



BODEMCHEMISCH ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN HERSTELMAATREGELEN IN DE KAMPINA



Opdrachtgever: Natuurmonumenten • Auteurs: Evi Bohnen-Verbaarschot, Ludo Smits & Roos
Loeb • Projectnummer: PR-21.136 • Rapportnummer: RP-21.136.22.26 • Datum: 1 april 2022

Niets uit dit rapport mag worden gereproduceerd, opnieuw vastgelegd, vermenigvuldigd of uitgegeven door middel van druk, fotokopie, microfilm, langs elektronische of elektromagnetische weg of op welke andere wijze dan ook zonder schriftelijke toestemming van de auteurs en de opdrachtgever. Het is voor de opdrachtgever wel toegestaan de inhoud van deze rapportage met bronvermelding, te gebruiken voor andere publicaties.

Citeren als: E. Bohnen-Verbaarschot, L. Smits & R. Loeb (2022). Bodemchemisch onderzoek ten behoeve van herstelmaatregelen in de Kampina. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen, RP-21.136.22.26

Opdrachtgever: Natuurmonumenten

Informatie:

Onderzoekcentrum B-WARE BV
Radboud Universiteit Nijmegen
Mercator III, Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen

Contactpersoon:

Evi Verbaarschot
Tel: 024-2122204
e.verbaarschot@b-ware.eu
www.b-ware.eu

© Onderzoekcentrum B-WARE, 2022

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Achtergrond: abiotiek van droge en vochtige heide.....	6
1.3	Mogelijke herstelmaatregelen.....	7
2.	Materiaal en methode	11
2.1	Monstername	11
2.2	Labanalyses.....	12
3.	Resultaten & Advies	15
3.1	Bodem en vegetatie.....	15
3.2	Droge-heidelocaties.....	19
3.3	Vochtige heidelocaties	23
3.4	Samenvattend.....	26
	Literatuur	27
	Bijlages.....	28

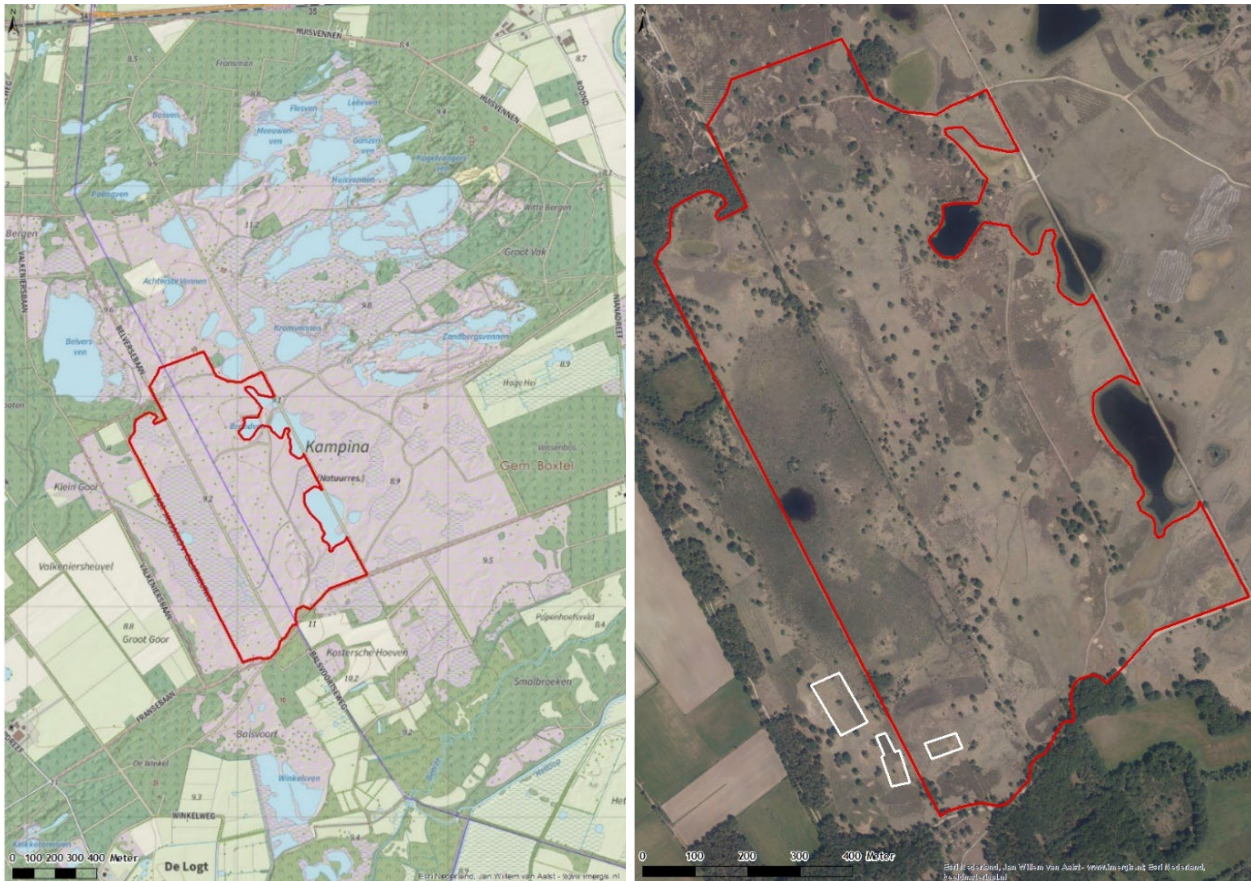
1. Inleiding

1.1 Aanleiding

In het Nederlandse zandlandschap zijn vermestende en verzurende effecten opgetreden als gevolg van de verhoogde N-depositie (en voorheen zwaveldepositie). Dit heeft geleid tot een sterke kwalitatieve afname van de kenmerkende voedselarme en licht gebufferde habitattypen van het droog zandlandschap. Daarnaast zijn er duidelijke aanwijzingen dat de kation-leverende mineralenvoorraad in de bodem op veel plekken in het Nederlands zandlandschap sterk is aangetast door de langdurige bodemverzuring vanuit het verleden, maar die ook nu nog steeds plaatsvindt (Bergsma et al., 2016; 2018). In de Nederlandse heideterreinen is in de afgelopen vier decennia een duidelijk patroon zichtbaar van toenemende vergrassing en versnelde successie als gevolg van de vermestende werking van de atmosferische N-depositie. Daarnaast dragen verhoogde aluminiumconcentraties en verlaagde kationenbeschikbaarheid in de bodem bij aan het verlies van plant- en diersoorten die gevoelig zijn voor de verzurende effecten van de verhoogde N-depositie. Deze vermestende en verzurende effecten van de verhoogde N-depositie (van den Burg et al., 2021; Bobbink et al., 2012) zijn in hoge mate verantwoordelijk voor het verlies van soorten (zowel planten als dieren) in de droge heide (Bobbink et al., 2017; Bobbink et al., 2012; Van Den Berg et al., 2005). Vereniging Natuurmonumenten wil graag weten of deze knelpunten ook in de droge en vochtige heide van de Kampina spelen, en welke herstelmaatregelen hier eventueel tegen genomen kunnen worden.

In dit project is Onderzoekcentrum B-WARE door Natuurmonumenten gevraagd bodemchemisch onderzoek uit te voeren in de Kampina om eventuele knelpunten vast te stellen, en advies te geven over mogelijke herstelmaatregelen. Het onderzoeksgebied betreft een gebied van circa 82 ha in het zuidwesten van de Kampina, bestaande uit droge heide, vochtige heide en vennen (figuur 1.1). Doel van het onderzoek in de droge heide is het bepalen van de bodemchemische toestand en te vergelijken met gegevens uit goed ontwikkelde droge heide (H4030). Voor de vochtige delen is de instandhouding en uitbreiding van de populatie gentiaanblauwtjes (*Phengaris alcon*) het doel naast behoud en ontwikkeling van vochtige heide (H4010A). De vennen die binnen het onderzoeksgebied vallen worden in dit onderzoek niet meegenomen.

In het zuidwesten van het gebied zijn de proeflocaties gelegen van het OBN-project “Alternatieven voor plaggen” (Wallis de Vries et al., 2018) waar Onderzoekcentrum B-WARE ook aan meegewerkt heeft. De kennis die werd opgedaan in deze proeven zal ook in dit onderzoek worden meegenomen.

