



BODEMCHEMISCH ONDERZOEK IN DROGE HEIDE EN BOSSEN IN DE MEINWEG EN MAASDUINEN



- Eindrapport -

Opdrachtgever: Staatsbosbeheer Limburg • Auteurs: Evi Verbaarschot, Maaïke Weijters, Ludo Smits
& Roland Bobbink • Projectnummer: PR-20.184 • Rapportnummer: RP-20.184.21.78 •
Datum: 24-05-2022

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: Verbaarschot, E., Weijters, M., Smits, L. & Bobbink, R. (2022). Bodemchemisch onderzoek in de droge heide en bossen in Meinweg en Maasduinen. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen, RP-20.184.21.78.

Opdrachtgever: Staatsbosbeheer Limburg

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

Contactpersoon:
Maaïke Weijters
Tel: 024-2122204
m.weijters@b-ware.eu
www.b-ware.eu



Inhoudsopgave

1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Achtergrond: abiotiek van de droge heide	3
1.3 Mogelijke herstelmaatregelen in droge heide en bossen op zandgrond	5
2. Materiaal en methode	9
2.1 Monsternamen	9
2.2 Analyses	12
3. Resultaten Meinweg	15
3.1 Inleiding	15
3.3 Beknopte vegetatiebeschrijving heide locaties	19
3.4 Bodemchemie van de heide	21
3.5 Bodem- en bladchemie bosvakken	27
4. Hersteladvies droge heide Meinweg	35
4.1 Knelpunten en advies heide	35
4.3 Knelpunten bossen	44
5. Maasduinen (Bergerbos)	47
5.1 Inleiding	47
5.2 Beknopte vegetatiebeschrijving heide locaties	52
5.3 Bodemchemie van de heide	54
5.4 Bodem- en bladchemie bosvakken	70
6. Literatuur en bijlagen	79

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 en 2021) 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., 2014; Van Den Berg et al., 2005). Ook in loofbossen op de hogere zandgronden zijn de effecten van de zwavel- en stikstofdepositie zichtbaar. Ook hier zijn basische kationen op veel plekken uitgespoeld, is de minerale voorraad van de bodem sterk verminderd en is de aluminiumbeschikbaarheid in de bodem sterk toegenomen. Ook de afbraak van strooisel wordt geremd en de omzetting van ammonium naar nitraat. Daarnaast zijn loofbomen onder hoge N-depositie vaak gevoeliger voor pathogenen, vraat, droogte en windval (zie o.a. de Vries et al., 2019).

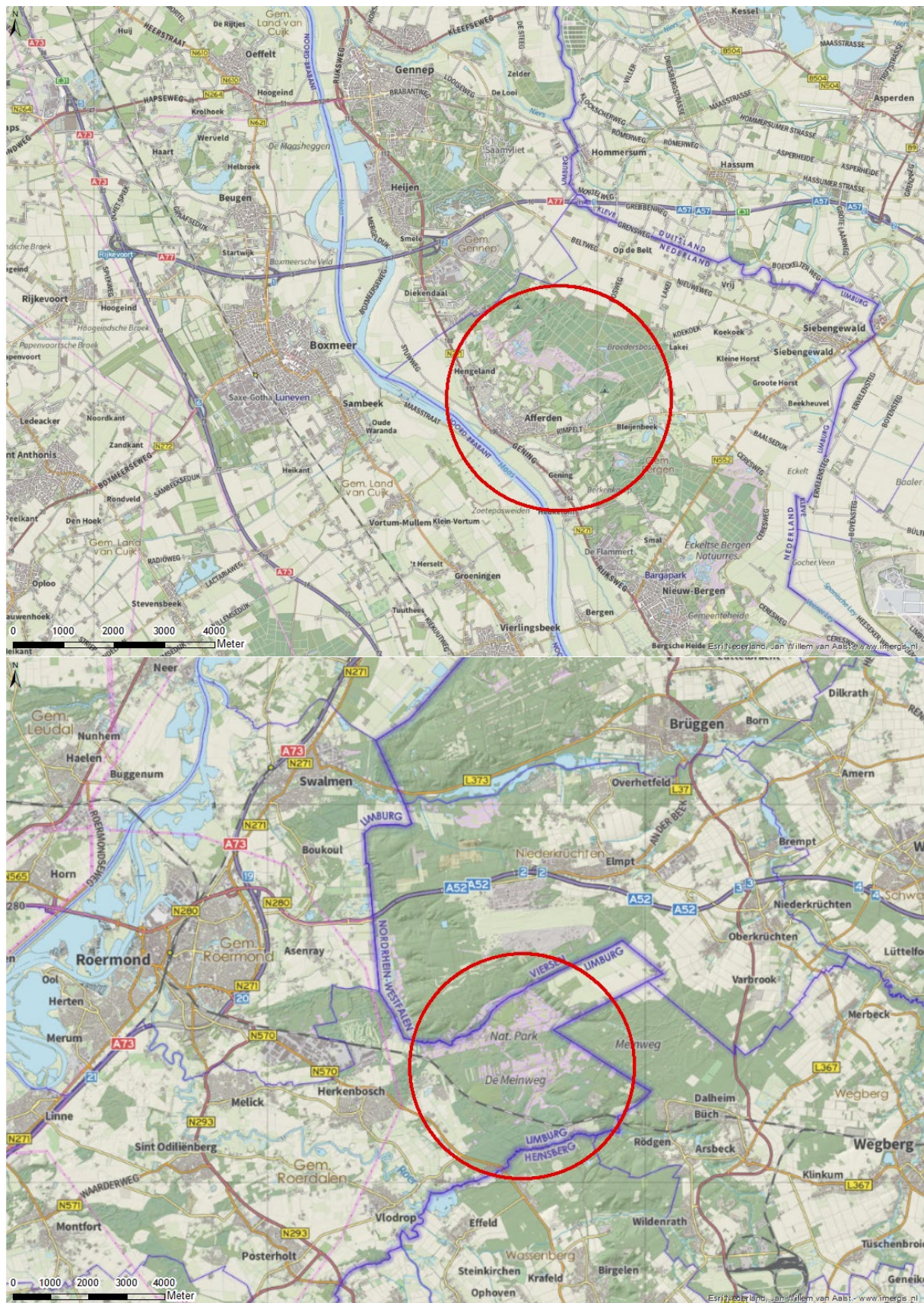
In dit project is Onderzoekcentrum B-WARE door Staatsbosbeheer gevraagd bodem- en plantchemisch onderzoek uit te voeren in de Meinweg en de Maasduinen. De Meinweg is gelegen ten zuidoosten van Roermond en het onderzoeksgebied in de Maasduinen is gelegen ten noorden en zuidoosten van Afferden (Figuur 1.1).

Staatsbosbeheer Limburg vermoed dat de hierboven beschreven negatieve effecten van N-depositie (en S-depositie uit het verleden) ook spelen in de Meinweg en de Maasduinen. Onderzoekcentrum B-WARE heeft in opdracht van Staatsbosbeheer Limburg bodem- en bladchemisch onderzoek uitgevoerd in circa 399 ha droge heide en bossen in deze twee gebieden. Doel van het onderzoek in de droge heide was om:

- De bodemchemische toestand van circa 399 ha droge heide in Meinweg en Maasduinen te bepalen en te vergelijken met gegevens uit goed ontwikkelde droge heide (H4030);
- Knelpunten te formuleren op basis van de bodemchemie die behoud en ontwikkeling van goed ontwikkelde droge heide (H4030) kunnen belemmeren;
- Mogelijke maatregelen te benoemen om de geconstateerde bodemchemische knelpunten op te heffen.

Het onderzoek in de bossen had als doel om:

- Globaal inzicht te krijgen in de bodem- en bladchemie van enkele bospercelen, om zo te bepalen of er knelpunten spelen en er meer onderzoek nodig is.



Figuur 1.1 Overzicht van de ligging van de onderzoeksgebieden (rood omcirkeld) de Maasduinen en de Meinweg in de provincie Limburg.

1.2 Achtergrond: abiotiek van de droge heide

Op basis van de database van B-WARE (GRIP) kon voor enkele voor de heide kenmerkende plantensoorten worden aangetoond aan welke bodemchemische randvoorwaarden moet worden voldaan. De beschreven randvoorwaarden werden vervolgens gebruikt als mogelijk hersteldoel in de verdere rapportage.

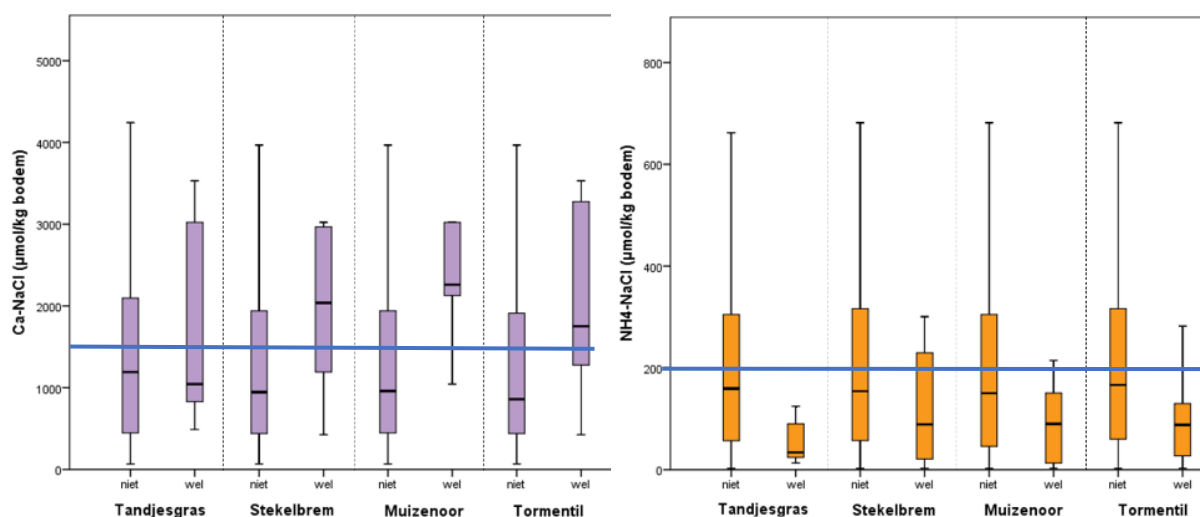
Referentiewaarden gemeten in goed ontwikkelde droge heide

Het behouden en herstellen van de heide met haar kenmerkende planten- en diersoorten is bij veel herstelmaatregelen de hoofddoelstelling. Voor de vegetatie in het droog zandlandschap zijn de beschikbaarheid van nutriënten en de zuurgraad gerelateerde parameters belangrijke sturende factoren (o.a. Bobbink 2008; De Graaf et al., 2009). In deze studie ligt de nadruk op abiotiek van het habitatype Droge heide (H4030).

Binnen de binnenlandse droge heide (*Calluno-Genistion pilosae*) komen in Nederland twee associaties voor, waarvan verreweg de meest voorkomende de associatie van Struikhei en Stekelbrem (20Aa01: *Genisto anglicae-Callunetum*) is. Binnen deze associatie worden op dit moment drie subassociaties onderscheiden, waaronder de typische vorm (20Aa01b: *Genisto anglicae-Callunetum typicum*), de van oorsprong meer soortenrijke heischrale subassociatie (20Aa01d: *Genisto anglicae-Callunetum danthonietosum*) en de korstmosrijke subassociatie op vastgelegde stuifzand (20Aa01a). Steeds vaker wordt - en werd - ook de rompgemeenschap van Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en/of Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*) (20RG1), een sterk gedegradeerde vorm van de droge heidevegetatie, aangetroffen.

Ongeveer 135 vegetatie-opnames (droge heide) uit de GRIP-database (Gemeten Referentiewaarden in Plantengemeenschappen) van B-WARE zijn met ASSOCIA tot op subassociatieniveau of rompgemeenschap ingedeeld. Aangezien per vegetatie-opname ook bodemchemische gegevens bekend zijn, is zo een overzicht van de bodemchemie per (sub)associatie of rompgemeenschap verkregen. Aan de hand van deze analyse zijn bodemchemische randvoorwaarden opgesteld voor het voorkomen van genoemde vegetatie-eenheden (Tabel 1.1). Hierbij bleek dat pH-zout, de concentratie plantbeschikbaar Ca, de Al/Ca-ratio en de NH₄-concentratie de belangrijkste sturende parameters zijn voor het al dan niet voorkomen van deze vegetatie-eenheden. Naast de in Tabel 1.1 genoemde parameters zal ook de voor planten beschikbare fosforconcentratie voldoende laag moeten zijn voor droge heide (150-400 µmol/kg bodem).

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*), Tormenit (*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). De groen gearceerde referentiewaarden in Tabel 1.1 worden als doelstelling gebruikt in deze rapportage.



Figuur 1.2 Beschikbare calcium- en ammoniumconcentratie (zoutextractie; $\mu\text{mol/kg}$ bodem) in de bodem van vegetatie-opnamen waar Tandjesgras, Stekelbrem, Muizenoor en Tormetil 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 een soortenarme en soortenrijke vorm van twee subassociaties van habitatype H4030, waarbij de pH (pH-NaCl), de aluminiumcalciumratio in mol/mol (Al/Ca-ratio), de beschikbare calcium- (Ca-NaCl) en ammoniumconcentratie (NH_4 -NaCl) gemeten is in een zoutextractie ($\mu\text{mol/l}$ bodem). Daarnaast is de typische subassociatie van Struikhei en stekelbrem onderverdeeld in een soortenarme- en goed ontwikkelde variant.

		pH-NaCl	Ca-NaCl ($\mu\text{mol/l}$ bodem)	Al/Ca- ratio	NH_4 -NaCl ($\mu\text{mol/l}$ bodem)
Associatie van Struikhei en stekelbrem (20Aa01)	Genisto anglicae-Callunetum (20Aa01)				
Typische subassociatie	Genisto anglicae-Callunetum typicum (20Aa01b)	2,6-4,3	400-2300	2-10	<250
soortenrijke heischrale subassociatie	Genisto anglicae-Callunetum danthonietosum (20Aa01d)	3,5-4,3	1500-4000	<2 (2,5)	<200
Vergraste rompgemeenschap	Rompgemeenschap van Pijpenstrootje en Bochtige smele (20RG1)	3,0-3,5	<1000	2-6	150-600 (1300)
Onderverdeling typische subassociatie van Struikhei en stekelbrem (20Aa01b)	Onderverdeling Genisto anglicae-Callunetum typicum 20Aa01b				
Typische subassociatie-zonder kruiden, zeer soortenarm	20Aa01b_zeer soortenarm	2,6-3,5	400-2000	2-10	<300
Typische subassociatie-met kenmerkende kruiden, goed ontwikkeld	20Aa01b_goed ontwikkeld	>3,5	>1500	<2	<200

1.3 Mogelijke herstelmaatregelen in droge heide en bossen op zandgrond

In veel gevallen is de biodiversiteit van de droge heide (H4030) 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. In veel gevallen is de bodem in droge heideterreinen in Nederland vermest en verzuurd, 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.

Bufferherstel

In droge heide is herstel van de bodembuffering door middel van steenmeel of een kalkproduct een optie. 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 Eifelgold) of calcium-, magnesium- en fosforleverende mineralen met een geringe carbonaat-fractie (Biolit). Meer informatie over steenmelen staat beschreven in Weijters et al., 2018.

In de droge 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 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 werd geen 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(3) ton/ha als veilige dosering gehanteerd, behalve in situaties waar de CEC zeer laag is.

Voordeel van kalkproducten in vergelijking met silicaatsteenmeel is dat de pH van de bodem verhoogd wordt en het bodemcomplex snel opgeladen wordt (met Ca en Mg), waardoor ook de omzetting van ammonium naar nitraat gestimuleerd kan worden en de aluminiumbeschikbaarheid snel afneemt. Nadeel van kalkproducten vergeleken met steenmelen is dat kalkproducten enkel calcium en soms

ook magnesium bevatten. Spore-elementen zoals mangaan en zink komen in deze producten nauwelijks voor, net als kalium. Bij een ernstig tekort aan kalium in de bodem is een kalkproduct dus niet de logische keuze. 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 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), in het Nationale park de Hoge Veluwe (heischraal grasland) en op de Strabrechtse heide (droge heide).

Verminderen N gehaltes in de bodem

Voor het verlagen van de NH_4 -beschikbaarheid in bodems van droge heide zijn “standaard” begrazing, maaien en drukkubgrazing beperkt verstorend. Chopperen is 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 onder zure of verzuurde omstandigheden 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 te lage buffering is het daarom verstandig om ook de bodembuffering aan te vullen, en in de gaten te houden of er geen tekorten aan P ontstaan (in bijvoorbeeld grote oude plagvelden).

Al deze maatregelen kunnen ook ingezet worden om een te groot aandeel van pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) in de vegetatie terug te dringen. Een toename van grassen in de vegetatie 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 naar verwachting is, 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 of uit de directe omgeving.

Overwegingen voordat overgegaan wordt tot maatregelen

De in deze rapportage beschreven knelpunten zijn gebaseerd op metingen van de bodemchemie, met als doelstelling “goed ontwikkelde droge heide met kenmerkende kruiden”. Op basis van deze metingen worden een aantal maatregelen voorgesteld, die op de bemonsterde locaties overwogen kunnen worden. Bij het maken van een uitvoeringsplan adviseren we om ook andere belangrijke aspecten mee te nemen. Voorbeelden van vragen die men kan stellen alvorens tot uitvoering over te gaan zijn de volgende:

- Zijn er waardevolle populaties in het terrein aanwezig waardoor er urgentie tot het nemen van maatregelen ontstaat, of juist terughoudendheid gevraagd wordt?

- Zijn er voor het terrein kenmerkende gradiënten verdwenen die weer geaccentueerd kunnen worden door een wat hogere of lagere dosering van bijvoorbeeld steenmeel of kalk te gebruiken?
- Conflicteren de hier beschreven maatregelen met andere doelstellingen binnen het gebied?
- Op welke schaal voer ik de beoogde maatregelen uit?

Omdat de hier beschreven maatregelen (kalk en steenmeel) nog volop in ontwikkeling zijn wordt tevens geadviseerd om deze zeker niet gebiedsdekkend toe te passen, maar ook terreindelen onbehandeld te laten. Hierdoor ontstaat de ook de mogelijkheid om de effectiviteit van de genomen maatregelen goed te kunnen volgen.

Maatregelen in bossen

Ook voor droge loofbossen op zandgrond zijn er nog geen kant en klare effectieve herstelmaatregelen. Uit een langlopende experiment (30 jaar na toediening) in een grove dennenbos bleek een kalkgift van 6 ton/ha of hoger tot sterke verruiging van de vegetatie te leiden en de mesofauna negatief te beïnvloeden (Bobbink et al., 2018). Met lichte bekalking (tot en met 3 ton/ha) werden ook 30 jaar na toediening enkele aspecten van bodemverzuring effectief opgeheven (Bobbink et al., 2018). In het verleden werd bekalking in bossen geregeld toegepast, maar enkel met een productiedoelstelling. Er bestaan nog duidelijke kennislacunes over de (on)mogelijkheden van herstel van “natuur” bossen met steenmeel. Sinds 2016 wordt onderzoek uitgevoerd naar steenmeel als herstelmaatregel in eikenbossen op zandgronden, maar deze onderzoeken lopen voor een bossysteem gezien nog vrij kort. Uit deze proeven komen overigens voornamelijk positieve effecten, met name op de bladchemie van eikenbomen (de Vries et al., 2019). Ook wordt onderzoek gedaan naar herstel van loofbossen door middel van de aanplant van rijkstrooiselsoorten (Desie et al., 2020). Hieruit is gebleken dat enkel de aanplant van rijkstrooiselsoorten in sterk verzuurde zandige bodems niet voldoende is om het bossysteem te verbeteren. Momenteel worden er (praktijk)proeven gevolgd in droge loofbossen op zandgronden waarin verschillende soorten steenmeel worden getest, de toepassing van schelpenkalk en een combinatie van steenmeel met schelpenkalk.

1.4 Leeswijzer

In deze rapportage staat in H2 de gebruikte methodiek beschreven. In H3 staan de resultaten van het bodemchemisch onderzoek in de bemonsterde heidedelen van de Meinweg beschreven, gevolgd door het bodem- en bladchemisch onderzoek in enkele bospercelen. In H4 staan de geconstateerde knelpunten en mogelijke hersteladviezen voor de heide beschreven, gevolgd door de geconstateerde knelpunten in de bospercelen. In H5 staan de resultaten van het bodemchemisch onderzoek van de bemonsterde heidedelen van de Maasduinen beschreven, gevolgd door de daar geconstateerde knelpunten en adviezen. Verder staat in H5 de resultaten van het bodem- en bladchemisch onderzoek in enkele bospercelen in de Maasduinen beschreven met de geconstateerde knelpunten. De rapportage wordt afgesloten met de gebruikte literatuur en bijlagen in H6.

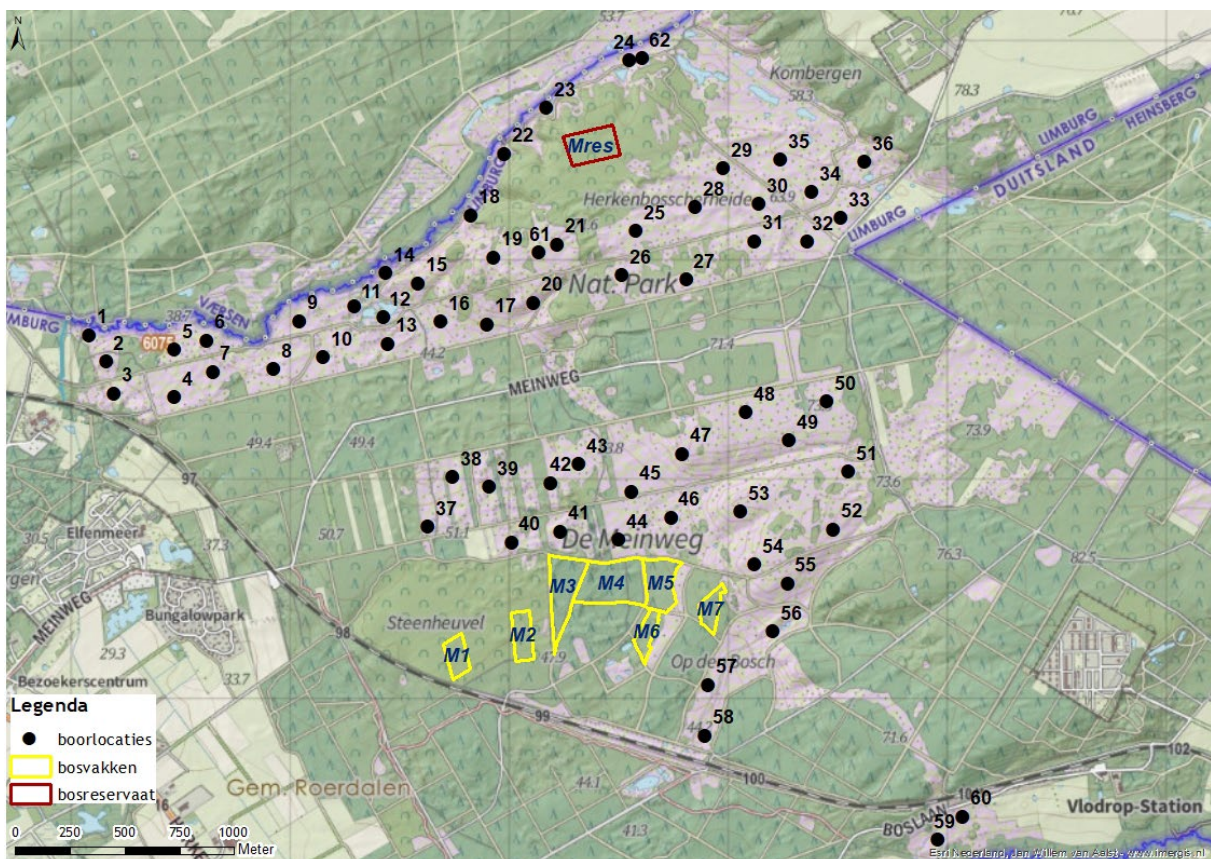
2. Materiaal en methode

2.1 Monsternamen

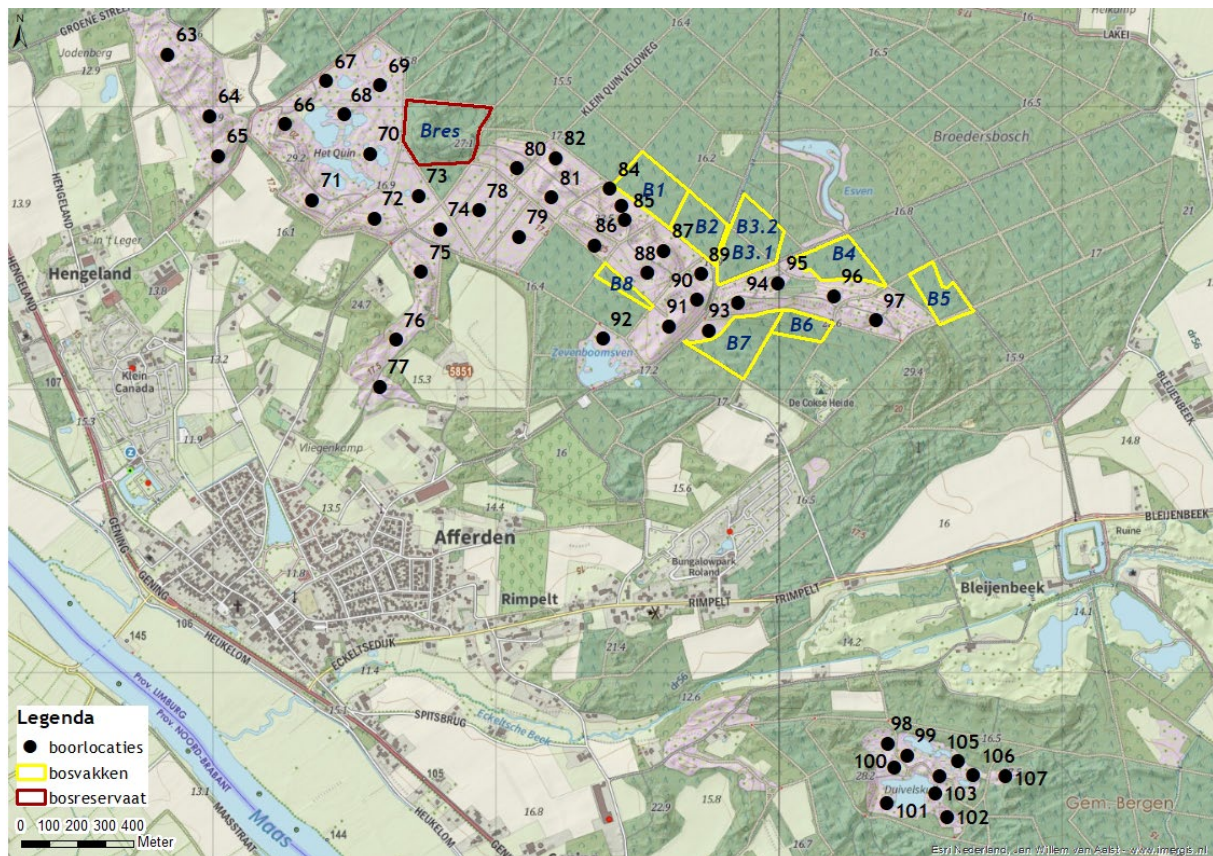
Droge heide

Het te onderzoeken gebied besloeg ca. 399 ha droge 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 één 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 (oude akkertjes, omgevormde bospercelen, plagstroken) of duidelijk andere vegetatiestructuren (vergrast, opslag van bomen, akkertjes, graslanden). Er werd geprobeerd om ook in dergelijke “afwijkende” locaties een monsterpunt te plaatsen.

Op 5, 6 en 17 mei 2021 werden op 62 locaties bodemonsters genomen in Nationaal Park de Meinweg en op 2 en 3 juni 2021 op 45 locaties in Nationaal Park Maasduinen (Figuur 2.1 en 2.2). De bodemonsters werden verzameld met een bodemguts, waarbij per locatie drie steken van de bovenste 10 cm van de bodem werd verzameld en gemengd tot één mengmonster. De bodemonsters werden bewaard bij 4°C totdat deze geanalyseerd werden door het laboratorium van Onderzoekcentrum B-WARE.



Figuur 2.1 Overzicht van de monsterlocaties in heide (zwarte stippen), geel omrand de bemonsterde bosvakken, rood omrand de bemonsterde bosreservaat-locatie in de Meinweg.



Figuur 2.2 Overzicht van de monsterlocaties in heide (zwarte stippen), geel omrand de bemonsterde bosvakken, rood omrand de bemonsterde bosreservaat-locatie in de Maasduinen.

Bossen

In de 17 bosvakken (tien in de Maasduinen en zeven in de Meinweg) werden op 30, 31 augustus en 1 september 2021 bladeren van Zomereiken (*Quercus robur*) verzameld met een stokzaag (max hoogte van 10 m). In enkele bosvakken (waaronder het reservaatstuk op de Meinweg) waren de Zomereiken te hoog om met de stokzaag te bemonsteren en werden klimmers ingezet (Figuur 2.4). In ieder bosvak is gezocht naar een centraal gelegen volwassen eikenboom waarvan de kroon direct zonlicht ontving. Als Zomereik de meest voorkomende boomsoort was, werd gekozen om een mengmonster te maken van blad verzameld van drie bomen. Wanneer Beuk (*Fagus sylvatica*) of Berk (*Betula pubescens* of *B. pendula*) in het te onderzoeken vak aanwezig waren, werden deze ook bemonsterd. In de omgeving van de bemonsterde Zomereiken werden met klimmers ook naalden van Grove den (*Pinus sylvestris*) bemonsterd op 15, 16 november en 15 december 2021 (Figuur 2.4). De naalden van de Grove dennen werden verzameld van één boom. De bladmonsters werden minimaal 48 uur gedroogd bij 60°C totdat deze geanalyseerd werden door het laboratorium van Onderzoekcentrum B-WARE.

Op 9 en 10 december 2021 werden in de bosvakken met een schep bodemmonsters verzameld van de ecto-organische laag ("OH-laag") en de bovenste 10 cm van de minerale bodem. De monsters voor bodemchemische analyses bestonden uit een mengmonster van twee plekken tussen de bemonsterde Zomereiken en Grove dennen. De bodemmonsters werden bewaard bij 4°C totdat deze geanalyseerd werden door het laboratorium van Onderzoekcentrum B-WARE.



Figuur 2.3 Overzicht bemonsteringsstrategie in de bosvakken en overzicht van twee bodemprofielen van een bosvak bemonsterd met een schep.



Figuur 2.4 Indruk van de naald- en bladbemonstering door klimmers.

Op de heide- en bosbodems 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;
- Om inzicht te krijgen in de totale elementgehalten van de bodem in het gebied werd op een kwart van de monsters in elk gebied een elementanalyse uitgevoerd (totaalconcentratie van o.a. P, Ca, Mg, K en Al) via een destructie.

Op de verzamelde bladeren werden de volgende analyses uitgevoerd:

- Destructie (totaalconcentratie van o.a. P, Ca, Mg, K en Al)
- C/N-analyse

2.2 Analyses

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 40,5 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

Aan de hand van een Olsen-extractie kan de concentratie plantbeschikbaar fosfaat worden bepaald. Hiertoe werd aan 3 gram fijngemalen droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l⁻¹ natriumbicarbonaat (NaHCO₃) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,5 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 rpm) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Zoutextractie

Met een zoutextractie kunnen de zoutuitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml zoutextract (0,2 mol l⁻¹ NaCl) gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH-electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. 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-analysers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

Strontiumextractie

Met een strontiumextractie kan de concentratie strontium-uitwisselbare ionen bepaald worden en de basenverzadiging. Hiervoor werd vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 5 gram droog materiaal (minerale bodems) of 2,5 gram droog materiaal (veenbodems) en met 200 ml strontiumchloride (0,2 mol l⁻¹ SrCl₂), geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met HQD pH-electrode. 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 en bij 4 °C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analysers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

Destructie

Door de bodem en plantmateriaal te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen bodem- of plantmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodem- of plantmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H₂O₂ 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega of Ethos Easy) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml

maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. Het destruaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

C/N-analyse plantmateriaal

Voor de analyse van de totale hoeveelheid koolstof en stikstof werd een deel van het verzamelde plantmateriaal fijngemalen in een kogelmaler. Afhankelijk van het soortelijk gewicht van het materiaal en de verwachte concentraties, werd een kleine hoeveelheid (3-40 mg) van het gemalen materiaal in een tinnen container afgewogen, waarna het in een CNS-elementenalyzer (Vario Micro Cube, Elementar) werd geanalyseerd.

