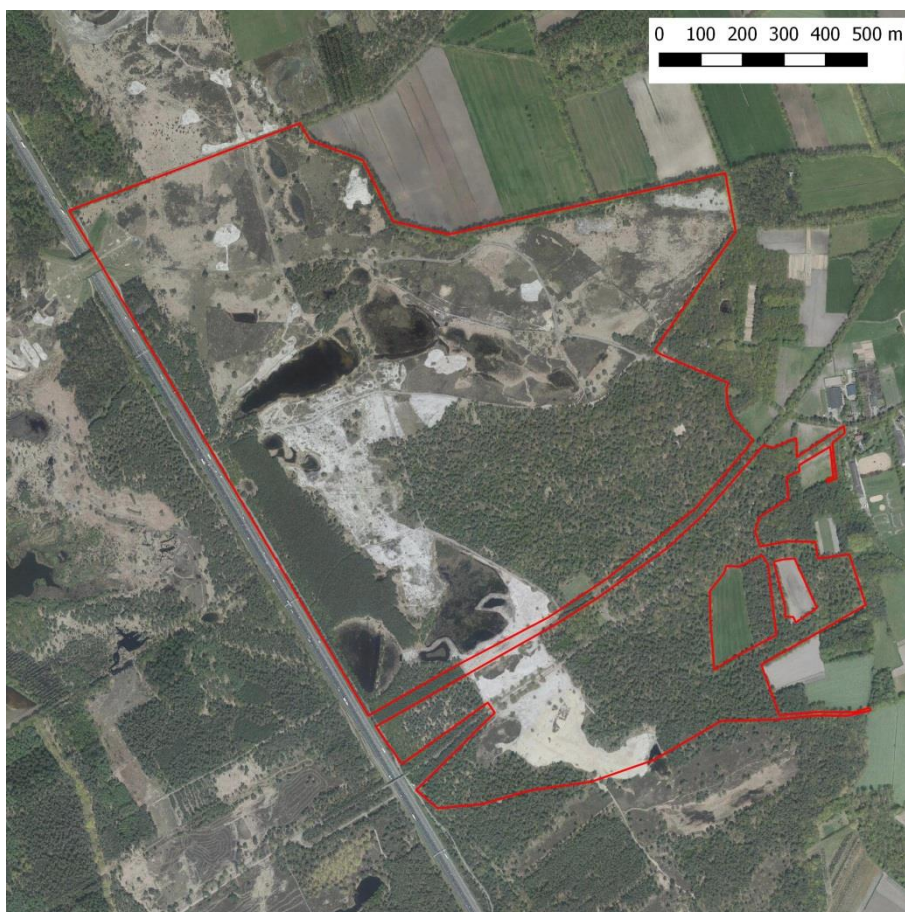


Fig. 1.4 Overzicht plangebied met de meest recente luchtfoto (PDOK, 2018). Hierop is de gerealiseerde open verbindingszone goed zichtbaar. In het zuiden is tevens een verandering van de kleur van het blootgelegde zand waarneembaar. In dit deel is een C-horizont aan de oppervlakte gebracht.

In aanvulling op eerder uitgevoerde plagwerkzaamheden is in 2017 van start gegaan met het uitvoeren van chopperwerkzaamheden (Fig. 1.5). Een deel van de chopper locaties zijn pas na uitvoering van het vooronderzoek in 2018 gerealiseerd. In het najaar van 2018 zijn de meeste plag- en chopper vlakken bekalkt met dolokalk in een dosering van 2 ton/ha (Fig. 1.5).

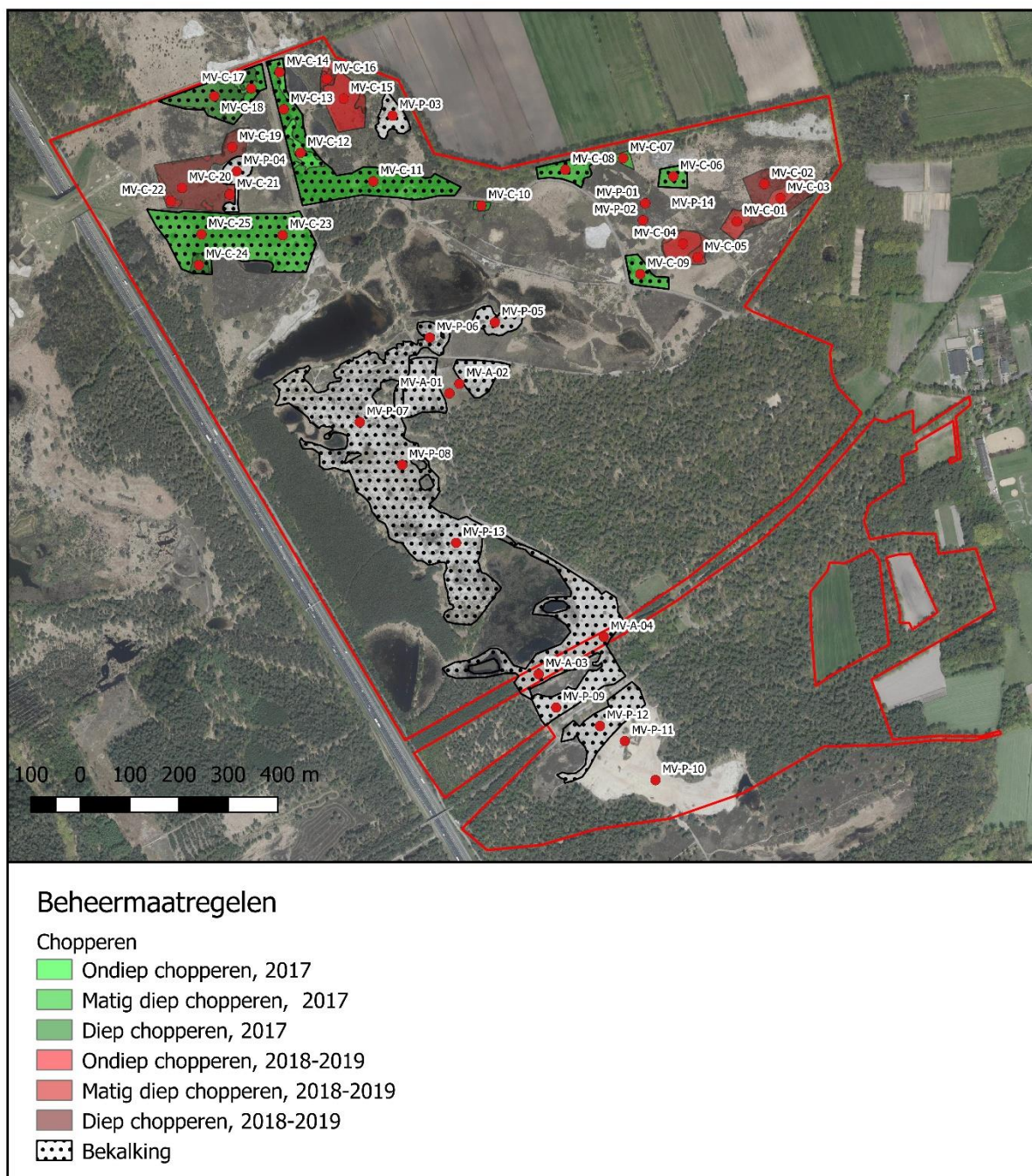


Fig. 1.5 Overzicht van in najaar 2017 en in 2018-2019 gerealiseerde chopperwerkzaamheden, uitgevoerde bekalkingsmaatregelen (2018). Ligging van de monsterpunten voor bodemchemie in gechopperde (MV-C), geplagde (MV-P) en aanvullende (MV-A) locaties zijn tevens aangegeven.

2 Aanpak

2.1 Aanpak

2.1.1 Bemonstering

Op 43 locaties, in geplagde, gechopperde en een viertal aanvullende locaties zijn in 2018 en in 2020 bodemmonsters genomen (Fig. 1.5, Tab. 2.1). In 2018 hadden de meeste locaties recent chopper of plag beheer ondergaan, maar was bekalking nog niet uitgevoerd (1 locatie uitgezonderd). In 2020 was in alle locaties chopper of plagbeheer uitgevoerd, en zijn de meeste locaties handmatig bekalkt met dolokal (2 ton/ha).

In 2018 zijn van een deel van de bemonsteringslocaties foto's genomen van het bodemprofiel en de vegetatie. In 2020 is dit gestructureerd uitgevoerd en zijn van alle locaties foto's van de vegetatie genomen. Alle foto's zijn opgenomen in bijlage 6A. In 2018 is van iedere locatie een summiere beschrijving van de aanwezige vegetatie en bodemtype gemaakt. In 2020 is een eenvoudige opname uitgevoerd: alle op de bemonsteringslocatie aanwezige vaatplanten zijn genoteerd, maar er is geen bedekkingsschaal gehanteerd. Deze beschrijvingen zijn in bijlage 6B en 6C samengevat.

Bodemmonsters zijn op 30 en 31 mei 2018 en op 16 en 17 september 2020 verzameld met behulp van een standaard bodemguts. De bovenste 10 cm van de bodem is verzameld, per locatie zijn drie monsters gestoken die vervolgens als 1 mengmonster zijn geanalyseerd. Deze monsters zijn vervolgens gekoeld opgeslagen en in dezelfde week geanalyseerd.

2.1.2 Bodem analyse

Ieder monster is voorafgaand aan analyse gehomogeniseerd en vervolgens verdeeld voor de verschillende analyses. Organisch stofgehalte is bepaald door het gewichtsverlies na verassen te meten. Gehomogeniseerde bodem is 24 uur gedroogd in een aluminium bakje bij 105 °C en daarna gewogen. Het bakje met gedroogde bodem is vervolgens verast voor 4 uur bij 550 °C in een Nabertherm verassingsoven. Gewichtsverandering voor en na verassen is gebruikt als maat voor organisch stof gehalte.

Bodem uitwisselbare nutriënten en ionen zijn bepaald door middel van natrium chloride extractie. 17.5 g gehomogeniseerde verse bodem is gemengd met 50 ml 0.2M NaCl oplossing en een uur geschud op 100 rpm. Direct hierna is de pH van de bodemoplossing gemeten met een TIM800 pH meter. Bodem extracten zijn vervolgens verzameld door een rhizon bodem water monsterbuis van 10 cm lengte met een pore diameter van 0.15 µm (Rhizon SMS, Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Giesbeek) in een fles met bodemsuspensie te plaatsen en deze met een vacuüm getrokken glazen verzamelfles te verbinden. Na 12 uur werd 10 ml van het verzameld extract in een buis overgebracht en na toediening van 0.1 ml HNO₃ (65%) om neerslaan van metalen tegen te gaan, opgeslagen bij 4 °C voor latere analyse voor opgeloste ionen. 20 ml extract werd overgebracht in een HDPE fles en bij -20 °C opgeslagen voor latere analyse van NO₃⁻ en NH₄⁺.

Plant beschikbaar fosfor (P_{olsen}) is bepaald door middel van extractie met natrium bicarbonaat (Olsen et al., 1954). 3 gram gehomogeniseerde gedroogde bodem werd gemengd met 60 ml

Tab. 2.1 Overzicht van de monsterpunten. Type: kenmerkend beheertype. Nummers achter chopperen refereren naar beoogde te chopperen diepte (1=meest ondiep, 4=diepst). Realisatie: periode waarin chopperwerkzaamheden zijn uitgevoerd.