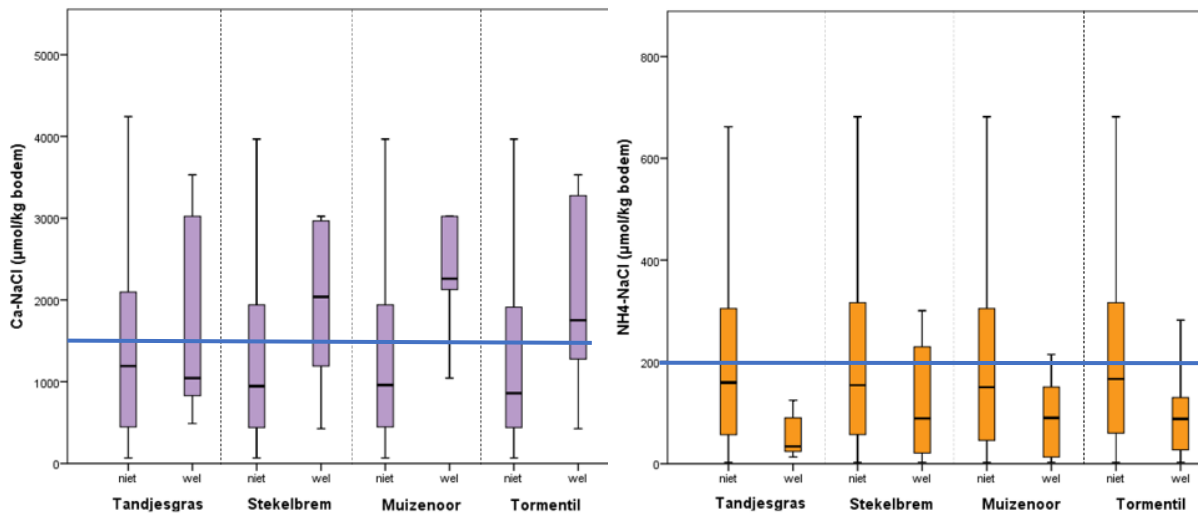


Figuur 1.1. Overzicht van de ligging van het onderzoeksgebied (rood omlijnd) in het zuidwesten van de Kampina (links) en het onderzoeksgebied op een luchtfoto (rechts). De proefvlakken van het OBN-project Alternatieven voor plaggen (wit omlijnd) zijn in het zuidwesten gelegen van het onderzoeksgebied.

1.2 Achtergrond: abiotiek van droge en vochtige heide

Op basis van de database van B-WARE (GRIP: Gemeten Referentiewaarden in Plantengemeenschappen) kon worden aangetoond aan welke bodemchemische randvoorwaarden moet worden voldaan om een aantal voor de heide kenmerkende plantensoorten te kunnen laten voorkomen. De beschreven randvoorwaarden werden vervolgens gebruikt als mogelijk hersteldoel in de verdere rapportage.

De typische subassociatie van de droge heide (20Aa01b) komt zeer frequent voor in het Nederlandse heidelandschap: het is op zich een relatief soortenarme vegetatie, maar er zijn echter duidelijke aanwijzingen dat deze subassociatie in de afgelopen 4-5 decennia door verschillende oorzaken steeds armer aan plantensoorten is geworden. Aan de hand van een aanvullende analyse van het voorkomen van 10-12 plantensoorten uit de droge heide in relatie tot hun bodemchemie zijn ook randvoorwaarden geformuleerd waarbij veel van de soorten, zoals Stekelbrem (*Genista anglica*), Tormentil (*Potentilla erecta*), Tandjesgras (*Danthonia decumbens*) en Muizenootje (*Hieracium pilosella*) wel kunnen voorkomen (tabel 1.1 en figuur 1.2). Daarnaast zijn er sterke aanwijzingen dat deze soortenrijke subassociatie voorkomt bij een basenverzadiging hoger dan (20-)25% in de bovengrond (Expert judgement).



Figuur 1.2 Beschikbare calciumconcentratie uit een zoutextract en anorganische ammoniumconcentratie in $\mu\text{mol/kg}$ bodem in de bodem van vegetatie-opnamen waar Tandjesgras, Stekelbrem, Muizenoor en Tormentil niet/wel aanwezig waren. Blauwe lijnen geven de minimale concentratie voor beschikbaar Ca waarbij kenmerkende soorten kunnen voorkomen. In de rechter figuur geven de blauwe lijnen de maximale gewenste NH_4 -concentratie in de bodem waarboven kenmerkende soorten nog zelden gevonden worden.

Tabel 1.1. Randvoorwaarden voor goed ontwikkelde droge en vochtige heide op basis van de GRIP-database, waarbij de pH gemeten is in een zoutextract (pH-NaCl), de beschikbare calciumconcentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem (Ca-NaCl), de aluminium/calciumratio in mol/mol (Al/Ca-ratio) uit het NaCl-extract, de ammoniumconcentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem (NH_4^+ -NaCl), de basenverzadiging in procenten (BV) op basis van expert judgement en het plantbeschikbaar fosfaat in $\mu\text{mol/l}$ (Olsen-P).

	pH-NaCl	Ca-NaCl	Al/Ca-ratio	NH_4^+ -NaCl	BV	Olsen-P
		$\mu\text{mol/l}$ bodem	mol/mol	$\mu\text{mol/l}$ bodem	%	$\mu\text{mol/l}$ bodem
droge heide	>3,5	>1500	<2	<200	>20	150-400
vochtige heide	>3,5	>2000	<2	<200	>30	100-300

1.3 Mogelijke herstelmaatregelen

In veel gevallen is de biodiversiteit van de droge heide (H4030) en vochtige heide (H4010) op de hogere zandgronden in Nederland sterk achteruit gegaan (WNF, Living Planet rapport 2020). Eén van de oorzaken van deze achteruitgang ligt in een veranderde bodemchemie en verdroging. In veel gevallen is de bodem in heideterreinen in Nederland vermist, verzuurd en verdroogd, waardoor kenmerkende plantensoorten niet meer voorkomen. Daarmee verandert ook het bloemaanbod en voedselaanbod voor fauna in de heide. Maatregelen voor herstel van de bodemchemie in de droge heide zijn dan ook gericht op het verhogen van de bodembuffering en/of het verlagen van de stikstofconcentraties (met name ammonium) in de bodem. In de vochtige heide is herstel van de bodemchemie ook gericht op het herstel van de grondwaterinvloed in de bodem.

Bufferherstel

In droge heide is herstel van de bodembuffering door middel van steenmeel of een kalkproduct een optie. In vochtige heide heeft herstel van de bodembuffering via het grondwater de voorkeur. Wanneer dit geen optie is kan gedacht worden aan herstel van de bodembuffering door middel van steenmeel of een kalkproduct. In dit rapport wordt met de term “steenmeel” verwezen naar gemalen silicaatmineralen. Afhankelijk van de soort steenmeel kan dit uit kalium-, calcium- en magnesiumleverende mineralen bestaan (Soilfeed) of calcium-, magnesium- en fosforleverende mineralen met een carbonaat-fractie (Biolit). Meer informatie over steenmelen staat beschreven in Weijters et al. (2018).

In de droge en vochtige heide blijkt het toedienen van steenmeel, in ieder geval in een deel van de onderzochte plekken, redelijk tot goed te werken. Toch duurt het 3 tot 5 jaar voordat de positieve resultaten op de bodemchemie duidelijk meetbaar zijn, en werden met name effecten op de calcium- en kaliumbeschikbaarheid, Al/Ca-ratio en basenverzadiging gemeten en nauwelijks effect op bijvoorbeeld de bodem-pH of ammoniumconcentratie in de bodem (Weijters et al., 2019, Verbaarschot et al., 2020, Vogels et al., 2020). Steenmeel is niet geschikt om een ammoniumpiek te voorkomen na bodemverstorende maatregelen zoals chopperen, plaggen of het verwijderen van strooisellagen in bosbodems. In deze gevallen is een kalkgift de beste optie. Ook wanneer het de doelstelling is om een hogere pH te bereiken, de aluminiumbeschikbaarheid snel af te laten nemen of in het geval van grote urgentie, bijvoorbeeld bij kleine populaties sterk bedreigde hei(schrale) soorten zoals Valkruid, kan beter voor een snelwerkend kalkproduct gekozen worden.

Van kalkproducten is goed bekend dat deze binnen een jaar voor duidelijke verbetering van de bodembuffering zorgen die ook voor lange tijd kan aanhouden (Bobbink & van der Zee, 2018). Het gebruik van kalkproducten kan soms negatief uitpakken voor een deel van de invertebrata (Vogels et al., 2020), maar dit is enkel geconstateerd op plekken waar kalk werd opgebracht na plaggen van droge heide of wanneer er een hoge dosering werd opgebracht (meer dan 4-5 ton/ha) (Bobbink et al., 2018; Siepel et al. 2019). Daarnaast kan, bij een te hoge dosering, verruiging van de vegetatie optreden (Bobbink et al., 2018). Het risico op overdosering bij gebruik van kalkproducten is dus zeker aanwezig. Daarom is het belangrijk om bekalking “met beleid” uit te voeren. Hierbij is de grootte van het adsorptiecomplex (de zogenaamde Cation Exchange Capacity) een belangrijke graadmeter. Bij het gebruik van kalkproducten in een lagere dosering (tot 4 ton/ha) werden in bestaande droge en vochtige heide, zonder eerst te plaggen, geen negatieve effecten op de fauna gemeten, en werden geen tekenen van verruiging van de vegetatie vastgesteld. Ook niet na vijf tot zeven jaar (Weijters et al., 2019; Verbaarschot et al., 2020 en Wallis de Vries et al., 2019). Als algemene vuistregel wordt voor bekalking een maximale gift van 2 ton/ha als veilige dosering gehanteerd, behalve in situaties waar de CEC zeer laag is (zoals na diep plaggen het geval kan zijn).