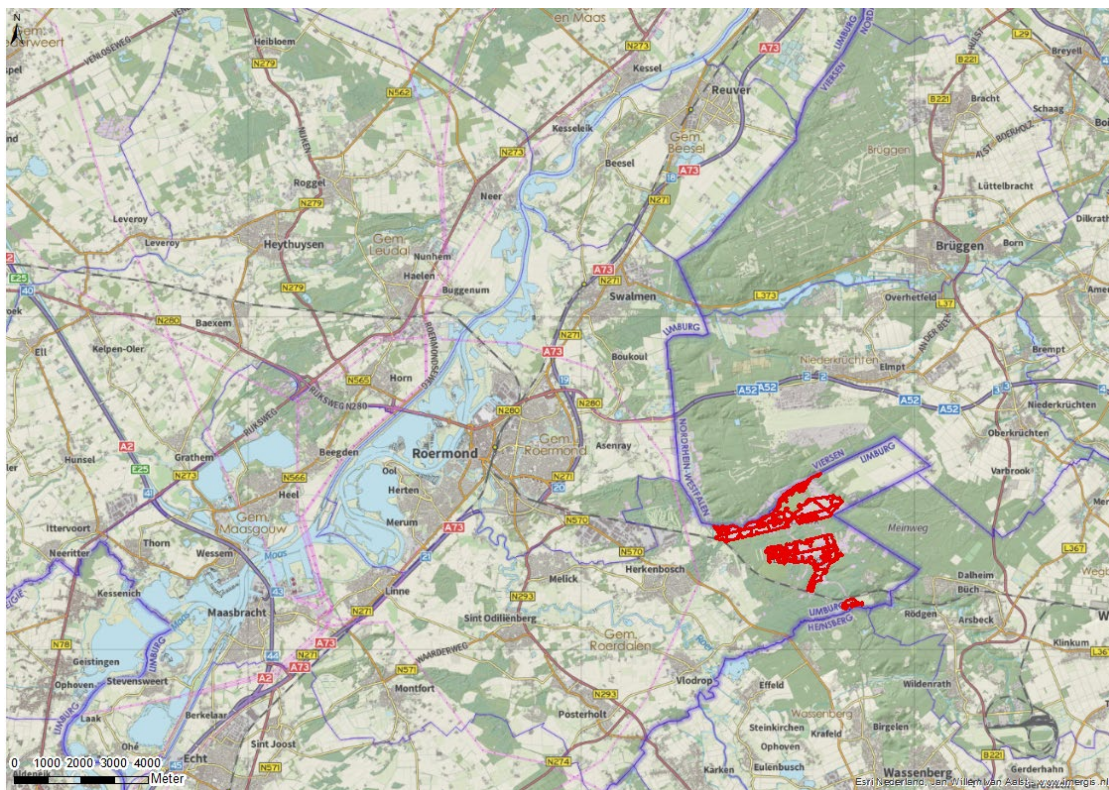
Elementenanalyse (ICP en auto-analysers) van bodemmonsters

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

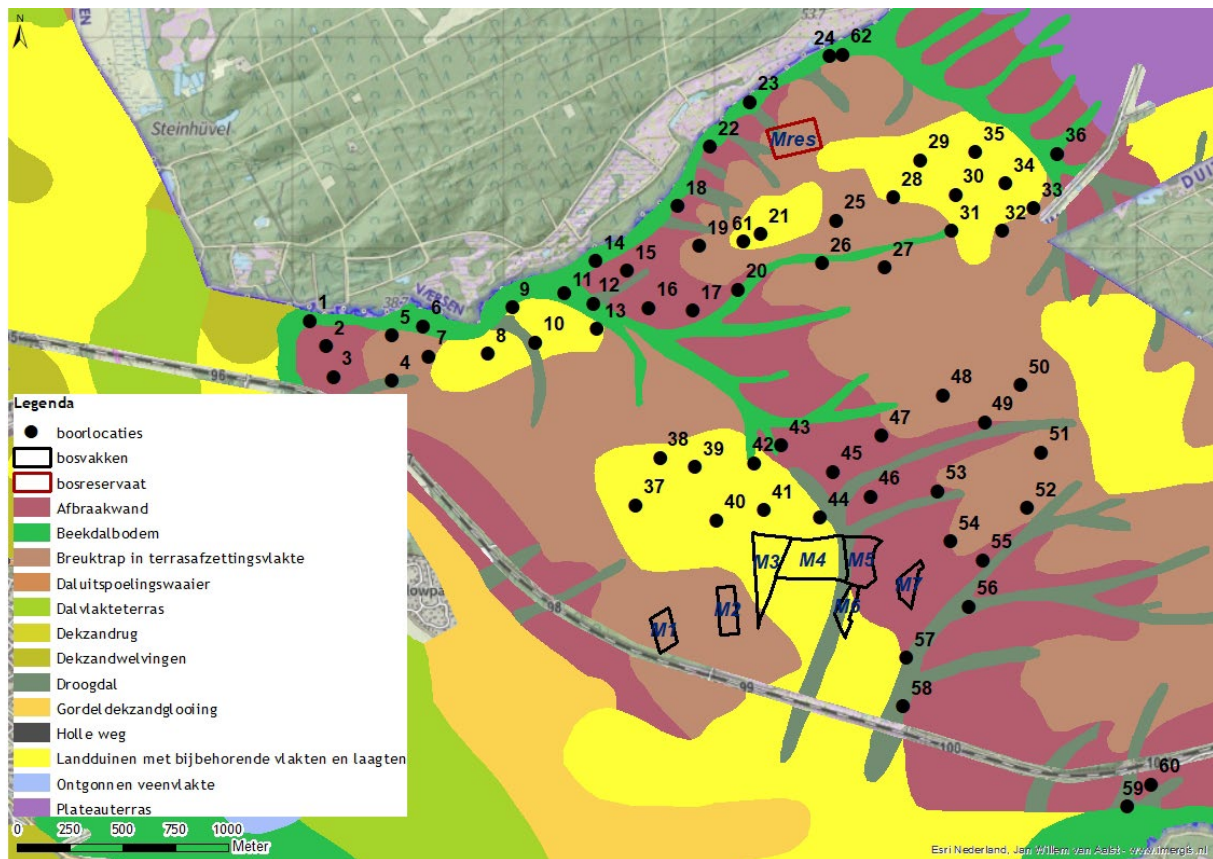
3. Resultaten Meinweg

3.1 Inleiding

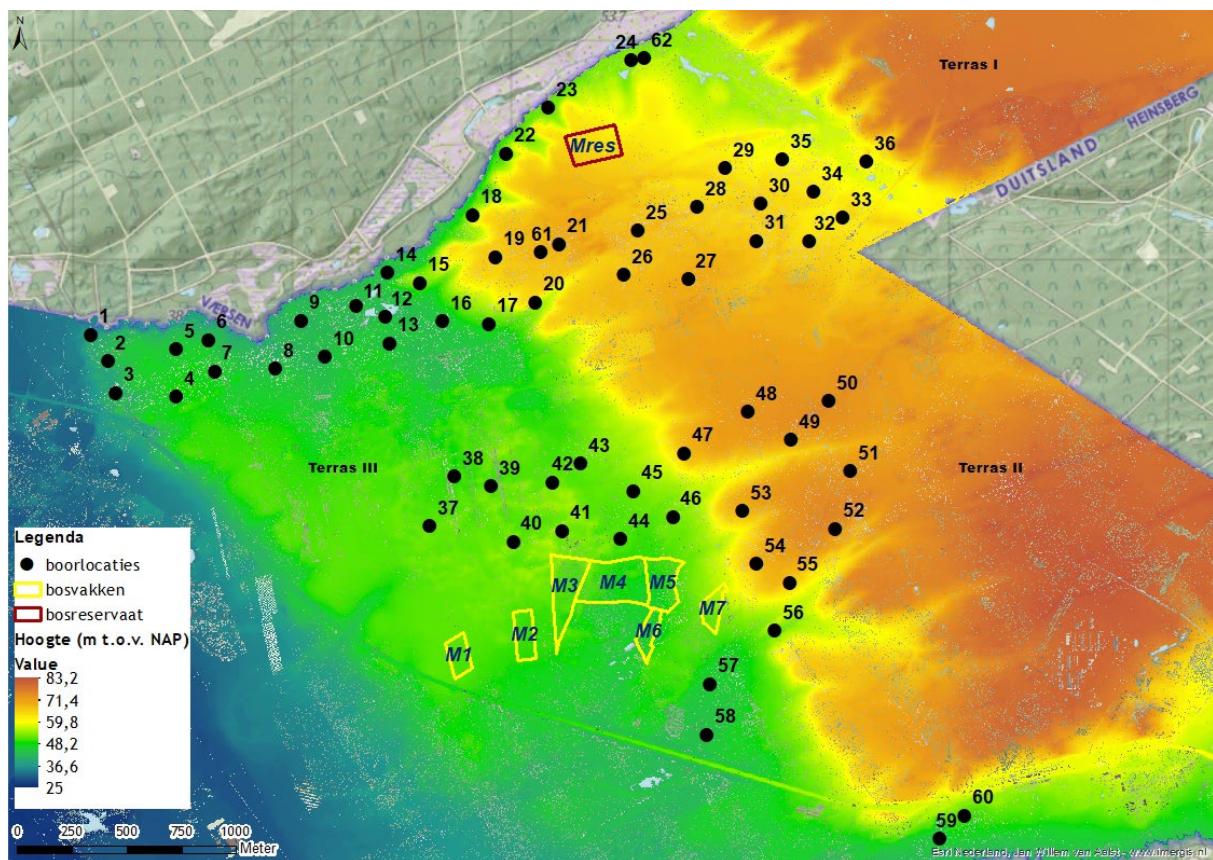
Ter hoogte van Roermond aan de grens met Duitsland ligt het 1800 hectare grote Natura2000-gebied Nationaal Park De Meinweg (Figuur 3.1). Het natuurgebied is onderdeel van het 7000 hectare grote Duits-Nederlandse grenspark Maas-Swalm-Nette. Het Nationaal Park kent een complexe geomorfologie door afzetting van de Rijn en Maas gedurende het Pleistoceen (850.000 - 126.000 jaar geleden) en tektonische activiteit ofwel ‘storingen’ (Koster, 2011). Hierdoor bestaat het gebied uit het hoog, midden en laag terras van de Maas, beekdalbodems en landduinen (Figuur 3.2). De naam van het natuurgebied is mogelijk een afgeleiden van het woord ‘gemeyne’ wat gemeenschappelijk betekent (Venner, 1985). Vanaf de late middeleeuwen is het gebied in gemeenschappelijk bezit geweest van de omliggende dorpen waarbij iedereen het gebruiksrecht had om hier hout te hakken, heideplaggen te steken, turf af te graven of vee te weiden (Bossenbroek en Hermans, 1999). Dit historisch diverse gebruik samen met de complexe geologie van het gebied (Bossenbroek en Hermans, 1999) maakt dat er een verscheidenheid aan biotopen voorkomt. Enkele belangrijke habitattypen in het gebied zijn natte en droge heide, vennen, naald- en loofbos en broekbossen. Deze rijkdom aan habitats herbergt dan ook een grote biodiversiteit (Schreven, 2013, Eenshuistra, 2014a & Eenshuistra, 2014b).



Figuur 3.1 Overzicht van de ligging van het onderzoeksgebied (rood) op een topografische kaart.

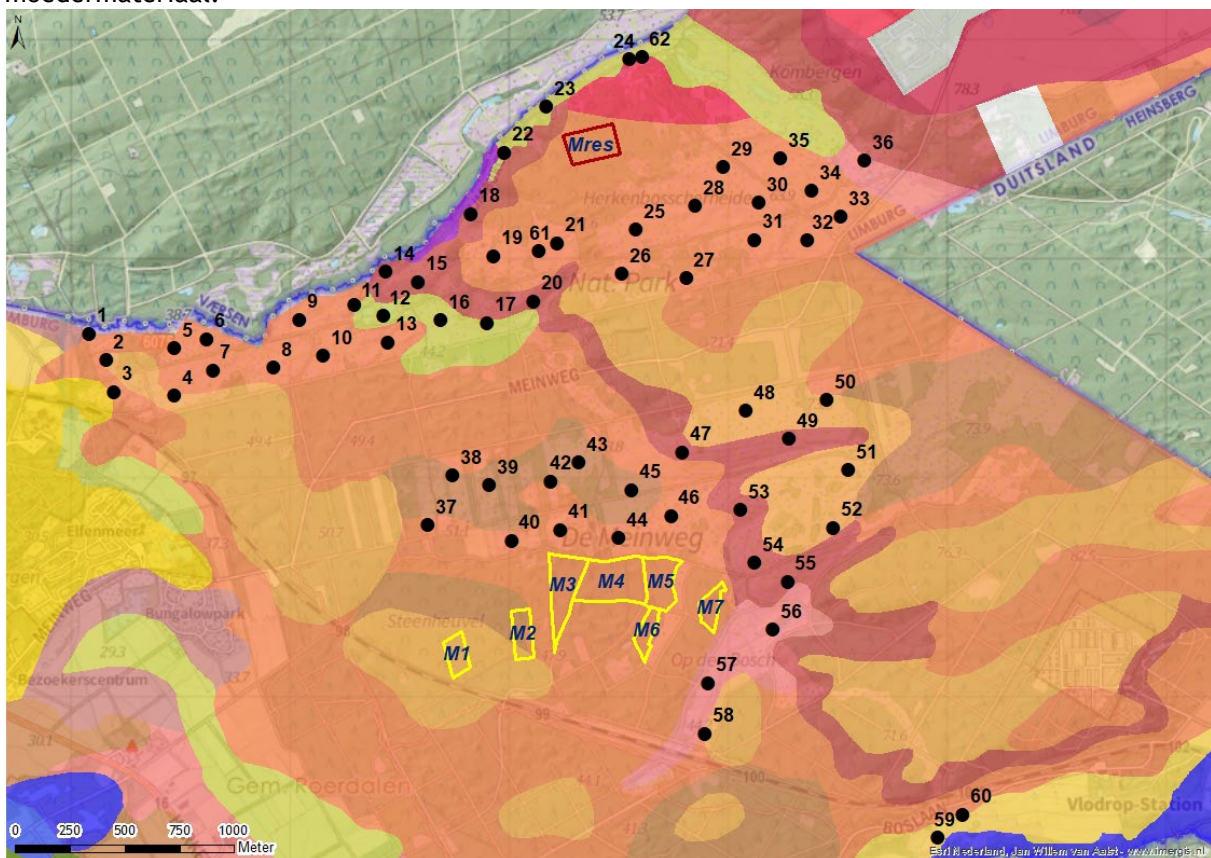


Figuur 3.2 Overzicht van de monsterlocaties in heide en de bosvakken op de geomorfologische kaart.

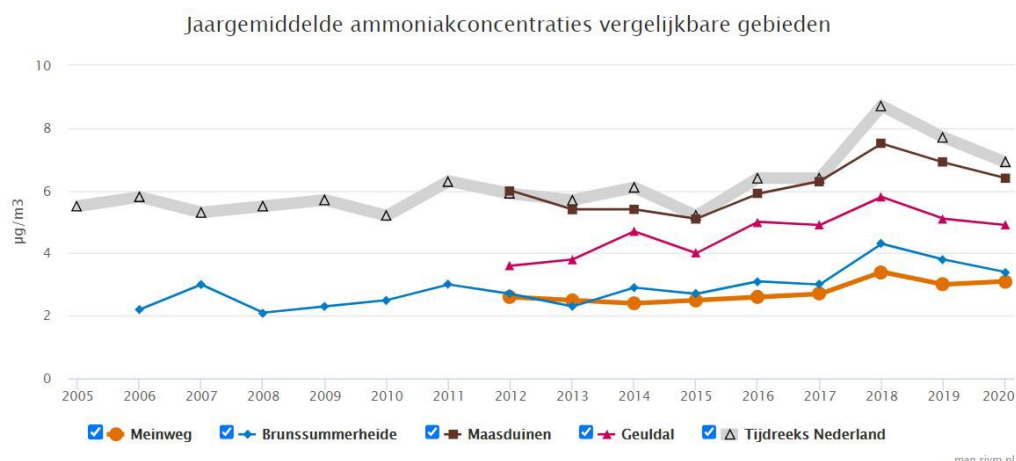


Figuur 3.3 Overzicht van de monsterlocaties in heide en de bosvakken op een hoogtekaart (AHN3).

Zoals eerder genoemd kent Nationaal Park De Meinweg een complexe geomorfologie door vroegere Rijn en Maas afzettingen, verschuivingen van de aardkorst en historisch divers landgebruik. Aan het maaiveld worden maar liefst een vijftal geomorfologische formaties aangetroffen waaronder de midden-pliocene afzettingen van grind, zand en klei (Kiezelooliet Formatie) op het tweede en derde terras (Rijksgeologische dienst, 1986). Op de hoogtekaart (Figuur 3.3) zijn de drie terrassen goed zichtbaar. Van de 62 bemonsterde heidelocaties lagen locaties 19-36 en 47-55 op het tweede terras centraal in Nationaal Park De Meinweg, bestaande uit terrashellinggronden, holtpodzolgronden en veldpodzolgrond (locatie 36). Locaties 1-18, 37-46 en 57-60 waren gelegen op het derde terras, dat volgens de bodemkaart bestond uit holtpodzolgronden, gooreerdgronden en veldpodzolgronden (locatie 56, 57 en 58). De bodem in de bemonsterd in de heidedelen van de Meinweg bestond over het algemeen uit fijn zand met een organische fractie die na een uitspoellaag vaak direct overging in moedermateriaal.



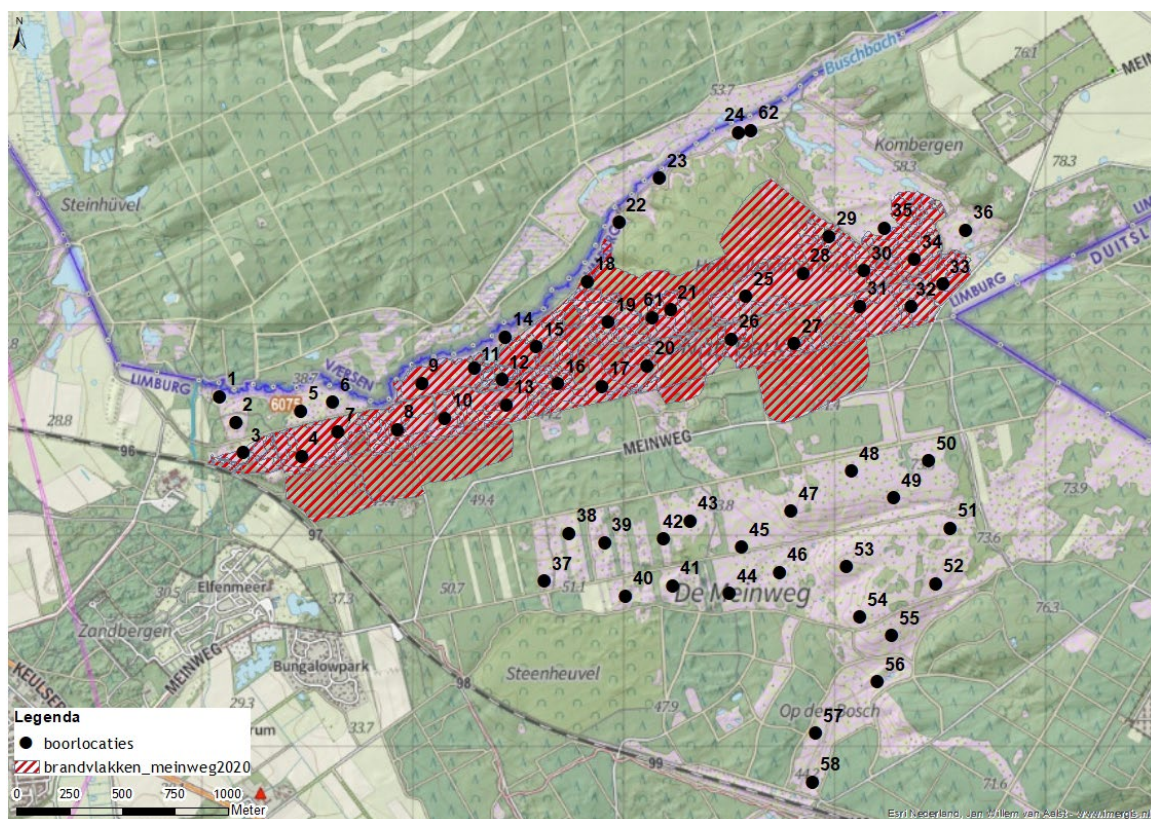
Figuur 3.4 Overzicht van de monsterlocaties in heide en de bosvakken op de bodemkaart.



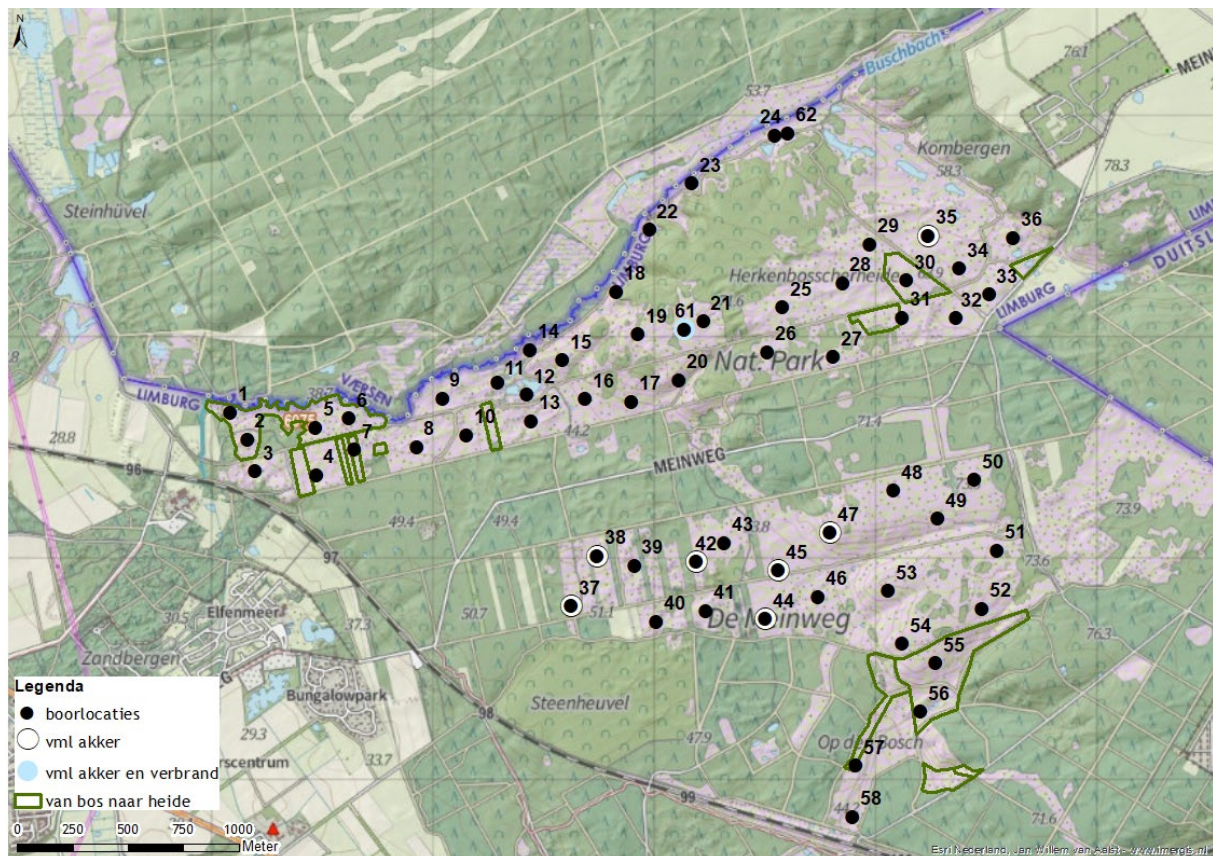
Figuur 3.5 Overzicht van de jaargemiddelde ammoniakconcentratie in vergelijkbare gebieden in de provincie Limburg (RIVM).

Uit gegevens van het RIVM (Figuur 3.5) blijkt dat de jaargemiddelde ammoniakconcentratie in de Meinweg met 3 µg/m³ relatief laag is vergeleken met andere gebieden in de provincie Limburg zoals de Maasduinen en de gemiddelde concentratie in Nederland.

In april 2020 werd circa 200 hectare heide en bos in het noordelijke deel van de Meinweg verwoest door brand (Figuur 3.6). Omdat het verbrande deel een groot stuk van de heide omhelst, werd hierin circa één derde van de monsterlocaties gelegd. Daarnaast werden tussen 1995 en 2015 stukken bos omgevormd naar heide (gegevens Staatsbosbeheer Limburg) en waren er in het verleden verschillende akkers aanwezig die tegenwoordig als heide op de topografische kaart staan (Figuur 3.7). Er werden naast droge heide en de verbrande zone ook bodemonsters genomen in zones die vroeger als akker in gebruik waren of omgevormd werden van bos naar heide.



Figuur 3.6 Overzicht van de verbrande zone in april 2020 in de Meinweg (Staatsbosbeheer Limburg).



Figuur 3.7 Overzicht van voormalige akkers (wit omcirkeld), delen die sinds 1995 omgevoerd werden van bos naar heide (groen omlijnd) en locatie gelegen in de verbrande zone uit 2020 (grijs omcirkeld) (Staatsbosbeheer Limburg).

3.3 Beknopte vegetatiebeschrijving heide locaties

In het gebied werden op 62 locaties bodemonsters verzameld in ca. 295 ha heide (Figuur 3.7). De vegetatie bij de monsterpunten in Nationaal Park de Meinweg bestond slechts voor een klein deel uit een (oude) soortenarme variant van droge heide met daarnaast veel punten die vergrast waren met voornamelijk Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*). Op de locaties in oude droge heide (1, 12, 24, 41, 48, 49, 54 en 58) was Struikhei (*Calluna vulgaris*) de meest voorkomende plant met een bedekking van meer dan 65%. De soortenrijkdom was laag, met naast Struikhei vaak wat Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*), Pijpenstrootje, Heideklauwtjesmos (*Hypnum jutlandicum*) en Schapenzuring (*Rumex acetosella*). Van de locaties die gedomineerd werden door grassen (5, 6, 23, 36, 39-40, 43, 46, 50 t/m 53, 55 t/m 57) was Pijpenstrootje vaak het meest voorkomende gras, naast soorten als Fijn schapengras (*Festuca filiformis*), Bochtige smele, Heideklauwtjesmos, Schapenzuring, Struikhei en Valse salie (*Teucrium scorodonia*). Locatie 2 (bos omgevoerd naar heide) werd gekenmerkt door een open vegetatie met weinig begroeiing van struikhei, grassen of mos.



Figuur 3.8 Indruk van droge heide locatie 24 (linksboven), vergraste locatie 40 (rechtsboven) en verbrande locatie 15 en 33 (links- en rechtsonder).

Een derde van de bemonsterde locaties was gelegen in de zone die in 2020 verbrand is geweest (3, 4, 7 t/m 11, 13 t/m 21 en 25 t/m 34). Deze locaties werden gekenmerkt door een open vegetatie met een hergroei van met name grassen als Pijpenstrootje, Fijn schapengras en Bochtige smeile. Daarnaast werden soorten als Schapenzuring, Canadese fijnstraal (*Conyza canadensis*), Pilzegge (*Carex pilulifera*), Biggenkruid (*Hypochaeris radicata*) en Struikhei aangetroffen (Figuur 3.6). Opvallend was de grote hoeveelheid kiemende Brem (*Cytisus scoparius*).

Locaties 35, 37, 38, 42, 44, 45, 47 en 61 waren gelegen in voormalige akkers en werden gekenmerkt door een grazige vegetatie met soorten als Witbol (*Holcus lanatus*), Pijpenstrootje, Braam (*Rubus spec*), Paardenbloem (*Taraxacum officinale*) en Veldereprijs (*Veronica arvensis*) (Figuur 3.9). Monsterpunten 22 en 60 onderscheidde zich door een hoge bedekking van Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*) naast Pijpenstrootje. Monsterpunt 59 en 62 werden verzameld in een chopper- en plagstrook uit 2020 met sporadisch hergroei van Struikhei en Pijpenstrootje op locatie 62 en Adelaarsvaren op locatie 59.



Figuur 3.9 Indruk van voormalige akkerlocatie 37 (linksboven), locatie 60 met adelaarsvaren (rechtsboven), gehopperde locatie 59 en geplagde locatie 62 (links- en rechtsonder).

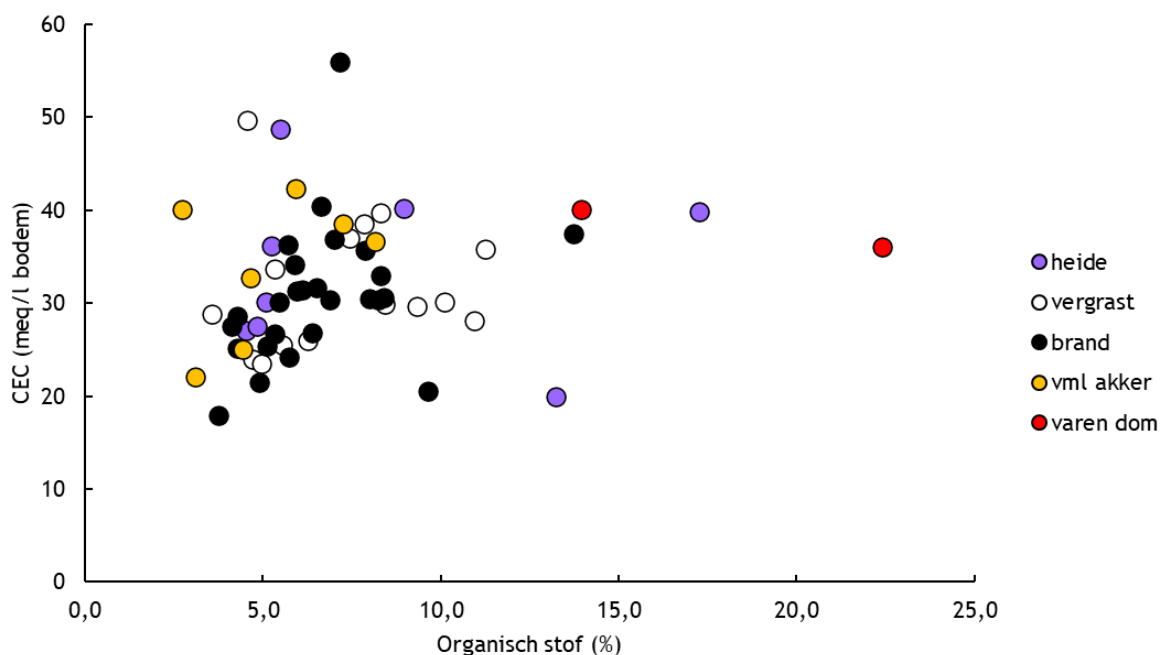
3.4 Bodemchemie van de heide

3.4.1 Algemene bodemchemie

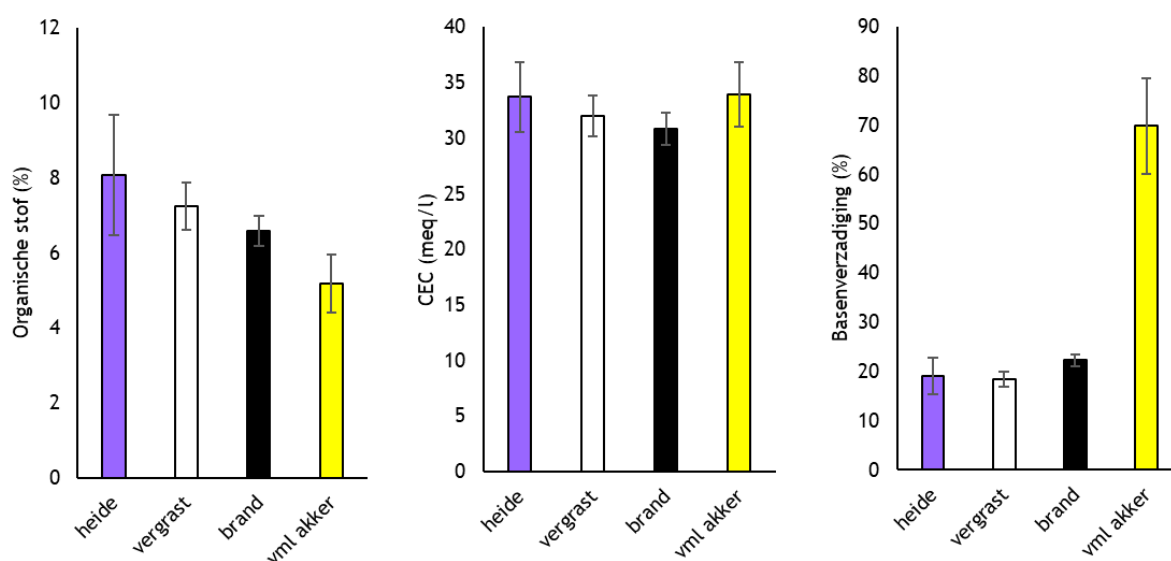
In dit hoofdstuk wordt de bodemchemie van de heidedelen in de Meinweg vergeleken met gegevens uit goed ontwikkelde heideterreinen in Nederland en Vlaanderen (groene deel van Tabel 1.1). Op basis hiervan kunnen knelpunten benoemd worden die het behoud en de ontwikkeling van een door Struikhei gedomineerde vegetatie met kenmerkende heidekruiden in de weg staan. De gehele bodemchemische dataset is bijgevoegd als bijlage 1. De bodemchemie is uitgedrukt in mol per liter bodem.