Naam	Type	Realisatie	Beschrijving
MV-A-01	Akker	n.v.t.	Akker centrum
MV-A-02	Akker	n.v.t.	Akker rand
MV-A-03	Plagvlak	n.v.t.	Oude spoortalud
MV-A-04	Plagvlak	n.v.t.	Oude spoortalud
MV-C-01	Chopper 2	2018-2019	vergrast
MV-C-02	Chopper 4	2018-2019	vergrast
MV-C-03	Chopper 2	2018-2019	vergrast
MV-C-04	Chopper 1	2018-2019	stuifzandkop
MV-C-05	Chopper 2	2018-2019	stuifzandkop
MV-C-06	Chopper 2	2017-2018	
MV-C-07	Chopper 2	2017-2018	
MV-C-08	Chopper 2	2017-2018	
MV-C-09	Chopper 2	2017-2018	
MV-C-10	Chopper 2	2017-2018	
MV-C-11	Chopper 2	2017-2018	Deschampsia vergrast
MV-C-12	Chopper 1	2017-2018	Deschampsia vergrast
MV-C-13	Chopper 2	2017-2018	Deschampsia vergrast
MV-C-14	Chopper 1	2017-2018	Deschampsia vergrast
MV-C-15	Chopper 1	2018-2019	
MV-C-16	Chopper 2	2018-2019	
MV-C-17	Chopper 2	2017-2018	
MV-C-18	Chopper 4	2017-2018	
MV-C-19	Chopper 4	2018-2019	
MV-C-20	Chopper 4	2018-2019	
MV-C-21	Chopper 2	2018-2019	
MV-C-22	Chopper 2	2018-2019	
MV-C-23	Chopper 2	2017-2018	
MV-C-24	Chopper 4	2017-2018	
MV-C-25	Chopper 2	2017-2018	
MV-P-01	Plagvlak ouder	n.v.t.	
MV-P-02	Plagvlak ouder	n.v.t.	
MV-P-03	Plagvlak jong	n.v.t.	
MV-P-04	Plagvlak jong	n.v.t.	
MV-P-05	Plagvlak jong	n.v.t.	voormalig bos
MV-P-06	Plagvlak jong	n.v.t.	
MV-P-07	Plagvlak jong	n.v.t.	Grote ontbossing
MV-P-08	Plagvlak jong	n.v.t.	Grote ontbossing
MV-P-09	Plagvlak jong	n.v.t.	Grote ontbossing
MV-P-10	Plagvlak jong	n.v.t.	Grote ontbossing, stuivend zand
MV-P-11	Plagvlak jong	n.v.t.	Grote ontbossing, stuivend zand, kleiduiwenresten
MV-P-12	Plagvlak jong	n.v.t.	Grote ontbossing
MV-P-13	Plagvlak jong	n.v.t.	Grote ontbossing
MV-P-14	Plagvlak kruidenrijk	n.v.t.	Bekalkt in verleden

0,5M NaHCO₃ en voor 30 minuten geschud op 100 rpm. Bodem extracten zijn vervolgens verzameld door een rhizon bodem water monsterbuis van 10 cm lengte met een pore diameter van 0.15 µm (Rhizon SMS, Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Giesbeek) in een fles met bodemsuspensie te plaatsen en deze met een vacuüm getrokken glazen verzamelfles te verbinden. Na 12 uur werd 10 ml van het verzameld extract in een buis overgebracht en opgeslagen bij 4 °C voor latere analyse. De zout en olsen extracten zijn op chemische samenstelling geanalyseerd door middel van inductively coupled plasma optical emission

spectrometry (IRIS Intrepid II XDL, Thermo Electron Corporation, Franklin, USA). NO_3^- en NH_4^+ in de water en zout extracten zijn bepaald met een autoanalyser III (Bran & Luebbe, Norderstedt, Germany) met gebruik van respectievelijk hydrazine sulfaat (Kamphake et al., 1967) en salicylaat (Grasshoff & Johannsen, 1972).

2.1.3 Interpretatie van de gegevens

De bodemchemische metingen zijn in een GIS-omgeving aan de monsterpunten gekoppeld, om voor het gebied als geheel een overzicht te krijgen van de knelpunten voor de verschillende locaties en beheertypen. Als uitgangspunt van 'acceptabele' versus te hoge of te lage biogeochemische parameters zijn waarden genomen uit De Graaf et al. (2009), Vogels et al. (2017c), Vogels et al. (2016) en Kleijn et al. (2008). De losse waarden zijn vervolgens zichtbaar gemaakt in GIS-kaartjes waarin een vergelijking tussen de metingen in 2018 en 2020 steeds naast elkaar gegeven zijn. Dit is uitgevoerd voor de volgende parameters; organisch stof gehalte, pH, Al/Ca ratio, NH_4 , en plant beschikbaar P.

3 Resultaten

3.1 Organisch stof

Het organisch stof gehalte in de bodem varieerde tussen 0.85 en 11.17% (Fig. 3.1). Over het algemeen is in de geplagde bodems het organisch stof gehalte in de bodem zeer laag met percentages beneden 3%. Dit is ook in de oudere plagvlakken nog evident. De monsterpunten in de in 2018 al gerealiseerde gechopperde oppervlakken laten een grotere spreiding zien in organisch stof gehalte (Fig. 3.1, kaart 2018: rode meetpunten in chopper vlakken). In veel maar niet alle locaties is door het chopperen nog een deel van de humuslaag gespaard gebleven. In de nog niet gerealiseerde locaties is in 2018 het organisch stof gehalte nog hoger; met vaak percentages in de twee hoogste categorieën (6.5 tot 11.17%). Deze in 2018 nog niet gerealiseerde choppervlakken lagen allen in natte depressies, dus hiervan is te verwachten dat hier relatief hoge gehalten aan organisch stof gemeten zouden worden. De hoogste gehalten zijn echter ook voor natte heide aan de hoge kant en houden waarschijnlijk verband met de sterke vergrassingsgraad door Pijpenstrootje. In 2020, dus nadat ook deze locaties gechoppert waren, is te zien dat ook hier een afname van organisch stof gehalte is opgetreden, maar eveneens is de spreiding hierin hoog vergeleken met de plagvlakken.

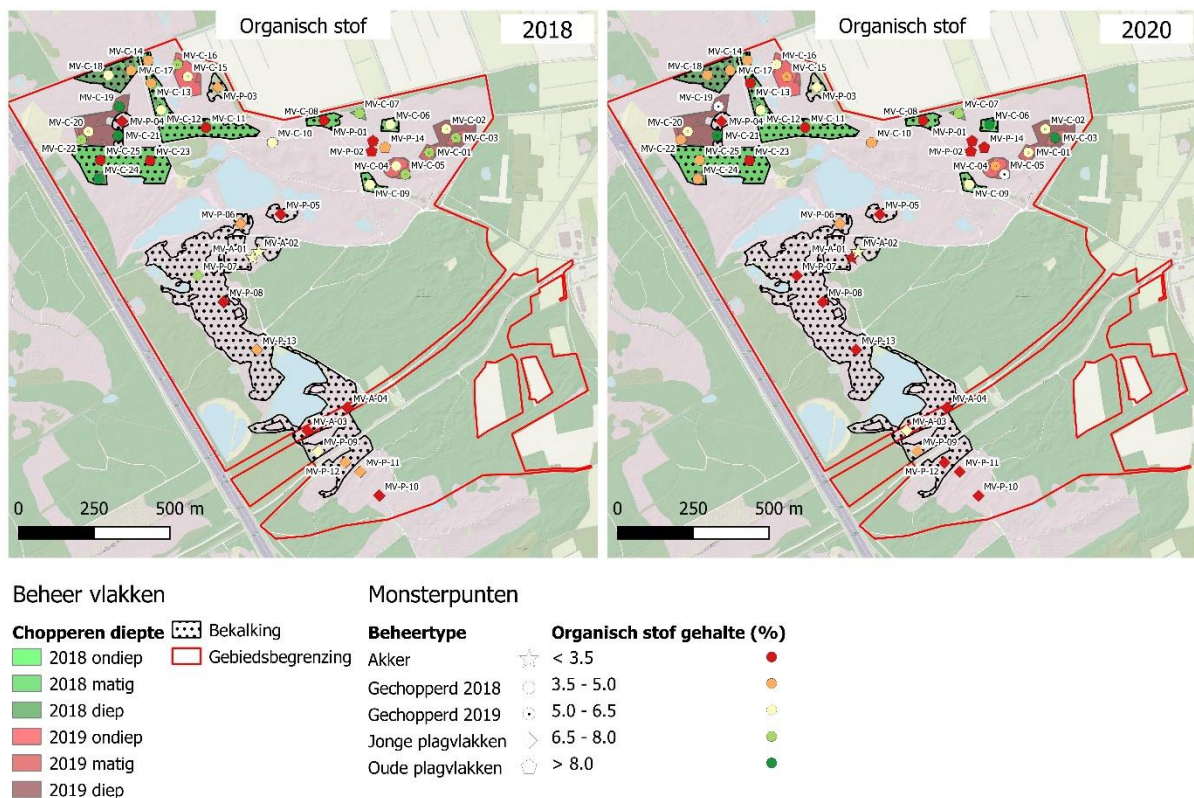


Fig. 3.1 Organisch stof gehalte (gewichts %) in de verschillende monsterlocaties in 2018 (links) en 2020 (rechts). Kleuren geven hier enkel een indicatie van de hoeveelheid organisch stof en geven geen eenduidig kwaliteitsoverzicht van de bodemgesteldheid.

3.2 Zuurstatus van de bodem

De bodembufferstatus kan op basis van meerdere parameters worden ingeschat. pH geeft doorgaans een vrij grof beeld van de bufferstatus, aangezien deze in het seizoen kan fluctueren. De ratio tussen uitwisselbaar Al en Ca ratio uit het zoutextract in de bodem is een meer praktische maat die een redelijk goede voorspeller is voor de soortenrijkdom van heidevegetaties. Kritische heidekarakteristieke soorten worden in bodems met een Al/Ca ratio groter dan 1 veel minder aangetroffen, als gevolg van optreden van aluminiumtoxiciteit (De Graaf et al., 1997).

3.2.1 pH

In 2018 was in de geplagde bodems de pH van de bodem overal laag tot zeer laag (Fig. 3.2), met waarden doorgaans variërend tussen 2.95 en 3.50. Dit is kenmerkend voor een minerale, sterk uitgeoogde bodem (dagzomende E-horizont) die vrijwel geen verweerbare mineralen meer heeft en door het verwijderen van het organisch stof ook nauwelijks gebufferd kan worden door kationuitwisseling op het CEC (hier met name organisch stof).