Voordeel van kalkproducten in vergelijking met silicaatsteenmeel is dat de pH van de bodem verhoogd wordt, waardoor ook de omzetting van ammonium naar nitraat gestimuleerd kan worden en de aluminiumbeschikbaarheid afneemt. Nadeel van kalkproducten vergeleken met steenmelen is dat kalkproducten enkel calcium en soms ook magnesium bevatten. Sporenelementen zoals mangaan en zink komen in deze producten nauwelijks voor, net als kalium. Ook kan een kalkgift zorgen voor een verminderde P-beschikbaarheid. Kalkproducten worden al vele decennialang ingezet om de bodembuffering in heide en heischrale graslanden te vergroten. Toch is er weinig ervaring met het gebruik van kalkproducten in natuurgebieden zonder de bodem eerst te plaggen.

Er is nog nauwelijks praktijkervaring met het combineren van steenmeel met kalkproducten. In het geval van gewenst snel herstel, een duidelijke verhoging van de bodem-pH, maar een vermoeden van mineralenonbalans en/of P-tekort zou het combineren van een kalkgift (voor snel bufferherstel) met een steenmeelgift (voor langdurige levering van basische kationen, sporenelementen en mogelijk P) een optie

kunnen zijn. Het combineren van een kalkproduct met steenmeel wordt de komende jaren gevolgd op de Ginkel (Loofbos en droge heide) en in het Nationale park de Hoge Veluwe (heischraal grasland).

Verminderen N-gehalten in de bodem

Voor het verlagen van de NH_4 -concentratie in bodems van droge heide zijn “standaard” begrazing en maaien beperkt verstorend en ingrijpend. Drukbegrazing, chopperen en plaggen zijn sterk verstorend en intensief. Al deze vormen van het afvoeren van voedingsstoffen zijn veel gebruikte maatregelen (zie o.a. Wallis de Vries et al., 2018). Voor al deze maatregelen geldt echter dat het een kwestie van een “lange adem” is, waarbij bij chopperen en plaggen aanvullende maatregelen genomen moeten worden (bekalking) tegen het optreden van een ammoniumpiek (Dorland et al., 2003). Bij al deze maatregelen worden naast stikstof ook andere elementen afgevoerd, waaronder basische kationen en fosfaat. Op plekken met een lage buffering is het daarom verstandig om de bodembuffering aan te vullen, en in de gaten te houden of er geen tekorten aan P ontstaan. Voor de ontwikkeling van soortenrijke vochtige heide kan met plaggen of chopperen in combinatie met bekalken een goede abiotische uitgangssituatie gecreëerd worden (Wallis de Vries et al., 2018). Op locaties die alleen verzuurd zijn maar niet verruigd en vergrast, kan bekalking zonder aanvullende maatregelen in vochtige heide ook een goede maatregel vormen tegen verzuring (Weijters et al., 2018).

Al deze maatregelen kunnen ook ingezet worden om een te groot aandeel van pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) in de vegetatie terug te dringen. Uit Wallis de Vries et al. (2018) blijkt echter dat (druk)begrazing minder effectief is voor het terugdringen van de bedekking met pijpenstrootje dan plaggen of chopperen. Een toename van grassen in de vegetatie van droge heide wordt juist als gunstig gezien als deze bestaat uit een toename van bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*), schapengras (*Festuca filiformis*) en borstelgras (*Nardus stricta*) (Bijlsma et al., 2020). Te sterke dominantie van bochtige smele kan worden voorkomen of verminderd door extensieve begrazing. Op basis van Bijlsma et al. (2020) wordt geadviseerd om in langdurig ongeplagde droge heide met een hoog aandeel dwergstruiken niet te plaggen, chopperen of te maaien.

Dispersielimitatie

Als mogelijke bodemchemische knelpunten zijn weggenomen of niet aanwezig zijn, maar de vegetatieontwikkeling niet volgens verwachting verloopt, kan dispersie een knelpunt vormen. In dat geval wordt geadviseerd om lokaal open plekken te maken (zeker wanneer er een dikke moslaag aanwezig is) en maaisel of zaden van de gewenste soorten op te brengen. In sommige gevallen kan het al voldoende zijn om de zode te openen zodat er kiem-mogelijkheden ontstaan voor soorten in de zaadbank.

2. Materiaal en methode

2.1 Monsternamen

Het te onderzoeken gebied besloeg ca. 82 ha droge en vochtige heide. Met het beschikbare budget was het niet mogelijk om een dergelijk groot oppervlak tot in detail te bemonsteren. Daarom werd gekozen om in principe 1 monster per vier hectare te nemen. Daarnaast werd op basis van de historische kaarten (topoptijdreis) en luchtfoto's (PDOK) onderzocht of er sprake was van veranderd landgebruik (plagstroken, omgevormde bospercelen, etc.) of duidelijk andere vegetatiestructuren (vergrast, opslag van bomen, etc.). Er werd geprobeerd om ook in dergelijke "afwijkende" locaties een monsterpunt te plaatsen. Op 1 november 2021 werd op 25 locaties een bodemmonster genomen (figuur 2.1). De monsters bestonden telkens uit een mengmonster van drie stekers met de bodemguts (\varnothing 3 cm) van de bovenste 10 centimeter van de bodem. Rondom de meetpunten werd de vegetatie globaal beschreven. De bodemmonsters werden bewaard bij 4°C totdat deze geanalyseerd werden door het laboratorium van Onderzoekcentrum B-WARE.



Figuur 2.1. Overzicht van de locaties waar bodemmonsters genomen zijn in de Kampina op een luchtfoto.

Op de mengmonsters van de bodem werden de volgende analyses uitgevoerd:

- Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid;
- Olsen-P (plantbeschikbaar fosfaat) via een olenextractie;
- pH-NaCl en zout-uitwisselbare/beschikbare concentraties (o.a. aluminium, calcium, kalium, magnesium, ammonium en nitraat) via een zoutextractie;
- Cation Exchange Capacity (CEC) en basenverzadiging met een strontiumextractie.

2.2 Labanalyses

Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid

Het vochtpercentage van het verse bodemmateriaal werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal te drogen gedurende 48 uur bij 60°C. Omdat de bakjes precies tot aan de rand werden afgevuld (volume is 40 ml), konden later de concentraties worden omgerekend naar mol per liter bodem. De fractie organische stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het gedroogde bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem.

Olsenextractie

Een Olsenextractie werd uitgevoerd ter bepaling van de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfaat in de bodem (Olsen-P). Hiervoor werd 3 gram droog bodemmateriaal met 60 ml Olsen-extract (0,5 M NaHCO₃ bij pH 8,4) gedurende 30 minuten uitgeschud op een schudmachine bij 105 rpm. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. De concentratie P-Olsen werd hierna bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; Thermo Electron Corporation, ICP-OES iCAP 6000).

Zoutextractie

Bij een natriumchloride(zout)-extractie worden aan het bodemadsorptiecomplex gebonden ionen deels verdrongen door natrium en chloride. Met deze extractie kan onder andere de pH-NaCl, aluminium, calcium, kalium, magnesium, ammonium en nitraatbeschikbaarheid van de bodem bepaald worden. Daarnaast kan op basis van de aluminium/calcium-ratio een goede inschatting gemaakt worden van de buffercapaciteit van de bodem. Voor een zoutextractie werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml 0,2 mol/l natriumchloride (NaCl) toegevoegd. Gedurende 120 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine bij 105 rpm waarna de pH-NaCl werd gemeten met een pH-electrode (HACH HQD). De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard bij 4°C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analyzers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18°C tot verdere analyse. De elementconcentraties werden berekend in µmol per liter bodem.

Strontiumextractie

Met een strontiumextractie werd de concentratie strontium-uitwisselbare ionen bepaald en de basenverzadiging. Hiervoor werd vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 5 gram droog materiaal (minerale bodems) en met 200 ml 0,2 mol/l strontiumchloride (SrCl₂) geschud op een schudmachine bij 105 rpm. Hierna werd de pH gemeten met een pH-electrode (HACH HQD). De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met

salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard bij 4°C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analyzers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18°C tot verdere analyse. De elementenconcentraties werden berekend in µmol per liter bodem. Aan de hand van de hoeveelheid kationen gemeten in deze analyse kan de BV en CEC van de bodem berekend worden.