Organisch stof en CEC

Het organische stof percentage van de bodem zorgt voor een groot deel voor de vochtbalans in de bodem. In de bemonsterde locaties varieerde het organisch stof percentage van 3 tot 22%, waarbij met name in de voormalige akkerlocaties wat lagere percentages gemeten werden van 3 tot 8% (Figuur 3.10 en 3.11). In de heide- en vergraste locaties varieerde het organisch stofpercentage van 4 tot 17% met een Cation Exchange Capacity (CEC) van 20 tot 50 meq/l bodem. Opvallend was locatie 60 met een hoog organisch stofpercentage in de bodem van 22%. Er werd geen verschil in organisch stof en CEC gemeten tussen de verbrande en niet verbrande locaties.



Figuur 3.10 Percentage organisch stof en CEC in meq/l bodem per locatie, waarbij heide = heide gedomineerd, vergrast = vergraste locaties die niet verbrand zijn, brand = verbrande locatie, vml akker = voormalige akkers (n=7) en varen dom = dominantie van varens.

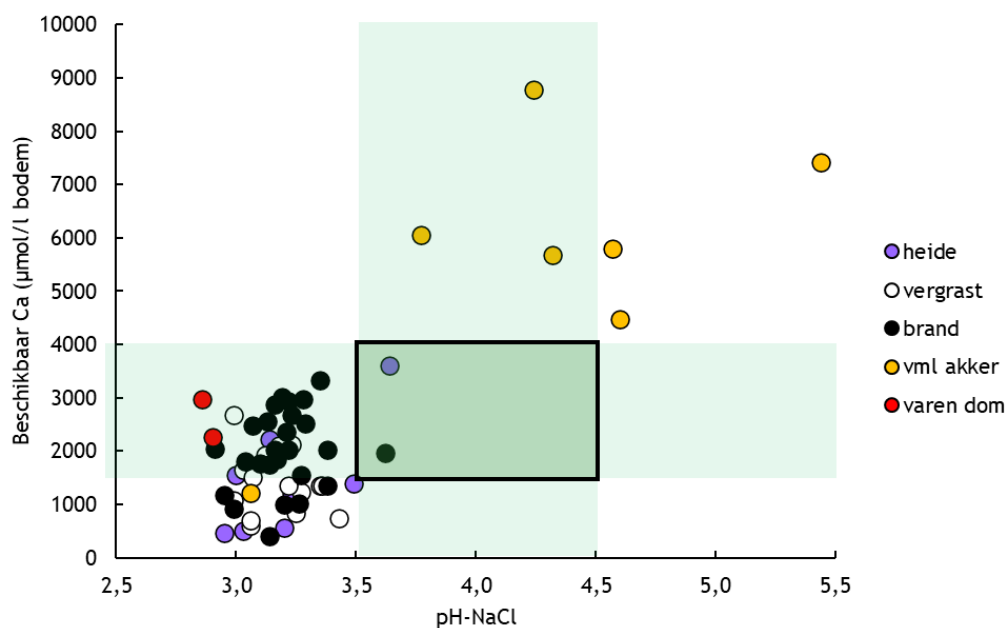


Figuur 3.11 Gemiddeld percentage organische stof, basenverzadiging en CEC in meq/l bodem. Waarbij heide = heide gedomineerd (n=8), vergrast = vergraste locaties die niet verbrand zijn (n=15), brand = verbrande locaties (n=26) en vml akker = voormalige akkers (n=7). Foutbalken geven de standaard fout weer.

Basenverzadiging en bodembuffering

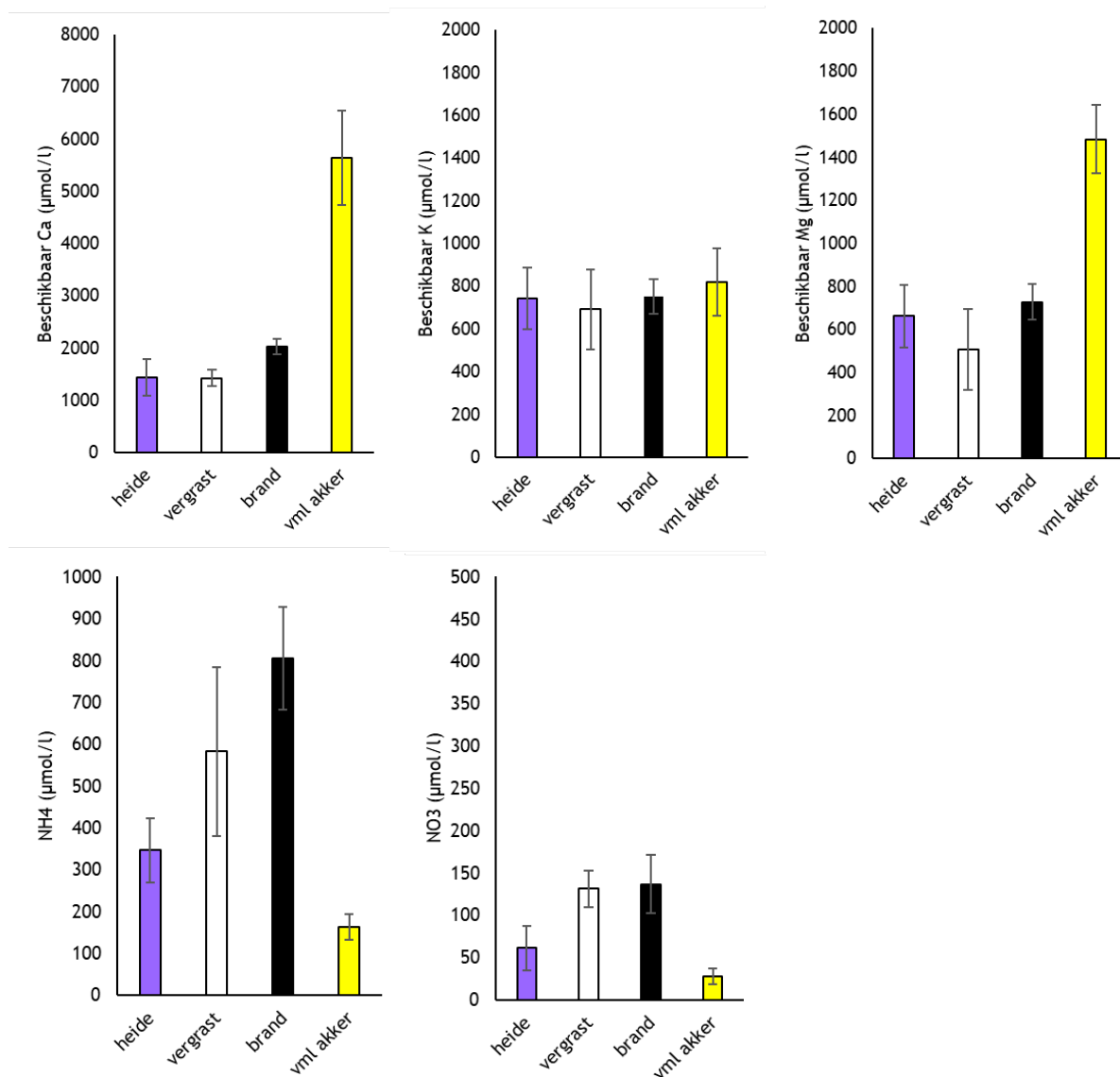
De pH-NaCl lag over het algemeen tussen de 3,0 en 3,5 en was daarmee op het merendeel van de locaties te laag vergeleken met waarden gemeten in de goed ontwikkelde typische subassociatie van Struikhei en Stekelbrem (Tabel 1.1 en Figuur 3.11). De basenverzadiging was over het algemeen aan de lage kant met percentages onder de 25% (Tabel 3.2 en Figuur 3.11). Lokaal werd een zeer lage basenverzadiging gemeten van slechts 3 en 8% op locatie 24 (heide) en 62 (plagstrook). In de voormalige akkers was de basenverzadiging over het algemeen een stuk hoger met gemiddeld 70%.

In droge heide met kenmerkende kruiden worden beschikbare Ca-concentraties hoger dan 1500 $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten (Tabel 1.1). Op 23 locaties was de beschikbare Ca-concentratie in de bodem laag met concentraties van 405 tot 1405 $\mu\text{mol/l}$ bodem en viel daarmee onder de range voor het voorkomen van kenmerkende kruiden in heide. In ongeveer de helft van de locaties werd een Ca-beschikbaarheid in de bodem gemeten die binnen de ranges voor kenmerkende kruiden in de heide viel. Opvallend waren wederom de voormalige akkers met hoge concentraties beschikbaar Ca van 4484 tot 8785 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Deze werden bekalkt in het verleden. Daarnaast werden in de locaties die in 2020 verbrand werden gemiddeld een wat hogere beschikbare Ca-concentratie gemeten van 2017 $\mu\text{mol/l}$ ten opzichte van de ongestoorde heide en vergraste locaties met gemiddeld 1439-1472 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Figuur 3.12 en 3.13). Een andere belangrijke sturende parameter is de verhouding tussen beschikbaar aluminium en calcium (de Al/Ca-ratio). Deze ligt in heide met kenmerkende kruiden vrijwel altijd onder de 2 mol/mol. In de Meinweg werden bijna overal voldoende lage Al/Ca-ratio's gemeten. Een uitzondering vormde locatie 11 en 41 met een Al/Ca-ratio van 3,5 en 2,6 mol/mol (Tabel 3.2).



Figuur 3.12 pH gemeten in een zoutextract en concentratie beschikbaar Ca in $\mu\text{mol/l}$ bodem per locatie, waarbij heide = heide gedomineerd, vergrast = vergraste locaties, brand = verbrande locaties, vml akker = voormalige akkers en varen dom = dominantie van varens. De groene vlakken geven de streefwaarden weer voor droge heide met kenmerkende kruiden (Tabel 1.1), zwart omlijnd vlak geeft streefrange voor beide parameters weer.

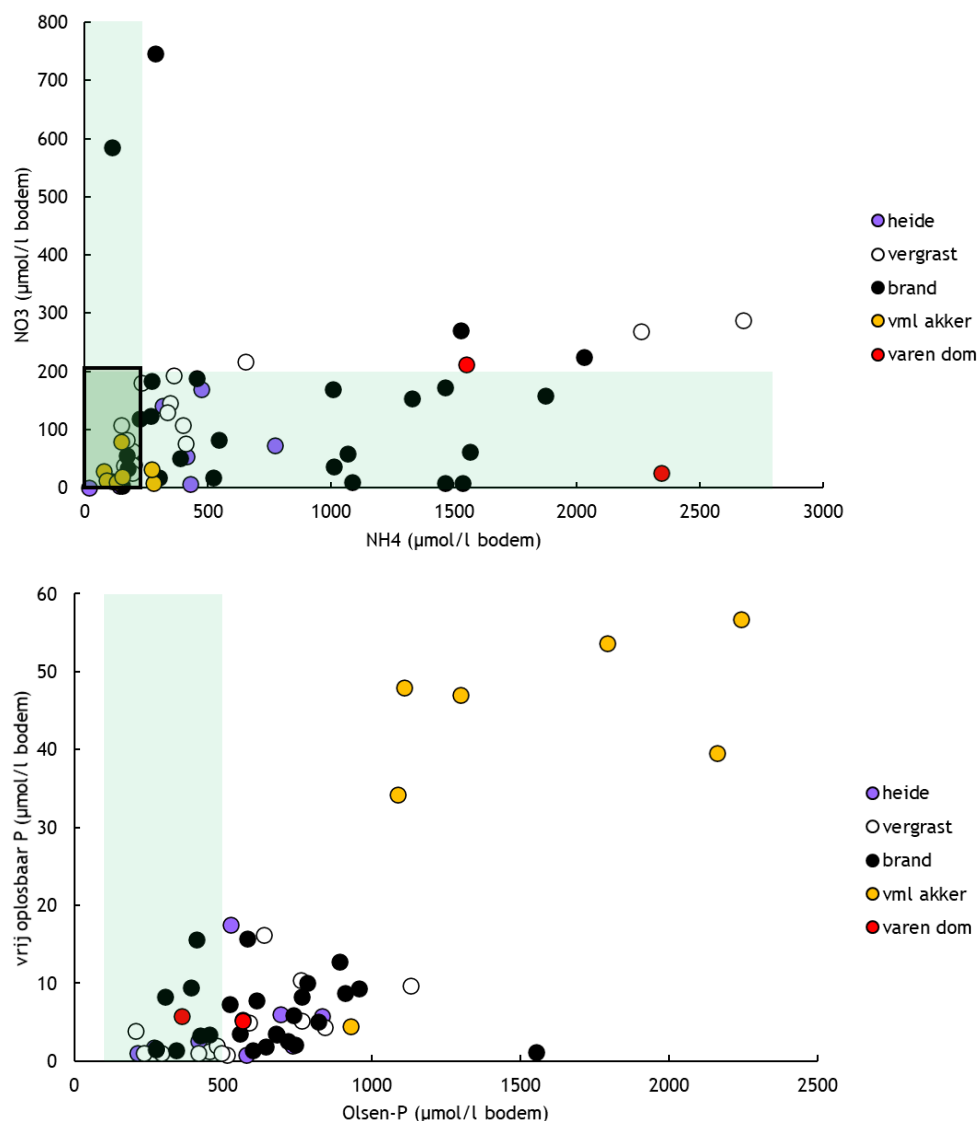
De beschikbare Mg-concentraties in de bodem varieerden over het algemeen van 200 tot 1000 $\mu\text{mol/l}$ bodem en waren met name in de voormalige akkers hoger met concentraties van 1000 tot 3107 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Figuur 3.13). Na branden kunnen tijdelijk hogere K-concentraties in de bodem gemeten worden. In de verbrande locaties werd een jaar na de brand geen hogere K-concentraties gemeten ten opzichte van de heide of vergraste locaties (Figuur 3.13). De beschikbare K-concentraties gemeten in de Meinweg varieerden over het algemeen van 259 tot 1000 $\mu\text{mol/l}$ (Tabel 3.2). Lokaal werden hogere beschikbare K-concentraties in de bodem gemeten van 1400 tot 3246 $\mu\text{mol/l}$ bodem. In de verbrande voormalige akker (locatie 61) was de beschikbare K-concentratie extreem hoog met 6098 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Op deze locatie heeft de brand mogelijk wel tot een hogere K-beschikbaarheid in de bodem geleid.



Figuur 3.13 Gemiddelde beschikbare Ca-, K- en Mg-concentratie en de gemiddelde NH₄ en NO₃-concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem. Waarbij heide = heide gedomineerd (n=8), vergrast = vergraste locaties die niet verbrand zijn (n=15), brand = verbrande locaties (n=26) en vml akker = voormalige akkers (n=7). Foutbalken geven de standaard fout weer.

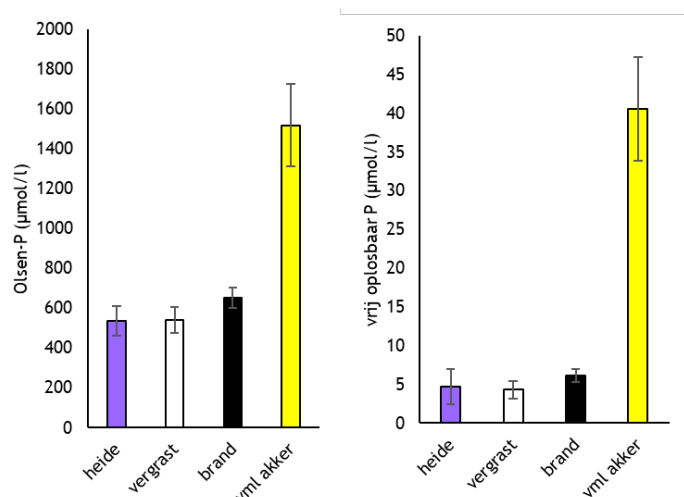
Voedselrijkdom

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 $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten. In de Meinweg werden hoge tot zeer hoge NH₄-concentraties gemeten, met op 19 locaties concentraties hoger dan 1000 $\mu\text{mol/l}$ (Figuur 3.13 en 3.14). Met name op locaties die in 2020 verbrand werden was de NH₄-concentratie in de bodem zeer hoog. Na branden kan de NH₄-concentratie in de bodem toenemen door een verhoogde mineralisatiesnelheid (Mohamed et al., 2007; Bobbink et al., 2009). Ammonium is een duidelijk knelpunt voor behoud en ontwikkeling van kenmerkende kruiden in de Meinweg. De nitraatconcentraties in de bodem waren over het algemeen voldoende laag met concentraties onder de 150 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Met name op de locaties die vergrast waren en locaties die in 2020 verbrand waren werden hogere nitraatconcentraties in de bodem gemeten van 200 tot 746 $\mu\text{mol/l}$ (Figuur 3.13). In verbrande locaties is de nutriëntenopname door planten tijdelijk verminderd, maar door mineralisatie is er mogelijk wel meer nitraat beschikbaar.



Figuur 3.14 NH_4 - en NO_3 -concentratie in $\mu\text{mol/l}$ per locatie (boven) en Olsen-P en vrij oplosbare P-concentratie in $\mu\text{mol/l}$ per locatie (onder). Waarbij heide = heide gedomineerd, vergrast = vergraste locaties, brand = verbrande locaties, vml akker = voormalige akkers en varen dom = dominantie van varens. De groene vlakken geven de streefwaarden weer voor droge heide met kenmerkende kruiden (Tabel 1.1), zwart omlijnd vlak geeft streefrange voor beide parameters weer.

In goed ontwikkelde droge heide worden plantbeschikbare fosfaatconcentraties (Olsen-P) gemeten van 100-400 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Op ruim de helft van de locaties in de Meinweg werden relatief hoge Olsen-P concentraties gemeten (>500 $\mu\text{mol/l}$ bodem). De concentratie plantbeschikbaar fosfaat varieerde van 213 tot 2244 $\mu\text{mol/l}$ bodem en was met name in de voormalige akkers zeer hoog met concentraties van 930 tot 2244 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Figuur 3.13 en 3.14). Het bemestingsverleden was nog duidelijk terug te meten. Ook de vrij oplosbare P-concentratie (gemeten in een zoutextract) was zeer hoog in de voormalige akkers met 4 tot 57 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Figuur 3.15). Voor heide zijn (nog) geen duidelijke grenswaarden voor vrij oplosbaar P, maar in de verbrande locaties werden gemiddeld wat hogere P-concentraties in de bodem gemeten met 6,1 tegen 4,7 $\mu\text{mol/l}$ in heide of vergraste locaties.



Figuur 3.15 Gemiddelde concentratie Olsen-P en vrij oplosbaar P in µmol/l bodem. Waarbij heide = heide gedomineerd (n=8), vergrast = vergraste locaties die niet verbrand zijn (n=15), brand = verbrande locaties (n=26) en vml akker = voormalige akkers (n=7). Foutbalken geven de standaard fout weer.

Verhouding totale concentraties en beschikbare concentraties

Op een deel van de bodemonmonsters werd ook een totaal-destructie uitgevoerd waarmee inzicht verkregen wordt in de totale elementconcentraties in de bodem. In Tabel 3.1 is te zien dat slechts een beperkt deel van het totaal aan kalium en magnesium in beschikbare vorm in de bodem aanwezig is en de rest nog gebonden is in mineralen. Daarentegen is het aandeel calcium dat in beschikbare vorm aanwezig is in de bodem relatief hoog en op circa de helft van de gemeten locaties hoger dan 50%. Voor calcium betekent dit dat er niet verwacht mag worden dat de calciumbeschikbaarheid binnen afzienbare tijd zal toenemen vanuit minerale verwerking, omdat de totale Ca-voorraad in de bodem laag is en al voor 50% in beschikbare vorm in de bodem aanwezig is. Wanneer het wenselijk is de calciumbeschikbaarheid te verhogen, zullen herstelmaatregelen nodig zijn. Hierbij kan dan gedacht worden aan een product dat (voornamelijk) calciumcarbonaten bevat, zoals (schelpen)kalk en Ca-rijk steenmeel (Biolit).

Tabel 3.1 Concentratie totaal-Ca, Mg en K in mmol/l bodem gemeten in een destructie en beschikbare concentratie Ca, K en Mg in µmol/l bodem gemeten in een zoutextractie (0,2M NaCl).

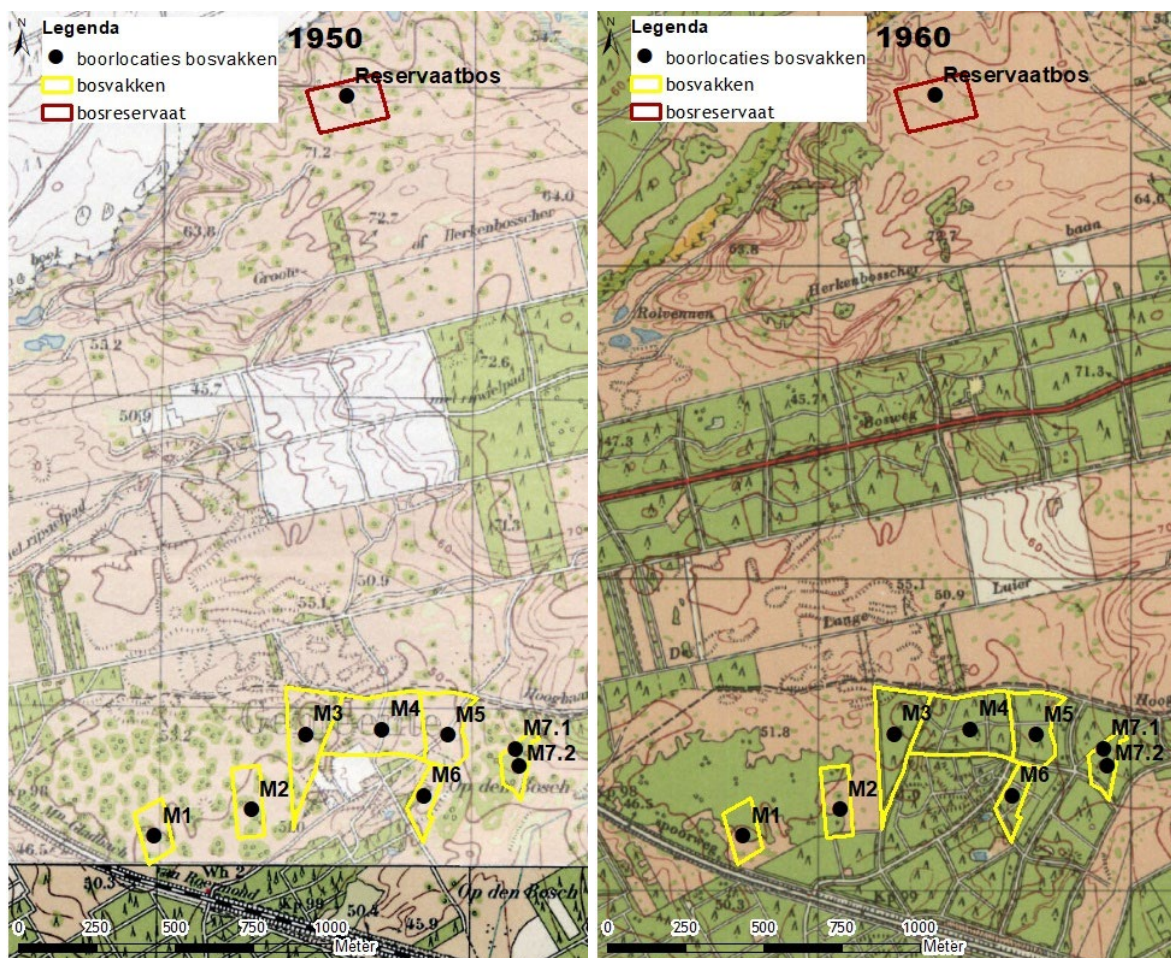
Locatie	Destructie			Zoutextractie			Beschikbaar van totaal		
	Ca-t	K-t	Mg-t	Ca	K	Mg	Ca	K	Mg
	mmol/l			µmol/l			%		
1	1,9	5,6	6,0	570	539	313	30	10	5
7	2,7	4,9	5,4	2052	504	619	76	10	11
9	5,9	5,7	6,9	2976	463	1049	50	8	15
13	3,6	7,5	7,6	1849	666	857	51	9	11
19	4,2	5,3	5,0	2358	693	884	56	13	18
23	1,1	2,5	1,1	612	268	205	54	11	19
27	3,9	6,2	6,7	2028	865	880	52	14	13
30	2,6	3,7	4,0	1175	241	293	45	7	7
36	4,1	3,8	4,9	2134	494	938	52	13	19
41	1,7	4,0	4,9	506	323	227	29	8	5
51	2,6	5,0	6,0	2107	713	790	80	14	13
54	3,8	3,0	4,7	1549	717	811	41	24	17
56	3,8	3,8	4,5	1349	717	443	35	19	10
60	3,0	2,6	1,7	2264	1018	607	75	39	37

3.5 Bodem- en bladchemie bosvakken

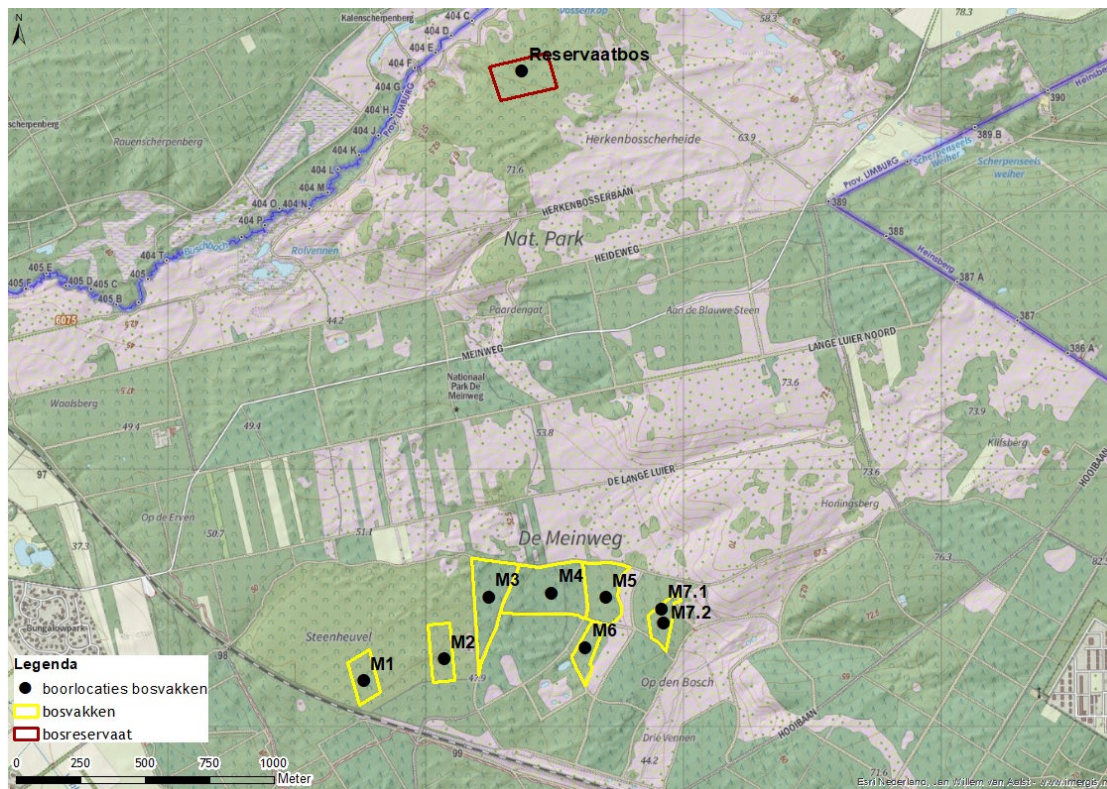
In de Meinweg werden in totaal acht bosvakken bemonsterd. Van deze acht bosvakken werden er zeven regulier beheerd en één niet beheerd. Het bosvak dat niet beheerd wordt, wordt hier verder het reservaatbos genoemd. In de periode 1950-1960 werden bosvakken M3 t/m M7 aangeplant en bestonden bosvakken M1, M2 en het reservaat nog (deels) uit heide (Figuur 3.16). Sinds 1980 wordt het reservaatbosvak als bos aangegeven op de historische kaart en de bosvakken M1 en M2 sinds 1990. Van 1930 tot circa 1960 werd er geakkerd nabij bosvakken M3 en M4. Alle bemonsterde bosvakken waren nog relatief jonge bossen (<75 jaar oud).

3.5.1 Beknopte vegetatiebeschrijving

Bosvakken M1, M2 en het reservaatbos bestonden hoofdzakelijk uit loofbomen met enkele grove dennen in bosvak M2 en het reservaatbos. De zomereiken waren hier ook aanmerkelijk hoger dan in de andere bosvakken. Bosvakken M4, M5 en M7.1 waren gemengd naald- en loofbos. In bosvak M6 was Grove den dominant en in M3 groeide enkel naaldbomen. Monsterpunt 7.2 is extra genomen en was gelegen in een aangeplant jong beukenbos naast monsterpunt 7.1 (Figuur 3.17). De bemonsterde bosvakken in de Meinweg hadden een onder begroeiing die was op te delen in drie groepen: dominantie van adelaarsvaren (reservaatbos en M2), pijpenstrootje gedomineerd (M3 t/m 6) en voornamelijk open met enkel vers gevallen bladmateriaal op de bodem (M1 en M7). Daarnaast was er in bosvak M3 ook relatief veel wilde kamperfoelie (*Lonicera periclymenum*) tussen de pijpenstrootje aanwezig.



Figuur 3.16 Overzicht van de bosvakken op een historische kaart uit 1950 (links) en 1960 (rechts).



Figuur 3.17 Overzicht van monsterlocaties in de bosvakken van de Meinweg.

3.5.2 Bodemchemie bosvakken

Voor de bodemchemie van loofbos en naaldbos zijn nog geen concrete referentiewaarden beschikbaar. Wel is bekend dat knelpunten in bossen vergelijkbaar zijn met die in heideterreinen, zoals een ongunstige Al/Ca-ratio, relatief hoge ammoniumconcentraties in verhouding tot nitraat en een lage P-beschikbaarheid (zie o.a. De Vries et al., 2018). Op basis van expert judgement zijn mogelijke knelpunten in de boslocaties beschreven. De bodemchemie is uitgedrukt in mol per liter bodem.