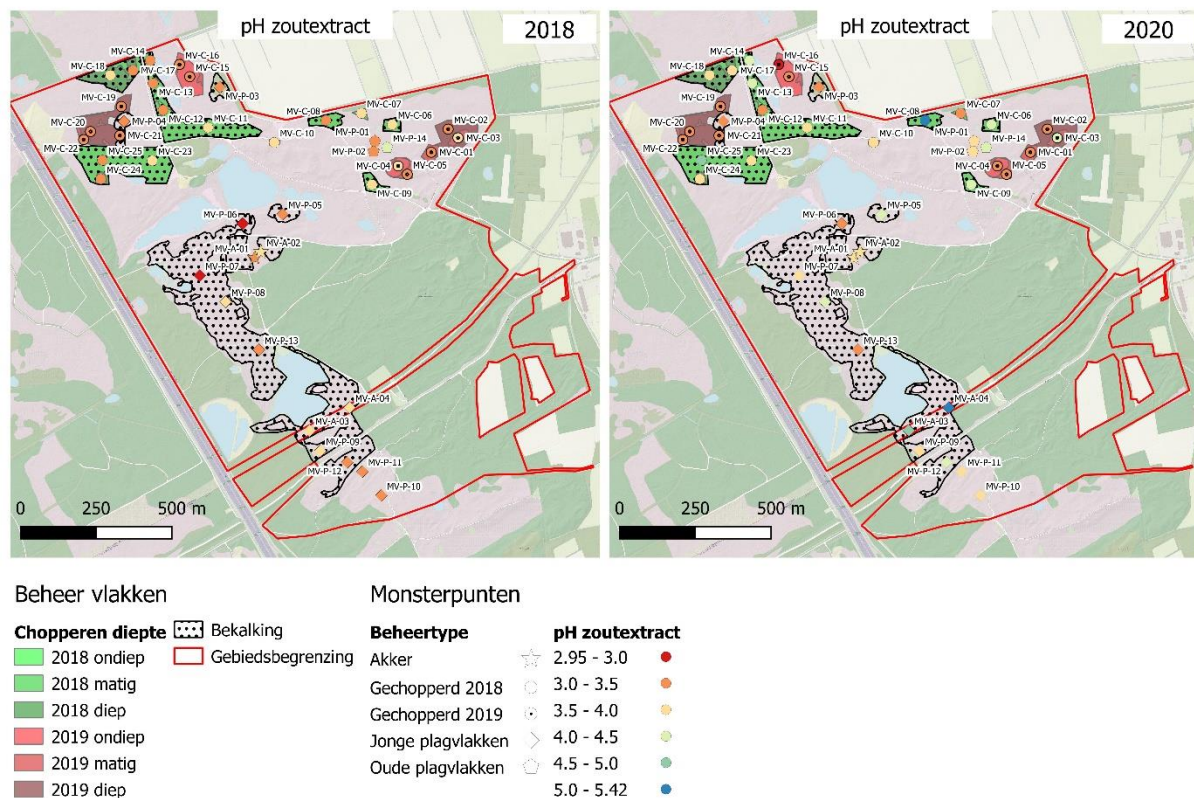


Fig. 3.2 pH van het zout-extract in de verschillende monsterlocaties in 2018 (links) en 2020 (rechts). Kleuren geven hier een kwaliteitsindicatie weer: diep rode kleur indiceert zeer ongunstig lage waarden, oranje ongunstig lage waarden en geel matig ongunstige condities. Groene kleuren indiceren gunstige condities voor droge en vochtige heide, blauwe kleur indiceert een te hoge pH voor het desbetreffende habitattype.

Een duidelijk sterk afwijkende bodem pH werd in 2018 gemeten in een monsterpunt in het oudere plagvlak (MV-P-14: pH > 4). Dit deel van het geplagde vlak is na uitvoering van plagwerkzaamheden met dolokal bekalkt (), en was in dat meetjaar het enige monsterpunt waar bekalking op was uitgevoerd. In de in 2018 gerealiseerde gechopperde delen is de pH in de regel wat hoger, maar nog steeds laag met waarden tussen 2.95 en 4. De

toen nog niet gechopperde bodems geven eenzelfde beeld, met vergelijkbare pH-waarden. In de aanvullende, afwijkende monsterpunten (wildakkertje, voormalige spoortalud) was de bodem pH doorgaans wat hoger, maar ligt ook daar nog steeds in de zure range.

In 2020, na uitvoering van de bekalkingsmaatregelen is een duidelijke toename van de pH opgetreden in alle met dolokal behandelde locaties (Fig. 3.2, Fig. 3.3). In de niet bekalkte geplagde locaties was echter ook een toename in pH waarneembaar in 2020. Dit is in de gechopperde vlakken echter niet het geval. De pH in de bekalkte plag- en choppervlakken is met ca 0.5 pH punt toegenomen. De pH in de monsterlocaties gelegen op de voormalige spoorbaan is zeer sterk toegenomen, met bijna 1.5 pH punt (Fig. 3.2).

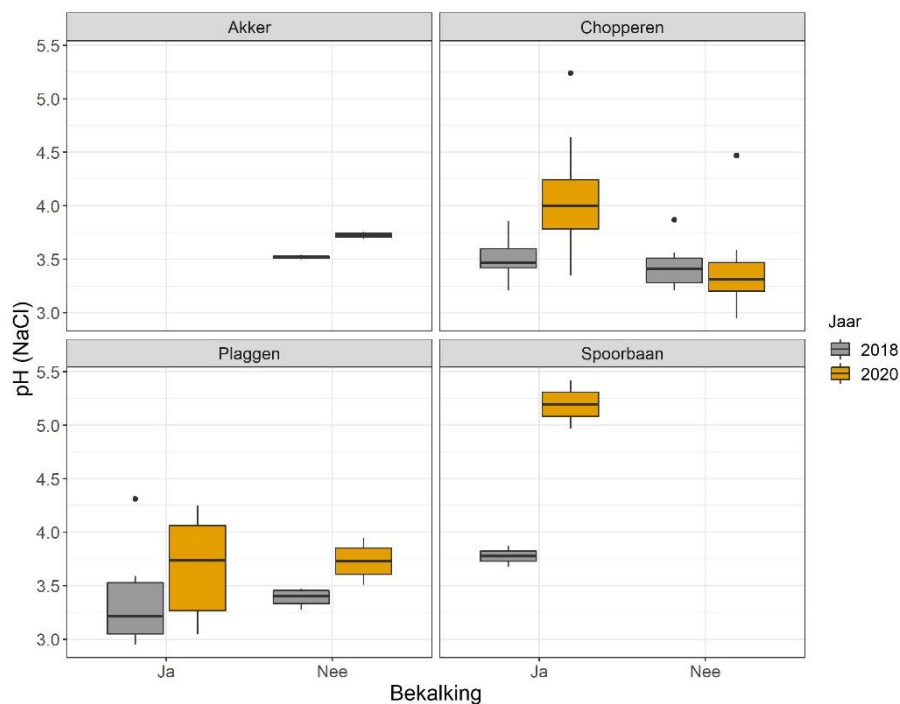


Fig. 3.3. Box- and whisker plots van bodem pH (zout-extract) in 2018 (vóór bekalking) en 2020 (na bekalking) in de verschillende bemonsterde beheertypen. De mediane waarde wordt gegeven door de horizontale balken. Boxen geven de spreiding van de data aan (hierbinnen valt 50% van alle metingen), whiskers geven de data die binnen de te verwachten range valt, en punten zijn metingen die als uitschieters in de data beschouwd mogen worden. Merk op dat in 2018 slechts 1 monsterpunt bekalkt was, de outlier in het paneel van geplagde bodems.

3.2.2 Al/Ca ratio

De gemeten Al/Ca ratio in de bodem heeft een niet-lineair verband met het organisch stof gehalte (Fig. 3.4, niet bekalkte monsterpunten). Deze neemt gemiddeld toe bij lage gehalten organisch stof in de bodem. Uitzondering op deze regel zijn vier recent geplagde monsterpunten (MV-A03, MV-P03, MV-P-07 en MV-P-09, linker figuur), die gekenmerkt werden door zeer hoge gemeten concentraties uitwisselbaar Al (1500-2500 $\mu\text{mol/kg}$). De hoge percentages organisch stof in drie van deze monsterpunten zijn waarschijnlijk het gevolg van mee bemonsterde podzol-B horizonten, waardoor voor deze groep de relatie tussen organisch stof en Al/Ca ratio verdwenen is.

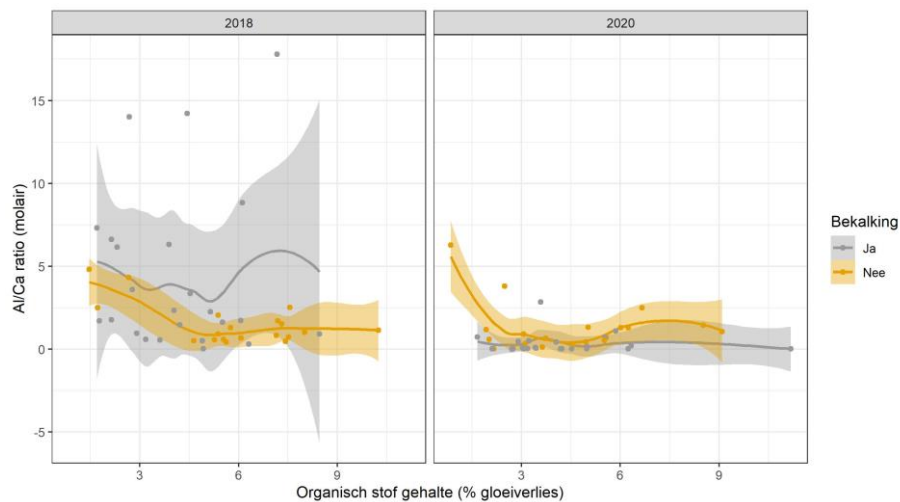


Fig. 3.4 Relatie tussen organisch stof gehalte en Al/Ca ratio vóór (2018) en na (2020) uitvoering van bekalkingsmaatregelen. Punten met bekalking “Ja” in 2018 zijn later bekalkt, maar niet in dat jaar.

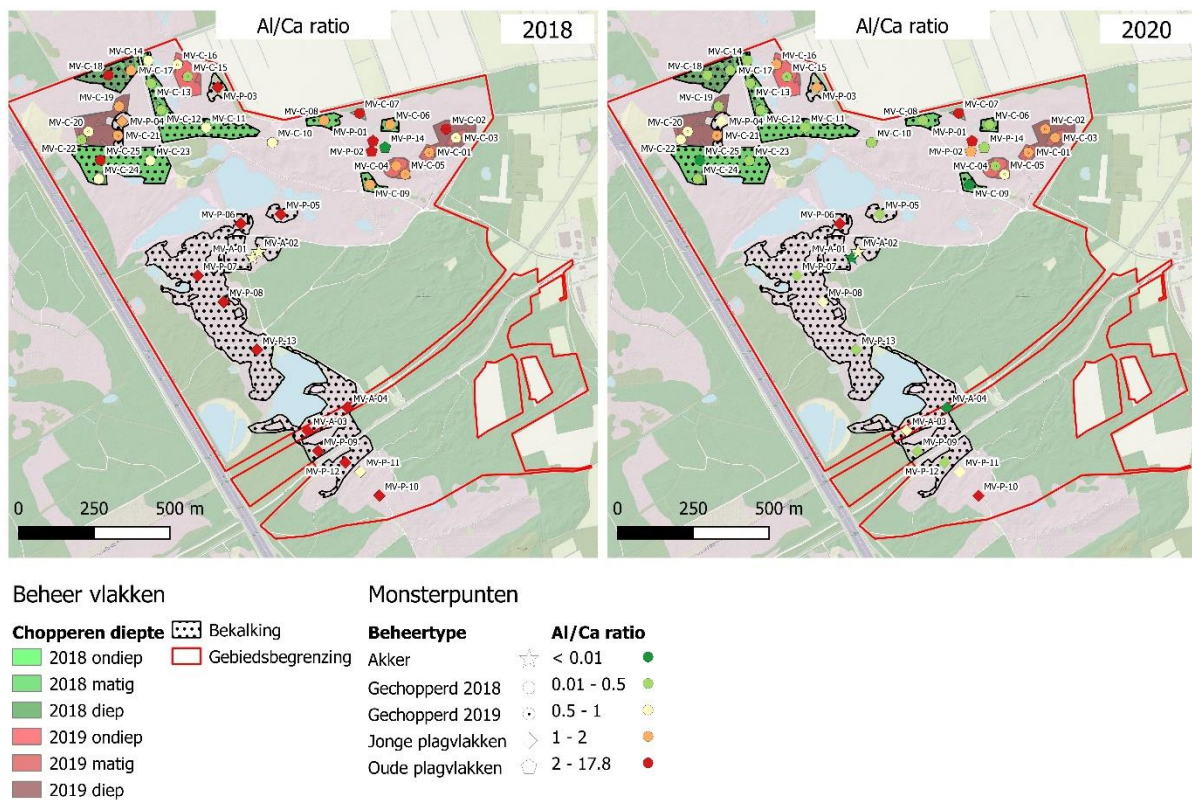


Fig. 3.5 Al/Ca ratio van het zoutextract in de verschillende monsterlocaties in 2018 (links) en 2020 (rechts). Al/Ca ratio's lager dan 1 (donker-lichtgroen en geel) indiceren gunstige bodem condities, Al/Ca ratio's groter dan 1 (oranje) ongunstig en groter dan 2 (rood) zeer ongunstige condities.