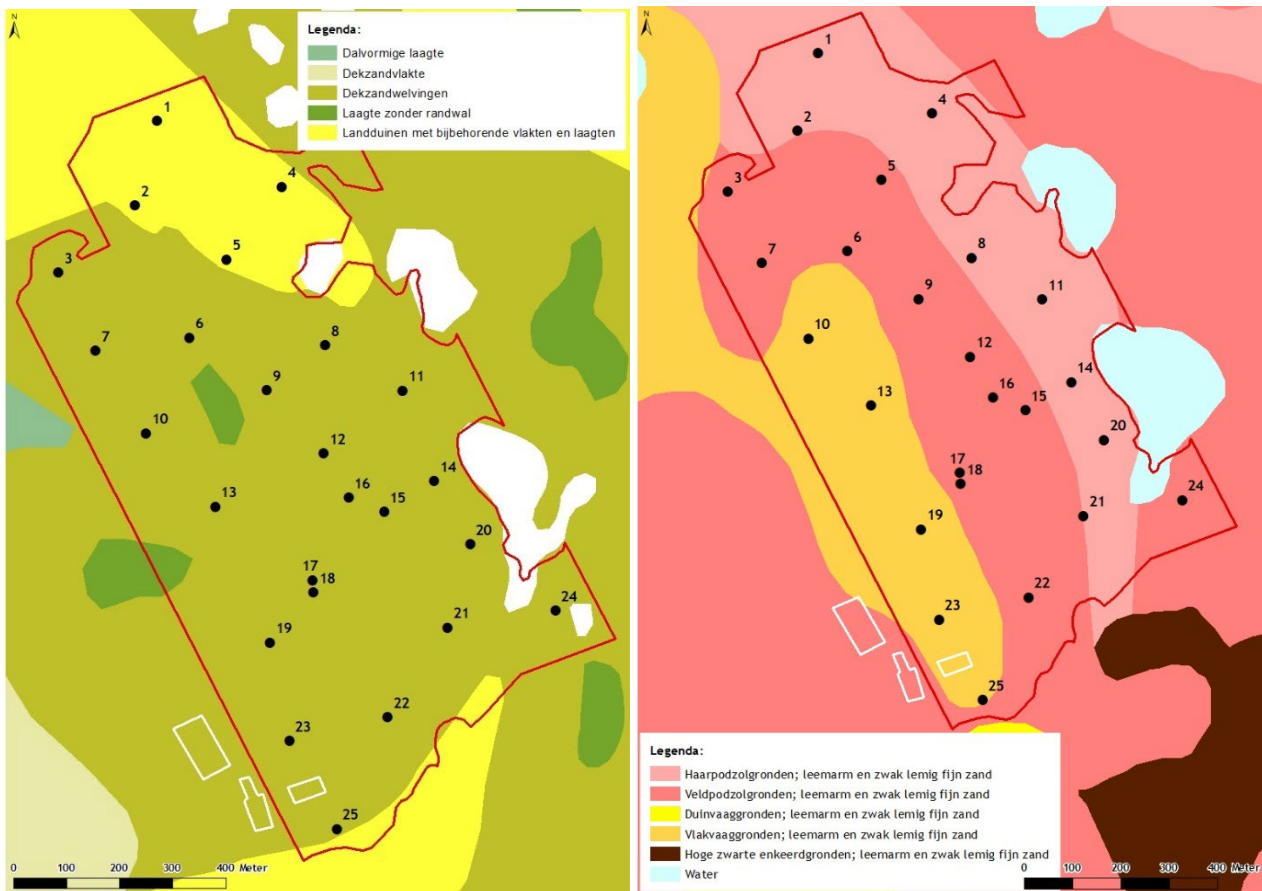
Elementenanalyse (ICP en auto-analyzers)

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S), silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific of, ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur.

3. Resultaten & Advies

3.1 Bodem en vegetatie

Het onderzoeksgebied bestaat bijna geheel uit dekzandwelingen van leemarm of zwak lemig fijn zand (figuur 3.1). In het merendeel van de locaties (1, 4, 11, 14, 15, 20, 21, 22, 24 en 25) bestond de bodemopbouw uit enkele centimeters organisch materiaal op een laag van uitgeloofd grijs zand, met daaronder een zwarte en bruine inspoellaag op geelwit zand vanaf 20-25 cm diepte. In de wat hoger gelegen locatie 21 werd onder de organische toplaag een laag bruin zand aangetroffen met daaronder uitgeloofd grijs zand (figuur 3.2). Op locatie 5 en 12 werd een bruine organisch zandbodem tot 20 cm diepte aangetroffen. Op de wat vochtigere locaties 3, 7, 10, 13, 17, 19 en 23 werd enkele centimeters organisch materiaal aangetroffen op grijs zand.



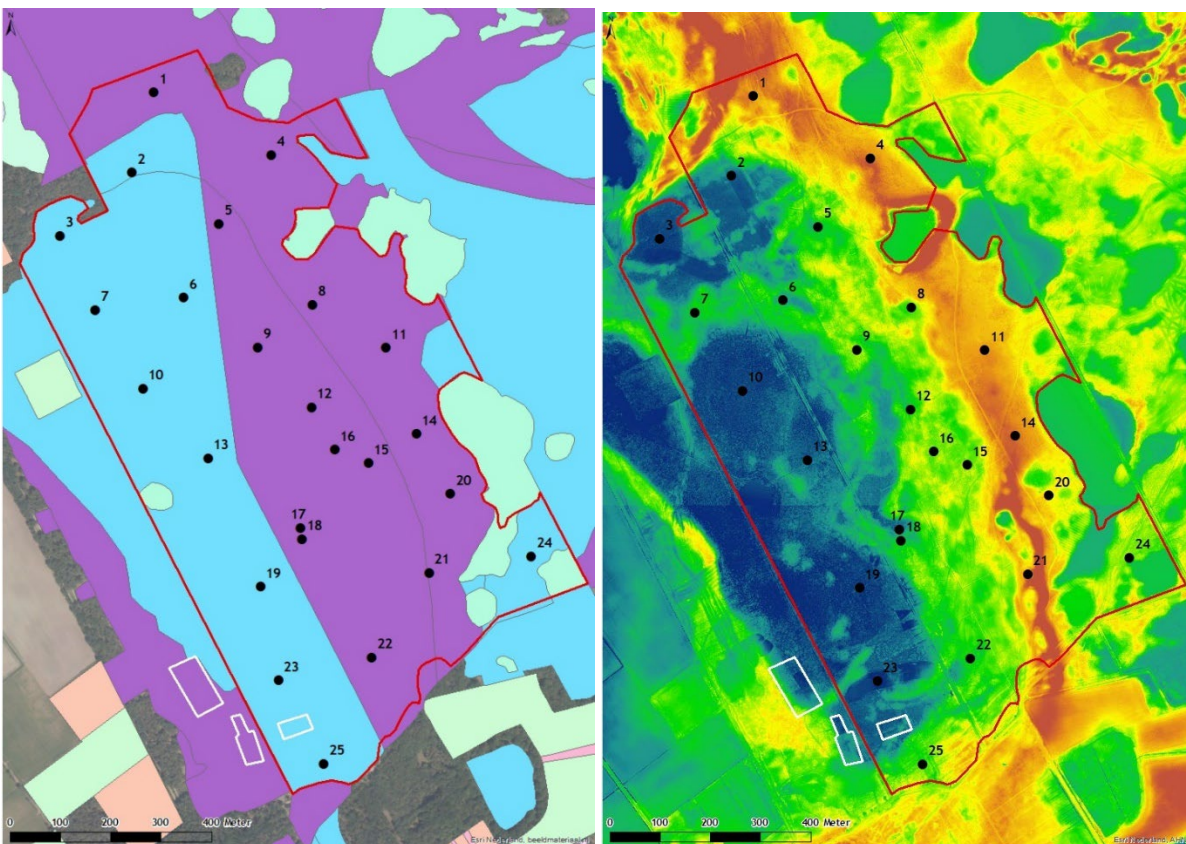
Figuur 3.1. Links de geomorfologische kaart, rechts de bodemkaart van het onderzoeksgebied.



Figuur 3.2. Overzicht van guts van locatie 11 (boven) en locatie 21 (onder).



Figuur 3.3. Overzicht van guts van locatie 12 (boven) en locatie 5 (onder).



Figuur 3.4. Links: overzicht van de beheertypen droge heide (paars gekleurd) en vochtige heide (blauw gekleurd) in het onderzoeksgebied (bron: Natuurmonumenten). Rechts: overzicht van de monsterlocaties op een hoogtekaart.

Op basis van de beheertype-kaart en de vegetatie werden de locaties ingedeeld in droge heide of vochtige heide (bron: Natuurmonumenten, figuur 3.3). Waarbij 15 locaties (1, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 14-16, 18, 20-22 en 25) bij de droge heide werden ingedeeld en 10 locaties (2, 3, 6, 7, 10, 13, 17, 19, 23 en 24) bij de vochtige heide.

In de droge heidelocaties (1, 4, 8, 11, 12, 14, 15, 18, 20, 21 en 25) was Struikhei (*Calluna vulgaris*) de meest voorkomende soort naast Dophei (*Erica tetralix*), Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*), Grove den (*Pinus sylvestris*), Open rendiermos (*Cladonia portentosa*) en lokaal (locatie 4, 11 en 14) andere korstmossen (*Cladonia coccifera* en *Cladonia ramulosa*). Op locaties 5 en 22 was Pijpenstrootje de meest

voorkomende soort naast Struikhei en Dophei. Locatie 14 en 20 werden verzameld in een recent begraasde zone.

Drie locaties (9, 16 en 18) werden in de winter van 2020/2021 geplagd (18) of gechopperd (9 en 16) en waren nog relatief kaal tijdens bemonstering. Ook locaties 12 en 25 werden geplagd in het verleden, namelijk in 2014-2015 (12) en 2009 (25).