De bodemopbouw in de bosvakken bestond over het algemeen uit een laag grof humeus bladmateriaal als bovenste laag met uitzondering van M1 en M7, waar door zwijnen op veel plekken gewroet was (Figuur 3.18). Onder de laag grof bladmateriaal was meestal een OH-laag aanwezig (M2, M4 t/m M6 en het reservaatbos) waarna de bodem overging in mineraal zand. In bosvak M6 werd ook zeer grof grind verspreid door het mineraal zand gevonden. Op locaties M1, M3, M7.1 en M7.2 was geen duidelijke OH-laag aanwezig en was de bodem meer gemengd, waarschijnlijk als gevolg van zwijnen.

De bodem bestond over het algemeen uit zand (42 tot 119 mmol/l totaal-Al) met lokaal een hogere leemfractie zoals in het reservaatbos met een totaal-Al concentratie van 172 mmol/l bodem (totaal-aluminium concentratie is indicatief voor het lutumpercentage: kleideeltjes kleiner dan 2 μ m). Ook was de bodem in dit bosvak wat rijker aan magnesium met 12,4 mmol/l bodem. De zandbodem was arm aan calcium met lage concentraties van slechts 0,8 tot 2,1 mmol/l bodem. Op locatie M7.1 was de bodem wat rijker aan calcium met 4,6 mmol/l bodem. De totaal-P concentratie in de bodem varieerde van 3,0 tot 5,7 mmol/l bodem en was daarmee niet opmerkelijk hoog of laag.



Figuur 3.18 Bodemopbouw in het reservaatbos met in de bovenste centimeters de OH-laag (links) en de bodemopbouw in bosvak M1 waar het mineraal zand gemengd met organisch stof direct aan het oppervlak lag.

Organisch stof en buffering

Doordat de OH-laag vrijwel alleen bestaat uit afgebroken fijn bladmateriaal is het organisch stofgehalte hier hoog en varieerde van 52% (M5) tot 70% (M4). In het mineraal zand was het organisch stof gehalte flink lager met percentages van 16 tot 20% (M2, M4, M5, M6 en het reservaatbos; Tabel 3.2). Op locaties zonder duidelijke OH-laag (M1, M3, M7.1 en M7.2) was het organisch stofpercentage in de minerale bodem hoger met 25 tot 33%. De CEC varieerde van 33 tot 68 meq/l bodem. De bodem van de bosvakken was over het algemeen zuur met een lage basenverzadiging van 7 tot 18% in de minerale bodemlaag. Een uitzondering vormde locatie M7.1 met een basenverzadiging van 24% en CEC van 42 meq/l bodem. Bij een basenverzadiging lager dan 25% in de minerale bodemlaag gaat aluminium in oplossing (De Vries, 2008). Dat is ook in deze bosbodems te zien met beschikbare aluminiumconcentraties van 530 tot 1755 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Tegelijkertijd werden er op locatie M2, M4, M6 en het reservaat zeer lage beschikbare Ca-concentraties in de minerale bodem gemeten van 181 tot 403 $\mu\text{mol/l}$ bodem en was de pH-NaCl laag met een pH van 2,9-3,3. Dat resulteert in een zeer ongunstige Al/Ca-ratio in de minerale bodemlaag van 4,0 tot 8,0 mol/mol. Deze ongunstige Al/Ca-ratio is schadelijk voor wortels en ectomycorrhiza schimmels (Arnolds, 1991; Wallenda & Kottke, 1999). Op locatie M1, M3, M5, M7.1 en M7.2 waren de beschikbare Ca-concentraties in de minerale bodem wat hoger (781 tot 2869 $\mu\text{mol/l}$ bodem) resulterend in een gunstigere Al/Ca-ratio lager dan 2 mol/mol.

Voedselrijkdom

In de bosbodems werden over het algemeen geen verhoogde ammonium- of nitraatconcentraties gemeten in de OH-laag met concentraties lager dan 200 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Op locatie M3, M5, M6 en het reservaat werden in de minerale bodem wat hogere NO_3^- - en/of NH_4^- -concentraties gemeten van 303 tot 386 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Ammonium was over het algemeen de dominante stikstofvorm in de bodem, met uitzondering van locatie M1, M6 en het reservaat waar NO_3^- de dominante stikstofvorm was of er bijna evenveel nitraat- als ammonium in de bodem aanwezig was (M6). De concentratie Olsen-P was over het algemeen hoog in de zandbodem met concentraties van 666 tot 1205 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Op locatie M3 werd een wat lagere Olsen-P concentratie gemeten van 469 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Belangrijkste bodemchemische parameters in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in $\mu\text{mol/l}$ zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage (OS).

Locatie	Diepte cm	OS %	Zoutextract										Strontium		Olsen-P $\mu\text{mol/l}$	Destructie					
			pH	Al	Ca	K	Mg	P	NO ₃	NH ₄	Al/Ca	NH ₄ /NO ₃	BV	CEC		Al-t	Ca-t	K-t	Mg-t	Fe-t	P-t
			$\mu\text{mol/l}$										%	meq/l		mmol/l					
M1	0-10	30	3,1	1335	1156	379	348	8	118	66	1,2	0,6	11	46	1104	119	2,1	6,4	8,3	79	5,7
M2	OH	58	2,8	710	2392	506	219	3	8	41	0,3	5,3	11	29	722	39	5,1	3,7	4,8	48	5,1
	0-10	16	3,1	1338	338	564	1342	13	27	98	4,0	3,6	14	59	1205	83	1,3	5,8	5,5	94	4,0
M3	0-10	25	3,1	1493	785	594	331	2	159	386	1,9	2,4	11	33	469	85	1,2	5,3	6,0	79	3,5
M4	OH	70	2,7	893	3113	393	162	1	81	76	0,3	0,9	9	29	527	52	7,4	4,7	5,4	49	6,3
	0-10	16	3,3	1448	181	891	1538	13	143	222	8,0	1,6	18	61	1332	80	1,8	4,6	5,2	101	3,3
M5	OH	52	2,7	1403	1435	345	315	2	33	140	1,0	4,2	9	40	536	49	2,3	3,1	3,4	46	3,8
	0-10	20	2,9	1193	970	359	649	3	97	303	1,2	3,1	11	51	713	74	1,0	4,4	4,4	83	3,5
M6	OH	66	2,6	1413	3032	201	124	2	138	94	0,5	0,7	1	141	572	51	4,0	2,8	3,4	41	4,4
	0-10	16	3,1	1755	329	213	850	17	327	354	5,3	1,1	13	68	893	107	1,3	5,1	7,6	85	3,3
M7.1	0-10	33	2,9	530	2869	378	671	5	117	165	0,2	1,4	24	42	666	42	4,6	3,3	3,7	57	3,0
M7.2	0-10	29	2,9	1160	781	397	254	4	8	83	1,5	9,8	7	45	811	57	0,8	4,2	4,6	77	3,9
Reservaatbos	OH	54	2,8	1596	1512	411	148	2	142	69	1,1	0,5	8	33	440	82	3,2	5,0	5,8	62	5,9
	0-10	20	3,3	1725	403	453	591	10	303	156	4,3	0,5	11	55	1079	172	1,7	6,9	12,4	102	3,7

3.5.3 Bladchemie bosvakken

De gehalten in het blad geven een indruk van tekorten of overschotten aan elementen in de bomen. De verzamelde gegevens werden vergeleken met de gegevens gepubliceerd in Mellert & Gottlein uit 2012 (Tabel 3.3). Daarnaast werd ook gekeken naar de verhoudingen waarin elementen voorkwamen in het blad. Door het uitspoelen van basische kationen (Ca, K en Mg) als gevolg van verzurende depositie (stikstof en in het verleden zwavel), en de vermestende N-depositie kunnen de verhoudingen van elementen in het blad sterk verschuiven.

Per locatie werd aangegeven of er sprake was van een tekort, of de gegevens zich in het normale bereik bevonden of dat er sprake was van een overschot aan Ca, K, Mg, N en P in de bemonsterde bomen.

Tabel 3.3. Referentietabel naar Mellert en Gottlein (tabel 1, 3, 4 en 6) met de referentiegegevens in mg/g van naald van Grove den (*Pinus sylvestris*), blad van Beuk (*Fagus Sylvatica*) en Eik (zomer- en wintereik, *Quercus Robur* en *Quercus petraea*).

mg/g	Eik			mg/g	Beuk			mg/g	Grove den		
	Gebrek	Normale bereik	Overschot		Gebrek	Normale bereik	Overschot		Gebrek	Normale bereik	Overschot
N	<19,8	19,8-26,8	>26,8	N	<18,7	18,7-23,2	>23,2	N	<14	14-18,3	>18,3
P	<1,4	1,4-2,1	>2,1	P	<1,2	1,2-1,9	>1,9	P	<1,3	1,3-1,9	>1,9
K	<7,2	7,2-11,4	>11,4	K	<6,1	6,1-9,7	>9,7	K	<4,6	4,6-7	>7
Ca	<5,3	5,3-10,2	>10,2	Ca	<6,7	6,7-14,0	>14,0	Ca	<2	2-3,9	>3,9
Mg	<1,2	1,2-2,4		Mg	<1,1	1,1-2,3	>2,3	Mg	<0,8	0,8-1,3	>1,3
N/P		9,3-19,6		N/P		10,0-18,9		N/P		7,4-14,1	
N/K		1,7-3,7		N/K		1,9-3,8		N/K		2,0-4,0	
N/Ca		1,9-5,0		N/Ca		1,3-3,5		N/Ca		3,6-9,1	
N/Mg		8,1-21,8		N/Mg		8,2-21,7		N/Mg		10,8-22,9	

Algemeen beeld

De bemonsterde eiken in de Meinweg hadden een tekort aan kalium en fosfor en deels ook tekorten aan calcium en magnesium in het blad. Wat stikstof betreft werden gehalten gemeten die aan de bovenkant of boven het normale bereik vallen (Tabel 3.4). Deze relatief hoge N-gehalten zorgden ook voor een zeer ongunstige verhouding tussen N en K, Ca, Mg en P.

Ook de bemonsterde grove dennen hadden met name tekorten aan kalium, magnesium en fosfor. De calciumgehalten vielen op één locatie na binnen het normale bereik. Wat stikstof betreft werden gehalten gemeten binnen of boven het normale bereik. De lage gehalten aan P, K en Mg zorgden voor een zeer ongunstige verhouding tussen N en P en deels ook K en Mg.

De bemonsterde beuk was er bladchemisch gezien zeer slecht aan toe. Er werden duidelijke tekorten aan Ca, K, Mg en P aangetroffen en hoge gehalten aan N in het blad. Dat zorgt voor een ongunstige N:P, N:K, N:Ca en N:Mg-verhouding.

In vergelijking met andere gebieden in Noord-Brabant (Maashorst, Regte heide en Strabrechtse heide) en Veluwe werden in de bemonsterde eiken ook tekorten gemeten aan fosfor, kalium, calcium en magnesium. In Noord-Brabant werden in de bemonsterde grove dennen ook tekorten aan P gemeten, maar weinig tekorten aan kalium of magnesium. Ook werden in Noord-Brabant juist tekorten aan calcium gemeten in grove den (Verbaarschot et al., 2021). Beuken uit het Kroondomein en landgoed het Deelerwoud lieten een vergelijkbaar patroon zien met een tekort aan P, Mg, Ca en K in het blad.

Tabel 3.4. Gemeten gehalten in mg/g droog bladmateriaal en verhoudingen in g/g. Klasseringen volgens tabel 3.3, waarbij groen = binnen normale range, rood = gebrek en zwart = overschot.

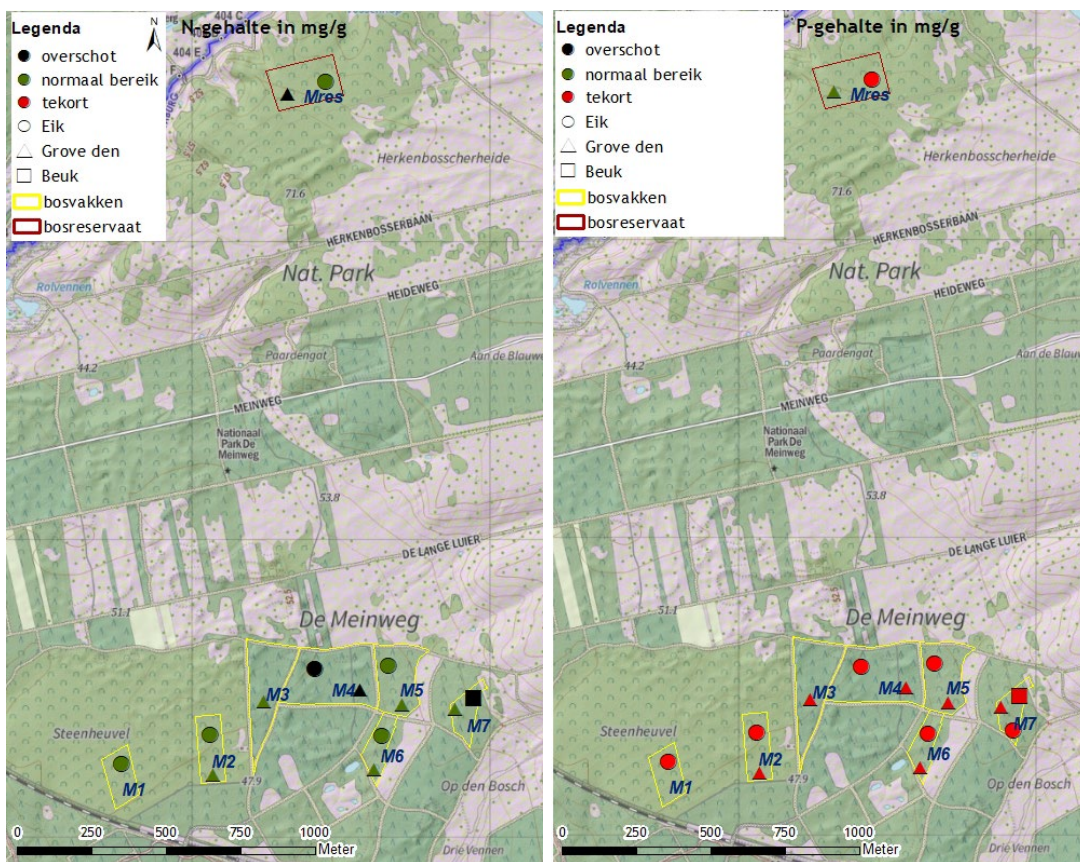
Locatie	Boom	N	Ca	K	Mg	P	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg
		mg/g					g/g			
M1	eik	26,5	5,3	5,6	1,4	1,4	19,0	4,7	5,0	18,5
M2	eik	24,7	6,0	4,7	1,3	1,2	21,0	5,2	4,1	18,7
M4	eik	26,8	3,9	4,1	0,8	1,1	25,1	6,6	6,9	32,3
M5	eik	23,6	3,0	3,4	0,8	0,8	29,3	7,0	7,8	30,7
M6	eik	26,1	1,9	3,9	0,9	0,8	31,7	6,7	13,9	28,9
M7	eik	-	7,1	5,1	1,6	1,1	-	-	-	-
Mres	eik	24,8	4,5	4,6	1,3	1,0	25,3	5,4	5,5	18,4
M2	grove den	17,6	3,5	4,4	0,7	1,2	14,5	4,0	5,0	26,5
M3	grove den	16,4	2,3	5,0	0,6	1,0	16,5	3,2	7,2	26,7
M4	grove den	18,5	2,2	4,3	0,7	1,0	19,1	4,3	8,5	24,9
M5	grove den	15,9	2,2	3,6	0,8	0,7	21,7	4,4	7,4	19,2
M6	grove den	16,4	1,9	4,8	0,7	1,0	17,0	3,4	8,8	22,8
M7	grove den	14,4	3,8	3,7	0,7	0,8	18,2	3,9	3,8	20,7
Mres	grove den	20,8	3,3	4,9	0,8	1,3	15,8	4,2	6,4	26,0
M7	beuk	23,6	6,4	5,1	0,6	1,0	23,5	4,6	3,7	38,2

Ruimtelijke weergave

Wat calcium betreft werd op het merendeel van de locaties een tekort aangetroffen in het verzamelde blad van eik en beuk (Figuur 3.19). Een uitzondering vormde bosvak M7 met een normaal Ca-gehalte in het eikenblad. Voor Grove den ziet het beeld er wat beter uit met Ca-gehalten die vallen in de normale range. Wat magnesium en kalium betreft is het beeld slecht voor zowel eik, beuk als grove den met op alle locaties tekorten aan magnesium en kalium (Figuur 3.19 en 3.20).



Figuur 3.19 Gemeten gehalten aan Ca, Mg en K ingedeeld in de categorieën gegeven in Mellert & Gottlein (2012, Tabel 3.2).



Figuur 3.20 Gemeten gehalten aan N en P ingedeeld in de categorieën gegeven in Mellert & Gottlein (2012, Tabel 3.2).

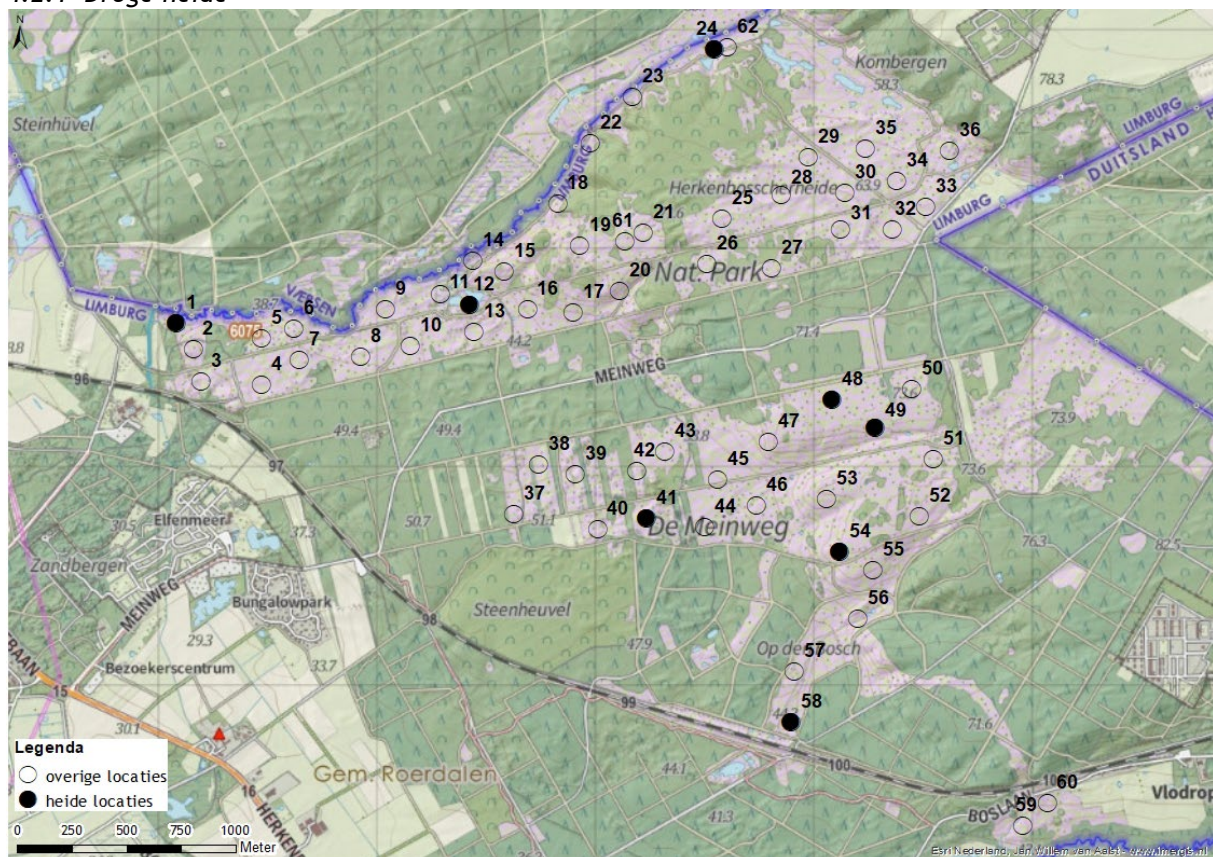
Ook wat fosfor betreft werd er in alle bosvakken een tekort gemeten in het blad- en/of naaldmateriaal van eik, beuk en grove den. Een uitzondering vormde het reservaat waar in de grove den P-gehalten in het naaldmateriaal werd gemeten die in het normale bereik vallen (1,3 mg P/g). Als laatste werd gekeken naar de N-gehalten in het blad van de bomen (Figuur 3.20). Hierbij worden geen tekorten verwacht maar juist een overschot. Over het algemeen vielen de gemeten N-gehalten in het blad en naalden van eik, beuk en grove den binnen de normale ranges. Met name in bosvak M4 werd zowel voor eik als grove den een overschot aan N gemeten in het blad- en naaldmateriaal van respectievelijk 26,8 en 18,5 mg/g. Ook in het reservaat werd een overschot aan N in het naaldmateriaal van grove den gemeten van 20,8 mg/g.

4. Hersteladvies droge heide Meinweg

4.1 Knelpunten en advies heide

Uit hoofdstuk 3 is gebleken dat op een groot deel van de locaties in de Meinweg met name verhoogde NH_4 -concentraties en deels de bodembuffering een knelpunt vormen voor de ontwikkeling van droge heide met kenmerkende kruiden. In deze paragraaf wordt ingegaan op mogelijke herstelmaatregelen, hierbij wordt onderscheidt gemaakt tussen oude droge heide, vergraste locaties, verbrande locaties en voormalige akkers.

4.2.1 Droge heide



Figuur 4.1 Overzicht van de droge heide locaties in de Meinweg.

Locatie 1, 12, 24, 41, 48, 49, 54 en 58 waren gelegen in droge “oude” heide. Op locatie 48 werden bodemchemisch geen knelpunten gevonden voor het voorkomen van kenmerkende kruiden in heide. Op deze locatie kan gedacht worden om soorten in te brengen door lokaal open plekken te maken en maaisel of zaden van kenmerkende soorten op te brengen. Op locatie 1, 12, 24, 41 en (in mindere mate) 49 vormt de bodembuffering (lage pH, beschikbaar Ca of basenverzadiging) een knelpunt voor het voorkomen van kenmerkende kruiden. Daarnaast was ook de NH_4 -concentratie in de bodem op locatie 1, 12, 49, 54 en 58 aan de hoge kant ($>200 \mu\text{mol/l}$ bodem). Voor locaties 1, 12, 24 en 41 wordt geadviseerd om de bodembuffering te verhogen en mogelijk daarmee ook de nitrificatie op gang te brengen. Vanwege de al relatief hoge beschikbare K en Mg-concentraties in de bodem wordt geadviseerd om een kalkproduct (2 ton/ha) te gebruiken of een Ca-rijk steenmeel (10 ton/ha) zoals Biolit. Voor locaties 49, 54 en 58 wordt geadviseerd om met begrazing eventuele vergrassing te voorkomen. Op locatie 12 met een zeer hoge concentratie NH_4 in de bodem kan ook gedacht worden aan kleinschalig plaggen met aanvullend bekalken (2 ton/ha). Een andere optie is de toepassing van

vulkamin (5 ton/ha), uit onderzoek is gebleken dat het opbrengen van vulkamin op ongeplagde droge heide kan resulteren tot een betere bodembuffering en lagere ammoniumconcentraties in de bodem (Lucassen et al., 2019; database Onderzoekcentrum B-WARE). De toepassing van vulkamin is als herstelmaatregel in droge heide nog zeer experimenteel. Er zijn nog geen lange termijn gegevens beschikbaar, daarom wordt geadviseerd om dit kleinschalig uit te voeren. De knelpunten en hersteladviezen zijn weergegeven in Tabel 4.1a en b.

Tabel 4.1a. Belangrijkste bodemchemische parameters in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in $\mu\text{mol/l}$ zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage. Groen = binnen ranges voor kruidenrijke heide, geel = net buiten range voor kruidenrijke heide, rood = buiten range voor kruidenrijke heide.

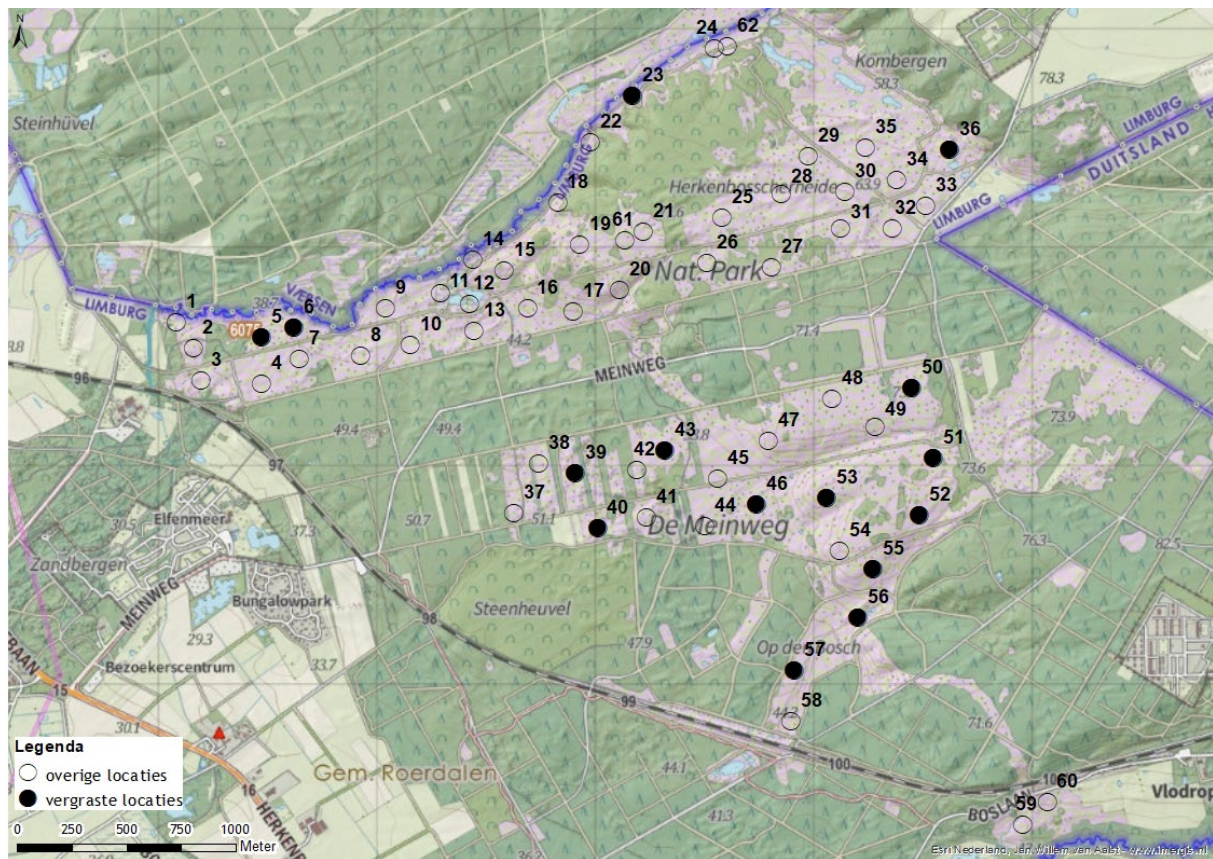
Locatie	Kenmerk	OS	Zoutextractie										Strontium		Olsen-P	Destructie	
			pH	Al	Ca	K	Mg	Mn	P	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC		P-t	Ca-t
			%	$\mu\text{mol/l}$										%	meq/l	$\mu\text{mol/l}$	mmol/l
1	heide	5	3,2	1140	570	539	313	72	6	7	429	2,0	14	27	834	4,3	1,9
12	heide	5	3,2	1066	1193	437	515	79	1	73	774	0,9	15	36	580		
24	heide	13	3,0	910	465	468	208	2	1	1	17	2,0	3	20	213		
41	heide	9	3,0	1312	506	323	227	106	2	4	143	2,6	10	40	733	4,2	1,7
48	heide	5	3,6	245	3608	1400	1688	134	18	39	200	0,1	22	30	525		
49	heide	5	3,5	1090	1405	1409	463	274	2	141	316	0,8	22	27	269		
54	heide	17	3,0	765	1549	717	811	66	3	55	414	0,5	29	40	417	2,4	3,8
58	heide	5	3,1	1305	2216	641	1058	216	6	170	474	0,6	38	49	694		

Tabel 4.1b. Overzicht geadviseerde herstelmaatregel per locatie.

Locatie	Kenmerk	Advies
1	heide	kleinschalig 2 ton kalk /ha of 10 ton Ca-rijk steenmeel (Biolit)
12	heide	plaggen met aanvullende bekalking (2 ton/ha) of kleinschalige toepassing van vulkamin (5 ton/ha)
24	heide	kleinschalig 2 ton kalk /ha of 10 ton Ca-rijk steenmeel (Biolit)
41	heide	kleinschalig 2 ton kalk /ha of 10 ton Ca-rijk steenmeel (Biolit)
48	heide	maaisel of zaden opbrengen
49	heide	voorkomen van vergrassing door begrazing met schapen
54	heide	voorkomen van vergrassing door begrazing met schapen
58	heide	voorkomen van vergrassing door begrazing met schapen

4.2.2. Vergraste locaties

Van de bemonsterde locaties waren er 15 gelegen in vergraste zones (locatie 5, 6, 23, 36, 39, 40, 43, 46, 50 t/m 53, 55, 56 en 57). Van deze locaties waren er 12 voornamelijk vergrast met Pijpenstrootje (23, 39, 40, 43, 46, 50 t/m 53, 55, 56 en 57). Op locatie 5, 6 en 36 waren Bochtige smele en Fijn schapengras het meest voorkomende gras. Op deze drie locaties kan bij een te sterke dominantie van bochtige smele gedacht worden aan extensieve begrazing.



Figuur 4.2 Overzicht van de vergraste locaties in de Meinweg.

De met Pijpenstrootje vergraste zones waren voornamelijk centraal in het gebied gelegen rondom de voormalige akkers en in de voormalige boszone (locatie 55, 56 en 57). Op locatie 40, 43, 50, 51, 53, 55, 56 en 57 vormt de hoge tot zeer hoge NH_4 -concentratie in de bodem een knelpunt voor ontwikkeling van droge heide. Daarnaast vormt op locatie 23, 39, 43, 46, 50, 52, 53 en 56 de bodembuffering (lage pH, beschikbare Ca-concentratie of basenverzadiging) een knelpunt voor het voorkomen van kenmerkende kruiden. Als de vergrassing 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 een kalkproduct of steenmeel (2 ton schelpenkalk/ha of 10 ton Biolit/ha). Op locatie 43 en 56 is de ammoniumconcentratie in de bodem extreem hoog. Op deze twee locaties kan ook gedacht worden aan plaggen met aanvullend bekalken (2 ton/ha) of het experimenteel toepassen van vulkamin (5 ton/ha). De knelpunten en hersteladviezen zijn weergegeven in Tabel 4.2a en b.

Tabel 4.2a. Belangrijkste bodemchemische parameters in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in $\mu\text{mol/l}$ zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage. Groen = binnen ranges voor kruidenrijke heide, geel = net buiten range voor kruidenrijke heide, rood = buiten range voor kruidenrijke heide en zwart = ver buiten range voor kruidenrijke heide.