Uit Fig. 3.5 is op te maken dat in 2018 de Al/Ca ratios in de recent en in het verleden geplagde bodems zeer ongunstig waren (overall werden hier ratios (ver) boven 2 gemeten) ten opzichte van de gechopperde en in dat jaar nog niet gechopperde bodems. Dit verschil houdt verband met het effect van organisch stof op de Al/Ca ratio, en de doorgaans hogere organisch stof gehalten in de gechopperde vlakken. Er is dan ook een verschil in Al/Ca ratio tussen geplagde en gechopperde bemonsteringslocaties, met hogere waarden in de geplagde locaties (Fig. 3.6).

In 2020, na uitvoeren van bekalkingsmaatregelen is de Al/Ca ratio in alle bekalkte locaties, zowel geplagd als gechopperd, sterk gedaald tot waarden beneden de grenswaarde van 1 (Fig. 3.5, Fig. 3.6). Ook is te zien dat er na bekalking geen verband meer wordt gevonden tussen organisch stof gehalte en Al/Ca ratio (Fig. 3.4).

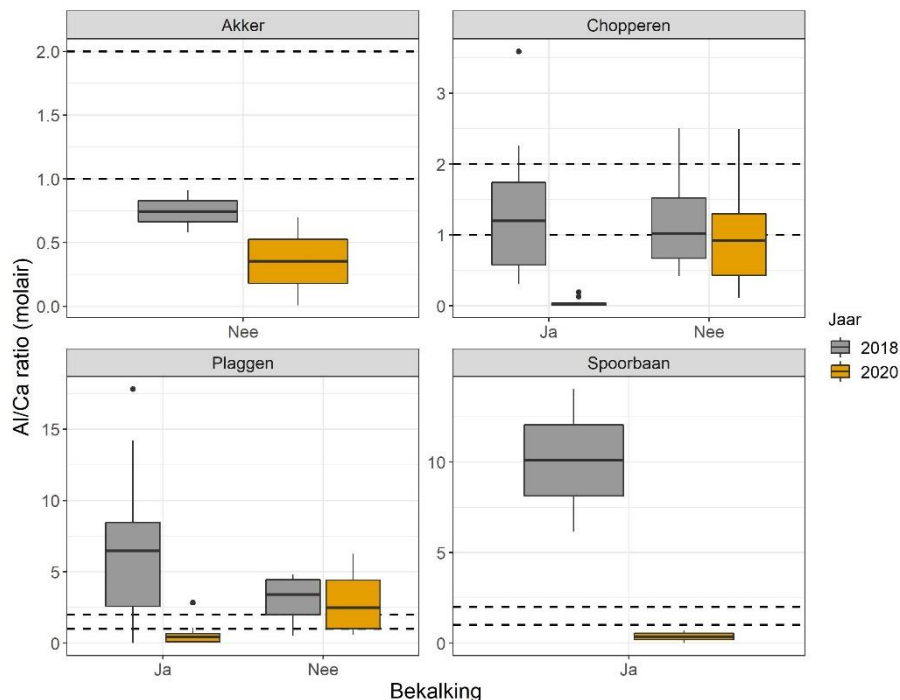


Fig. 3.6 Box- and whisker plots van de Al/Ca ratio van het (zout-extract) in 2018 (vóór bekalking) en 2020 (na bekalking) in de verschillende bemonsterde beheertypen. Let op verschil in schaal tussen de figuren. De mediane waarde wordt gegeven door de horizontale balken. Boxen geven de spreiding van de data aan (hierbinnen valt 50% van alle metingen), whiskers geven de data die binnen de te verwachten range valt, en punten zijn metingen die als uitschieters in de data beschouwd mogen worden. Horizontale onderbroken lijnen geven een Al/Ca ratio van 1 en 2 aan. Waarden beneden 1 geven gunstige bodemcondities weer, waarden boven 2 geven geen ongunstige bodemcondities weer.

3.3 Nutriëntenstatus

De uitgevoerde plag- en chopper maatregelen hebben als doel om opgehoopt stikstof uit het systeem te verwijderen. Maatregelen die dit bewerkstelligen door (delen van) het opgehoopt organisch stof te verwijderen hebben als nadeel dat hiermee ook grote hoeveelheden andere nutriënten dan stikstof uit het systeem verwijderd worden, en voor sterk gestratificeerde humuspodzolen heeft het als bijkomend nadeel dat een groot deel van het kationuitwisselingscomplex wordt verwijderd (zie vorige paragraaf). Dit kan leiden tot aanzienlijke verschuivingen in nutriënt budgetten (Niemeyer et al., 2007), en tot veranderingen in nutriënt limitatie, in Nederland vaak van N naar (versterkte) P limitatie (Vogels et al., 2017c, Vogels et al., 2020b). Ook de bufferstatus van de bodem speelt een complexe rol in de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem, waarbij soms negatieve effecten van bekalking op P-beschikbaarheid worden gevonden (Vogels et al., 2017c, Siepel et al., 2018, Siepel et al., 2019).

De ammonium concentratie is in heidebodems toegenomen door cumulatieve stikstofdepositie, maar kan ook door veranderde biologische processen als gevolg van maatregelen sterk toenemen. Een piek van ammonium in de bodem enkele jaren na plaggen (of chopperen) is een bekend verschijnsel (Dorland et al., 2004). Van grassen als *Deschampsia* en *Molinia* is bekend

dat het strooisel makkelijker mineraliseert dan van *Calluna*. Daarnaast zijn deze grassen in staat om actief de nitrificatie (omzetting van ammonium naar nitraat) stimuleren (Berendse, 1990, Van Vuuren et al., 1992). Na chopperen van *Molinia* en/of *Deschampsia* gedomineerde vegetatie zijn de aanwezige planten verwijderd, terwijl een deel van het organisch stof nog afbreekt en ammonificeert, wat leidt tot een sterke toename van ammoniumgehalten in de bodem. Deze hoge ammoniumconcentraties zijn problematisch, aangezien ammonium in hoge concentraties toxische effecten uitoefenen op planten, met name voor verzuringsgevoelige soorten (Gerendas et al., 1997, van den Berg et al., 2005, van den Berg et al., 2008). Bekend is dat bekalking deze piek van ammonium sterk kan doen afnemen, door stimuleren van de nitrificatie (Dorland et al., 2004, Vogels et al., 2020b). In deze rapportage is daarom nagegaan wat het effect van de maatregelen zijn op de concentratie gereduceerd anorganisch stikstof (ammonium) en op voor planten beschikbaar fosfaat (Olsen P).

3.3.1 Uitwisselbaar ammonium

In 2018 was de concentratie uitwisselbaar ammonium in de geplagde locaties laag en in de gunstige range (De Graaf et al., 2009) voor droge en vochtige heide (Fig. 3.7, Fig. 3.8). In de toen nog niet gechopperde locaties was het gehalte uitwisselbaar ammonium meestal nog te hoog (Fig. 3.8; tussen 250 en 500 $\mu\text{mol/Kg DW}$). In de gerealiseerde, gechopperde vlakken was de concentratie nog beduidend hoger tot extreem ($>1000 \mu\text{mol/kg}$) hoog. In 2020 werd weinig verandering in ammonium gemeten in de geplagde monsterpunten. In de gechopperde locaties nam het ammonium gehalte in de toen bekalkte proefvlakken sterk af tot beneden de kritische grenswaarde. In de later gerealiseerde, niet bekalkte chopper locaties was een sterke stijging te zien van ammonium concentraties van matig ongunstig naar ongunstig tot zeer ongunstige waarden. Deze resultaten zijn dus grotendeels in lijn met de theorie, behalve dat de ammonium gehalten in de geplagde delen overal laag genoeg zijn. Dit is waarschijnlijk een tijdseffect, het plagbeheer is al in een eerder stadium uitgevoerd (periode 2006-2015), en de periode waarin het optreden van ammonium pieken te verwachten is zijn is in de plaglocaties dan al ruimschoots gepasseerd.

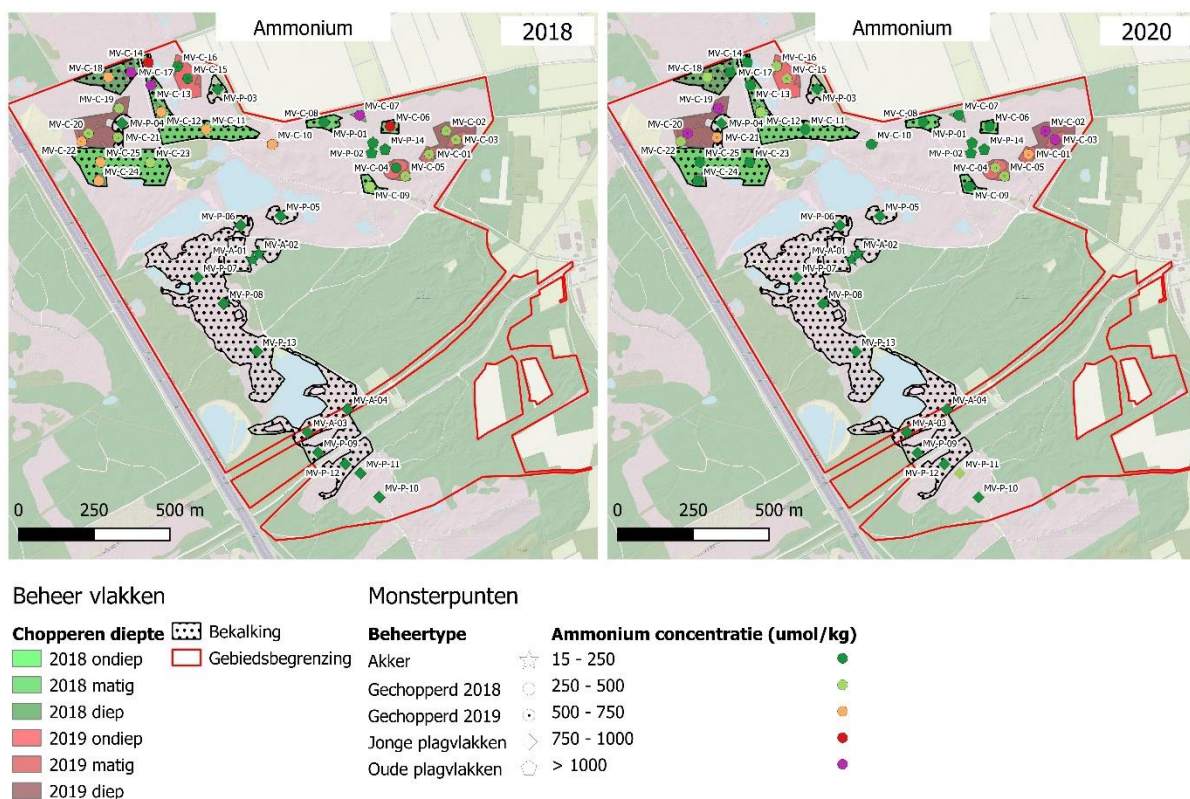


Fig. 3.7 Uitwisselbaar ammonium ($\mu\text{mol/Kg DW}$) in het zoutextract in de verschillende monsterlocaties in 2018 (links) en 2020 (rechts). Donkergroen indiceert gunstige (lage) gehalten uitwisselbaar NH_4 , lichtgroen matige condities; oranje, rood en paars te hoge tot extreem hoge gehalten uitwisselbaar NH_4 .