Figuur 3.5. Indruk van droge heide locatie 11 en 25 (links- en rechtsboven), begraasde locatie 20 en gechopperde locatie 16 (links- en rechtsonder).

In de vochtige heidelocaties 2, 6, 17 en 24 was Gewone dophei de meest voorkomende soort naast Pijpenstrootje, Struikhei en sporadisch Grove den. Op locatie 3, 7, 10, 13, 16, 19 en 23 was Pijpenstrootje de meest voorkomende soort naast Dophei. Op locatie 3, 10, 13 en 19 stond tijdens bemonstering enkele centimeters water op het maaiveld. Op deze locaties werd ook Wilde gagel (*Myrica gale*) (locatie 13 en 19) of veenmos (locatie 3 en 10) aangetroffen. Van al deze locaties in vochtige heide werden locaties 2, 23 en 24 voor 2006 geplagd en locatie 6 recenter geplagd (2017).



Figuur 3.6. Indruk van vochtige heide locatie 2 en 7 (links- en rechtsboven), locatie 13 met Wilde gagel en locatie 23 (links- en rechtsonder).

3.2 Droge-heidelocaties

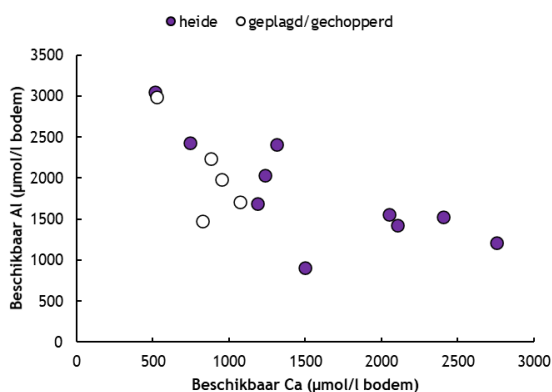
Voor de droge heidedelen binnen het onderzoeksgebied is de doelstelling ontwikkeling van goed ontwikkelde droge heide. In deze paragraaf wordt de bodemchemie van de droge heidedelen van de Kampina vergeleken met gegevens uit goed ontwikkelde heideterreinen in Nederland en Vlaanderen (tabel 1.1). Op basis hiervan kunnen knelpunten benoemd worden die het behoud en de ontwikkeling van een door Struikhei gedomineerde vegetatie met kenmerkende kruiden in de weg staan. De gehele bodemchemische dataset is bijgevoegd als bijlage 1. De bodemchemie is uitgedrukt in μmol per liter bodem.

3.2.1 Bodemchemische resultaten

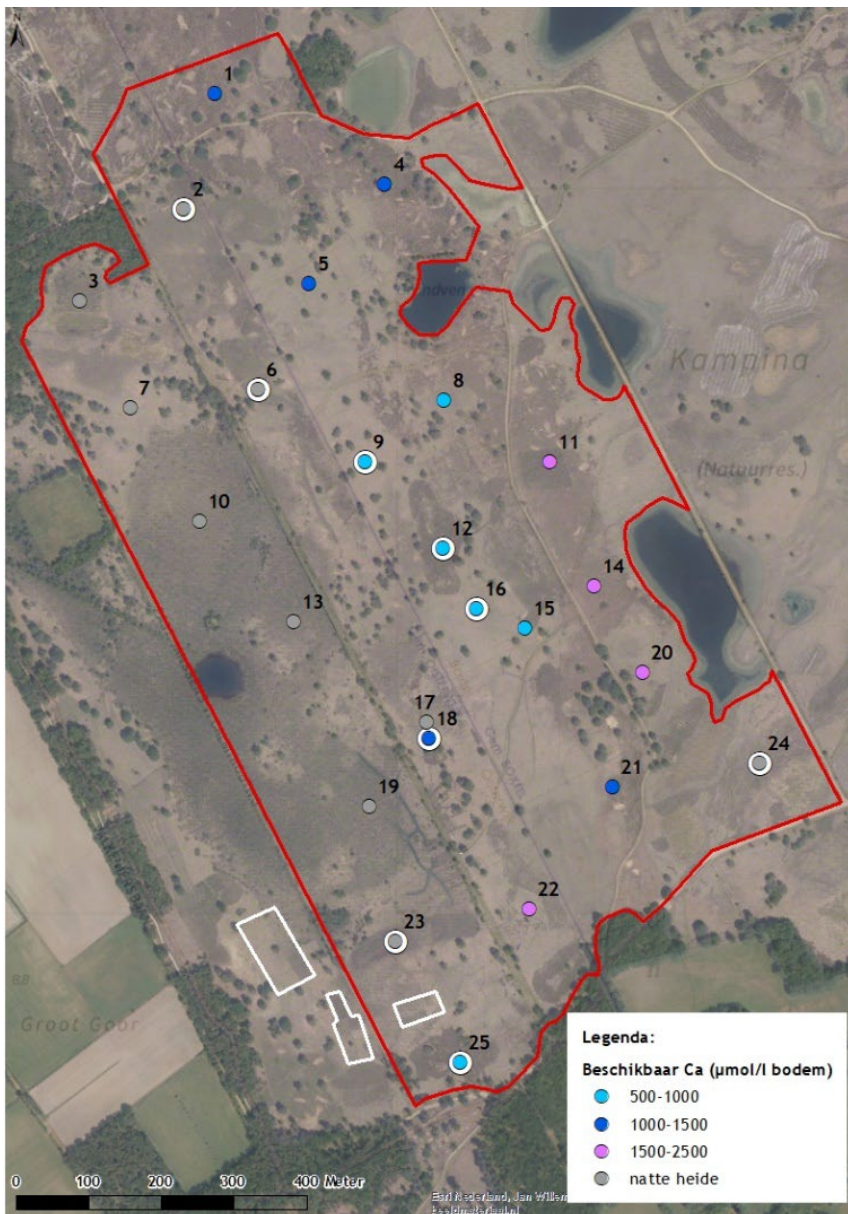
In de droge-heidelocaties werd een organische-stofpercentage in de bodem gemeten van 4% in de recent geplagde locatie 18 tot 17% organische stof op locatie 22. De Cation Exchange Capacity (CEC) varieerde van 32 tot 56 meq/l bodem. De pH-NaCl in de bodem varieerde van 2,9 tot 3,6 en was met uitzondering van locatie 9 aan de lage kant voor de ontwikkeling van droge heide met kenmerkende kruiden (pH-NaCl > 3,5; tabel 1.1). Ook de basenverzadiging in de bodem was over het algemeen laag met percentages onder de 15%. Op locaties 5, 11, 14 en 21 werd een hogere basenverzadiging gemeten van 16 tot 29% (tabel 3.1).

In droge heide met kenmerkende kruiden worden beschikbare Ca-concentraties hoger dan 1500 $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten (tabel 1.1). Van de droge heide locaties in de Kampina voldeden slechts vier locaties aan deze abiotische randvoorwaarde. Dit waren locaties 11, 14, 20 en 22 waar beschikbare Ca-concentraties van 2047 tot 2758 $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten werden (tabel 3.1 en figuur 3.8). Op de andere elf locaties was de Ca-beschikbaarheid aan de lage kant met concentraties onder de 1500 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Met name op de geplagde locaties was de Ca-beschikbaarheid in de bodem laag met 526 tot 951 $\mu\text{mol/l}$ bodem (figuur 3.8). Eenzelfde beeld was zichtbaar voor magnesium: de beschikbare Mg-concentratie was relatief lager op de geplagde/gechopperde locaties met 363-605 $\mu\text{mol/l}$ tegen 351-1579 $\mu\text{mol/l}$ bodem op de niet-geplagde locaties. De beschikbare K-concentraties in de bodem was relatief laag met 271 tot 569 $\mu\text{mol/l}$ bodem en verschilde nauwelijks tussen niet geplagde/gechopperde en geplagde/gechopperde locaties.

In figuur 3.7 is te zien dat de beschikbaarheid van aluminium in de bodem toeneemt naarmate de beschikbaarheid van calcium in de bodem lager wordt. Een belangrijke sturende parameter is de verhouding tussen beschikbaar aluminium en calcium in de bodem (de Al/Ca-ratio). Deze ligt in heide met kenmerkende kruiden vrijwel altijd onder de 2 mol/mol. Op tien van de vijftien locaties was de Al/Ca-ratio gemeten in de bodem voldoende laag (< 2 mol/mol). In locaties 8, 9, 12, 15 en 16 was de Al/Ca-ratio in de bodem te hoog met 2,1 tot 5,9 mol/mol.



Figuur 3.7. De beschikbare Ca-concentratie in de bodem uitgezet tegen de beschikbare Al-concentratie in de bodem in $\mu\text{mol/l}$, waarbij witte stippen geplagd/gechopperde locaties weergegeven en paarse stippen niet geplagde/gechopperde droge heide locaties.



Figuur 3.8. Overzicht van de beschikbare Ca-concentratie in de bodem per droge heidelocatie. Geplagde/gechopperde locaties zijn met witte stip aangegeven.