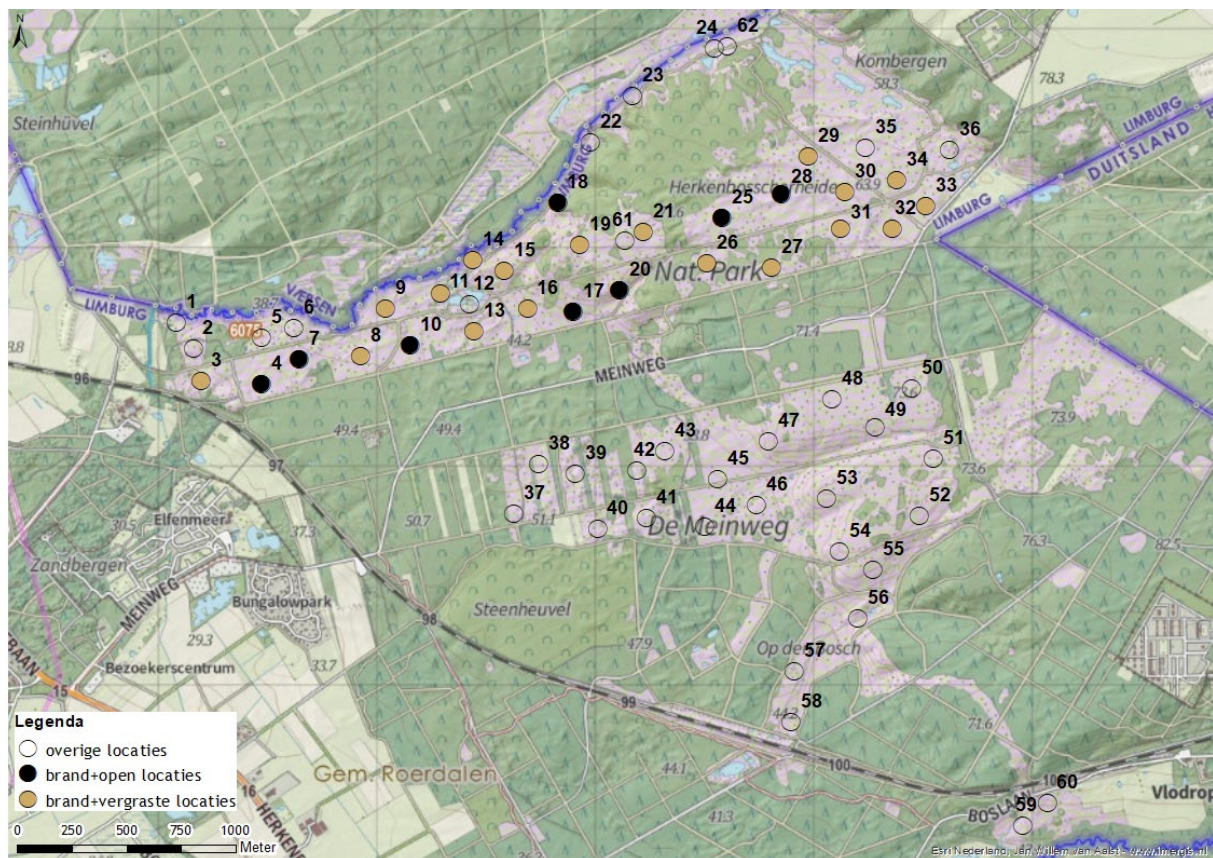
Locatie	Kenmerk	OS	Zoutextractie										Strontium		Olsen-P	Destructie	
			pH	Al	Ca	K	Mg	Mn	P	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC		P-t	Ca-t
			%									ratio	%	meq/l	$\mu\text{mol/l}$	mmol/l	
5	vergrast	8	3,0	986	1080	335	377	88	4	63	194	0,9	16	39	842		
6	vergrast	9	3,0	748	1652	586	975	117	10	108	147	0,5	16	30	762		
23	vergrast	6	3,1	694	612	268	205	21	4	180	232	1,1	9	25	205	1,0	1,1
36	vergrast	8	3,2	543	2134	494	938	109	10	41	192	0,3	31	30	1131	6,0	4,1
39	vergrast	5	3,1	975	696	287	343	101	5	38	160	1,4	9	24	765		
40	vergrast	10	3,1	905	1933	428	554	347	5	146	348	0,5	17	30	588		
43	vergrast	8	3,4	1230	747	3246	229	39	1	289	2675	1,6	20	40	293		
46	vergrast	6	3,4	1087	1357	441	456	154	1	26	191	0,8	17	26	513		
50	vergrast	5	3,3	972	850	521	449	219	1	108	398	1,1	14	23	455		
51	vergrast	11	3,2	912	2107	713	790	289	1	217	653	0,4	23	36	419	3,2	2,6
52	vergrast	5	3,4	1146	1364	658	431	370	2	83	172	0,8	19	34	273		
53	vergrast	5	3,3	1387	1232	788	399	80	1	76	408	1,1	16	50	233		
55	vergrast	7	3,0	713	2670	465	532	80	2	130	337	0,3	28	37	480		
56	vergrast	4	3,2	773	1349	717	443	18	1	269	2262	0,6	19	29	496	2,4	3,8
57	vergrast	11	3,1	667	1514	423	449	83	16	193	363	0,4	22	28	638		

Tabel 4.2b. Overzicht geadviseerde herstelmaatregel per locatie.

Locatie	Kenmerk	Advies
5	vergrast	extensieve begrazing bij te sterke dominantie van bochtige smeie
6	vergrast	extensieve begrazing bij te sterke dominantie van bochtige smeie
23	vergrast	beheer intensiveren of drukbegrazing, daarna bufferherstel (2 ton kalk of 10 ton Biolit/ha)
36	vergrast	extensieve begrazing bij te sterke dominantie van bochtige smeie
39	vergrast	beheer intensiveren of drukbegrazing, daarna bufferherstel (2 ton kalk of 10 ton Biolit/ha)
40	vergrast	beheer intensiveren of drukbegrazing, daarna bufferherstel (2 ton kalk of 10 ton Biolit/ha)
43	vergrast	plaggen met aanvullende bekalking (2 ton/ha) of kleinschalige toepassing van vulkamin (5 ton/ha)
46	vergrast	beheer intensiveren of drukbegrazing, daarna bufferherstel (2 ton kalk of 10 ton Biolit/ha)
50	vergrast	beheer intensiveren of drukbegrazing, daarna bufferherstel (2 ton kalk of 10 ton Biolit/ha)
51	vergrast	drukbegrazing en maaien
52	vergrast	beheer intensiveren of drukbegrazing, daarna bufferherstel (2 ton kalk of 10 ton Biolit/ha)
53	vergrast	beheer intensiveren of drukbegrazing, daarna bufferherstel (2 ton kalk of 10 ton Biolit/ha)
55	vergrast	drukbegrazing en maaien
56	vergrast	plaggen met aanvullende bekalking (2 ton/ha) of kleinschalige toepassing van vulkamin (5 ton/ha)
57	vergrast	beheer intensiveren of drukbegrazing, daarna bufferherstel (2 ton kalk of 10 ton Biolit/ha)

4.2.3 Verbrande locaties

In de in 2020 verbrande zone werden 26 locaties bemonsterd. Op een groot deel van deze locaties werd kiemende brem aangetroffen. Van deze locaties waren er acht met een kaal open karakter met nog relatief weinig hergroei van vegetatie (4, 7, 10, 17, 18, 20, 25 en 28). Op de andere 18 locaties werd met name een hergroei van grassen waargenomen, waarvan Pijpenstrootje op locatie 8, 13, 14, 19, 21, 26, 27 en 29 t/m 34 het meest voorkomende gras was. Op zes locaties (3, 9, 11, 15, 30 en 33) werd ook veel hergroei van Schapenzuring waargenomen. In de verbrande locaties vormt met name de hoge NH_4 -beschikbaarheid een knelpunt voor ontwikkeling van kenmerkende kruiden in heide, naast een wat hogere P-beschikbaarheid in de bodem. Voor deze zone wordt geadviseerd om te starten met begrazing en dit goed te blijven monitoren. Wanneer de ammoniumconcentraties in de bodem hoog blijven kan gedacht worden aan bekalking (2 ton/ha) om de nitrificatie op gang te brengen. Voor locaties 3, 8 en 11 met een lage Ca-beschikbaarheid in de bodem en een Al/Ca-ratio hoger dan 1 wordt geadviseerd om te bekalken (2 ton/ha) in combinatie met begrazing. In plaats van de reguliere begrazing kan in lokale zones ook geëxperimenteerd worden met drukbegrazing om de vaak na brand optredende 'green flush' terug te dringen. Op de acht locaties met nog relatief weinig hergroei van grassen is begrazing (nog) niet nodig (tabel 4.3a en b).



Figuur 4.3 Overzicht van de verbrande locaties in de Meinweg.

Tabel 4.3a. Belangrijkste bodemchemische parameters in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in $\mu\text{mol/l}$ zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage. Groen = binnen ranges voor kruidenrijke heide, geel = net buiten range voor kruidenrijke heide, rood = buiten range voor kruidenrijke heide en zwart = ver buiten range voor kruidenrijke heide.

Locatie	Kenmerk	OS	Zoutextractie										Strontium		Olsen-P	Destructie	
			pH	Al	Ca	K	Mg	Mn	P	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC		P-t	Ca-t
			%	µmol/l									ratio	%		meq/l	µmol/l
4	brand + open	6	3,2	940	2025	663	701	52	1	9	1086	0,5	18	31	344		
7	brand + open	7	2,9	908	2052	504	619	119	8	172	1465	0,4	32	56	612	3,6	2,7
10	brand + open	4	3,4	935	1350	541	633	111	2	83	545	0,7	24	28	643		
17	brand + open	7	3,1	880	2552	2294	789	313	13	746	287	0,3	28	37	892		
18	brand + open	8	3,2	526	2870	953	976	105	10	9	1537	0,2	28	30	393		
20	brand + open	6	3,0	709	1805	826	626	39	8	8	1465	0,4	22	31	304		
25	brand + open	4	3,3	854	1029	614	480	117	3	184	271	0,8	21	25	683		
28	brand + open	10	3,2	482	3010	659	1093	119	3	154	1331	0,2	19	21	422		
3	brand + vergrast	5	3,0	1029	926	259	311	27	3	11	109	1,1	15	22	719		
8	brand + vergrast	7	3,2	1469	992	702	489	130	2	62	1567	1,5	18	40	743		
9	brand + vergrast	5	3,3	561	2976	463	1049	127	8	4	152	0,2	27	30	765	5,0	5,9
11	brand + vergrast	5	3,1	1396	401	459	245	25	5	18	300	3,5	8	27	822		
13	brand + vergrast	6	3,2	1061	1849	666	857	288	1	37	1011	0,6	23	36	602	4,4	3,6
14	brand + vergrast	8	3,2	820	2685	1054	935	64	16	271	1529	0,3	26	31	581		
15	brand + vergrast	8	3,1	728	1755	399	621	88	4	18	522	0,4	28	30	678		
16	brand + vergrast	14	3,2	649	2036	931	716	54	9	50	389	0,3	9	37	956		
19	brand + vergrast	6	3,2	491	2358	693	884	260	10	169	1008	0,2	26	27	783	4,8	4,2
21	brand + vergrast	4	3,6	368	1965	465	523	503	9	119	224	0,2	32	18	912		
26	brand + vergrast	8	3,2	651	2938	958	1149	510	7	225	2028	0,2	22	36	523		
27	brand + vergrast	7	3,4	511	2028	865	880	354	3	158	1872	0,3	27	32	454	3,3	3,9
29	brand + vergrast	6	3,1	653	2489	643	786	728	4	124	267	0,3	26	34	557		
30	brand + vergrast	5	3,0	822	1175	241	293	85	6	33	174	0,7	15	25	738	3,6	2,6
31	brand + vergrast	8	3,1	1081	1765	656	675	246	5	189	455	0,6	20	33	565		
32	brand + vergrast	7	3,4	560	3330	911	1301	170	2	59	1070	0,2	21	30	274		
33	brand + vergrast	6	3,3	643	1548	557	694	314	1	55	171	0,4	18	24	1555		
34	brand + vergrast	4	3,3	1964	2530	1570	542	126	16	585	111	0,8	24	29	411		

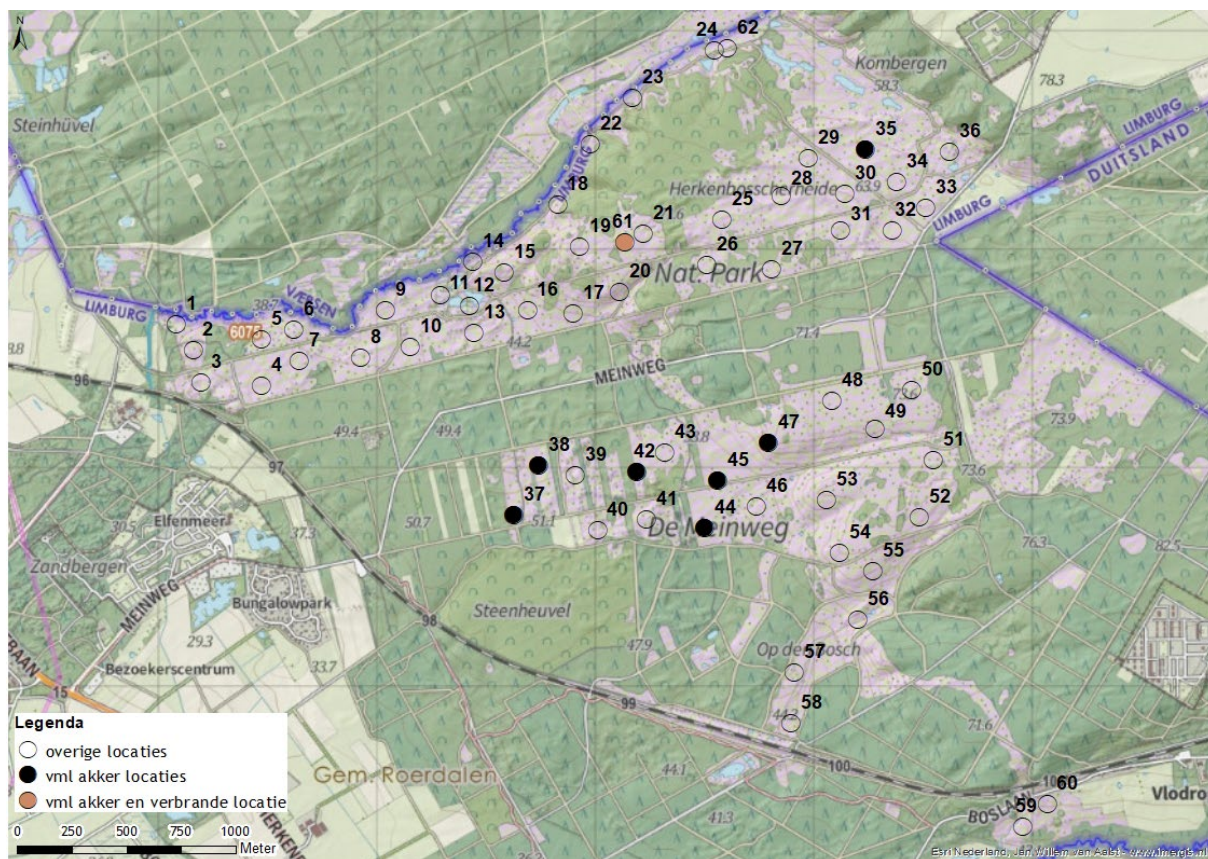
Tabel 4.3b. Overzicht geadviseerde herstelmaatregel per locatie.

Locatie	Kenmerk	Advies
4	brand + open	monitoring
7	brand + open	monitoring
10	brand + open	monitoring
17	brand + open	monitoring
18	brand + open	monitoring
20	brand + open	monitoring
25	brand + open	monitoring
28	brand + open	monitoring
3	brand + vergrast	2 ton kalk/ha met begrazing
8	brand + vergrast	2 ton kalk/ha met begrazing
9	brand + vergrast	begrazing
11	brand + vergrast	2 ton kalk/ha met begrazing
13	brand + vergrast	begrazing
14	brand + vergrast	begrazing
15	brand + vergrast	begrazing
16	brand + vergrast	begrazing
19	brand + vergrast	begrazing
21	brand + vergrast	begrazing
26	brand + vergrast	begrazing
27	brand + vergrast	begrazing
29	brand + vergrast	begrazing
30	brand + vergrast	begrazing
31	brand + vergrast	begrazing
32	brand + vergrast	begrazing
33	brand + vergrast	begrazing
34	brand + vergrast	begrazing

4.2.4. Voormalige akkers

Uit hoofdstuk 3 is gebleken dat de locaties op voormalige akkers (35, 37, 38, 42, 44, 45, 47 en 61) over het algemeen goed gebufferd waren, relatief lage NH_4 -concentraties bevatten en zeer hoge voor planten beschikbare fosfaatconcentraties. Een uitzondering vormde locatie 61 gelegen in de in 2020 verbrande zone. Op deze locatie werd mogelijk als gevolg van de brand een zeer hoge NH_4 -concentratie in de bodem gemeten van 8678 $\mu\text{mol/l}$ bodem en een zeer hoge beschikbare K-concentratie van 6098 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Vanwege de zeer hoge bodembuffering is ontwikkeling van deze locaties richting droge heide niet de meest voor de hand liggende optie. Door de hoge buffering liggen hier, op termijn, goede kansen voor ontwikkeling van heischrale graslanden. Wel is het zaak de fosfaatbeschikbaarheid te verlagen. Dat kan door jaarlijks middel van maaien en afvoeren, of door de percelen enkele jaren als heide-akker in te richten, vervolgens om te frezen en in te zaaien met heischrale graslandsoorten via zaden of maaisel (hiervoor dient de Olsen-P concentratie lager te zijn dan 1000 $\mu\text{mol/l}$ bodem om snelle verruiging te voorkomen; Vogels et al., 2013). Locatie 35 vormt

een uitzondering met een relatief lage bodembuffering, voor deze locatie wordt geadviseerd om aanvullend te bekalken met 2 ton kalk/ha (tabel 4.4 a en b).



Figuur 4.4 Overzicht van de voormalige akkerlocaties in de Meinweg.

Tabel 4.4a. Belangrijkste bodemchemische parameters in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in $\mu\text{mol/l}$ zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage. Groen = binnen ranges voor kruidenrijke heide/heischraal grasland, geel = net buiten range voor kruidenrijke heide/heischraal grasland, rood = buiten range voor kruidenrijke heide/heischraal grasland, blauw=in de range voor heischrale graslanden.

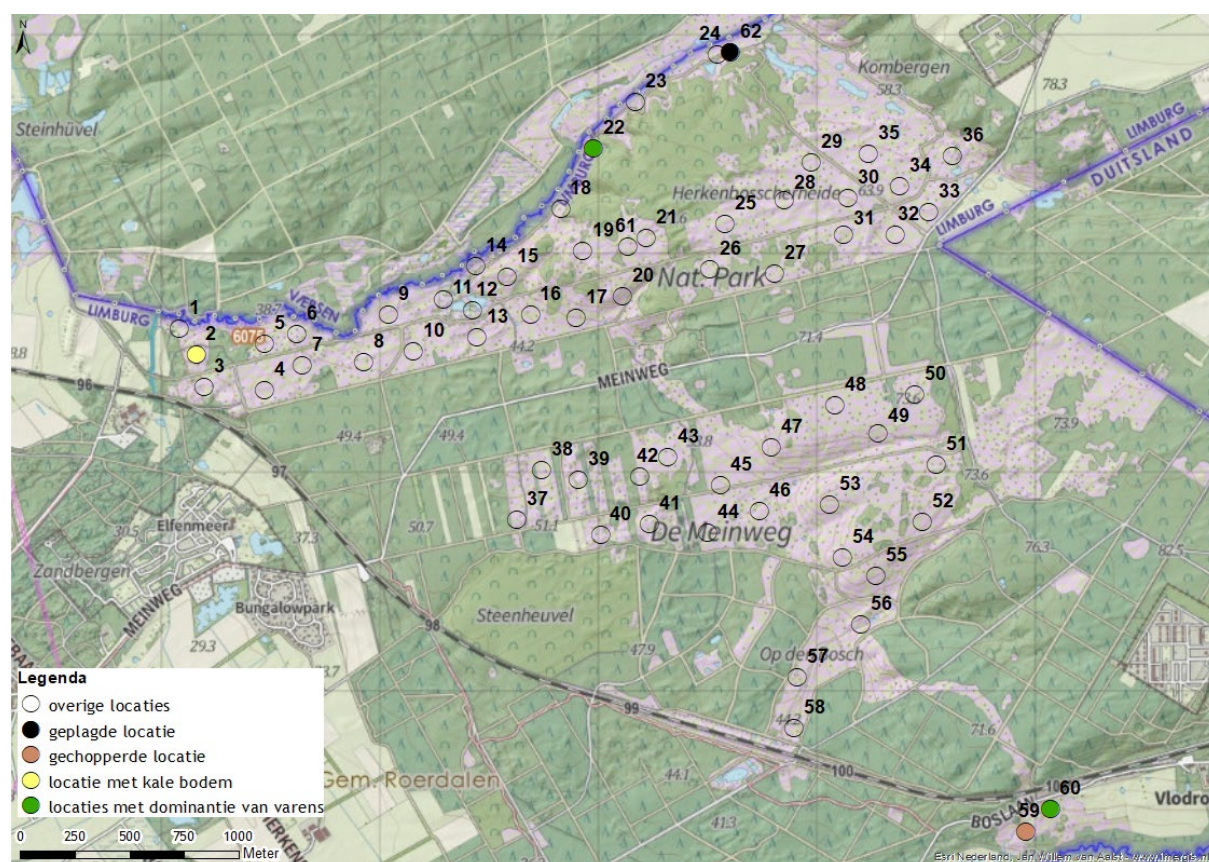
Locatie	Kenmerk	OS %	Zoutextractie										Strontium		Destructie		
			pH	Al	Ca	K	Mg	Mn	P	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC	Olsen-P	P-t	Ca-t
												ratio	%	meq/l	$\mu\text{mol/l}$	mmol/l	
61	vml akker + brand	6	4,2	47	1335	6098	1516	327	18	952	8678	<0,1	31	29	366	6,9	3,6
35	vml akker	7	3,1	933	1224	703	486	79	4	32	271	0,8	20	39	930		
37	vml akker	3	5,4	3	7420	1559	1957	4	48	79	147	<0,1	97	40	1109		
38	vml akker	5	4,6	52	5797	543	1061	38	57	28	77	<0,1	79	33	2244	14,3	12,6
42	vml akker	3	4,6	17	4484	417	1366	19	54	13	87	<0,1	85	22	1795		
44	vml akker	4	4,3	60	5673	938	1483	135	40	11	129	<0,1	70	25	2162		
45	vml akker	6	4,2	28	8785	445	917	73	47	20	154	<0,1	84	42	1300		
47	vml akker	8	3,8	57	6049	1127	3107	218	34	9	279	<0,1	53	37	1087	5,6	5,9

Tabel 4.4b. Overzicht geadviseerde herstelmaatregel per locatie.

Locatie	Kenmerk	Advies
61	vml akker + brand	ontwikkeling van kruidenrijke akker en op termijn heischraal
35	vml akker	ontwikkeling van kruidenrijke akker en op termijn heischraal
37	vml akker	ontwikkeling van kruidenrijke akker en op termijn heischraal
38	vml akker	ontwikkeling van kruidenrijke akker en op termijn heischraal
42	vml akker	ontwikkeling van kruidenrijke akker en op termijn heischraal
44	vml akker	ontwikkeling van kruidenrijke akker en op termijn heischraal
45	vml akker	ontwikkeling van kruidenrijke akker en op termijn heischraal
47	vml akker	ontwikkeling van kruidenrijke akker en op termijn heischraal

4.2.5 Overige locaties

Locatie 62 was recentelijk geplagd en locatie 59 was gechopperd. Op locatie 62 vormt met name de bodembuffering een knelpunt, naast een hoge Olsen-P concentratie in de bodem. Voor deze locatie 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. Op de gechopperde locatie 59 werd een zeer hoge ammoniumconcentratie in de bodem gemeten van 3253 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Ook voor deze locatie wordt geadviseerd om te bekalken met 2 ton kalk/ha om de nitrificatie te stimuleren en een verdere ammoniumpiek te voorkomen (tabel 4.5a en b).



Figuur 4.5 Overzicht van de 'overige' locaties in de Meinweg.

Locatie 2 was gelegen in een voormalige boszone die omgevormd werd naar heide in de periode 2005-2015 (Staatsbosbeheer Limburg) en werd gekenmerkt door een vrij kaal en open vegetatie. Op deze locatie vormt de wat lage pH-NaCl en basenverzadiging een knelpunt voor de ontwikkeling van kenmerkende kruiden in heide. Geadviseerd wordt om met een Ca-rijk steenmeel (10 ton Biolit/ha) of (schelpen)kalk (2 ton/ha) de bodembuffering wat te verhogen (tabel 4.5a en b).

Locatie 22 en 60 werden deels gedomineerd door adelaarsvaren. Beide locaties werden gekenmerkt door zeer hoge ammoniumconcentraties in de bodem en een lage pH-NaCl. Op basis van Lenders et al., 2016 wordt geadviseerd om met maaien en afvoeren de dominantie van adelaarsvaren te doorbreken. Vervolgens kan door middel van steenmeel of een kalkproduct de bodembuffering wat verhoogd worden en mogelijk wordt daarmee ook de nitrificatie gestimuleerd. Een andere optie is de toepassing van Zeoliet om ammonium vast te leggen. Dit wordt al experimenteel toegepast in de Meinweg, geadviseerd wordt om dit goed te blijven volgen (tabel 4.5a en b).

Tabel 4.5a. Belangrijkste bodemchemische parameters in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in $\mu\text{mol/l}$ zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage. Groen = binnen ranges voor kruidenrijke heide, geel = net buiten range voor kruidenrijke heide, rood = buiten range voor kruidenrijke heide en zwart = ver buiten range voor kruidenrijke heide.

Locatie	Kenmerk	OS %	Zoutextractie										Strontium		Olsen-P $\mu\text{mol/l}$	Destructie	
			pH	Al	Ca	K	Mg	Mn	P	NO ₃	NH ₄	Al/Ca	BV	CEC		P-t	Ca-t
												ratio	%	meq/l		mmol/l	
2	open	6	2,9	843	2263	359	579	123	9	200	186	0,4	20	25	463		
62	geplagd	5	3,1	1101	548	264	190	10	1	83	316	2,0	8	29	1407		
59	gechopperd	10	3,0	990	2075	2178	629	55	2	494	3253	0,5	22	52	418		
22	varen dom	14	2,9	948	2977	1173	499	78	6	26	2342	0,3	20	40	361		
60	varen dom	22	2,9	923	2264	1018	607	43	5	212	1549	0,4	34	36	566	2,2	3,0

Tabel 4.5b. Overzicht geadviseerde herstelmaatregel per locatie.

Locatie	Kenmerk	Advies
2	open	kleinschalig 2 ton kalk /ha of 10 ton Ca-rijk steenmeel (Biolit)
62	geplagd	2 ton kalk/ha en maaisel opbrengen
59	gechopperd	2 ton kalk/ha
22	varen dom	maaien en afvoeren, op den duur bufferherstel met steenmeel of kalk
60	varen dom	maaien en afvoeren, op den duur bufferherstel met steenmeel of kalk

4.3 Knelpunten bossen

Op basis van de bodemchemie waren de bosbodems over het algemeen zuur met een lage basenverzadiging en lokaal (M2, M4 en M6) zeer ongunstige Al/Ca-ratio. De beschikbare Ca-concentraties waren over het algemeen laag met concentraties onder de 1000 $\mu\text{mol/l}$ bodem. De bodem was niet sterk verrijkt met stikstof met concentraties onder de 350 $\mu\text{mol/l}$ NO₃ of NH₄. De totale fosforconcentraties in de bodem waren niet opmerkelijk hoog of laag met totaal-P concentraties lager dan 6 mmol/l bodem. De beschikbare P-concentraties (Olsen-P) in de bodem waren over het algemeen hoog met concentraties tussen de 700 en 1400 $\mu\text{mol/l}$ bodem.

De bladchemie laat zien dat de toestand van de eiken en beuken over het algemeen slecht is met tekorten aan kalium en fosfor en deels ook aan calcium en magnesium in het blad. Ook in het reservaatbos worden tekorten aan calcium, kalium en fosfor in het blad gemeten. Dit beeld komt overeen met eiken in andere gebieden in Noord-Brabant en de Veluwe. De N-gehalten in het blad vielen binnen de normaal range of net boven de normaal range voor eik of beuk en komen overeen met de relatief lage stikstofconcentraties in de bodem. De verhoudingen van elementen in het blad daarentegen waren zeer slecht voor eik en beuk, met ongunstige N/P, N/K en deels N/Mg en N/Ca-ratio's in de bemonsterde eiken en beuk. Uitzondering was locatie M1 waar de verhouding tussen N en P wel binnen de normale range viel en locatie M2 waar de verhouding tussen N en Ca of Mg goed was. Dit zijn de twee locaties met de jongste bossen (bos sinds 1990).

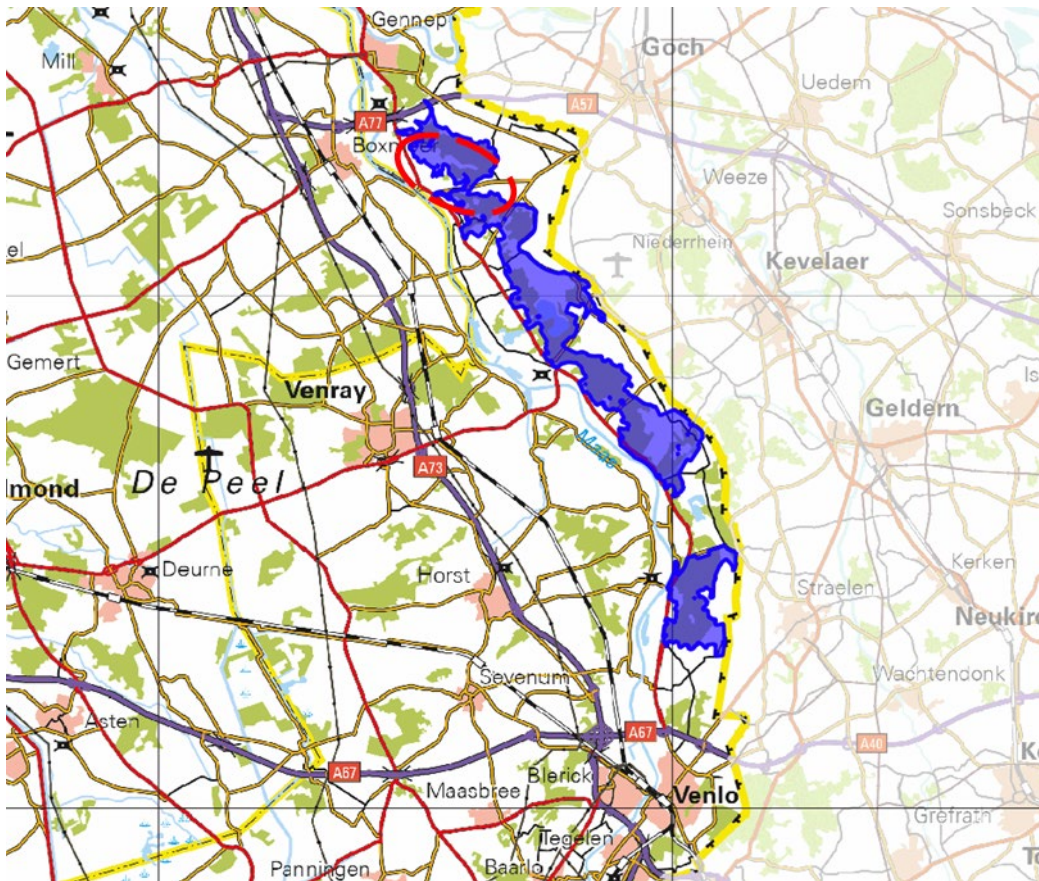
De toestand van de grove dennen in de bosvakken is op basis van de naald-chemie iets minder slecht. Ook in naalden van grove den werden tekorten aan kalium, magnesium en fosfor gemeten. De Ca-gehalten daarentegen vielen over het algemeen binnen de normale ranges en vielen zelfs deels aan de bovenkant van de range voor grove den, zoals in bosvak M7. In dit bosvak werd ook een wat hoger totaal-Ca gehalte in de bodem gemeten. De N-gehalten in de naalden van grove den vielen met uitzondering van twee bosvakken binnen of aan de bovenkant van de normaal range. Dit beeld komt betreft P overeen met metingen aan grove dennen in Noord-Brabant, maar werden weinig tekorten in kalium of magnesium gemeten.

Verder viel het op dat de totaal-Ca gehalten in de 10 cm minerale bodemlaag zeer laag waren, zeker in vergelijking met de totale Mg- en K-gehalten.