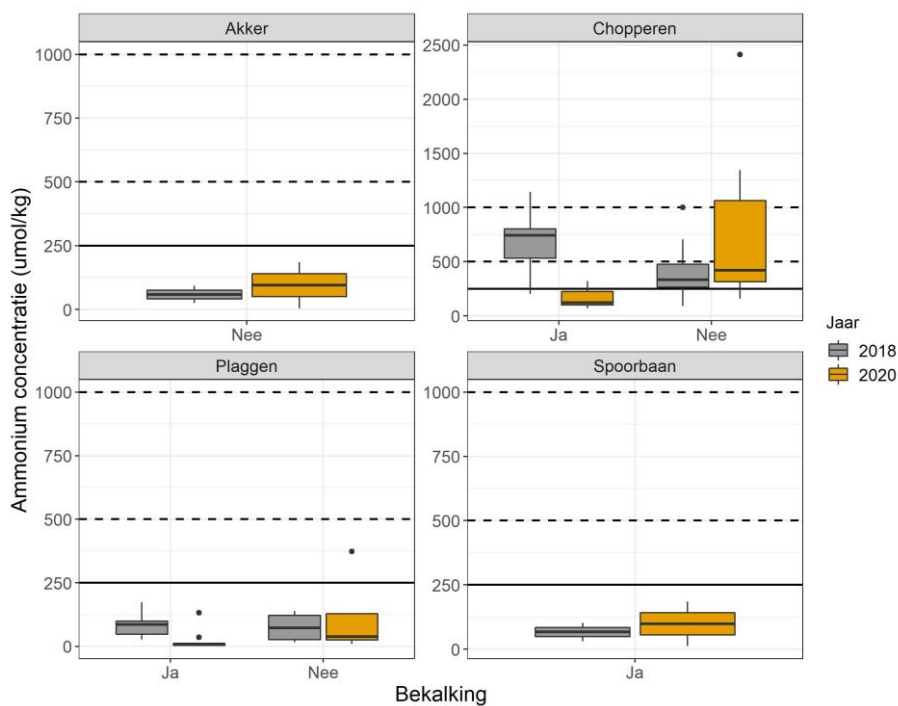


Fig. 3.8 Box- and whisker plots van de ammoniumconcentratie van het (zout-extract) in 2018 (vóór bekalking) en 2020 (na bekalking) in de verschillende bemonsterde beheertypen. Let op verschil in schaal tussen de figuren. De mediane waarde wordt gegeven door de horizontale balken. Boxen geven de spreiding van de data aan (hierbinnen valt 50% van alle metingen), whiskers geven de data die binnen de te verwachten range valt, en punten zijn metingen die als

uitschieters in de data beschouwd mogen worden. Horizontale continue lijn geeft de bovengrens weer van gunstige concentraties, onderbroken lijnen geven begrenzings van matig ongunstige, ongunstige, resp. zeer ongunstige ammonium gehalten weer.

3.3.2 Plant beschikbaar fosfaat

De concentratie voor planten beschikbaar (Olsen extraheerbaar) fosfaat verschilde in 2018 sterk tussen verschillende bemonsteringslocaties (Fig. 3.9). In de monsterpunten komt naar voren dat het plant beschikbaar P in de bodem doorgaans laag tot zeer laag is in de geplagde en gehopperde bodems en doorgaans hoger in de beoogd gehopperde bodems. De twee monsterpunten in het wildakkertje laten duidelijk sterk verhoogde plant beschikbaar fosfaatgehalten zien, maar ook in de heidebodems met een zeer dik ontwikkelde strooisellaag zijn een aantal uitschieters van plant beschikbaar fosfaat gemeten. In 2020 is de plant beschikbare fosfaat concentratie in alle typen lager dan in 2018 werd gemeten. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan seizoensfluctuaties, waarbij in het najaar (2020) de waarden wat lager liggen dan in het voorjaar (2018). Te lage concentraties plant beschikbaar fosfaat zijn niet gunstig voor ontwikkeling van soortenrijke heide (Vogels et al., 2016, Vogels et al., 2020b), maar te hoge gehalten leiden, zeker in combinatie met verhoogde depositie van stikstof, tot versnelde verzuuring en/of vergrassing.

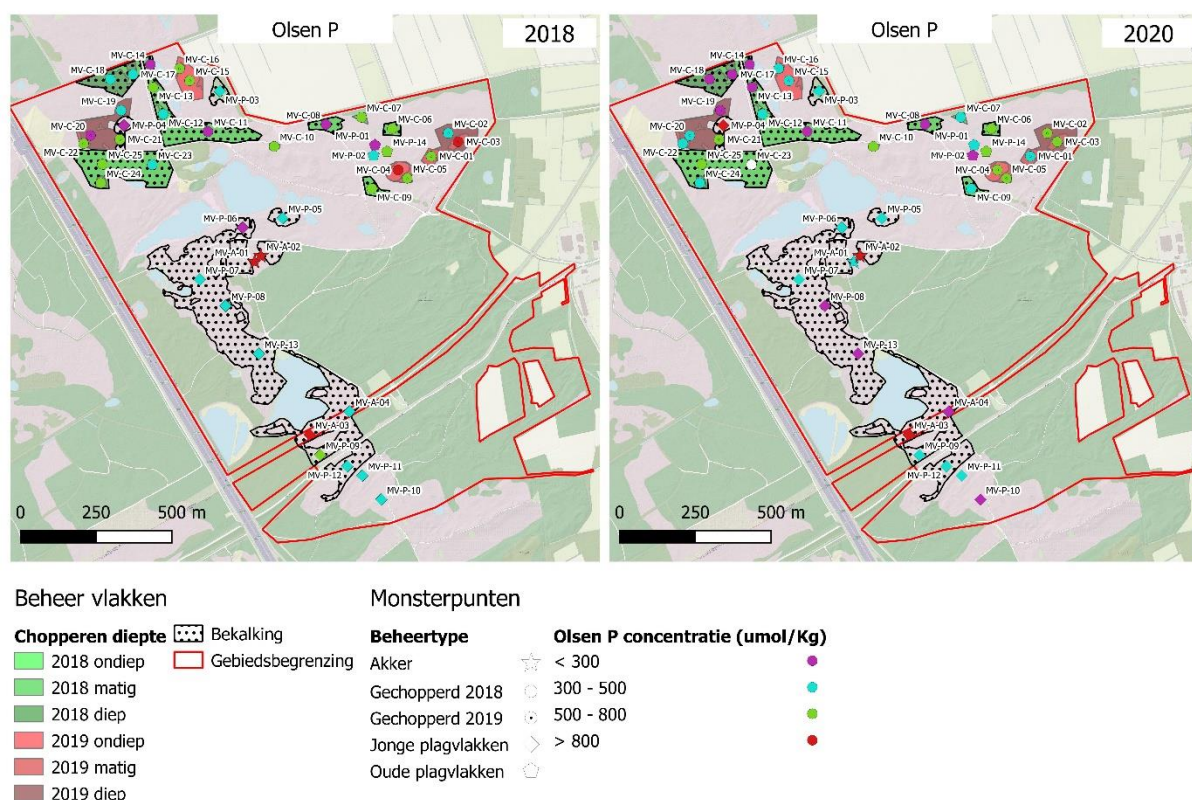


Fig. 3.9 Plant beschikbaar fosfaat in de bodem. Paars indiceert te lage gehalten uitwisselbaar PO_4 , lichtblauw lage, lichtgroen gunstige; rood te hoge gehalten.

Vooralsnog lijkt er weinig tot geen effect van de bekalking te zijn op plant beschikbaar P. Het type beheer is hier wel van invloed op, met lagere Olsen P waarden in de geplagde bodems dan in de gehopperde bodems (Fig. 3.10). In deze bodems is een tekort aan P in relatie tot N

aannemelijk en kan overwogen worden om éénmalig een P gift toe te passen om de macronutriënt balans te herstellen (Vogels et al., 2016, Weijters et al., 2019, Vogels et al., 2020b).

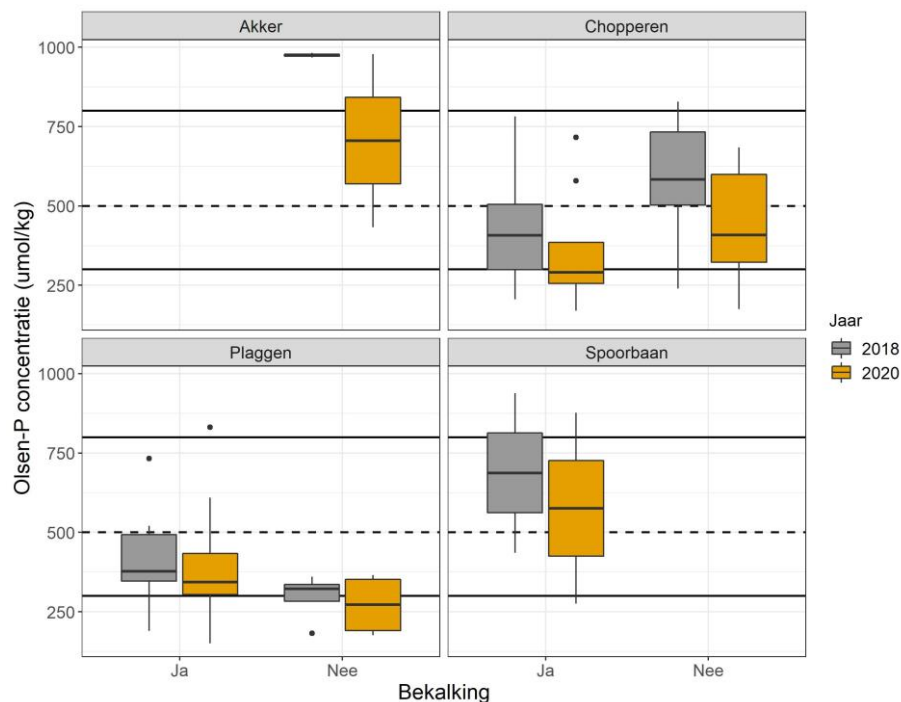


Fig. 3.10 Box- and whisker plots van plant beschikbaar fosfaat (Olsen P) in 2018 (vóór bekalking) en 2020 (na bekalking) in de verschillende bemonsterde beheertypen. De mediane waarde wordt gegeven door de horizontale balken. Boxen geven de spreiding van de data aan (hierbinnen valt 50% van alle metingen), whiskers geven de data die binnen de te verwachten range valt, en punten zijn metingen die als uitschieters in de data beschouwd mogen worden. Horizontale vaste lijnen geven buitengrenzen van ongunstig hoge resp. lage plant beschikbaar P gehalten weer, onderbroken lijn geeft ondergrens van de meest gunstige range van plant beschikbaar P weer.

3.4 Vestiging van vaatplanten

Het aantal in 2020 aangetroffen vaatplanten was in de meest recent gechopperde, niet bekalkte locaties overal laag tot zeer laag. De hoogste soortenrijkdom werd gevonden in de monsterpunten gelegen op het voormalige spoorlijntje, één monsterpunt in een van de grotere chopper oppervlakken en in de niet bekalkte open stuifzand locatie in het zuiden van het plangebied.

Het gemiddeld aantal vaatplanten dat rondom de monsterpunten in de bekalkte vlakken werd aangetroffen was in 2020 met gemiddeld 7.25 soorten significant hoger dan rondom de monsterpunten in de niet bekalkte vlakken (Fig. 3.12; gemiddeld 5.18 soorten). Wanneer enkel naar typische en kritische (veelal verzuringsgevoelige) soorten werd gekeken werd echter geen significant verschil gevonden, al was het gemiddeld aantal ook hier hoger in de bekalkte locaties (5.86 vs. 4.94). Het gemiddeld aantal kritische soorten was echter wel significant hoger in de bekalkte locaties, maar het aantal aangetroffen soorten was ook in de bekalkte locaties erg laag (gemiddeld 0.71 soorten versus 0.24). Het aantal atypische (storings)soorten was significant hoger in de bekalkte geplagde en gechopperde locaties, maar ook hier ging het om relatief weinig soorten (gemiddeld 1.38 versus 0.24 soorten).