Een groot deel van de kenmerkende kruiden in heidevegetaties is gevoelig voor hoge ammoniumconcentraties in de bodem. In goed ontwikkelde heide worden daarom over het algemeen ammoniumconcentraties lager dan 200 µmol/l bodem gemeten. In de droge heidelocaties in de Kampina werden over het algemeen lage ammoniumconcentraties in de bodem gemeten van 7 tot 143 µmol/l bodem. Een uitzondering vormde locatie 22 en de in 2020/2021 geplagde/gechopperde locaties 9, 16, 18 met verhoogde NH₄-concentraties in de bodem van 441 tot 661 µmol/l bodem. Ammoniumpieken zijn kenmerkend in de eerste jaren na plaggen of chopperen van zure of verzuurde droge heide (o.a. De Graaf et al., 1998b en Dorland et al., 2003). De nitraatconcentraties in de bodem waren zeer laag met concentraties onder de 25 µmol/l bodem. Een uitzondering vormde locatie 22 (vergrast met Pijpenstrootje) met een NO₃-concentratie van 201 µmol/l bodem.

In droge heide worden plantbeschikbare fosfaatconcentraties (Olsen-P) gemeten van 100-400 µmol/l bodem. Op het merendeel van de locaties in de Kampina was de Olsen-P concentratie in de bodem niet

te hoog voor droge heide met concentraties van 223 tot 580 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P. Op locaties 1 en 21 werden relatief hoge fosfaatconcentraties in de bodem gemeten van 943 en 1063 $\mu\text{mol/l}$ bodem.

Tabel 3.1. Overzicht belangrijkste bodemchemische parameters per droge heide locatie. Organisch stof in procenten, zoutextractie (0,2 M NaCl) met concentraties in $\mu\text{mol/l}$ bodem, basenverzadiging (BV) in procenten, cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem en Olsen-P in $\mu\text{mol/l}$ bodem. Groen= binnen range, oranje = buiten range en rood = ver buiten range streefconcentraties tabel 1.1.

locatie	beheer	OS %	Zoutextractie							Strontiumextractie		Olsen-P $\mu\text{mol/l}$
			pH	Ca	K	Mg	Al/Ca-ratio	NO ₃	NH ₄	BV %	CEC meq/l	
				$\mu\text{mol/l}$			mol/mol		$\mu\text{mol/l}$			
1		9	2,9	1314	464	744	1,8	6	86	13	49	943
4		7	3,0	1233	276	575	1,7	3	46	11	46	451
5		7	3,0	1187	451	569	1,4	4	135	16	49	360
8		8	3,2	743	441	537	3,3	3	75	7	43	457
9	gechopperd 2020-2021	7	3,6	526	413	397	5,7	10	508	5	46	502
11		6	3,1	2758	271	1579	0,4	3	31	21	55	357
12	gechopperd 2014-2015	8	3,2	951	335	465	2,1	2	7	15	44	390
14		8	3,2	2105	537	987	0,7	4	143	29	57	508
15		12	3,0	515	438	351	5,9	3	31	4	52	400
16	gechopperd 2020-2021	8	3,3	879	369	391	2,6	15	661	8	50	580
18	geplagd 2020-2021	4	3,4	1070	570	605	1,6	4	480	14	32	223
20		10	2,9	2403	506	1089	0,6	3	107	11	50	450
21		6	3,4	1500	264	708	0,6	24	76	24	32	1063
22		17	3,1	2047	569	782	0,8	201	441	14	56	484
25	geplagd 2009	7	3,2	823	503	363	1,8	5	32	9	32	373

3.2.2 Knelpunten en advies

Op bijna alle locaties in droge heide waren de pH-NaCl, Ca-beschikbaarheid en/of basenverzadiging in de bodem te laag voor het voorkomen van kenmerkende kruiden (tabel 3.1). Een uitzondering vormde locatie 14 waar enkel de pH-NaCl aan de lage kant was. Op deze locatie zijn bufferherstelmaatregelen niet direct nodig. In locaties 1, 4, 8, 11, 12, 15, 20, 21 en 25 wordt geadviseerd de bodembuffering te verhogen. Vanwege de relatief lage beschikbare kaliumconcentraties en soms ook lage magnesiumconcentraties (12, 15 en 25) in de bodem wordt geadviseerd om een steenmeel te gebruiken (10 ton/ha) zoals Soilfeed. Op locatie 15 en 25 werden zeer lage beschikbare Ca- en Mg-concentraties in de bodem gemeten. Op deze locaties kan als experiment ook een combinatie van kalk (1 ton/ha) met steenmeel (Soilfeed; 10 ton/ha) uitgetest worden. Er is nog nauwelijks praktijkervaring met het combineren van steenmeel met kalkproducten, bij toepassing wordt geadviseerd om dit kleinschalig uit te voeren en goed te monitoren.

Op locatie 5 en 22 was Pijpenstrootje de meest voorkomende soort. Ook in deze twee locaties vormt de bodembuffering (lage pH, beschikbare Ca-concentratie en basenverzadiging) een knelpunt voor het voorkomen van kenmerkende kruiden. Daarnaast werd op locatie 22 ook een verhoogde ammoniumconcentratie in de bodem gemeten. Als de vergassing op deze locaties als een knelpunt wordt gezien, wordt geadviseerd om het beheer te intensiveren of te begrazen. Als de vegetatie wat meer open is geworden, kan gedacht worden aan bufferherstel met steenmeel (10 ton Soilfeed/ha). Op locatie 22 kan ook gedacht worden aan plaggen met aanvullend bekalken (2 ton/ha).

Locatie 9, 16 en 18 werden recent geplagd of gechopperd. In deze locaties vormt zowel de bodembuffering als de hoge ammoniumconcentraties in de bodem een knelpunt. Voor deze locaties wordt geadviseerd om te bekalken met 2 ton kalk/ha om de bodembuffering te herstellen en een ammoniumpiek te voorkomen.

Daarnaast wordt geadviseerd om maaisel van een goed ontwikkelde heide met kenmerkende kruiden op te brengen.

Tabel 3.2. Overzicht herstelmaatregelen per locatie.

locatie	kenmerk	advies
1	heide	10 ton Soilfeed/ha
4	heide	10 ton Soilfeed/ha
5	vergrast	beheer intensiveren of begrazen, daarna bufferherstel (10 ton Soilfeed/ha)
8	heide	10 ton Soilfeed/ha
9	gechopperd	2 ton kalk/ha
11	heide	10 ton Soilfeed/ha
12	heide	10 ton Soilfeed/ha
14	heide	geen bodem herstelmaatregelen
15	heide	10 ton Soilfeed/ha, eventueel in combinatie met 1 ton kalk/ha
16	gechopperd	2 ton kalk/ha
18	geplagd	2 ton kalk/ha
20	heide	10 ton Soilfeed/ha
21	heide	10 ton Soilfeed/ha
22	vergrast	plaggen met aanvullende bekalking (2 ton/ha)
25	heide	10 ton Soilfeed/ha, eventueel in combinatie met 1 ton kalk/ha

3.3 Vochtige heidelocaties

Voor de vochtige heide delen binnen het onderzoeksgebied is de doelstelling ontwikkeling van goed ontwikkelde vochtige heide en de instandhouding en uitbreiding van de populatie gentiaanblauwtjes. In deze paragraaf wordt de bodemchemie van de droge vochtige delen van de Kampina vergeleken met gegevens uit goed ontwikkelde heideterreinen in Nederland en Vlaanderen (tabel 1.1). Op basis hiervan kunnen knelpunten benoemd worden die het behoud en de ontwikkeling van een vochtige heide met klokjesgentiaan in de weg staan. De gehele bodemchemische dataset is bijgevoegd als bijlage 1. De bodemchemie is uitgedrukt in μmol per liter bodem.

3.3.1 Bodemchemische resultaten

In de vochtige heide locaties varieerde de organische-stofpercentage sterk van slechts 3% op locatie 6 (geplagd<2006) tot 19% op locatie 17. Voor de CEC (Cation Exchange Capacity) werd een vergelijkbaar beeld gevonden, waarbij op locatie 6 een lage CEC gemeten werd van 18 meq/l bodem en op locatie 17 de hoogste CEC met 59 meq/l bodem. De basenverzadiging in de bodem was op bijna alle locaties (zeer) laag met percentages van slechts 9 tot 16% (tabel 3.3). Een uitzondering vormde locaties 6 en 7 met een hogere basenverzadiging in de bodem van 20 en 28%. Voor de ontwikkeling van vochtige heide wordt een basenverzadiging van 30% gehanteerd en een pH-NaCl hoger dan 3,5 (tabel 1.1). In het merendeel van de locaties was de pH-NaCl in de bodem aan de lage kant met 3,1 tot 3,5. Op locaties 10, 19 en 23 was de pH-NaCl hoger met 3,6 en 3,7.