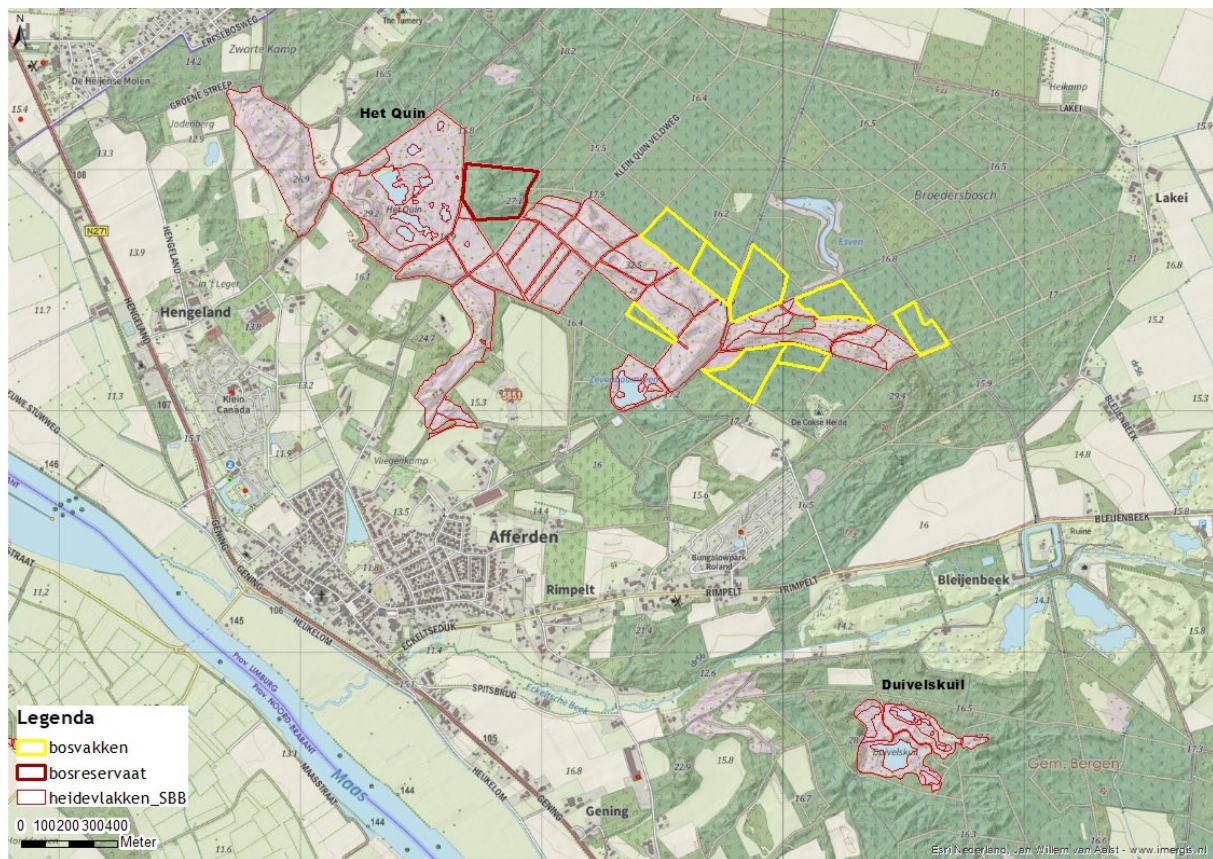
5. Maasduinen (Bergerbos)

5.1 Inleiding

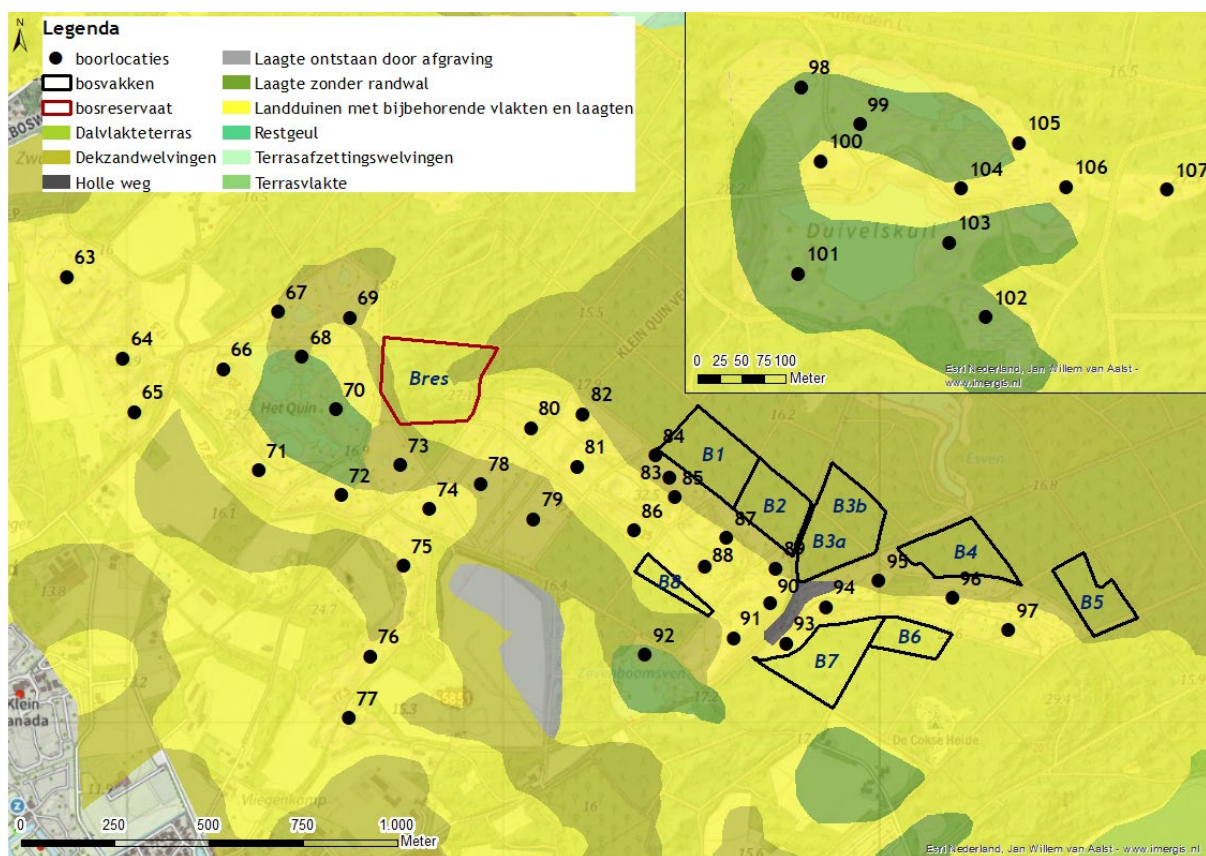
NP de Maasduinen (N2000-gebied) begint in het noorden bij Gennep en loopt door tot Schandelo in een smal lang uitgerekt gebied (Provincie Limburg, 2017 & Figuur 5.1). Binnen het gebied bevinden zich de bijzondere Maasterrassen, verhogingen die zich hebben gevormd doordat de Maas vanaf het Midden-Pleistoceen tot het Vroeg-Pleistoceen in het eigen sediment sneed (eroderen). Tijdens de periodes van eroderen was de Maas smaller waardoor de bedding van de rivier grotendeels bloot kwam te liggen. Vervolgens is dit zand door de wind verplaatst tot aan de begroeiingslijn naast de oever wat de rivierduinen creëerde. Aan het einde van het Pleistoceen kwam sterke duinvormende wind uit westzuidwestelijke richting die ten oosten van de Maas geleid heeft tot de vorming van bijzondere parabool duinen (Reutelingsperger, 2016). Deze duinen zijn geleidelijk aan begroeid geraakt en in de loop der tijd hebben zich hier onder andere zandverstuivingen (H2330), stuifzandheide (H2310) en droge heide (H4030) ontwikkeld en in de depressie tussen de duinen zijn zure en zwakgebufferde vennen ontstaan (H3160 en H3130) en een hoogveendrijftil in het pikmeeuwenwater (Provincie Limburg, 2016 & 2017).



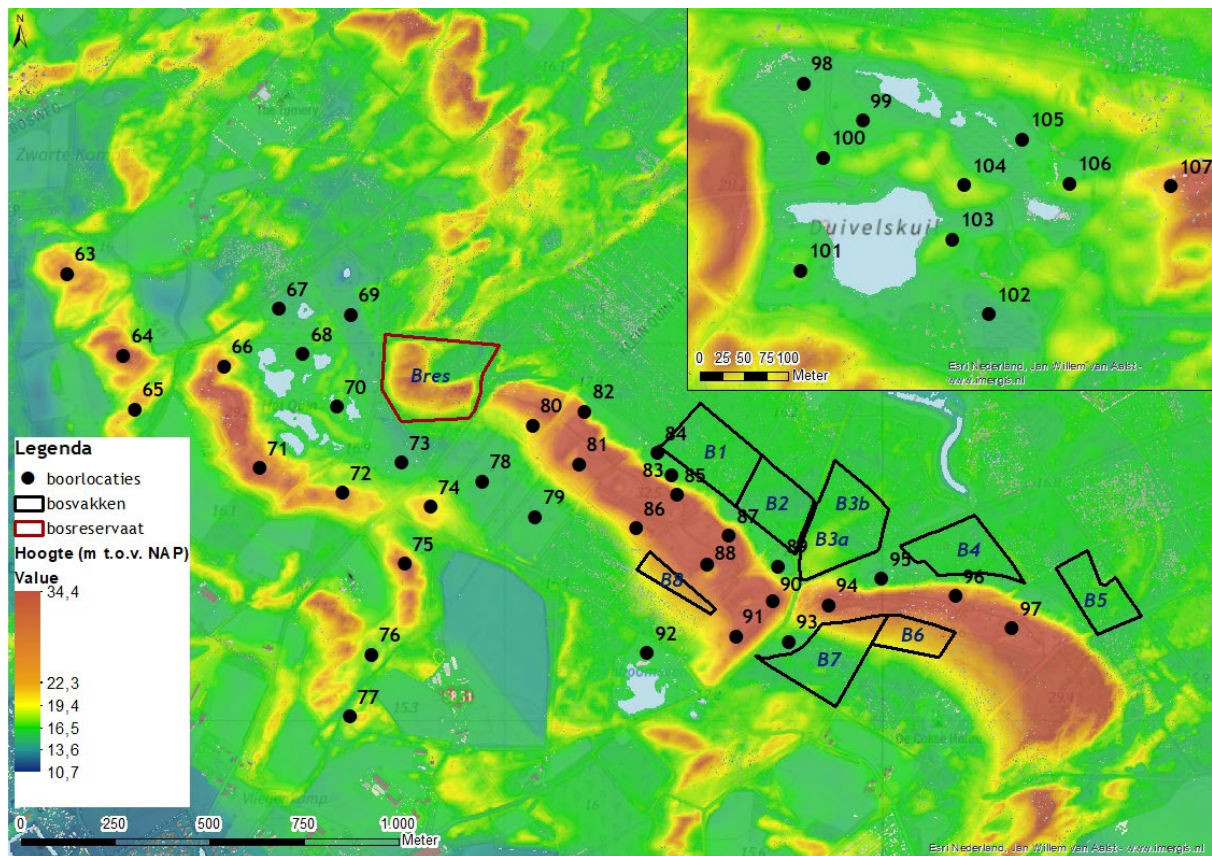
Figuur 5.1 Overzicht van de ligging van de Maasduinen (blauw). Bron: PDOK en Natura 2000.



Figuur 5.2 Overzicht van de ligging van het onderzoeksgebied op een topografische kaart.

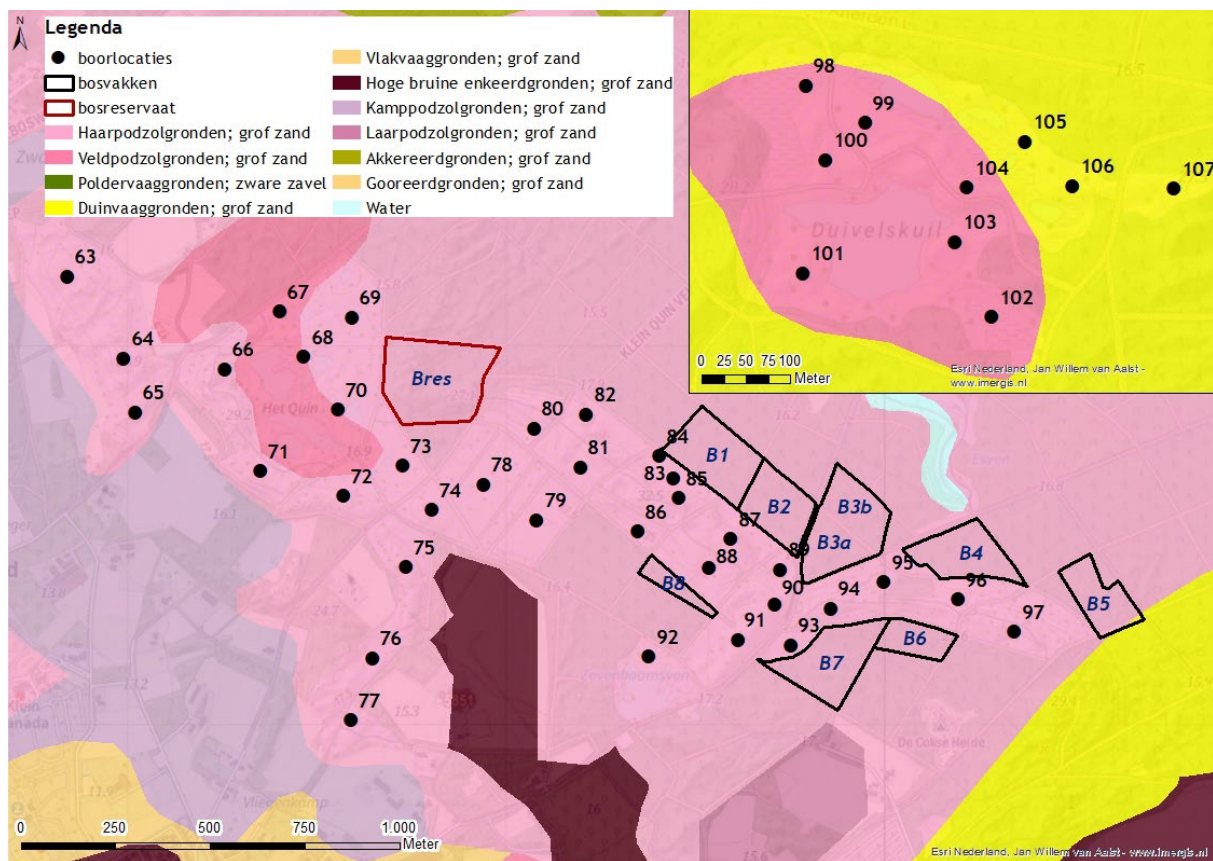


Figuur 5.3 Overzicht van de monsterlocaties in heide en bosvakken op de geomorfologische kaart in het Bergerbos en de Duivelskuil (rechtsboven).

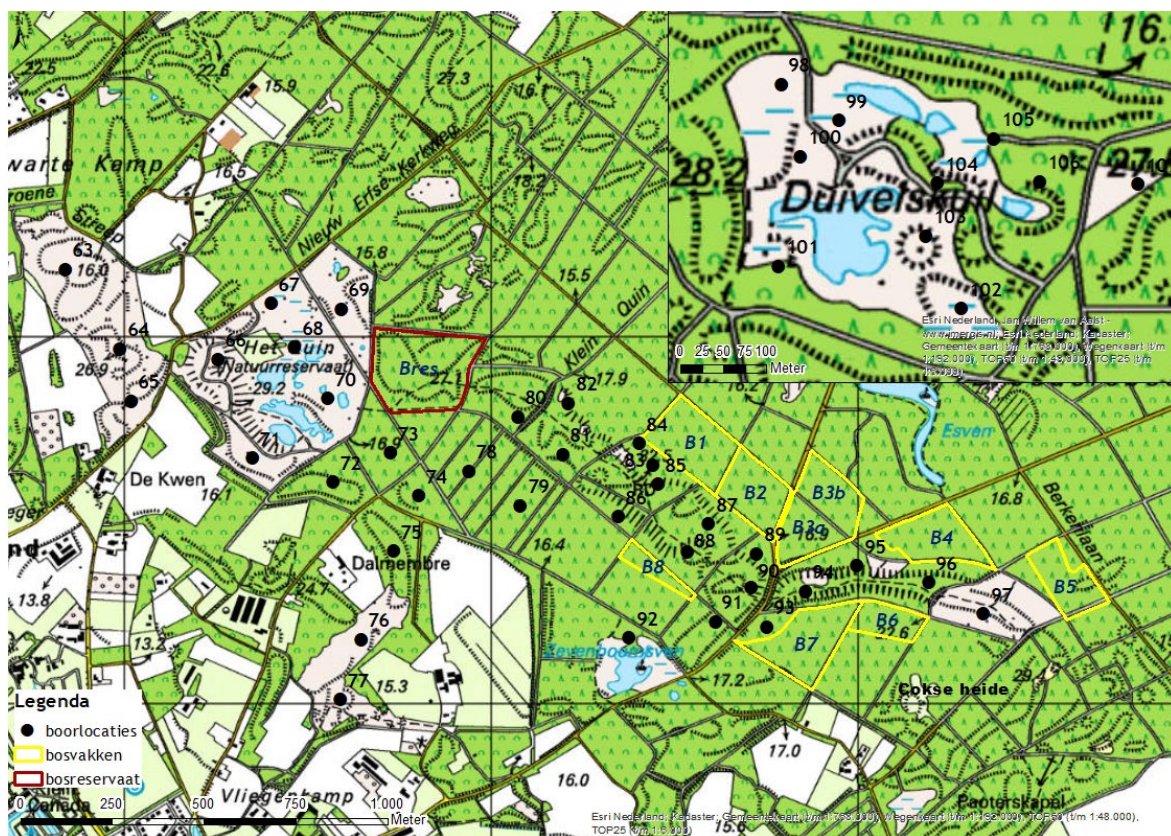


Figuur 5.4 Overzicht van de monsterlocaties in heide en bosvakken op een hoogtekaart in het Bergerbos en de Duivelskuil (rechtsboven).

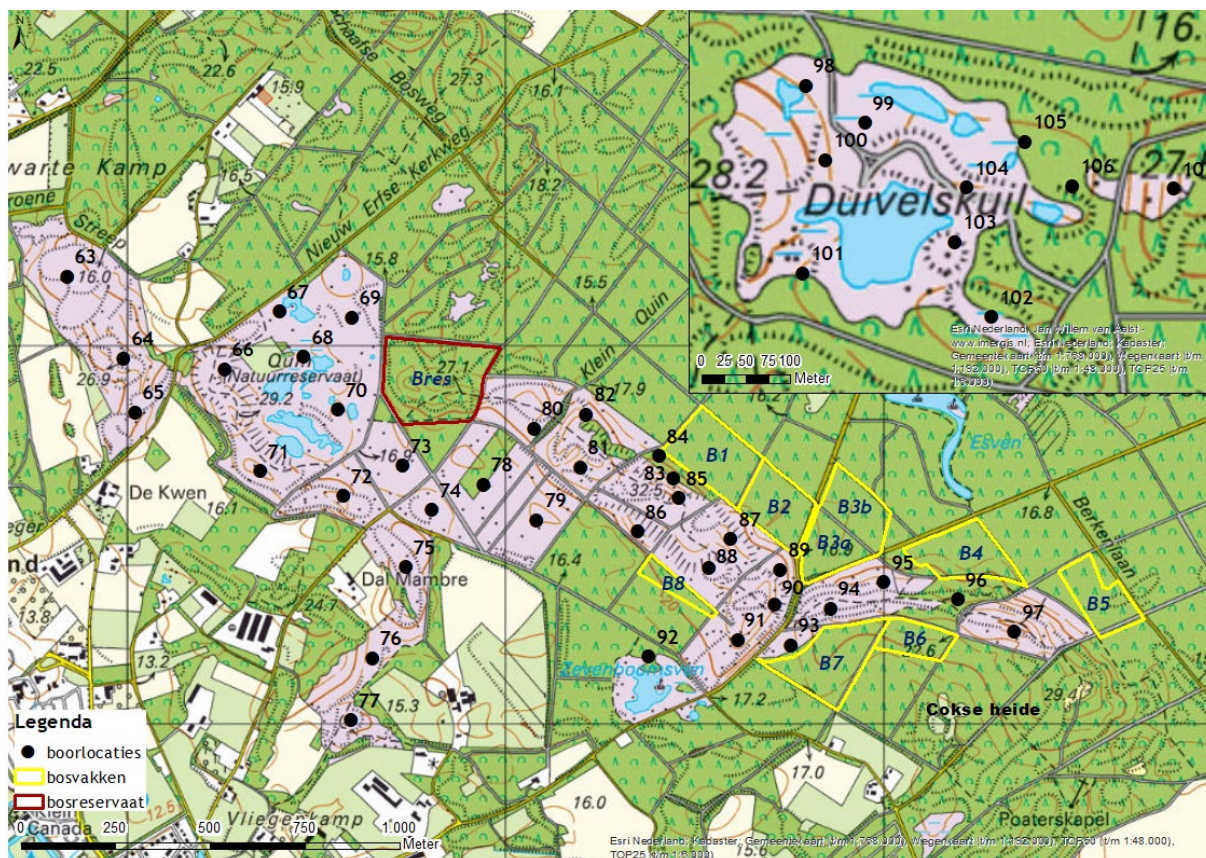
In het noorden van de Maasduinen, tegen Afferden aan, ligt het deelgebied Bergerbos. Het Bergerbos is een reliëfrijk gebied opgemaakt uit stuifduinen en dekzandwelingen van zand uit het Maasdal (Figuur 5.2 en 5.3). Om het Bergerbos heen liggen nog een aantal oude landbouwenclaves waar nog oude bruine enkeergronden te vinden zijn. Deze gronden zijn ontstaan door het potstalsysteem waarbij bosstrooisel en graszoden door de mest vermengd zijn. Van oudsher groeide op het arme heuvelachtige zandlandschap van het Bergerbos heide, maar vanaf 1925 werd meer areaal veranderd in naaldbos productiebos voor de mijnbouw. Vanaf 1940 was het Bergerbos voornamelijk naaldbos tot circa 2007 (Figuur 4.6). In de periode 2007-2009 is tussen Het Quin en de Cokse Heide bijna 50 hectare bos gekapt om zo deze stukjes geïsoleerd geraakte heide weer met elkaar te verbinden. Het gekapte deel was bewust gekozen om zo het hier liggende rivierduin weer bloot te leggen (Provincie Limburg, 2017). Deze hoger gelegen droge stukken bestaan uit haarpodzolgrond van grof zand. In de laagtes waar het vennencomplex Het Quin en Duivelskuil liggen bestaat de bodem uit veldpodzolgrond (Figuur 4.5). Deze vennencomplexen worden gevoed door een lokaal grondwatersysteem op een slecht-doorlatende leemlaag (Provincie Limburg, 2017). Rondom de vennen liggen vochtige heidevegetaties.



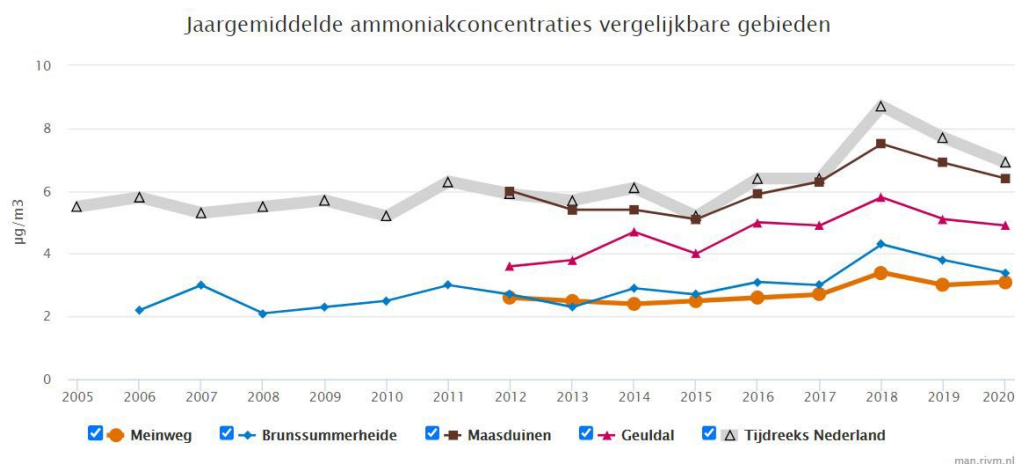
Figuur 5.5 Overzicht van de monsterlocaties in heide en bosvakken op een bodemkaart in het Bergerbos en de Duivelskuil (rechtsboven).



Figuur 5.6a Overzicht van de monsterlocaties in heide en bosvakken op een historische kaart uit 2005 in het Bergerbos en de Duivelskuil (rechtsboven).



Figuur 5.6b Overzicht van de monsterlocaties in heide en bosvakken op een kaart uit 2010 in het Bergerbos en de Duivelskuil (rechtsboven).

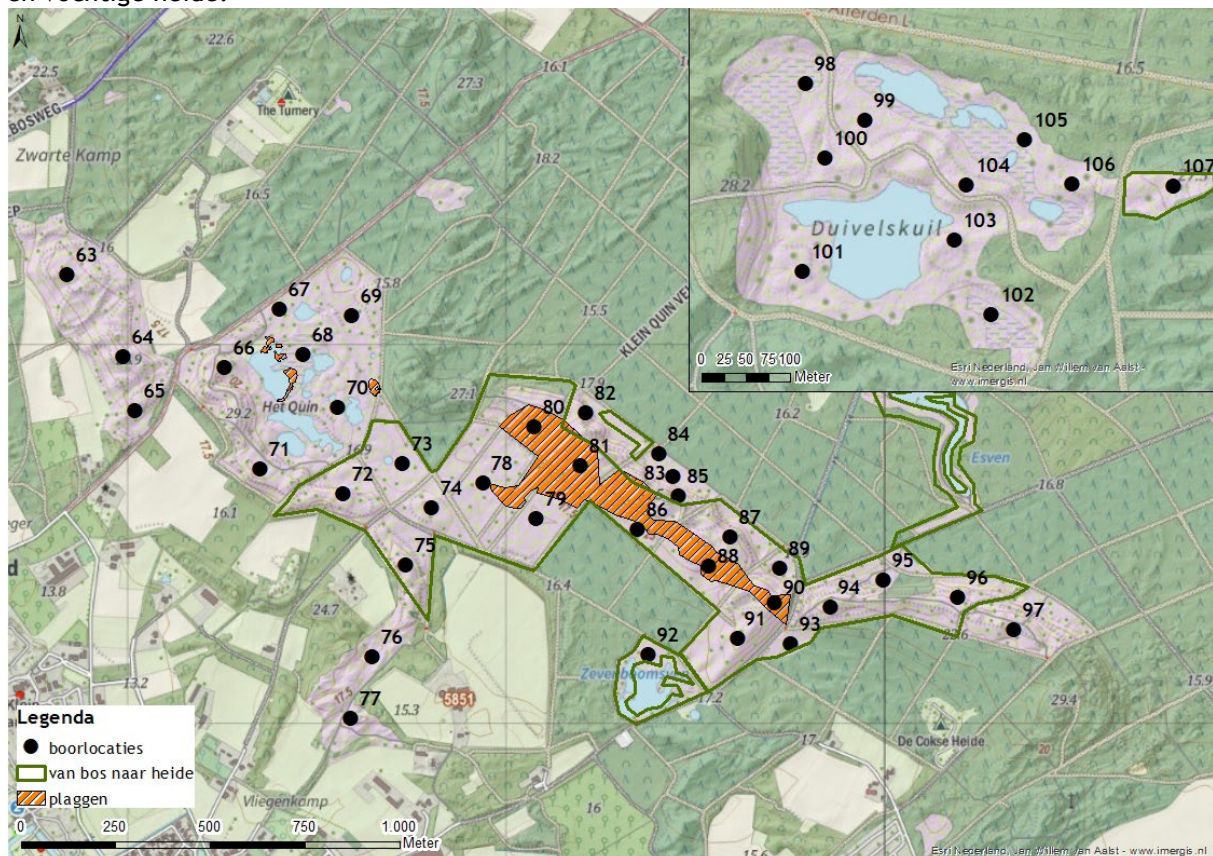


Figuur 5.7 Overzicht van de jaargemiddelde ammoniakconcentratie in vergelijkbare gebieden in de provincie Limburg (RIVM).

Uit gegevens van het RIVM (Figuur 5.7) is de jaargemiddelde ammoniakconcentratie in de Maasduinen met $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vergelijkbaar met de gemiddelde concentratie in Nederland en hoog in vergelijking met die in de Meinweg en Brunssummerheide.

In het gebied werden op 45 locaties bodemonsters verzameld in ca. 100 ha heide (Figuur 5.8). Een groot deel van de monsterpunten was gelegen in het open gekapte stuk uit 2007-2009. Na verwijdering van het bos werd er deels geplagd (oranje gearceerd). Drie locaties (75, 76 en 77) werden gekenmerkt door stuifzandheide vegetatie en twee locaties (68 en 98) waren gelegen in vochtige heide. Voor deze

locaties is het doel niet ontwikkeling van droge heide (H4030), maar ontwikkeling van stuifzandheide en vochtige heide.



Figuur 5.8. Overzicht van de monsterlocaties in heide in het Bergerbos en de Duivelskuil (rechtsboven) op een topografische kaart.

5.2 Beknorte vegetatiebeschrijving heide locaties

Op basis van het beheer en de vegetatie kunnen de locaties opgedeeld worden in verschillende groepen: droge heide, voormalige boslocaties, vochtige heide en stuifzandheide.



Figuur 5.9 Indruk van droge heide locatie 67 en voormalig bos en geplagde locatie 90 (links- en rechts).

De vegetatie in de locaties in droge heide (63 t/m 67, 69, 70, 71, 97 en 99 t/m 107) bestond voornamelijk uit door struikheide gedomineerde stukken, met daartussen vaak Braam (*Rubus sp.*). De soortenrijkdom was (zeer) laag, met vaak wat Bochtige smeie, Pijpenstrootje, Schapenzuring en Grijs kronkelsteeltje. Op enkele locaties was de vegetatie graziger (63 en 65) met een groter voorkomen

van Bochtige smele en/of Schapenzuring. Met name op locatie 61, 65 en 66 waar oude heidestruiken deels afgestorven waren (mogelijk door de droogte van afgelopen jaren), werd veel Schapenzuring aangetroffen.

Locaties 72 t/m 74, 78 t/m 82 en 84 t/m 96 waren gelegen in de zone die in 2007-2009 omgevormd werd van bos naar heide. Van deze locaties lagen er vier in de zone die ook geplagd werd (80, 81, 88 en 90). Over het algemeen was Struikhei de meest voorkomende plant in deze locaties, met daartussen regelmatig Braam, Schapenzuring, Bochtige smele en Grijs kronkelsteeltje. Lokaal was Bochtige smele de meest voorkomende soort zoals op locatie 87, 93, 95 en 96. Er werden tijdens de bemonstering wat vegetatie betreft geen verschillen gezien in geplagd en niet geplagde omgevormde delen. Lokaal (89 en 94) werden delen gedomineerd door Grijs kronkelsteeltje (*Campylopus introflexus*).

Op locatie 75, 76 en 77 werd Buntgras (*Corynephorus canescens*), Heidespurrie (*Spergula morisonii*) en Zandzegge (*Carex arenaria*) aangetroffen, soorten die passen bij stuifzandheide vegetaties. Locatie 68 nabij het Quin en locatie 98 nabij de Duivelskuil leken tijdens de bemonstering wat vegetatie betreft op vochtige heide met soorten als Dophei (*Erica tetralix*) en Veenbies (*Trichophorum cespitosum*).