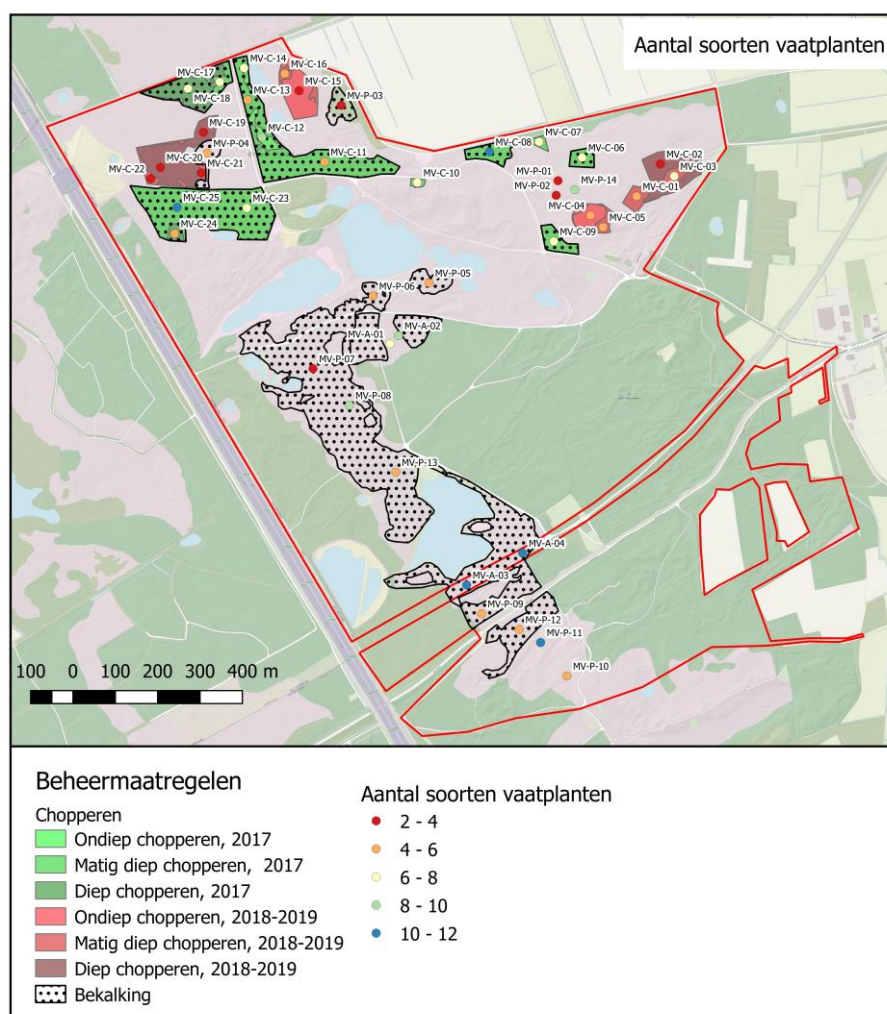


Fig. 3.11 aantal soorten vaatplanten in de verschillende monsterpunten aangetroffen in 2020, na afronding van maatregelen.

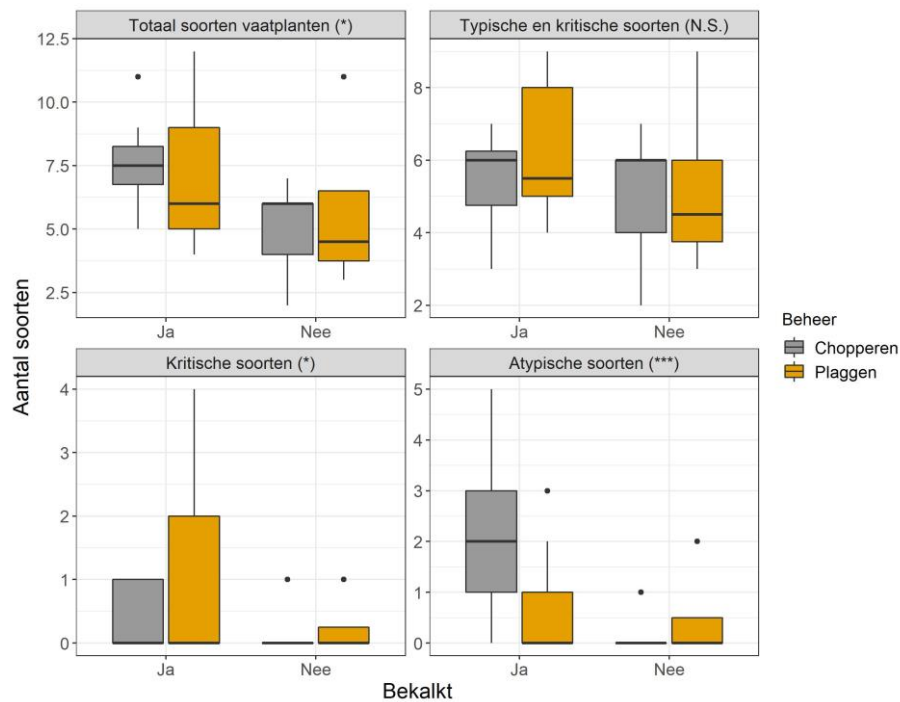


Fig. 3.12 Box- and whisker plots van in 2020 (na bekalking) aangetroffen vaatplanten in de bemonsterde beheertypen plaggen en chopperen. De mediane waarde wordt gegeven door de horizontale balken. Boxen geven de spreiding van de data aan (hierbinnen valt 50% van alle metingen), whiskers geven de data die binnen de te verwachten range valt, en punten zijn metingen die als uitschieters in de data beschouwd mogen worden. Weergegeven zijn het totaal aantal soorten, enkel de voor droge heide typische en 'kritische' soorten, enkel de kritische soorten en atypische soorten, veelal storingssoorten. *, ***= significant resp. sterk significant effect van bekalking, N.S. = geen significant effect van bekalking. Test resultaten zijn verkregen door een poisson GLM regressie analyse.

4 Conclusies en aanbevelingen

Uit het bodemchemisch onderzoek is gebleken dat zowel stikstof als verzuringsproblematiek een rol spelen in het gebied. De mate waarin deze problematiek op de voorgrond treedt verschilt echter tussen de onderzochte locaties. Deels houden deze verband met verschillen in bodemgesteldheid, maar het gevoerde beheer heeft ook duidelijk invloed uitgeoefend op de bodemchemische condities.

Bij het volledig verwijderen van de humuslaag door plaggen of afschrappen is de belangrijkste bron van stikstof (organisch gebonden N) effectief verwijderd. Ten tijde van de meetjaren was er ook geen piek van ammonium door nalevering van ammonium met wegvallen van nitrificatie meer meetbaar, al mag worden verondersteld dat deze in de voorgaande jaren wel heeft opgetreden. Met het plaggen is echter wel een nieuw probleem ontstaan: door het volledig verwijderen van het organisch stof zijn andere elementen (nutriënten als P, maar ook bufferende kationen als Ca) ook in hoge mate uit het systeem verwijderd. De hoeveelheid vrij beschikbaar Al blijft echter hoog in deze bodems, en wordt mogelijk versneld door de een versterkte verzuring; en het niet meer vormen van secundaire aluminosilicaten (allofanen) bij lage pH (Bergsma et al., 2016, Bergsma et al., 2018). Onder deze sterk zure omstandigheden gaan andere Al-houdende verbindingen eveneens in oplossing (Blume et al., 2016). Hierdoor was de Al/Ca ratio in deze bodems voor toepassen van bekalking sterk tot extreem sterk verhoogd, wat een ontwikkeling van soortenrijke heide ernstig zou belemmeren.

Een lage P beschikbaarheid in de bodem heeft, zeker in combinatie met stikstofdepositiewaarden die ver boven de KDW voor droge heide liggen, als gevolg dat de voedselkwaliteit van droge heide voor ongewervelde herbivoren sterk achteruit gaat, doordat de N:P ratio van de vegetatie stijgt tot ongunstige waarden (Vogels et al., 2017c). Ook is gebleken dat een te lage P beschikbaarheid, naast hoge zuurgraad, de ontwikkeling van soortenrijke droge heide in de weg staat (Vogels et al., 2020b). Dit effect was ook waarneembaar in het onderzoeksgebied, met de hoogste soortenrijkdom in de bekalkte monsterpunten met hoge P-beschikbaarheid (MV-A02 en A04). De ingezette bekalkingsmaatregelen hebben dus zeker bijgedragen aan een verbetering van de zuurbuffering van de bodem en heeft binnen enkele jaren al geleid tot een bescheiden, maar weliswaar meetbare verhoging van de soortenrijkdom in de vegetatie.

Bij chopperwerkzaamheden wordt een deel van de humuslaag gespaard. Dit verschil met plaggen is duidelijk in de bodemmetingen waarneembaar. Het gehalte organisch stof in de gechopperde bodems was doorgaans hoger dan in de geplagde bodems. In de leemarme bodems van het projectgebied neemt het organisch stof de belangrijkste deel uit van bodemuitwisselingscomplex. Door een deel van het organisch stof te behouden, wordt ook een deel van de basische kationen die nog aan het uitwisselingscomplex gebonden zijn behouden voor het systeem. Dit effect op de zuurstatus van de bodem was ook meetbaar, de gechopperde bodems hadden een wat hogere pH en lagere Al/Ca ratio dan de geplagde bodems. Desalniettemin was ook in een deel van de gechopperde bodems de Al/Ca hoger dan de grenswaarde van 1, maar lag doorgaans niet in de extreem ongunstige range ($Al/Ca > 2$).

Behoud van een deel van de humuslaag leidt ook tot behoud van Al immobiliserende eigenschappen (o.a. humuszuren) van de humuslaag, die de negatieve invloed van hoge Al/Ca ratios ten dele teniet kunnen doen (van den Berg et al., 2003).

De voorspellingen met betrekking tot de ammonium concentratie na uitvoering van chopper werkzaamheden is echter ook uitgekomen: na uitvoering van de maatregelen zijn in deze locaties een sterk verhoogde ammonium gehalten gemeten in 2018 waren deze sterk verhoogd in de toen gerealiseerde chopper vlakken en doorgaans hoger dan in de toen nog niet gerealiseerde vlakken. In 2020 was het beeld exact omgekeerd: de ammoniumconcentratie was sterk gedaald in de bekalkte oppervlakken, maar juist sterk gestegen in de later gerealiseerde, niet bekalkte choppervlakken. De gemeten ammonium waarden zijn veel te hoog voor de ontwikkeling van soortenrijke heide. Hier is dus niet de bufferstatus, maar de opeenhoping van ammonium het belangrijkste knelpunt. Deze problemen staan overigens niet volledig los van elkaar. Ammonium kan uiteindelijk ook concurreren met basische kationen, deze kationen kunnen bovendien versneld uitspoelen wanneer dit opgehoopte ammonium alsnog via nitrificatie omgezet wordt naar nitraat (hierbij ontstaat per mol ammonium 1 mol zuur).