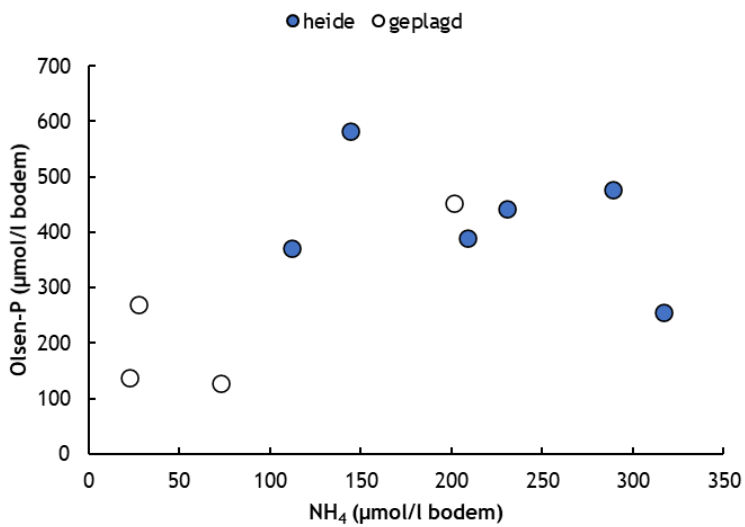
De beschikbare Ca-concentratie in de bodem was, met uitzondering van locatie 6 en 7, (veel) te laag voor ontwikkeling van vochtige heide met concentraties van 564 tot 1648 $\mu\text{mol/l}$ bodem (tabel 3.3 en figuur 3.9). In goed ontwikkelde vochtige heide werd een Ca-beschikbaarheid hoger dan 2000 $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten (tabel 1.1). In locatie 6 en 7 waren de Ca-concentraties in de bodem hoog met 2391 en 3390 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Een belangrijke sturende parameter is de verhouding tussen beschikbaar aluminium en calcium in de bodem (de Al/Ca-ratio). Als deze hoger is dan 2, kan aluminium toxisch worden voor planten. Van de tien locaties waren er drie (locatie 13, 17 en 23) met een te hoge Al/Ca-ratio in de bodem van 2,2 tot 3,8 mol/mol. In de andere zeven locaties was de Al/Ca-ratio in de bodem laag (0,2 tot 1,6 mol/mol).

In goed ontwikkelde vochtige heide worden over het algemeen ammoniumconcentraties lager dan 200 $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten. In de vochtige heidelocaties in de Kampina werden over het algemeen lage tot licht verhoogde ammoniumconcentraties in de bodem gemeten van 23 tot 317 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Met name in geplagde locaties 6, 23 en 24 was de concentratie NH_4 in de bodem zeer laag (23 tot 73 $\mu\text{mol/l}$ bodem; figuur 3.10). De nitraatconcentraties in de bodem waren op alle locaties zeer laag met concentraties onder de 30 $\mu\text{mol/l}$ bodem.

In vochtige heide worden plantbeschikbare fosfaatconcentraties (Olsen-P) gemeten van 100-300 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Op zes van de tien locaties was de Olsen-P concentratie in de bodem aan de hoge kant voor vochtige heide met 372 tot 582 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Met name in de geplagde locaties werden lagere Olsen-P concentraties gemeten van 128 tot 270 $\mu\text{mol/l}$ bodem.



Figuur 3.9. Overzicht van de beschikbare Ca-concentratie in de bodem per natte heide locatie, geplagde locaties zijn met witte stip aangegeven.



Figuur 3.10. De ammonium (NH_4) en plantbeschikbare fosfaat (Olsen-P)-concentratie in de bodem in $\mu\text{mol/l}$ bodem, waarbij witte stippen geplagde locaties weergeven en blauwe stippen niet geplagde vochtige heide locaties.

Tabel 3.3. Overzicht belangrijkste bodemchemische parameters per vochtige heide locatie. Organisch stof in procenten, zoutextractie (0,2 M NaCl) met concentraties in $\mu\text{mol/l}$ bodem, basenverzadiging (BV) in procenten, cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem en Olsen-P in $\mu\text{mol/l}$ bodem. Groen= binnen range, oranje = buiten range en rood = ver buiten range streefconcentraties tabel 1.1.

locatie	beheer	OS %	Zoutextractie							Strontiumextractie		Olsen-P $\mu\text{mol/l}$
			pH	Ca	K	Mg	Al/Ca-ratio	NO ₃	NH ₄	BV	CEC	
				$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	mol/mol	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	%	meq/l	
2	geplagd <2006	12	3,2	1648	450	805	1,1	3	201	9	43	452
3		10	3,4	1361	488	560	1,6	5	144	11	50	582
6	geplagd 2017	8	3,2	2391	437	482	0,4	29	27	20	36	270
7		11	3,2	3390	782	1518	0,2	5	209	28	40	389
10		7	3,6	868	462	467	1,6	6	289	16	37	476
13		8	3,5	564	375	288	3,8	5	317	9	28	256
17		19	3,1	1202	459	740	2,5	3	112	14	59	372
19		7	3,6	1483	249	781	1,6	5	231	12	45	442
23	geplagd <2006	3	3,7	685	349	241	2,2	5	23	12	18	137
24	geplagd <2006	7	3,2	1253	456	597	1,2	4	73	11	37	128

3.3.2 Knelpunten en advies

Met uitzondering van locatie 7 was met name de basenverzadiging, naast de pH-NaCl en Ca-beschikbaarheid op bijna alle locaties veel te laag voor goed ontwikkelde vochtige heide (tabel 3.3). Daarnaast werden op circa de helft van de locaties te hoge ammonium- en/of fosfaatconcentraties in de bodem gemeten. In vochtige heide heeft bufferherstel via aanvoer van (licht) gebufferd grondwater de voorkeur (via hydrologisch herstel of 'catchment liming'). Op basis van de hoogtekaart betreft het inzigsgebied de hoge rug waar monsterpunten 1, 4, 11, 14 en 21 op gelegen zijn. Geadviseerd wordt om voor deze toepassing het inzigsgebied te bekalken met 2 ton kalk/ha. Vanwege de nog relatief hoge Mg-concentraties in de bodem is toediening van bufferstoffen met enkel Ca voldoende. Als dit geen optie is kan gedacht worden aan herstel van de bodembuffering door middel van steenmeel of een kalkproduct. Omdat in dit gebied uitbreiding en behoud van de populatie gentiaanblauwtjes en daarmee de klokjesgentiaan één van de doelstellingen is, kan een snelwerkend product als kalk de voorkeur hebben boven een langzaam werkend product als steenmeel. In het gebied is eerder een experiment uitgevoerd met naar alternatieven voor plaggen voor natte heide (Wallis de Vries et al., 2018). Hierin zijn de effecten van drukbegrazing, chopperen en niks doen al dan niet in combinatie met bekalken uitgezet tegen de effecten van plaggen met en zonder bekalking. Uit dit onderzoek bleek dat alleen plaggen en chopperen leidden tot een hogere bedekking met rodelijst- en doelsoorten (vaatplanten) en een hogere verzadiging van de plantengemeenschap (Dopheiverbond). Zonder bekalking leidden deze maatregelen tot de ontwikkeling van pioniersoorten van zuurdere milieus, terwijl bekalking basenminnende soorten zoals Klokjesgentiaan stimuleerde. Bekalking (2 ton dologran/ha) leidde alleen in combinatie met drukbegrazing tot lichte stijging van verzuuringsindicatoren.

Voor vochtige heide locaties 2, 6, 17 en 24, waarbij Dophei de meest voorkomende soort was, wordt geadviseerd om de bodembuffering te verhogen door 2 ton kalk/ha (of 10 ton Soilfeed/ha) op te brengen. Vanwege de nog relatief hoge Mg-concentraties in de bodem is toediening van bufferstoffen met enkel Ca voldoende. Op de andere locaties was Pijpenstrootje de meest voorkomende soort met lokaal Wilde gagel (locatie 13 en 19). Als de vergrassing/verruiging op deze locaties als een knelpunt wordt gezien, wordt geadviseerd om kleinschalig te plaggen of chopperen met aanvullende bekalking (2 ton/ha). Locatie 23 werd al eens geplagd in het verleden. Voor deze locatie wordt geadviseerd om alsnog te bekalken met 2 ton kalk/ha.

Tabel 3.4. Overzicht alternatieve herstelmaatregelen als catchment liming geen optie is.

locatie	vegetatie	advies
2	vn. dophei	2 ton kalk/ha of 10 ton Soilfeed/ha
3	vn. pijpenstrootje	plaggen/chopperen met aanvullende bekalking (2 ton/ha)
6	vn. dophei	2 ton kalk/ha of 10 ton Soilfeed/ha
7	vn. pijpenstrootje	plaggen/chopperen met aanvullende bekalking (2 ton/ha)
10	vn. pijpenstrootje	plaggen/chopperen met aanvullende bekalking (2 ton/ha)
13	vn. pijpenstrootje en gagel	plaggen/chopperen met aanvullende bekalking (2 ton/ha)
17	vn. dophei	2 ton kalk/ha of 10 ton Soilfeed/ha
19	vn. pijpenstrootje en gagel	plaggen/chopperen met aanvullende bekalking (2 ton/ha)
23	zeer open met vn. pijpenstrootje	2 ton kalk/ha
24	vn. dophei	2 ton kalk/ha of 10 ton Soilfeed/ha

3.4 Samenvattend

Uit dit bodemchemisch onderzoek is gebleken dat zowel in de droge als vochtige heide locaties in de Kampina de bodembuffering (basenverzadiging, bodem-pH en/of beschikbare Ca-concentratie) te laag is en een knelpunt vormt voor de gewenste doelvegetatie. Daarnaast werden lokaal ook verhoogde ammonium- en fosfaatconcentraties in de bodem gemeten.