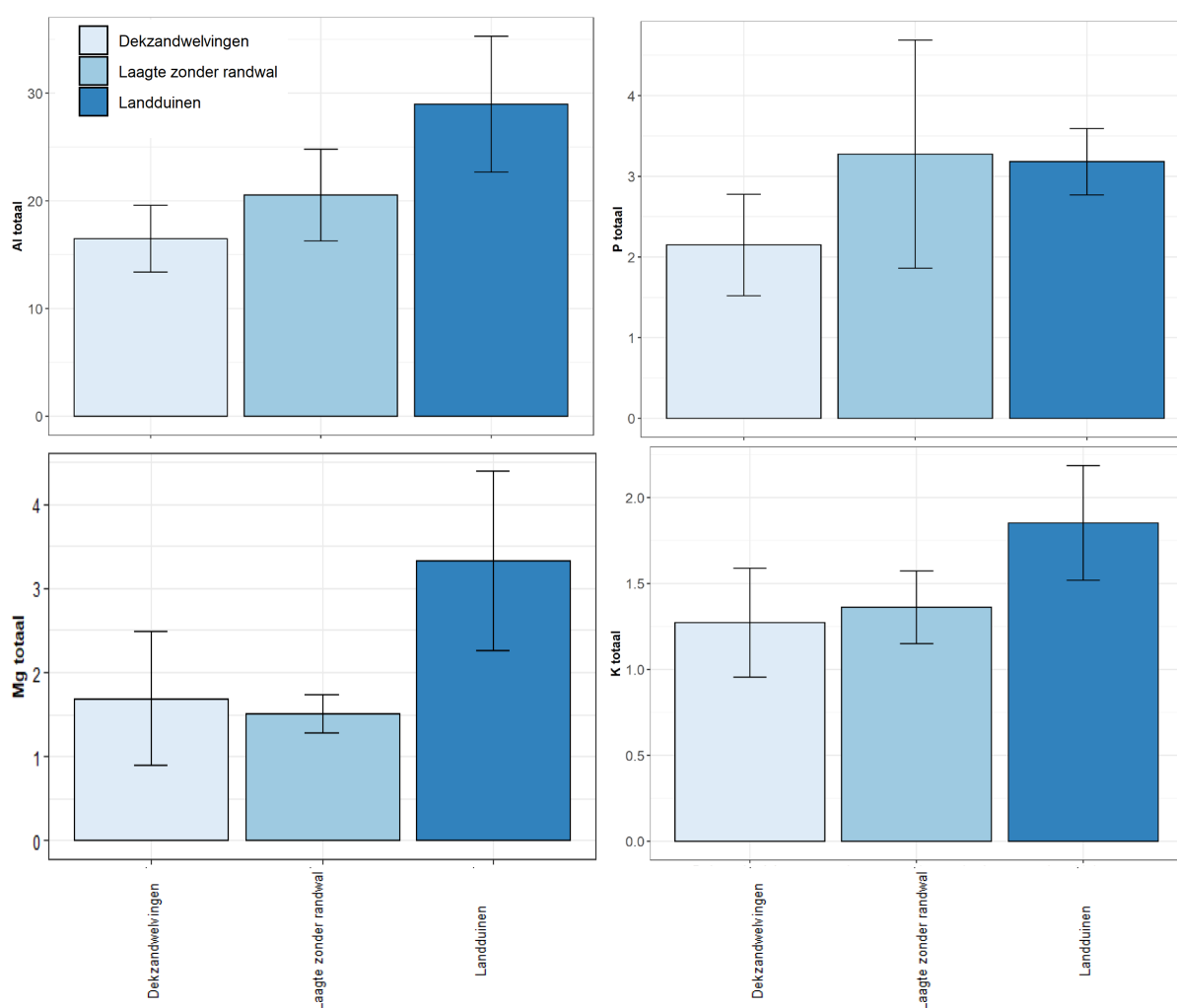
Figuur 5.10 Indruk van locatie 79 met braam en vergraste locatie 96 (links- en rechtsboven), locatie 65 met schapenzuring en locatie 76 met stuifzandheide (links- en rechtsonder).

5.3 Bodemchemie van de heide

5.3.1 Algemene bodemchemie

De bemonsterde locaties in de Maasduinen liggen op verschillende geomorfologische afzettingen (Figuur 5.3). De hoogste terreindelen die werden bemonsterd lagen op landduinen, in het Quin en de Duivelskuil werden de meeste monsters genomen op zogenaamde “laagtes zonder randwal”. Daartussen in liggen nog enkele locaties op dekzandwelingen.

De bemonsterde locaties gelegen op landduinen kenmerkten zich door een hoger totaal-Al en totaal-K gehalte in de 0-10 cm bodemlaag, een signaal dat deze bodems iets leemhoudender zijn dan de locaties gelegen op de locaties gelegen in de laagtes en dekzanden (Figuur 5.11). Ook wat totaal-P gehalte betreft waren de landduinen wat rijker (gemiddeld 3,1 mmol P/l bodem) dan de dekzandwelingen (gemiddeld 2,1 mmol/l bodem). In de bemonsterde laagtes was het totaal-P gehalte variabel.



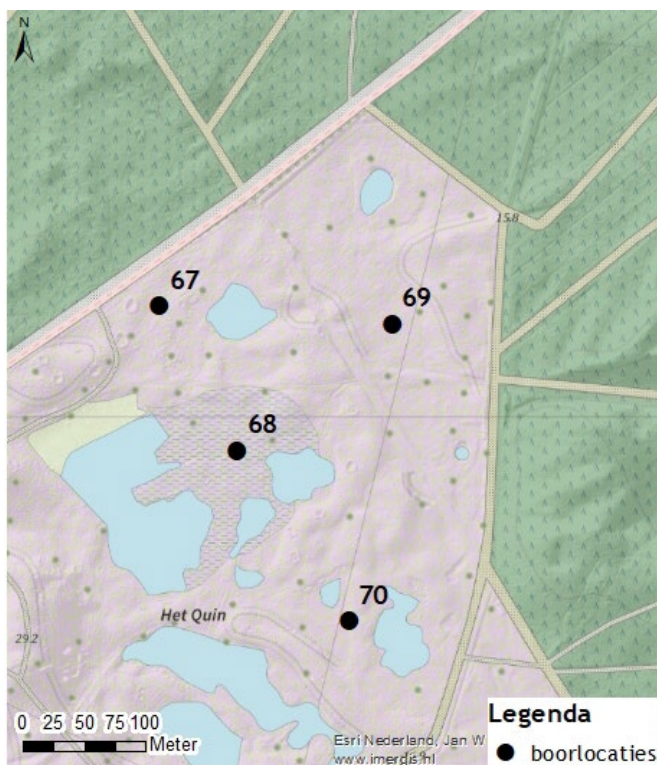
Figuur 5.11 Totaal-Al, -P, -Mg en -K-gehalte gemeten in de 0-10 cm bodemlaag verdeeld over de verschillende geomorfologische afzettingen.

In de volgende paragrafen zijn de resultaten van de verschillende terreindelen beschreven. Hierbij werd een onderscheid gemaakt tussen de locaties gelegen in Het Quin, de locaties rondom de Duivelskuil, de oudere heidelocaties en de opengekapte plekken.

5.3.2 Het Quin

De laag gelegen monsterlocaties 67, 68, 69 en 70 zijn zeer waarschijnlijk in het verleden veel vochtiger geweest dan nu het geval is (Figuur 5.12). De locaties 70 en 68 liggen op de zogenaamde “Laagtes zonder randwal”, de locaties 67 en 69 op dekzandwelvingen. Met uitzondering van locatie 69 lagen de bemonsterde locaties in de heide, op plekken die ook altijd als vochtige heide op de kaart hebben gestaan. Locatie 69 werd bemonsterd op een locatie die in het verleden onder bos is geweest. Op locatie 69 waren veel bramen aanwezig tijdens de bemonstering.

Wat bodembuffering betreft viel op dat de voormalige boslocatie (69) beter gebufferd was dan de heide-plekken. De basenverzadiging onder het voormalige bos was met 32% duidelijk hoger dan de basenverzadiging van het vochtige deel met gemiddeld zo'n 18%. Ook de beschikbare calciumconcentratie was op het voormalige bosperceel een stuk hoger met 2260 $\mu\text{mol Ca/l}$ bodem tegen gemiddeld 800 $\mu\text{mol/l}$ bodem in de lagere delen. Dat zorgt ook voor een gunstige Al/Ca-verhouding in het voormalige bos met 0,2 tegen 1,2 en 1,6 op locatie 68 en 70. Locatie 67 valt op door de lage bodembuffering, met slechts 113 μmol beschikbaar Ca/l bodem en een Al/Ca-ratio van bijna 4 mol/mol.



Figuur 5.12 Locaties gelegen rondom Het Quin.

Wat voedselrijkdom betreft werd op de voormalige boslocatie 69 een overschot aan ammonium gemeten met 810 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Ook op locatie 70 werd een veel te hoge NH_4 -concentratie gemeten met 649 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Locatie 67, gelegen op de dekzandwelving, was juist opvallend arm aan ammonium met slechts 37 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Op locatie 68 was de NH_4 -concentratie iets verhoogd. De Olsen-P concentraties (een maat voor de voor planten beschikbare fosfaatconcentratie) was zeer laag op locatie 68 met 54 $\mu\text{mol/l}$ bodem, aan de lage kant op locatie 67 met 154 $\mu\text{mol/l}$ bodem en aan de hoge kant voor heide en vochtige heide op locaties 69 en 70.

Tabel 5.1. Bodemchemische gegevens Het Quin. Belangrijkste bodemchemische parameters in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in $\mu\text{mol/l}$ zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage. Groen = binnen ranges voor kruidenrijke heide, geel = net buiten range voor kruidenrijke heide, rood = buiten range voor kruidenrijke heide.

Locatie	Kenmerk	OS	Zoutextractie										Strontium		Olsen-P
			pH	Al	Ca	K	Mg	Mn	P	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC	
			%	$\mu\text{mol/l}$								ratio	%	meq/l	$\mu\text{mol/l}$
67	(vochtige) heide	2	3,4	434	113	343	166	2	1	7	37	3,8	22	12	154
68	(vochtige) heide	8	3,2	1830	1500	434	508	3	4	7	370	1,2	14	49	54
69	(vochtige) heide	4	3,6	479	2260	467	702	17	30	35	810	0,2	32	27	432
70	(vochtige) heide	8	3,3	1072	654	311	402	6	7	21	649	1,6	19	25	650

Voor de bemonsterde locaties op het Quin betekenen deze gegevens het volgende:

De voormalige boslocatie 69 valt op door een te hoge ammoniumconcentratie en ook de plantbeschikbare P-concentratie was hier aan de hoge kant. De bodem was redelijk gebufferd. Deze relatief hoge voedselrijkdom verklaard waarom hier bramen groeien. Op deze locatie is het herstellen van de bodembuffering niet noodzakelijk. Hier is het eerder zaak om de bramendominantie te doorbreken door frequent te maaien en het maaisel af te voeren.

Locatie 67 valt op door een zeer lage voedselrijkdom, weinig organische stof maar ook door een erg ongunstige bodembuffering. Op basis van het organische stof gehalte verwachten we hier eerder een stuifzandvegetatie dan droge- of vochtige heide. We gaan er dan vanuit dat deze locatie niet recentelijk is geplagd. Op een locatie met een dergelijk ongunstige buffering, maar ook met zo weinig organische stof, adviseren we om steenmeel te gebruiken. Kalk zal hier waarschijnlijk een te sterke reactie geven. Advies voor deze locatie is het geven van 5 ton biolit/ha. Biolit bevat Ca en Mg in zowel minerale vorm als in direct beschikbare carbonaatvorm. Daarnaast bevat Biolit wat fosfor.

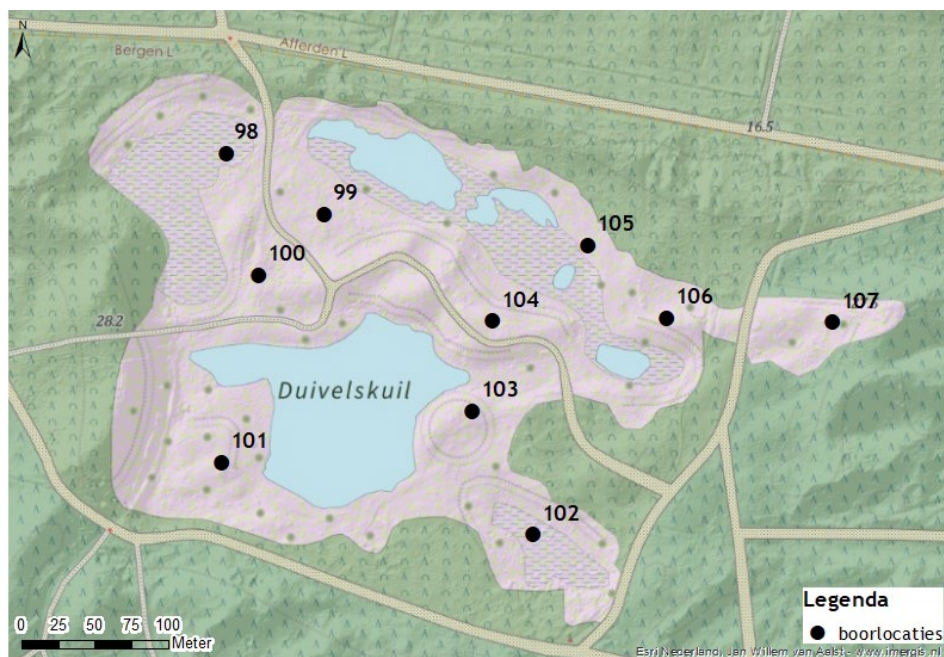
Locaties 68 en 70 zijn zeer waarschijnlijk eerder vochtig dan droog of dat in het verleden in ieder geval geweest. Door droogval kan organisch materiaal afbreken, wat de hogere ammonium- en fosfaatconcentraties kan verklaren. Hier is het advies om te verkennen of er hydrologische maatregelen genomen kunnen worden en wat hier het best passende vegetatietype is (droge heide of vochtige heide). Op dit moment is met name de bodembuffering een knelpunt voor ontwikkeling van zowel droge- als vochtige heide. Daarnaast zijn de NH_4 -concentraties aan de hoge kant. Men kan hier overwegen om, naast hydrologisch herstel, een deel van de voedselrijke bodemlaag af te schrapen/plaggen en te bekalken gecombineerd met het inbrengen van maaisel van goed ontwikkelde vochtige heide.

Tabel 5.2. Advies monsterlocaties Het Quin.

Locatie	knelpunten	advies
67	Ca- en Mg-beschikbaarheid te laag. Al/Ca-ratio te hoog.	Bufferherstel met 5 ton Biolit/ha (kleinschalige test)
68	Buffering aan de lage kant.	Meer inzicht hydrologie. Optie kleinschalig bekalken en ontwikkelen naar vochtige heide?
69	Te voedselrijk. Bramen.	Verschralen en Bramen weg zien te krijgen door maaien en afvoeren
70	NH_4 & Olsen-P te hoog, buffering (mn Ca) te laag.	Meer inzicht hydrologie. Optie plaggen + bekalken en ontwikkelen naar vochtige heide?

5.3.3 Duivelskuil

De monsterlocaties rondom de Duivelskuil lagen deels op landduinen (100 en 104 t/m 107). De overige monsterlocaties lagen in de geologische afzetting 'Laagte zonder randwal'. Op basis van de ligging en historische kaarten vermoeden we dat alle locaties rondom de Duivelskuil waarschijnlijk in het verleden vochtiger waren dan ze nu zijn, m.u.v. locatie 107 die duidelijk hoger in het landschap ligt. Locatie 107 is ook de enige locatie in de Duivelskuil die verbost is geweest, maar weer is opengemaakt. Op de locaties 99, 100, 103, 104 en 105 bestond de vegetatie tijdens de bemonstering voor een groot deel uit bramen.

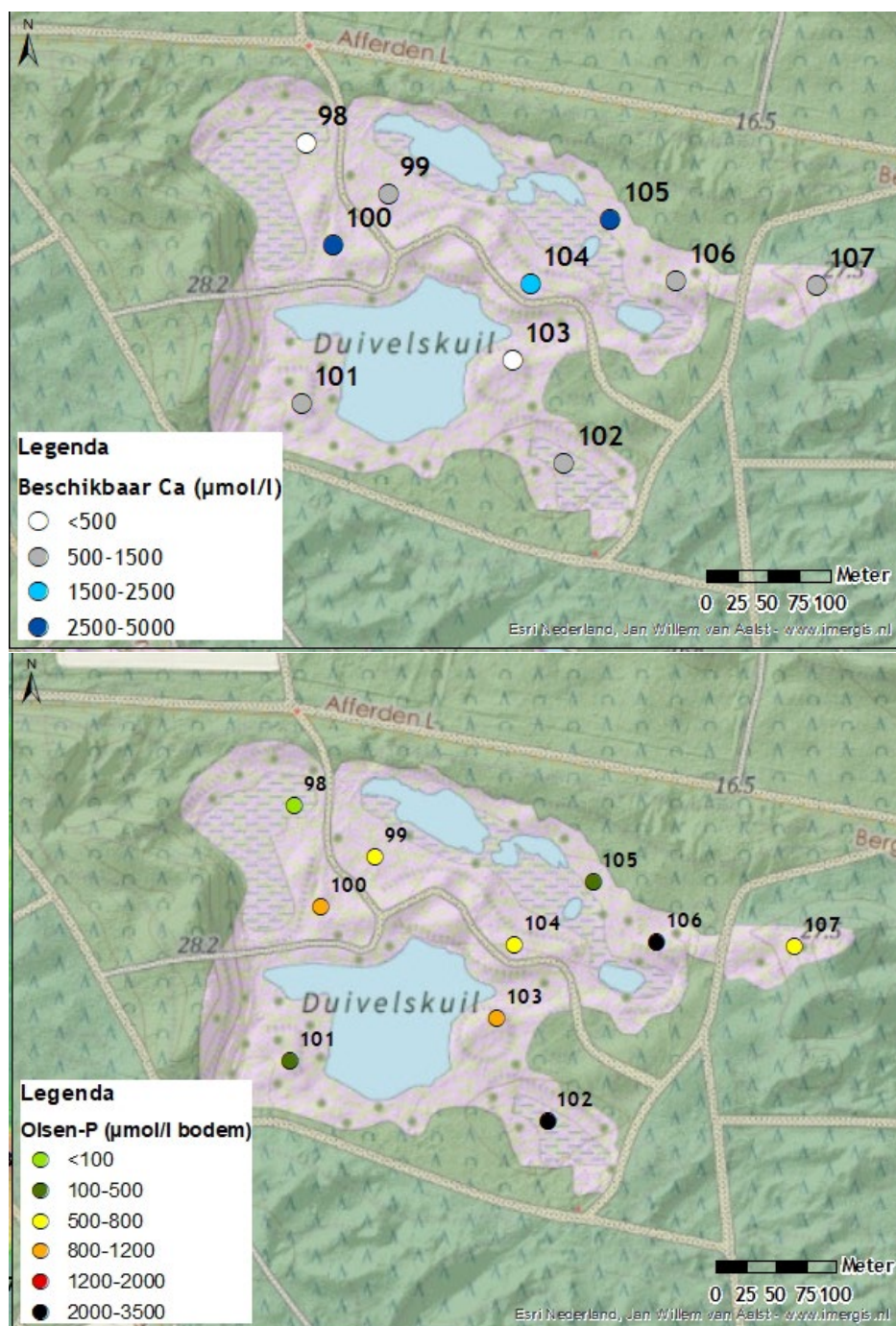


Figuur 5.13 Monsterpunten Duivelskuil.

Tabel 5.3. Bodemchemische gegevens Duivelskuil. Belangrijkste bodemchemische parameters in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in $\mu\text{mol/l}$ zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage. Groen = binnen ranges voor kruidenrijke heide, geel = net buiten range voor kruidenrijke heide, rood = buiten range voor kruidenrijke heide.

Locatie	Kenmerk	OS %	Zoutextractie										Strontium		Olsen-P $\mu\text{mol/l}$
			pH	Al	Ca	K	Mg	Mn	P	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC	
			$\mu\text{mol/l}$										%	meq/l	
98	vochtige heide	2	3,2	155	374	269	190	2	1	7	78	0,4	34	9	24
99	heide + braam	6	3,0	528	1409	456	581	24	8	5	102	0,4	34	19	621
100	heide + braam	9	3,2	613	3318	344	1193	36	19	5	178	0,2	41	28	984
101	heide	4	3,2	389	711	638	1270	12	11	5	115	0,5	45	20	459
102	heide	4	3,6	1287	714	439	423	14	2	4	43	1,8	21	23	2415
103	heide + braam	3	3,2	975	490	348	234	9	3	9	85	2,0	21	21	1014
104	heide + braam	5	3,4	493	1859	367	852	23	26	14	180	0,3	42	30	621
105	heide + braam	5	2,6	519	3102	411	854	15	21	11	137	0,2	28	42	204
106	heide	5	3,9	1460	1462	1337	1436	69	3	7	76	1,0	16	27	2053
107	voormalig bos	6	2,6	887	1182	325	412	14	17	58	1129	0,8	33	23	717

Het percentage organische stof varieerde van 2% op locatie 98 tot 9% op locatie 100. Over het algemeen waren de organische stof percentages in de oude, niet verbraamde (vochtige)heidestukken lager dan in de overige locaties. Wat bodembuffering betreft viel het op dat er veel variatie in beschikbaar calcium werd gemeten tussen de verschillende locaties. De monsters genomen in de laagtes (locatie 98, 101, 102 en 103) vielen op door de lage calciumbeschikbaarheid ($<800 \mu\text{mol/l}$ bodem). Op de locaties 102 en 103 was ook de verhouding tussen Al en Ca zeer ongunstig en was de basenverzadiging aan de lage kant met 21%. Locatie 99 was hierop een uitzondering met $1409 \mu\text{mol}$ beschikbaar Ca/l bodem en een Al/Ca-verhouding van 0,4 mol/mol. Dit is overigens ook de enige laagte met braam in de Duivelskuil die werd bemonsterd. Op locatie 101 viel op dat er relatief veel beschikbaar magnesium werd gemeten met $1270 \mu\text{mol/l}$ bodem en dat de basenverzadiging hoog was met 45%, mogelijk is hier sprake van lichte kwelinvloed.



Figuur 5.14 Concentratie beschikbaar Ca en Olsen-P in $\mu\text{mol/l}$ bodem per monsterlocatie in de Duivelskuil.

De bemonsterde locaties gelegen op de landduinen (100 en 104 t/m 107) waren over het algemeen beter gebufferd dan de lager gelegen plekken, met beschikbare calciumconcentraties van 1462 en 1182 $\mu\text{mol/l}$ bodem op de locaties 106 en 107 tot concentraties rond de 3000 $\mu\text{mol/l}$ bodem op de plekken 100 en 105. De Al/Ca-ratio was op alle plekken in de landduinen goed met een verhouding <1 mol/mol. Op locatie 100 werd een opvallend hoge beschikbare magnesiumconcentratie gemeten van 1193 $\mu\text{mol/l}$ bodem, en locatie 106 viel op doordat er evenveel beschikbaar Ca, K en Mg aanwezig was. De basenverzadiging was over het algemeen voldoende hoog voor heide met percentages variërend van 28% op locatie 105 tot 42% op locatie 104. Locatie 106 viel op door een wat lagere basenverzadiging van 16%. Op de voormalige boslocatie 107 werden relatief lage beschikbare K en Mg-concentraties gemeten en een lage pH-NaCl van 2,6 tegen pH-waarden boven de 3 op de overige locaties met uitzondering van locatie 105.

Wat voedselrijkdom betreft valt de veel te hoge NH_4 -concentratie van 1129 $\mu\text{mol/l}$ bodem op de voormalige boslocatie 107 op. Op alle overige bemonsterde plekken in de Duivelskuil vormde NH_4 geen probleem. Ook de NO_3 -concentraties waren overal voldoende laag (Tabel 5.3).

Opvallend was de grote variatie in voor plantenbeschikbaar P (Olsen-P) gemeten in de Duivelskuil. Op locatie 98 werd een opvallend lage Olsen-P concentratie gemeten van 24 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Gecombineerd met het lage percentage organische stof doet dat toch vermoeden dat hier is geplagd. Op de locaties 99, 101, 104, 105 en 107 werden Olsen-P concentraties tussen de 200 en 750 $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten. Deze concentraties zijn zeker niet laag, maar worden wel geregeld in (droge) heide gemeten. Op locatie 100 en 103 werden Olsen-P concentraties rond de 1000 $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten. Deze concentraties zijn te hoog voor (vochtige) heide. Op de locaties 102 en 106 werden zeer hoge Olsen-P concentraties van meer dan 2000 $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten. Mogelijk is hier sprake van sterk versnelde afbraak door droogval, maar om hier een goede verklaring voor te kunnen geven zijn aanvullende metingen nodig (diepere lagen, inzicht in hydrologie).

Voor de bemonsterde locaties in de Duivelskuil betekenen deze gegevens het volgende:

Op basis van de gegevens lijkt locatie 98 te zijn geplagd. Het organische stofpercentage is zeer laag, net als de beschikbaarheid van Ca, K, Mg en P. Er is geen sprake van een ammoniumpiek, waardoor direct bekalken niet nodig is. Overwogen kan worden om hier 5 ton Biolit/ha op te brengen om de beschikbaarheid van Ca, Mg en P wat te verhogen.

Op de voormalige boslocatie 107 werd een sterk verhoogde ammoniumconcentratie gemeten, en was de calcium- en kaliumbeschikbaarheid aan de lage kant. Ook de Olsen-P concentratie was hier zeker niet laag. Voor deze locatie kan overwogen worden om het ammonium af te voeren door te plaggen, gecombineerd met een dolokalk kalkgift (5% Mg) tegen een ammoniumpiek (2 ton/ha); of om te bekalken zonder eerst te plaggen en de omzetting van ammonium naar nitraat te stimuleren (2 ton dolokal 5% Mg/ha). Tegelijkertijd wordt de bodembuffering dan wat vergroot. Als er verruiging van de vegetatie optreedt, wordt geadviseerd in te grijpen door intensiever te maaien of te begrazen om zo vergrassing of verbraming tegen te gaan. Een derde optie is om hier een kaliumrijk steenmeel op te brengen zonder eerst te plaggen, dat geen P bevat, zoals Soilfeed (10 ton/ha) of een zeoliet als vulkamin (5 ton/ha). De kans op verruiging is kleiner dan met kalkproducten, en zowel de Ca- als K-beschikbaarheid nemen op termijn toe. Er zijn echter nog weinig signalen dat Soilfeed helpt om de ammoniumbeschikbaarheid te verlagen. Omdat er met steenmeel (Soilfeed en Biolit) geen ervaring is in de Maasduinen, adviseren we dit eerst (relatief) kleinschalig uit te testen.

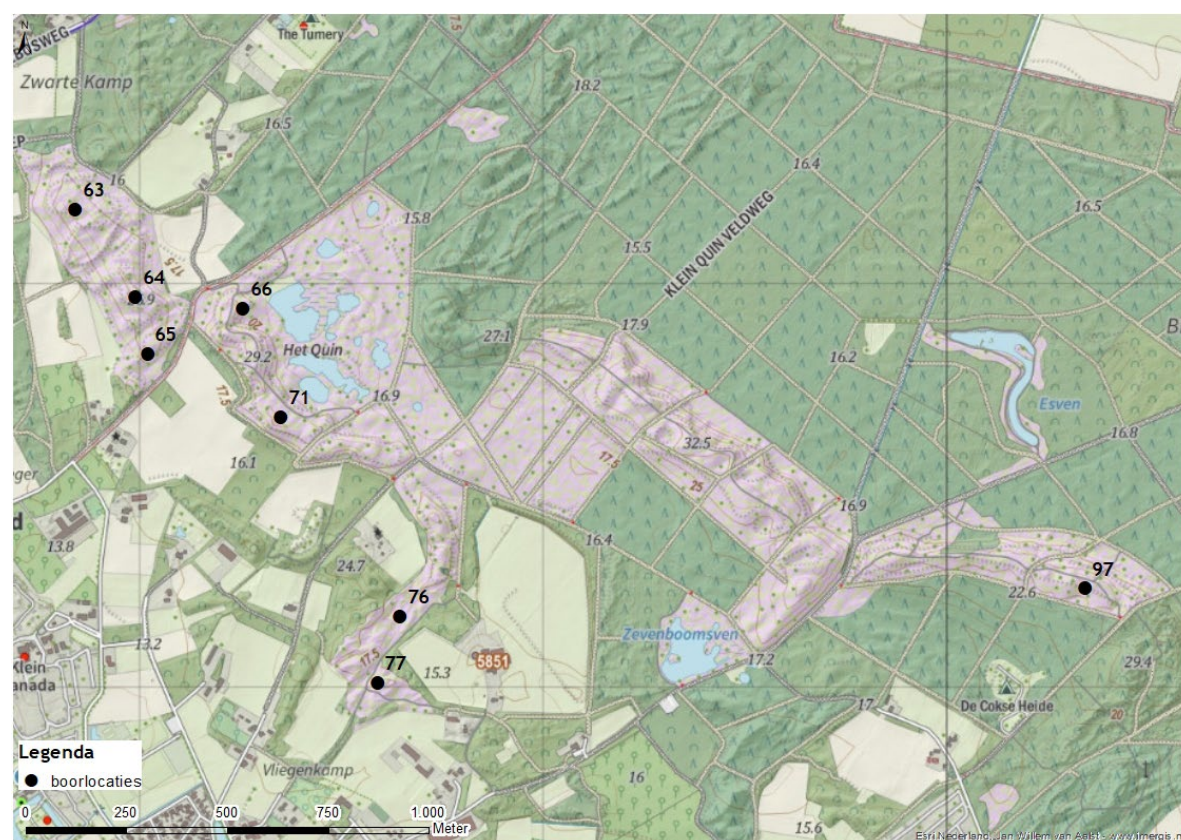
Voor de overige locaties geldt dat er incidenteel hoge (locatie 99, 103, 104, 107) tot zeer hoge Olsen-P concentraties werden gemeten (locatie 102, 106), opvallend hoge beschikbare Mg-concentraties (locatie 100, 101, 106) en soms ook hoge K-gehalten (locatie 106). Op basis van de metingen aan de

toplaag, zonder verder inzicht in diepere lagen of hydrologie, is het niet mogelijk hier een goede verklaring voor te geven. We kunnen hiervoor dan ook geen goed onderbouwd hersteladvies opstellen en adviseren om voor de Duivelskuil uitgebreider onderzoek te laten uitvoeren in zowel de hydrologie als bodemopbouw. Voor de locaties waar nu veel bramen voorkomen, kan ondertussen wel worden verschaald door maaien & afvoeren om zo de voedselrijkdom te verlagen.

Tabel 5.4. Advies monsterlocaties Duivelskuil

Locatie	Knelpunten	Advies
98	Vermoedelijk geplagd. Beschikbaar Ca veel te laag, Olsen-P zeer laag	Bufferherstel met Biolit 5 ton/ha als proef
99	Buffering aan de lage kant, Bramen	Verschralen en bramen weg zien te krijgen door maaien en afvoeren. Meer inzicht hydrologie en bodemopbouw.
100	Buffering op orde, Olsen-P te hoog, Bramen	Verschralen en bramen weg zien te krijgen door maaien en afvoeren.
101	Beschikbaar Ca te laag	Kleine proef met bufferherstelmaatregelen uittesten (kalk, 1 tot 2 ton/ha)
102	Met name Olsen-P te hoog	Verschralen en bramen weg zien te krijgen door maaien en afvoeren.
103	Buffering aan de lage kant	Meer inzicht hydrologie en bodemopbouw.
104	Buffering redelijk, Olsen-P aan de hoge kant	
105	Buffering op orde, geen knelpunten bodemchemie	
106	Met name Olsen-P zeer hoog	Verschralen of andere doelstelling kiezen
107	Ammonium zeer hoog	Verschralen of kleinschalig plaggen + bekalken (2 ton dolokalk 5% Mg/ha)

5.3.4. “Oude” heidelocaties



Figuur 5.15 Overzicht van de “oude” heidelocaties in de maasduinen.

De locaties 63, 64 en 65 ten westen van Het Quin, locaties 66 en 71 bij het Quin, 76 en 77 in het zuiden van het onderzoeksgebied en locatie 97 aan het oosten van het onderzoeksgebied zijn locaties die, op basis van de kaarten van topo-tijdreis, altijd droge heide zijn geweest. Locatie 63 was wat vergrast tijdens de bemonstering, op locatie 66 en 97 kwamen bramen voor in de vegetatie. Op locatie 76 en 77 werd eerder een stuifzandheidevegetatie (H2310) aangetroffen dan droge heide (H4030).