Voor zowel de geplagde als de gechopperde bodems heeft bekalking dus geleid tot het opheffen van bekende knelpunten na ingrijpend herstelbeheer (plaggen en chopperen) tegen vermessing. Dit geldt met name voor de geplagde bodems, maar is voor de gechopperde bodems eveneens noodzakelijk gebleken om ammoniumtoxiciteit op te heffen. Kanttekening is wel dat in de dosering geen rekening is gehouden met de lokale situatie, in retrospectief zou het beter geweest zijn om met een lagere dosering van dolokal in de gechopperde delen te werken. Een andere kanttekening is dat dolokal toediening ook negatief uit kan pakken op karakteristieke fauna. Door de snelle en hoge levering van met name Ca en Mg wordt de ionenhuishouding van de bodem sterk gewijzigd, wat ook leidt tot een verandering van ionenratios in de plant. Voor de heidekarakteristieke Veldkrekel (*Gryllus campestris*) is aangetoond dat dit leidt tot een sterke afname van de eiproductie (Vogels et al., 2016, Vogels et al., 2017a), en kleine vuurvinders lieten ook een negatief effect zien van bekalking op de groei en ontwikkeling in een lab experiment (Weijters et al., 2018b). Om deze reden wordt het grootschalig toedienen van dolokal (met name na plaggen) afgeraden, of moet idealiter over een langere tijdsduur gefaseerd worden toegediend. Een alternatieve vorm van bufferherstel is toediening van basenleverende bodemmineralen in de vorm van steenmeel. Op het moment van schrijven is deze maatregel de fase van het testen van de 'hypothetische' werking positief doorgekomen (korte en middellange termijn effecten zijn beschreven in Vogels et al., 2018, Weijters et al., 2018b, Verbaarschot et al., 2020, Vogels et al., 2020a). Nadeel van deze steenmelen is dat herstel van buffercapaciteit lang duurt, omdat de verwerking ervan veel trager verloopt. Voordeel is dat hiermee de eerder gevonden schokeffecten op ionenhuishouding ook veel minder sterk optreden. Vooralsnog zijn er nog geen negatieve effecten op fauna gevonden bij steenmeeltoediening. Voor eventuele toekomstige bodembufferherstel maatregelen wordt dan ook aanbevolen om steenmeel als alternatieve maatregel te overwegen. Ook hier wordt aanbevolen om dit niet over alle oppervlakken toe te passen, Te denken valt aan het toedienen van steenmeel over 1/3^e van elk vlak, zodat eventuele negatieve effecten niet tot gevolg hebben dat hele gradiënten in het landschap ongeschikt worden voor karakteristieke soorten.

Hiernaast worden nog twee maatregelen voorgesteld:

In de gechopperde delen is de concentratie ammonium dermate hoog dat hervergrassing door Pijpenstrootje of Bochtige smele een zeer realistisch scenario is. Aanbevolen wordt om als vervolgbeheer hier enige jaren drukkbegrazing met schapen in te zetten. Uit onderzoek op Strabrechtse Heide naar de effecten van brandbeheer opgevolgd door drukkbegrazing (Vogels et al., 2017b) bleek dat met name in de drukkbegrazingsfase er een sterke stimulering van de nitrificatie optrad. Hierdoor kon met dit beheer er zeer effectief de concentratie anorganisch stikstof (ammonium) naar beneden worden gebracht, en werd de dominantie van Pijpenstrootje effectief doorbroken ten voordele van Struik- en Dophei.

In de recent geplagde bodems is de gemeten plant beschikbaar P doorgaans te laag om te ontwikkelen tot een soortenrijke heide met goede voedselkwaliteit. Gedacht kan worden om eenmalig een P-additie toe te passen in een dosering van 50 Kg/ha. Gewerkt kan worden met Natrium-dihydroxy-fosfaat-dihydraat ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ook gebruikt in experimenten met P-additie na plagen in Droge heide (voor een gedetailleerde methode, zie Vogels et al., 2016, Vogels et al., 2020b) dit is een goed oplosbaar zout en kan hierdoor in opgeloste vorm gelijkmatig over de bodem uitgesproeid worden. Het massa% van P in deze stof is 19.85%, dus in totaal wordt aanbevolen om ca 250 kg van deze stof per ha toe te dienen. Een alternatief is een eenmalige toediening van een steenmeel met een hoge en bekende hoeveelheid apatiet (een P houdend mineraal), die heeft in één van de onderzoeken aantoonbaar hetzelfde effect op de P-huishouding (Weijters et al., 2018a).

Hervestiging van verzuringsgevoelige soorten trad in het projectgebied weliswaar op, maar slechts zeer mondjesmaat. Veel van deze soorten vestigen zich door ontbreken van een zaadbank en lage dichtheid van bestaande zaadbronnen slechts moeizaam. In proefvelden naast het nabij gelegen Veeven is een proef met kalkrijk drinkwaterslib in combinatie met maaisel toediening zeer succesvol gebleken in de vestiging van karakteristieke soorten (Vogels et al., 2019). Een alternatieve methode kan zijn om de bodem met maaisel of choppermateriaal van elders te behandelen om de opbouw van humus in de bodem te stimuleren. Wanneer dit met maaisel of choppermateriaal van soortenrijke heide wordt gedaan, draagt dit eveneens bij aan de vestigingskansen van zeldzame soorten met een laag dispersiepotentieel (Loeb et al., 2018).

5 Literatuur

- Berendse, F. 1990. ORGANIC-MATTER ACCUMULATION AND NITROGEN MINERALIZATION DURING SECONDARY SUCCESSION IN HEATHLAND ECOSYSTEMS. *Journal of Ecology* 78:413-427.
- Bergsma, H., J. Vogels, A. Van den Burg & R. Bobbink 2018. Is de bodemverzuring in Nederland onomkeerbaar? *Vakblad natuur bos landschap*:4-6.
- Bergsma, H., J. J. Vogels, M. Weijters, R. Bobbink, A. J. M. Jansen & L. Krul 2016. Tandrot in de bodem - hoeveel biodiversiteit kan de huidige minerale bodem nog ondersteunen? *Bodem* 1:27-29.
- Blume, H. P., G. W. Brümmer, H. Fleige, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretzschmar, K. Stahr & B. M. Wilke 2016. *Scheffer/Schachtschabel Soil Science*. 1st editie. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Bobbink, R., H. L. T. Bergsma, J. den Ouden & M. J. Weijters 2017. Na het zuur geen zoet? Bodemverzuring in droog zandlandschap blijvend probleem. *Landschap*:61-69.
- Bureau van Nierop 2017. Projectplan Herstelmaatregelen Natura2000-gebied 'Het Meerven'. Riethoven, 19 pag.
- De Graaf, M. C. C., R. Bobbink, N. A. C. Smits, R. Van Diggelen & J. G. M. Roelofs 2009. Biodiversity, vegetation gradients and key biogeochemical processes in the heathland landscape. *Biological conservation* 142:2191-2201.
- De Graaf, M. C. C., R. Bobbink, P. J. M. Verbeek & J. G. M. Roelofs 1997. Aluminium toxicity and tolerance in three heathland species. *Water Air and Soil Pollution* 98:229-239.
- Dorland, E., L. J. L. van den Berg, A. J. van de Berg, M. L. Vermeer, J. G. M. Roelofs & R. Bobbink 2004. The effects of sod cutting and additional liming on potential net nitrification in heathland soils. *Plant and Soil* 265:267-277.
- Gerendas, J., Z. J. Zhu, R. Bendixen, R. G. Ratcliffe & B. Sattelmacher 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde* 160:239-251.
- Grasshoff, K. & H. Johannsen 1972. A New Sensitive and Direct Method for the Automatic Determination of Ammonia in Sea Water. *Journal du Conseil* 34:516-521.
- Houdijk, A. L. F. M. 1993. Atmospheric ammonium deposition and the nutritional balance of terrestrial ecosystems. Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Kamphake, L. J., S. A. Hannah & J. M. Cohen 1967. Automated analysis for nitrate by hydrazine reduction. *Water Research* 1:205-216.
- Kleijn, D., R. M. Bekker, R. Bobbink, M. C. C. De Graaf & J. G. M. Roelofs 2008. In search for key biogeochemical factors affecting plant species persistence in heathland and acidic grasslands: a comparison of common and rare species. *Journal of Applied Ecology* 45:680-687.
- Loeb, R., A. van der Bij, R. Bobbink, J. Frouz, J. Vogels, P. Benetková & R. van Diggelen 2018. Hoe ontwikkel je droog heischraal grasland op voormalige landbouwgrond? *De Levende Natuur* 119:24-29.
- Niemeyer, M., T. Niemeyer, S. Fottner, W. Härdtle & A. Mohamed 2007. Impact of sod-cutting and choppering on nutrient budgets of dry heathlands. *Biological conservation* 134:344-353.
- Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe & L. A. Dean 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U.S. Dep. of Agric. Circ.* 939, 1-19 pag.

- Siepel, H., R. Bobbink, B. P. van de Riet, A. B. van den Burg & E. Jongejans 2019. Long-term effects of liming on soil physico-chemical properties and micro-arthropod communities in Scotch pine forest. *Biology and Fertility of Soils*.
- Siepel, H., J. Vogels, R. Bobbink, R.-J. Bijlsma, E. Jongejans, R. de Waal & M. Weijters 2018. Continuous and cumulative acidification and N deposition induce P limitation of the micro-arthropod soil fauna of mineral-poor dry heathlands. *Soil Biology and Biochemistry* 119:128-134.
- van den Berg, L. J. L., E. Dorland, P. Vergeer, M. A. C. Hart, R. Bobbink & J. G. M. Roelofs 2005. Decline of acid-sensitive plant species in heathland can be attributed to ammonium toxicity in combination with low pH. *New Phytologist* 166:551-564.
- van den Berg, L. J. L., C. J. H. Peters, M. R. Ashmore & J. G. M. Roelofs 2008. Reduced nitrogen has a greater effect than oxidised nitrogen on dry heathland vegetation. *Environmental Pollution* 154:359-369.
- van den Berg, L. J. L., P. Vergeer & J. G. M. Roelofs 2003. Heathland restoration in The Netherlands: Effects of turf cutting depth on germination of *Arnica montana*. *Applied Vegetation Science* 6:117-124.
- Van Vuuren, M. M. I., R. Aerts, F. Berendse & W. Devisser 1992. NITROGEN MINERALIZATION IN HEATHLAND ECOSYSTEMS DOMINATED BY DIFFERENT PLANT-SPECIES. *Biogeochemistry* 16:151-166.
- Verbaarschot, E., M. Weijters, B. van de Riet, E. Brouwer, H. Bergsma, J. Vogels & R. Bobbink 2020. Effecten van steenmeeltoediening na 5 jaar op de Strabrechtse heide. RP-17.110.20.17, Onderzoekcentrum B-WARE B.V., Nijmegen, pag.
- Vogels, J., M. Weijters, H. Bergsma, R. Bobbink, H. Siepel, J. Smits & L. Krul 2018. Van bodemherstel naar herstel van fauna in een verzuurd heidelandschap. *De Levende Natuur* 119:200-204.
- Vogels, J. J. & H. Bergsma 2019. Advies aanvullende maatregelen Meerven - resultaten vooronderzoek bodemkwaliteit. Stichting Bargerveen, Nijmegen, 39 pag.
- Vogels, J. J., R. J. Bijlsma, R. Bobbink & E. Verbaarschot 2017a. Monitoring OBN onderzoek "fosfaattoevoeging heide". VBNE, Driebergen, 31 pag.
- Vogels, J. J., R. Loeb, E. Brouwer, R. Felix & M. Scherpenisse 2017b. Optimaliseren van herstelmaatregelen voor habitattypen van droge heide - De stikstofverwijderingspotentie van de gecombineerde maatregel branden en drukkbeграzen. Stichting Bargerveen, Nijmegen, 81 pag.
- Vogels, J. J., E. Verbaarschot & R. Bobbink 2019. Effectiviteit van kalkrijk drinkwaterslib als verzuringsbestrijdende maatregel voor herstel van heidesystemen. Stichting Bargerveen, 54 pag.
- Vogels, J. J., E. Verbaarschot, R. Loeb, M. Weijters, R. Bobbink, H. Bergsma, M. C. Scherpenisse, P. J. M. Verbeek & V. De Jong 2020a. Steenmeeltoepassing ten behoeve van herstel biodiversiteit in Het Nationale Park De Hoge Veluwe - Eindrapport monitoring 2015-2019. Stichting Bargerveen, Nijmegen, 132 pag.
- Vogels, J. J., W. C. E. P. Verberk, L. P. M. Lamers & H. Siepel 2017c. Can changes in soil biochemistry and plant stoichiometry explain loss of animal diversity of heathlands? *Biological conservation* 212, Part B:432-447.
- Vogels, J. J., N. R. Webb & H. H. Siepel 2013. 14 Impact of changed plant stoichiometric quality on heathland fauna composition. *in* W. H. Diemont, W. J. M. Heijman, H. H. Siepel, en N. R. Webb,(red.) *Economy and ecology of heathlands*. KNNV publishing, Zeist.
- Vogels, J. J., M. Weijters, R. J. Bijlsma, R. W. de Waal, R. Bobbink & H. Siepel 2016. Fosfaattoevoeging Heide. VBNE, Driebergen, 127 pag.