Om de bodembuffering te verbeteren kan in de droge heide gedacht worden aan het opbrengen van steenmeel, een kalkproduct of een combinatie hiervan. Er is nog nauwelijks praktijkervaring met het combineren van steenmeel met kalkproducten, bij toepassing wordt geadviseerd om dit kleinschalig uit te voeren en goed te monitoren. In recent geplagde situaties wordt geadviseerd om aanvullend te bekalken om een ammoniumpiek te voorkomen. Het nemen van bufferherstelmaatregelen op de droge heide delen kan ook een positieve invloed hebben op de vochtigere heidedelen, met name wanneer er gebruikt gemaakt wordt van kalkproducten. De verwachting is dat 'catchment liming' in dit geval positief uitpakt voor de vochtigere delen van dit gebied. Naar verwachting heeft 'catchment liming' door middel van alleen steenmeeltoediening (Soilfeed) geen of onvoldoende effect op de verhoging van de pH en basenverzadiging op plekken die door het water uit dit 'catchment' gevoed worden, omdat het langer duurt voordat er basische kationen uit dit steenmeel vrij komen en doordat er ook geen bicarbonaat uit het steenmeel uitloopt.

In vochtige heide heeft bufferherstel via de aanvoer van (licht) gebufferd grondwater de voorkeur. Als dit geen optie is kan gedacht worden aan bufferherstel met kalk of steenmeel. In dit gebied is behoud en uitbreiding van het gentiaanblauwtje één van de doelstellingen. In dat geval heeft snel herstel met kalk mogelijk de voorkeur boven langzaam herstel met steenmeel. In sterk vergraste zones kan gedacht worden aan kleinschalig plaggen of chopperen met aanvullende bekalking voor ontwikkeling van vochtige heide.

Literatuur

- Bobbink, R., Bergsma, H.L.T., Den Ouden, J & Weijters, M.J. (2017). Bodemverzuring in het droog zandlandschap. na het zuur geen zoet? Landschap, special issue Droog zandlandschap.
- Bobbink, R., Bergsma, H.L.T., Den Ouden, J & Weijters, M.J. (2017). Bodemverzuring in het droog zandlandschap. na het zuur geen zoet? Landschap, special issue Droog zandlandschap.
- De Graaf, M. C. C., P. J. M. Verbeek, R. Bobbink & J. G. M. Roelofs (1998b). Restoration of species-rich dry heaths: the importance of appropriate soil conditions. Pag 89-111. Blackwell Science Ltd.
- Dorland, E., Bobbink, R., Messelink, J. H., & Verhoeven, J. T. A. (2003). Soil ammonium accumulation after sod cutting hampers the restoration of degraded wet heathlands. *Journal of Applied Ecology*, 40(5), 804-814.
- Dorland, E., Hart, M. A. C., Vermeer, M. L., & Bobbink, R. (2005). Assessing the success of wet heath restoration by combined sod cutting and liming. *Applied Vegetation Science*, 8(2), 209-218.
- Loeb, R., van der Bij, A., Bobbink, R., Frouz, J., & Diggelen, R. (2011). Ontwikkeling van droge heischrale graslanden op voormalige landbouwgronden. *OBN rapport nr: OBN*.
- van Diggelen, R., H. Bergsma, R.J. Bijlsma, R. Bobbink, A. van den Burg, J. Sevink, J. & M. Weijters (2019). Steenmeel en natuurherstel: een gelukkige relatie of een risicovolle combinatie? Vakblad Natuur Bos Landschap 155, 20-23.
- Verbaarschot, E., Weijters, M. & Bobbink, R. (2020). Bodemchemisch onderzoek ten behoeve van bufferherstel in de Staartse Heide. Onderzoekcentrum B-WARE B.V., Nijmegen. RP-20.059.20.78.
- Vogels, J., R. Loeb, E. Brouwer, R. Felix & M. Scherpenisse, 2017. Optimaliseren van herstelmaatregelen voor habitattypen van droge heide. De stikstofverwijderingspotentie van de gecombineerde maatregel branden en drukkbegrazen. Stichting Bargerveen, Nijmegen.
- Vogels, J., E. Verbaarschot, R. Loeb, M. Weijters, R. Bobbink, H. Bergsma, M. Scherpenisse, P. Verbeek & V. de Jong (2020). Steenmeeltoepassing ten behoeve van herstel biodiversiteit in Het Nationale Park De Hoge Veluwe. Eindrapport monitoring 2015-2019. Stichting Bargerveen, B-WARE, BodemBergsma, Natuurbalans-Limes Divergens, Nijmegen.
- Wallis de Vries, M., K. Huskens, J. Vogels, R. Versluijs, M. Geertsma, J. Kuper, R. Loeb, E. Brouwer & R. Bobbink, 2018. Alternatieven voor plaggen van natte heide - Effecten op middellange termijn. Rapport nr. 2018/OBN221-NZ. VBNE, Driebergen.
- Weijters, M., Smits, L.J.P.M., Verbaarschot, E., & Bobbink, R. (2020). Bodemchemisch onderzoek in (potentiële) leefgebieden van de Zadelsprinkhaan in de provincie Gelderland. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen. Rapportnummer 19.172.20.102

Bijlages

Bijlage 1 Bodemchemische gegevens. OS= organische stofpercentage, V= vochtgehalte, MV= massavolume in kg droog/l verse bodem, BV= basenverzadiging en CEC= cation exchange capacity.

Locatie				Zoutextractie														Strontium		
	OS	V	MV	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC	Olsen-P
	%			µmol/l														ratio	%	meq/l
1	9	20	0,9	2,9	2416	1314	68	464	744	29	5	132	156	42	6	86	1,8	13	49	943
2	12	42	0,7	3,2	1772	1648	55	450	805	23	1	204	149	59	3	201	1,1	9	43	452
3	10	41	0,9	3,4	2151	1361	11	488	560	15	1	235	167	36	5	144	1,6	11	50	582
4	7	18	0,9	3,0	2037	1233	11	276	575	13	1	115	152	34	3	46	1,7	11	46	451
5	7	25	0,9	3,0	1686	1187	4	451	569	7	2	161	149	43	4	135	1,4	16	49	360
6	8	23	0,9	3,2	938	2391	8	437	482	4	1	118	142	27	29	27	0,4	20	36	270
7	11	30	0,8	3,2	715	3390	7	782	1518	15	1	127	136	41	5	209	0,2	28	40	389
8	8	23	0,9	3,2	2431	743	7	441	537	6	1	145	127	18	3	75	3,3	7	43	457
9	7	18	0,9	3,6	2986	526	4	413	397	8	1	123	132	35	10	508	5,7	5	46	502
10	7	45	0,7	3,6	1394	868	4	462	467	6	1	285	173	34	6	289	1,6	16	37	476
11	6	17	1,0	3,1	1214	2758	8	271	1579	6	1	89	145	28	3	31	0,4	21	55	357
12	8	25	0,8	3,2	1983	951	6	335	465	4	1	118	136	28	2	7	2,1	15	44	390
13	8	46	0,7	3,5	2121	564	12	375	288	4	0	226	211	21	5	317	3,8	9	28	256
14	8	19	0,9	3,2	1425	2105	6	537	987	43	2	110	131	29	4	143	0,7	29	57	508
15	12	28	0,8	3,0	3048	515	31	438	351	6	1	124	135	43	3	31	5,9	4	52	400
16	8	21	0,9	3,3	2243	879	4	369	391	8	1	131	125	21	15	661	2,6	8	50	580
17	19	55	0,6	3,1	3029	1202	148	459	740	7	1	285	192	65	3	112	2,5	14	59	372
18	4	16	1,0	3,4	1709	1070	5	570	605	4	1	123	138	21	4	480	1,6	14	32	223
19	7	38	0,9	3,6	2338	1483	16	249	781	7	0	315	299	14	5	231	1,6	12	45	442
20	10	24	0,8	2,9	1528	2403	12	506	1089	11	1	145	133	36	3	107	0,6	11	50	450
21	6	13	1,0	3,4	911	1500	6	264	708	29	4	115	153	25	24	76	0,6	24	32	1063
22	17	34	0,6	3,1	1554	2047	34	569	782	15	2	134	129	73	201	441	0,8	14	56	484
23	3	27	1,1	3,7	1512	685	12	349	241	2	1	244	197	13	5	23	2,2	12	18	137
24	7	24	0,8	3,2	1478	1253	6	456	597	13	1	134	125	26	4	73	1,2	11	37	128
25	7	21	0,9	3,2	1482	823	38	503	363	6	1	117	141	30	5	32	1,8	9	32	373