- Vogels, J. J., M. J. Weijters, R. Bobbink, R.-J. Bijlsma, L. P. M. Lamers, W. C. E. P. Verberk & H. Siepel 2020b. Barriers to restoration: soil acidity and phosphorus limitation constrain recovery of heathland plant communities after sod cutting. *Applied Vegetation Science* 23:94-106.
- Weijters, M., R. Bobbink, H. Bergsma & J. Vogels 2018a. Ontwikkeling herstelmaatregelen voor faunistisch verarmde, in het verleden geplagde droge heide in de Provincie Noord-Brabant - Voortgansrapportage april 2018. Onderzoekscentrum B-Ware, Stichting Bargerveen & BodemBergsma, Nijmegen, 9 pag.
- Weijters, M., R. Bobbink, E. Bohnen-Verbaarschot, B. Van de Riet, J. Vogels, H. Bergsma & H. Siepel 2018b. Herstel van heide door middel van slow release mineralengift. Resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek., VBNE, Driebergen, 216 pag.
- Weijters, M., E. Verbaarschot, R. Bobbink & J. Vogels 2019. Ontwikkeling herstelmaatregelen voor faunistisch verarmde, in het verleden geplagde droge heide in de Provincie Noord-Brabant - Voortgansrapportage april 2019. Onderzoekscentrum B-Ware & Stichting Bargerveen, Nijmegen, 13 pag.

6 Bijlagen

6.1 Bijlage 6A. Foto's van bodemonsters en monsterpunten

MV-A-01

2020



MV-A-02

2020



MV-A-03

2020



MV-A-04
2020



MV-C-01
2020



MV-C-02
2020



MV-C-03
2020



MV-C-04
2020



MV-C-05
2020



MV-C-06
2018



2020



MV-C-07
2020



MV-C-08
2018



2020



MV-C-09
2020



MV-C-10
2018



2020



MV-C-11

2018



2020



MV-C-12

2018



2020



MV-C-13

2020



MV-C-14

2018



2020



MV-C-15

2018



2020



MV-C-16

2020



MV-C-17
2018



2020



MV-C-18
2018



2020



MV-C-19
2020



MV-C-20
2020



MV-C-21
2020



MV-C-22
2020



MV-C-23
2020



MV-C-24
2020



MV-C-25
2020



MV-P-01

2018



2020



MV-P-02

2020



MV-P-03

2018



2020



MV-P-04

2020



MV-P-05

2020



MV-P-06
2020



MV-P-07
2020



MV-P-08
2020



MV-P-09

2020



MV-P-10

2020



MV-P-11

2020



MV-P-12

2020



MV-P-13

2020



MV-P-14

2018



2020



6.2 Bijlage 6B. Detailbeschrijvingen monsterpunten

Naam	Type	realisatie	Korte beschrijving	Foto's
MV-A-01	Akker	NVT	Akker centrum	Gedomineerd door kweek en agrostis; ruig haarmos als mossoort. Enkele biggenkruid niet talrijk aanw.
MV-A-02	Akker	NVT	Akker rand	Minder sterk door kweek gedomineerd. Hypericum perforatum, Rode schijnspurrie, Dwergviltkruid.
MV-A-03	Plagvlak	NVT	Oude spoortalud	Keien van oude spoor nog her en der aanwezig. Verder ontwikkeling naar Callunetum, met veel pinus opslag, Molinia, agrostis, Ruig haarmos. Laag zandige iets lemige bodem is opgebracht boven oud podzolprofiel.
MV-A-04	Plagvlak	NVT	Oude spoortalud	Als MV-A-03, hier ook Biggenkruid, trekrus.
MV-C-01	Chopper 2	NEE	vergrast	Molinia 90% Nog pollen C. vulgaris aanwezig. Vaag ontwikkelde humuspodzol. Vuilboom ook aanwezig
MV-C-02	Chopper 4	NEE	vergrast	Molinia 80% Nog pollen C. vulgaris aanwezig. Vaag ontwikkelde humuspodzol. Vuilboom ook aanwezig
MV-C-03	Chopper 2	NEE	Vergrast	Molinia 80% Nog pollen C. vulgaris aanwezig. Vaag ontwikkelde humuspodzol. Verbossing met Pinus en Vuilboom
MV-C-04	Chopper 1	NEE	stuifzandkop	Calluna voor een groot deel afgestorven. Daarna vergrast met Deschampsia. Diepe haarpodzol in de ondergrond
MV-C-05	Chopper 2	NEE	stuifzandkop	Zie MV-C-4, maar hier is Molinia samen met Deschampsia de vergrasser. Aan de basis van de stuifzandkop. Bodem is overgang haarpodzol naar veldpodzol, iig iets vochtiger en minder begrensd.
MV-C-06	Chopper 2	JA		100% Molinia. Op droge vorm veldpodzol (overgang humus-veldpodzol).
MV-C-07	Chopper 2	JA		als MV-C-06
MV-C-08	Chopper 2	JA		100% Molinia vergrast. Dieptste deel te ondiep gechopperd en hier weer sterke hervergrassing opgetreden.
MV-C-09	Chopper 2	JA		Molinia 90% met wat Calluna, Quercus, Rubus. Op Humus podzol

Naam	Type	realisatie	Korte beschrijving	Foto's
MV-C-10	Chopper 2	JA		Veel tot in de E gehopperd. Waar niet, braam opslag. Callunetum met braam, eik, am. Vogelkers op hoge stuifwal. Haarpodzol.
MV-C-11	Chopper 2	JA	Deschampsia vergrast	Diepe haarpodzol. Betula, Pinus, Deschampsia. Veel tot in E gehopperd
MV-C-12	Chopper 1	JA	Molinia / Deschampsia vergrast	70% Molinia, 20% Deschampsia. Vochtige haarpodzol.
MV-C-13	Chopper 2	JA	Deschampsia / Molinia vergrast	60% Deschampsia, 40% Molinia caerulea. Enkele Calluna. Haarpodzol met dikke Bh
MV-C-14	Chopper 1	JA	Molinia vergrast	Verdroogde veldpodzol. 10% Deschampsia flexuosa, 70% Molinia, enkele Calluna vulgaris.
MV-C-15	Chopper 1	NEE	95% Deschampsia vergrast.	Haarpodzol met dikke Bh. Nog enkele Calluna.
MV-C-16	Chopper 2	NEE	Deschampsia vergrast	Diep ontwikkelde haarpodzol. Enkele oude pollen Calluna vulgaris.
MV-C-17	Chopper 2	JA	Deschampsia vergrast	Wat Molinia en Calluna. Diepe haarpodzol met een dikke H. Verkitte podzol Bh
MV-C-18	Chopper 4	JA	Molinia vergrast	100% Molinia. Stagnerend regenwater. Zeer duidelijk ontwikkelde veldpodzol.
MV-C-19	Chopper 4	NEE	Molinia vergrast	Verdroogde veldpodzol. 90% Molinia, erica, pinus.
MV-C-20	Chopper 4	NEE	Molinia vergrast	100% Molinia vergrast. Veldpodzol, verdroogd.
MV-C-21	Chopper 2	NEE	Deschampsia + Molinia vergrast	Veel Pinus opslag wat calluna, geen erica., Haarpodzol, zeer droog in fijn dekzand. Met verkitte podzol B.
MV-C-22	Chopper 2	NEE	Molinia vergrast	50% Molinia. Open humeuze bodem, Calluna, Pinus. Haarpodzol in verdroogde veldpodzol
MV-C-23	Chopper 2	JA	Deschampsia vergrast	100% Deschampsia vergrast. Haarpodzol in fijn zand.
MV-C-25	Chopper 2	JA	Deschampsia vergrast	D. flex, C vulg, M caer, Pinus. Vaaggrond met haarpodzol bovenop oude podzol.
MV-C-24	Chopper 4	JA	Deschampsia vergrast	100% Deschampsia vergrast. Haarpodzol in fijn zand. Pinus opslag
MV-P-01	Plagvlak ouder	NVT		Callunetum zonder basen indicatoren. Opener dan 02. Hier C campylopus als aspectbepalende soort in de onderlaag. Op onthoofd haarpodzol profiel. Calluna wortelt duidelijk in de B!
MV-P-02	Plagvlak ouder	NVT		Callunetum met veel open bodem. Nergens genista spp, veel opslag Grove den. Onthoofde diepe haarpodzol

MV-P03	Plagvlak jong	NVT		Podzol B binnen 10 cm. Veel open bodem en dagzomende E. C. vulg, E tetralix, Molinia, betula, pinus
MV-P-04	Plagvlak jong	NEE		Haarpodzol, verkitte B / Vochtig onderin. Veel kale bodem. Molinia, calluna, deschampsia, Betula, pinus. In volgorde van hoog naar lage bedekking.
MV-P-05	Plagvlak jong	NVT	voormalig bos	Zeer spaarzaam begroeid; 10% mix Calluna en Molinia. Met B pendula en D felxuosa. Bodem is een vlakvaaaggrond een zwak ontwikkeld humuspodzolprofiel
MV-P-06	Plagvlak jong	NVT		Tot E horizont afgeplagd. Caluna, Deschampsia, veel Betula enkele Pinus. Nog veel kale bodem
MV-P-07	Plagvlak jong	NVT	Grote ontbossing	E-horizont dagzomend. Zandig, spaarzaam begroeid met M. caer, Cal vulg, D flex, Pinus syl, Betula pend.
MV-P-08	Plagvlak jong	NVT	Grote ontbossing	Grindjes aan het bodemoppervlak. Veel campylopus en ruig haarmos. Spaarzaam begroeid met D flex, C vulg en M. caer. Bodem een vaaggrond met humuspodzol ontwikkeling.
MV-P-09	Plagvlak jong	NVT	Grote ontbossing	Als MV-P-12. B-horizont+ E in top 10 cm aanw. Calluna, mollinia, Pinus, R. haarmos
MV-P-13	Plagvlak jong	NVT	Grote ontbossing	E-horizont dagzomend. Zandig, Erica tetralix, Campylopus introflexus, M. caer, Cal vulg, D flex, Pinus syl, Betula pend.
MV-P-10	Plagvlak jong	NVT	Grote ontbossing, stuivend zand	Nagenoeg 100% grijsgeel kaal zand. Deschampsia, Spergula morisonii, Rumex acetosella. Ondergrond: duinvaaggrond
MV-P-11	Plagvlak jong	NVT	Grote ontbossing, stuivend zand kleiduivenresten	Rand met vastlegging: D. flexuosa, A vinealis, ruig haarmos, Campylopus.
MV-P-12	Plagvlak jong	NVT	Grote ontbossing	E dagzomend. Calluna, ruig haarmos, Pinus, B. pendula, D. flexuosa, Juncus squarrosus
MV-P-14	Plagvlak oud	MVT	Bekalkt deel oude plagvlak	Rijkere bodem: Genista anglica, Festuca filiformis, Ornithopus perpusillus, Luzula campestris, Hypochaeris radicata. Veel soorten cladonia's. Lijkt op oud geplagd pad. Bekalkt.

6.3 Bijlage 6C. Aangetroffen soorten per monsterpunt

[illegible]