De “oude heide” locaties kenmerkten zich door relatief hoge organische stof percentages vergeleken met de eerder beschreven plekken met percentages variërend van 4,4% op locatie 64 tot 9,5% op locatie 95. Op de stuifzand-achtige locaties 76 en 77 werden lagere organische stofgehalten gemeten van 2,3 en 3,4%. Wat buffering betreft waren de locaties 63 en 64 in het westen en locatie 66 bij het Quin onvoldoende gebufferd voor goed ontwikkelde droge heide zoals beschreven in tabel 5.5. De beschikbare calciumconcentraties waren met 639, 502 en 411 $\mu\text{mol/l}$ bodem veel te laag, de aluminium-calciumratio hoger dan 2 mol/mol en de basenverzadiging lag rond de 15%. Locatie 71, nabij Het Quin was weliswaar wat beter gebufferd dan locaties 63, 64 en 66, maar voor droge heide nog op de grens met 1131 $\mu\text{mol/l}$ beschikbaar Ca. De Al/Ca-ratio (0,4) en basenverzadiging (31%) waren wel goed. Locatie 65, ook gelegen in het westen van het onderzochte terrein, was wel voldoende gebufferd voor droge heide met 2051 μmol beschikbaar Ca/l bodem, een Al/Ca-ratio van 0,4 mol/mol en een basenverzadiging van 33%.

Voor stuifzandheide zijn geen concrete referentiewaarden beschikbaar. De bemonsterde plekken 76 en 77 zijn met een Al/Ca-ratio van 0,9 en 0,6 en basenverzadiging van 33 en 29% waarschijnlijk redelijk op orde voor stuifzandheide. Wel is de beschikbare calciumconcentratie laag met 519 en 824 $\mu\text{mol/l}$ bodem, net als de CEC met 12 en 15 meq/l bodem. Dat betekent dat deze plekken verzuringsgevoelig zijn. Locatie 97 in het westen van het terrein is voldoende gebufferd met een beschikbare Ca-concentratie van 2007 $\mu\text{mol/l}$ bodem, basenverzadiging van 38% en een Al/Ca-ratio van 0,5 mol/mol. Ook hier werd weer een relatief hoge beschikbare magnesiumconcentratie gemeten van 1056 $\mu\text{mol/l}$ bodem.

Tabel 5.5. Bodemchemische gegevens “Oude heide” locaties. Belangrijkste bodemchemische parameters in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in $\mu\text{mol/l}$ zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage. Groen = binnen ranges voor kruidenrijke heide, geel = net buiten range voor kruidenrijke heide, rood = buiten range voor kruidenrijke heide.

Locatie	Kenmerk	OS %	Zoutextractie										Strontium		Olsen-P $\mu\text{mol/l}$
			pH	Al	Ca	K	Mg	Mn	P	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC	
			$\mu\text{mol/l}$										%	meq/l	
63	vergrast	6	3,3	1630	639	365	267	12	5	41	535	2,6	14	29	911
64	heide	4	3,4	1175	502	387	264	13	9	21	387	2,3	16	24	954
65	vergrast	7	3,4	785	2052	329	666	23	17	11	201	0,4	33	25	456
66	heide	8	3,4	854	412	387	263	10	9	9	197	2,1	18	21	919
71	heide	4	3,5	497	1132	533	517	31	20	50	1035	0,4	32	18	786
76	stuifzandheide	2	3,7	491	519	303	282	30	7	22	148	0,9	33	12	888
77	stuifzandheide	3	3,7	484	825	782	451	64	12	85	100	0,6	30	15	888
97	heide	10	3,3	974	2007	528	1056	41	20	50	761	0,5	38	29	1076

Op locaties 63, 64, 71 en 97 werden te hoge ammoniumconcentraties gemeten (respectievelijk 535, 387, 1035 en 761 $\mu\text{mol/l}$ bodem). De nitraatconcentraties waren nergens verhoogd (Tabel 5.5). Ook

werden opvallend hoge Olsen-P concentraties gemeten, met concentraties rond de 1000 µmol/l bodem op locatie 63 en 64, concentraties rond de 900 µmol/l bodem op locaties 66, 71, 76 en 77 en meer dan 1000 µmol/l bodem op locatie 97. Wat voedselrijkdom betreft valt alleen locatie 65 binnen de range gemeten in goed ontwikkelde droge heide.

Voor de bemonsterde “oude heide”-locaties betekent dit het volgende:

De locaties 63, 64 en 66 zijn onvoldoende gebufferd voor droge heide en aan de voedselrijke kant (Olsen-P). Ook zijn de beschikbare kalium- en magnesiumconcentraties aan de lage kant. Voor deze locaties adviseren we om te bekalken met een dolomietenkalk (5% Mg, 2 ton/ha), eventueel gecombineerd met steenmeel (Soilfeed, 10 ton/ha) om ook de kaliumbeschikbaarheid te verhogen. Het combineren van steenmeel met dolokalk is nog weinig gedaan en dus experimenteel. De beschikbare calciumconcentraties zijn zo laag, dat we NIET adviseren hier enkel steenmeel op te brengen. Als de vergrassing op locatie 63 als een probleem wordt gezien, kan hier aanvullend worden verschrald door maaien en afvoeren of begrazing. Op locatie 71 kan overwogen worden wel steenmeel op te brengen (Soilfeed, 10 ton/ha) omdat de bodembuffering hier “op de grens” is van gewenste concentraties voor droge heide. Op deze locatie werd ook een zeer hoge ammoniumconcentratie gemeten, waardoor aanvullend verschrallen wordt aangeraden.

Locatie 65 was voldoende gebufferd voor droge heide, hier hoeft op basis van de bodemchemie niet ingegrepen te worden.

De stuifzandheidlocaties 76 en 77 zijn momenteel waarschijnlijk redelijk goed gebufferd voor stuifzandheide, maar door het weinige organische stof, lage CEC en beperkte hoeveelheid basische kationen gevoelig voor verzuring. In stuifzandheides op de Veluwe (Vogels et al., 2020) worden goede resultaten behaald met steenmeel (Soilfeed, 10 ton/ha). O.a. de bedekking van Grijs kronkelsteeltje werd verminderd en grassen lijken minder last te hebben van verdroging. Opvallend zijn de hoge Olsen-P concentraties. Als de vegetatie verruigt, wordt geadviseerd te verschrallen door begrazing of maaien & afvoeren.

Tabel 5.6. Advies oude heide locaties.

Locatie	Knelpunten	Advies
63	Buffering te laag, NH ₄ te hoog	Bufferherstel dmv dolokalkproduct (5% Mg, 2 ton/ha) en/of steenmeel (Soilfeed, 10 ton/ha) + verschrallen
64	Buffering te laag, NH ₄ te hoog	Bufferherstel dmv dolokalkproduct (5% Mg, 2 ton/ha) en/of steenmeel (Soilfeed, 10 ton/ha) + verschrallen
65	Geen knelpunten bodemchemie	
66	Buffering te laag, NH ₄ te hoog	Bufferherstel dmv dolokalkproduct (5% Mg, 2 ton/ha) en/of steenmeel (Soilfeed, 10 ton/ha) + verschrallen
71	NH ₄ zeer hoog, buffering aan de lage kant	Afhankelijk van vegetatieontwikkeling verschrallen, eventueel proef met Soilfeed (10 ton/ha)
76	Ca te laag, Olsen-P aan de hoge kant	Afhankelijk van vegetatieontwikkeling verschrallen, eventueel proef met Soilfeed (10 ton/ha)
77	Ca te laag, Olsen-P aan de hoge kant	Afhankelijk van vegetatieontwikkeling verschrallen, eventueel proef met Soilfeed (10 ton/ha)
97	Met name NH ₄ en Olsen-P aan de hoge kant	Verschrallen

Op locatie 97, waar tijdens de bemonstering bramen werden waargenomen, is bodembuffering geen knelpunt. Wel is deze locatie veel te rijk aan ammonium en voor plantenbeschikbaar P voor goed ontwikkelde droge heide. Dat verklaart ook de aanwezigheid van braam. Als de vegetatieontwikkeling niet naar wens verloopt, kan overwogen worden te verschrallen door drukbegrazing of maaien &

afvoeren. Een voedselrijkere ruigte in de droge heide is overigens voor fauna vaak een waardevolle plek.

5.3.5 Recent omgevormde delen

Als laatste worden de recent omgevormde delen beschreven. Het gaat hier om de groen omljnde monsterlocaties, waar bos is omgevormd met als doel heideontwikkeling op de ruggen van de landduinen. Delen van het bos zijn na kappen geplagd.



Figuur 5.16 Overzicht van de recent omgevormde delen in de maasduinen.

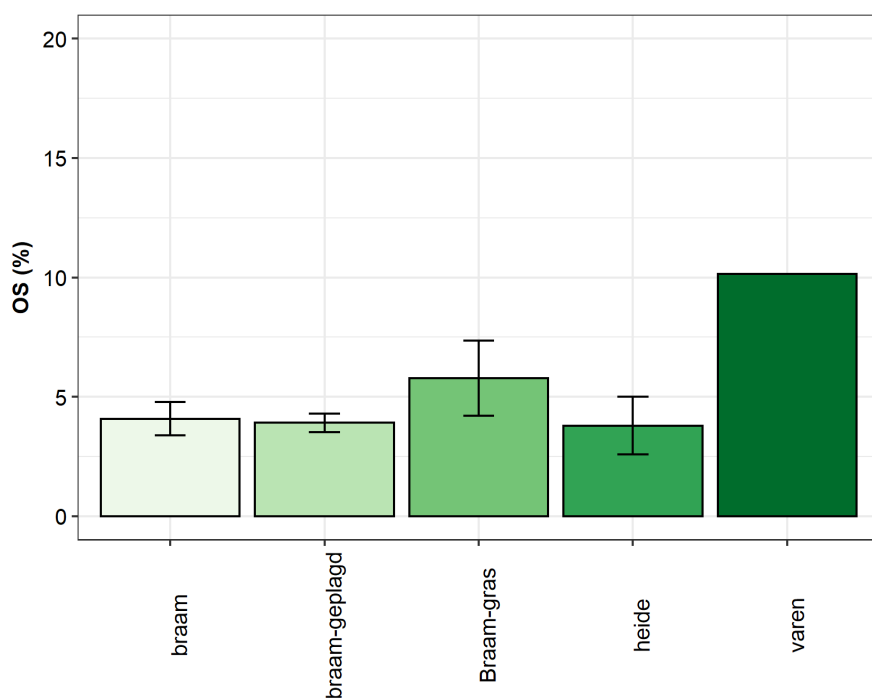
Deze locaties hebben een bosbodem verleden, en zijn daardoor anders dan de oude heide-delen in de Maasduinen. Bossen verdampen meer water, vangen meer stikstof- en zwaveldepositie in en naaldbomen verzuren de bodem. Daarnaast ontstaat een ander bodemleven onder bos dan onder heide. Wanneer de bossen worden gekapt wordt een deel van de in het bos aanwezige nutriënten afgevoerd.

Hoewel de doelstelling na het verwijderen van het bos ontwikkeling van droge heide was, werd de vegetatie op maar liefst 15 van de 23 bemonsterde locaties gekenmerkt door groei van bramen. Op vier plekken werden naast bramen voornamelijk grassen aangetroffen (locaties 87, 93, 95 en 96), één plek werd gekenmerkt door varens en was recent gemaaid (locatie 83) en slechts twee plekken werden als “heide” omschreven (locatie 91 en 92).



Figuur 5.17 Indruk van locatie 79 en 96 met braam.

Wat organisch stof betreft werd er nauwelijks verschil aangetroffen tussen plekken die waren geplagd (gemiddeld 3,9 %) en niet-geplagde plekken met gemiddeld 4,1%. Op de vergraste plekken werd gemiddeld 5,8% organische stof gemeten, op de heide-plekken 3,8% en op de door varens gedomineerde locatie 10% (Figuur 5.18).



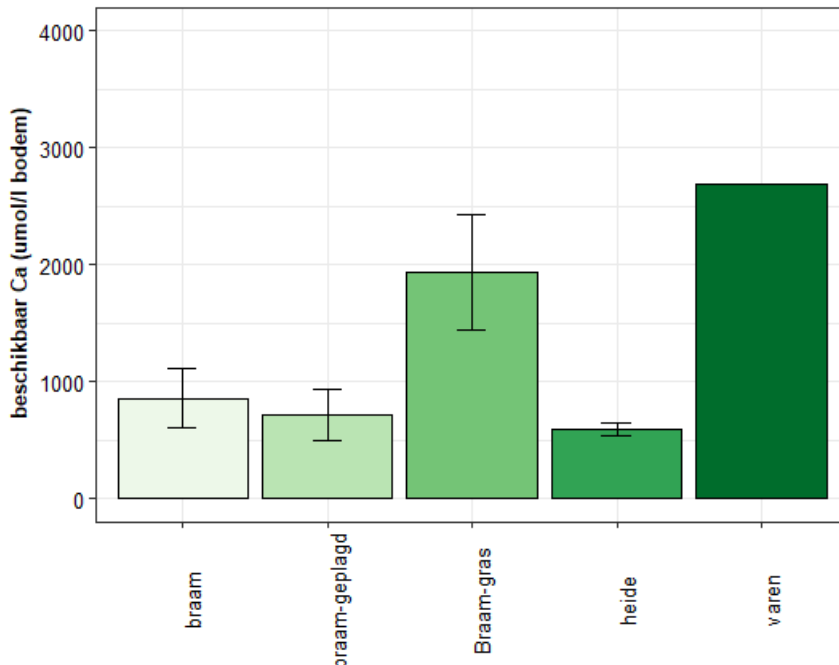
Figuur 5.18. Organische stof (OS) percentage gemeten in de voormalige boslocaties, die nu worden gedomineerd door bramen, geplagde voormalige boslocaties gedomineerd door braam, locaties met bramen en gras als dominante vegetatietype, gekapt bos dat nu door heide gekenmerkt wordt en een door varens gedomineerde plek.

Tabel 5.7. Belangrijkste bodemchemische parameters omgevormde terreindelen in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in $\mu\text{mol/l}$ zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage. Groen = binnen ranges voor kruidenrijke heide, geel = net buiten range voor kruidenrijke heide, rood = buiten range voor kruidenrijke heide.

Locatie	Kenmerk	OS %	Zoutextractie										Strontium		Olsen-P $\mu\text{mol/l}$
			pH	Al	Ca	K	Mg	Mn	P	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC	
			$\mu\text{mol/l}$										%	meq/l	
	braam														
72	vml bos	2	4,3	1013	318	379	101	11	2	21	81	3,2	18	15	832
73	vml bos	2	4,0	983	264	269	134	5	2	5	19	3,7	21	14	1044
74	vml bos	3	3,4	518	553	423	233	6	7	112	659	0,9	18	24	136
75	vml bos	2	4,2	915	314	197	81	8	4	11	44	2,9	22	15	1218
78	vml bos	4	3,5	991	399	262	131	8	5	8	113	2,5	16	18	302
79	vml bos	3	3,1	1056	814	316	229	14	21	121	117	1,3	19	24	320
82	vml bos	5	3,6	2545	762	193	249	11	2	13	111	3,3	18	30	895
84	vml bos	11	2,7	912	3302	1286	977	66	66	116	2583	0,3	17	27	733
85	vml bos	3	3,7	1056	289	234	110	5	2	6	22	3,7	28	46	317
86	vml bos	5	3,3	1570	1132	398	323	19	6	95	458	1,4	20	32	665
89	vml bos	5	2,9	2611	597	397	219	13	5	83	414	4,4	13	36	792
94	vml bos	4	3,6	739	1564	768	989	108	14	118	1590	0,5	19	22	652
	geplagd+braam														
80	vml bos geplagd	4	3,4	1086	486	475	307	18	7	15	134	2,2	24	19	356
81	vml bos geplagd	4	3,6	1576	389	270	183	11	4	8	79	4,1	12	24	630
88	vml bos geplagd	3	3,6	672	651	332	296	13	5	34	99	1,0	22	17	289
90	vml bos geplagd	5	3,4	873	1352	222	568	18	6	10	89	0,6	32	25	703
	vergrast+braam														
87	vml bos vergrast	5	2,7	597	2865	405	775	50	34	151	393	0,2	36	30	162
93	vml bos vergrast	2	3,5	648	608	889	403	12	2	37	86	1,1	32	18	671
95	vml bos vergrast	6	2,8	1536	2502	516	877	44	34	50	293	0,6	26	45	723
96	vml bos vergrast	10	2,8	1251	1767	929	989	72	5	199	487	0,7	22	26	983
	heide														
91	vml bos	3	3,4	638	642	291	454	14	2	10	141	1,0	30	23	518
92	vml bos	5	3,5	1467	544	349	363	6	1	7	37	2,7	12	26	412
	Varens														
83	vml bos	10	2,7	931	2684	985	1108	87	60	103	457	0,3	29	36	853

De beschikbare calciumconcentratie was over het algemeen veel te laag voor goed ontwikkelde droge heide, met gemiddelde concentraties lager dan 1000 $\mu\text{mol/l}$ bodem in de door bramen gekenmerkte stukken en de door heide gekenmerkte delen (Figuur 5.19 en 5.20). Uitzondering was locatie 84 met 3302 μmol beschikbaar Ca/l bodem en locatie 94 met 1564 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Op deze locaties werd ook een gunstige verhouding tussen Al en Ca gemeten (<1 mol/mol). Ondanks de over het algemeen ongunstig lage beschikbare calciumconcentraties was de verhouding tussen Al en Ca op locaties 74, 79, 86, 88 en 90 goed (Tabel 5.7).

Op de vergraste locaties werd wat meer beschikbaar Ca gemeten, gemiddeld 1935 $\mu\text{mol/l}$ bodem waarbij enkel op locatie 93 te weinig beschikbaar Ca werd gemeten voor droge heide. Ook de door varens gedomineerde locatie 83 bevatte genoeg beschikbaar Ca met meer dan 2500 $\mu\text{mol Ca/l}$ bodem in de 0-10 cm bodemlaag. Op zowel de vergraste als door varens gedomineerde plekken was de Al/Ca-ratio voldoende laag (Tabel 5.7).



Figuur 5.19. Beschikbare calciumconcentratie gemeten in de voormalige boslocaties die nu worden gedomineerd door bramen, geplagde voormalige boslocaties gedomineerd door braam, locaties met bramen en gras als dominante vegetatietype, gekapt bos dat nu door heide gekenmerkt wordt en een door varens gedomineerde plek.

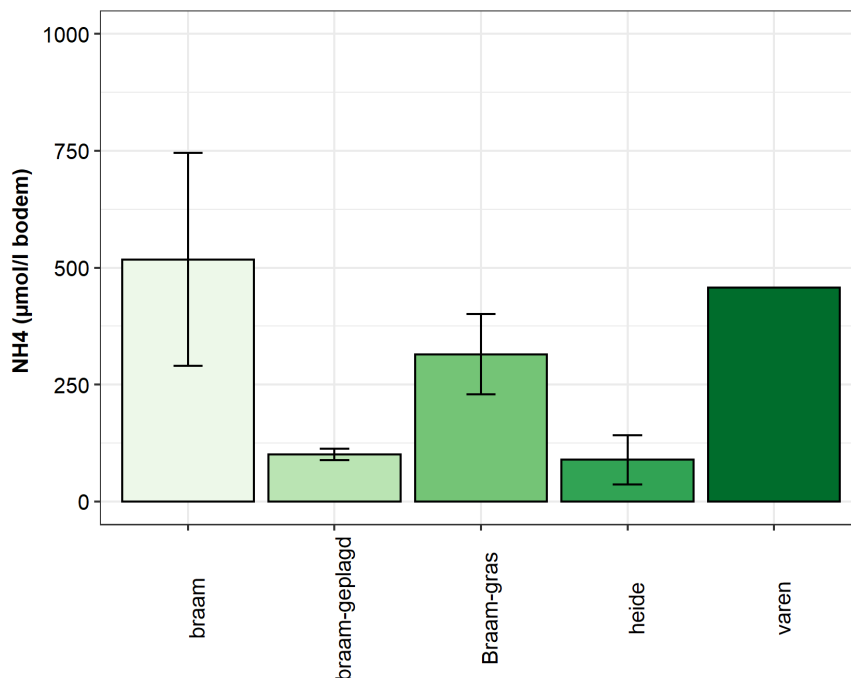


Figuur 5.20 Concentratie beschikbaar Ca in $\mu\text{mol/l}$ bodem per monsterlocatie in de recent omgevormde delen van de maasduinen.

Verder viel het op dat de basenverzadiging, ondanks de lage beschikbare calciumconcentraties op veel plekken, toch redelijk was met percentages variërend van 12% op heidelocatie 92 tot 36% op de door bramen en grassen gekenmerkte locatie 87. Op de door bramen gedomineerde plekken was de basenverzadiging gemiddeld 19%, op de geplagde locaties 23% en op de door gras (met braam) gedomineerde plekken zelfs gemiddeld 29%. Op de door heide gedomineerde plekken viel op dat op locatie 91 een basenverzadiging van 30% werd gemeten tegen slechts 12% op locatie 92. De relatief hoge basenverzadiging wordt verklaard door het relatief lage percentage organische stof en daardoor de lage CEC van gemiddeld rond de 25 meq/l bodem, terwijl in droge heide op bijvoorbeeld de Veluwe een CEC van rond de 40 tot 50 meq/l bodem wordt gemeten. Het lage percentage organische stof en de lage CEC zijn een duidelijke erfenis van het bos-verleden van deze plekken.

Verder vielen de relatief hoge concentraties beschikbaar K en Mg op gemeten op de locaties 84 en 94, met kaliumconcentraties van respectievelijk 1286 en 768 $\mu\text{mol/l}$ bodem en magnesiumconcentraties van 977 en 989 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Op deze plekken werden ook zeer hoge ammoniumconcentraties gemeten van 2583 en 1590 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Locatie 84 werd daarnaast ook gekenmerkt door een relatief hoog percentage organische stof met 11%. Op locatie 94 werd een voor de bemonsterde voormalige boslocaties normaal percentage van 4% organische stof gemeten.

Op de overige plekken werd over het algemeen een gunstig lage ammoniumconcentratie gemeten die lager was dan 200 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Figuur 5.21 en Tabel 5.7). Enkel op de locaties 74, 86 en 89 werden (iets) verhoogde ammoniumconcentraties gemeten (respectievelijk 659, 458 en 414 $\mu\text{mol/l}$ bodem). Op de geplagde plekken en heide-plekken werden op alle bemonsterde plekken voldoende lage ammoniumconcentraties gemeten (<150 $\mu\text{mol/l}$ bodem) terwijl op de vergraste locaties juist een wat hogere ammoniumconcentratie werd gemeten (rond de 400 $\mu\text{mol/l}$ bodem). Ook op de door varens gedomineerde locatie 83 was de ammoniumconcentratie aan de hoge kant met 457 $\mu\text{mol/l}$ bodem.



Figuur 5.21. Beschikbare NH₄-concentratie gemeten in de voormalige boslocaties die nu worden gedomineerd door bramen, geplagde voormalige boslocaties gedomineerd door braam, locaties met bramen en gras als dominante vegetatietype, gekapt bos dat nu door heide gekenmerkt wordt en een door varens gedomineerde plek.

Net als op veel van de overige bemonsterde locaties in de Maasduinen waren de plantbeschikbare P-concentraties aan de hoge kant voor droge heide. Op de geplagde locaties en de nu door heide gedomineerde locaties werden gemiddeld de laagtes beschikbare P-concentraties gemeten met gemiddeld zo'n 500 μmol Olsen-P/l bodem. Dit is aan de hoge kant voor droge heide, waar normaal gesproken zo'n 200 tot 400 μmol Olsen-P/l bodem wordt gemeten (Tabel 5.7). Op de overige locaties varieerde de Olsen-P concentraties sterk, van zeer hoog met 1044 en 3377 μmol /l bodem op de locaties 73 en 75 (door bramen gekenmerkt), tot minder dan 200 μmol /l bodem op de locaties 74 en 87. Op alle andere plekken waren de Olsen-P concentraties aan de hoge kant met concentraties tussen de 300 en 800 μmol /l bodem (Figuur 5.22).



Figuur 5.22. Concentratie Olsen-P in μmol /l bodem per monsterlocatie in de recent omgevormde delen van de maasduinen.

Voor de voormalige boslocaties in de Maasduinen betekent dit het volgende:

Uit de bodemchemische gegevens blijkt het bos-verleden nog duidelijk. Het organische stofpercentage en CEC zijn laag vergeleken met “oude” heides, en de vegetatie wordt voornamelijk gekenmerkt door bramen i.p.v. struikheide. Ook is het niet evident dat Droge heide (H4030) hier de doelstelling moet zijn, of dat stuifzandheide (H2310) beter past.

Op het vlak van de bodemchemie is duidelijk dat er op veel bemonsterde locaties weinig beschikbaar Ca en Mg in de bodem aanwezig was, tegen (veel) meer beschikbaar aluminium. Dat zorgt voor een ongunstige Al/Ca-ratio waardoor veel kruiden niet kunnen voorkomen. De beschikbare kaliumconcentraties zijn niet opvallend laag, waardoor een kaliumrijk steenmeel niet direct de best passende maatregel is. Ook is er een relatief hoge voedselrijkdom, met name als plantbeschikbaar fosfaat. Dat kan het grote aandeel bramen verklaren dat werd aangetroffen tijdens de bemonstering van de bodem. Omdat de P-beschikbaarheid al hoog is, adviseren we op deze locaties om geen Biolit te gebruiken, een steenmeel dat wat P bevat, maar dolomietenkalk met 5% magnesiumcarbonaat.

Met het gebruik van (dolomieten)kalk op voormalige bosbodems zijn wisselende resultaten behaald (deels verruiging maar ook vaak een goede ontwikkeling van de vegetatie). Door het nu al hoge aandeel bramen adviseren we om eerst kleinschalig te toetsen of een gift van 2 ton dolomietenkalk/ha op de gekapte en verbraamde terreindelen niet voor ongewenste verergering van het aandeel braam zorgt. Anders is Soilfeed (10 ton/ha) een alternatief. Op locaties met een lage CEC (<20 meq/l bodem) adviseren we een lage kalkgift te gebruiken en dit eerst uit te testen, of om Soilfeed te kiezen (10 ton/ha).

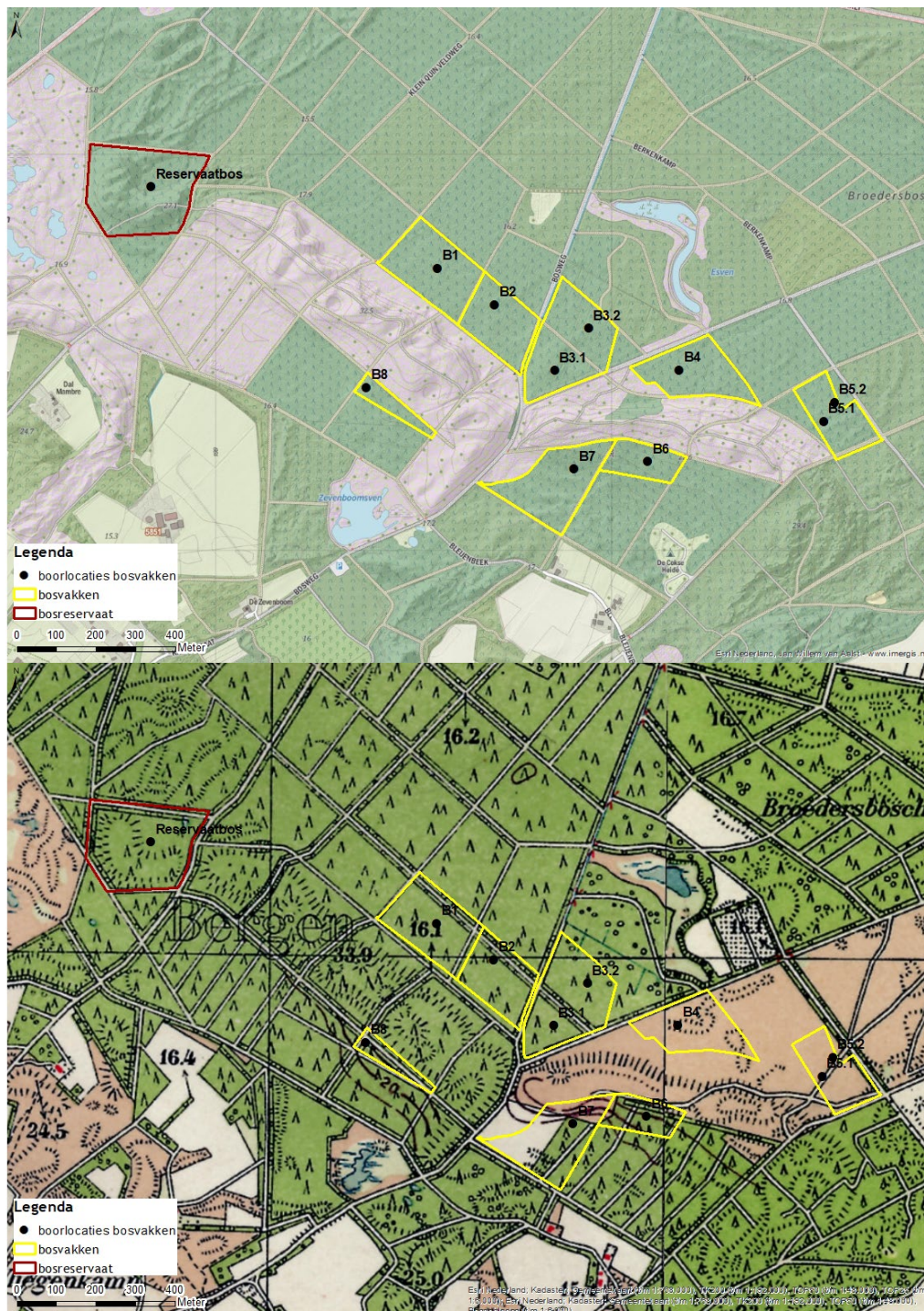
Op de vergraste locaties viel op dat de bodembuffering op orde was, maar de voedselrijkdom aan de hoge kant, net als op de door varens gedomineerde plek. Hier was het organische stofpercentage ook relatief hoog, waardoor de bodem vochtiger blijft en varens kunnen gaan domineren.

Tabel 5.8. Advies recent omgevormde locaties.

Locatie	Knelpunten	Advies
	braam	
72	Beschikbaar Ca en Mg te laag, Olsen-P hoog. Lage CEC	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 1 of 2 ton/ha) of Soilfeed 10 ton/ha+ verschrallen tegen hoog Olsen-P
73	Beschikbaar Ca en Mg te laag, Olsen-P hoog. Lage CEC	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 1 of 2 ton/ha) of Soilfeed 10 ton/ha+ verschrallen tegen hoog Olsen-P
74	Beschikbaar Ca en Mg te laag, NH4 hoog	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 2 ton/ha) als proef+ verschrallen tegen hoog NH4
75	Beschikbaar Ca en Mg te laag, Olsen-P hoog. Lage CEC	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 1 of 2 ton/ha) of Soilfeed 10 ton/ha+ verschrallen tegen hoog Olsen-P
78	Beschikbaar Ca en Mg te laag, Lage CEC	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 1 of 2 ton/ha) of Soilfeed 10 ton/ha
79	Beschikbaar Ca en Mg te laag	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 2 ton/ha) als proef
82	Beschikbaar Ca en Mg te laag, Olsen-P hoog	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 2 ton/ha) als proef+ verschrallen tegen hoog Olsen-P
84	NH4 veel te hoog	Verschrallen of plaggen + bekalken (2 ton/ha)
85	Beschikbaar Ca en Mg te laag	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 2 ton/ha) als proef
86	Buffering aan de lage kant	Soilfeed (10 ton/ha)
89	Beschikbaar Ca en Mg te laag	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 2 ton/ha) als proef
94	NH4 veel te hoog	Verschrallen of plaggen + bekalken (2 ton/ha)
	geplagd+braam	
80	Beschikbaar Ca en Mg te laag. Lage CEC	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 1 of 2 ton/ha) of Soilfeed 10 ton/ha
81	Beschikbaar Ca en Mg te laag.	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 2 ton/ha)
88	Beschikbaar Ca en Mg te laag. Lage CEC	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 1 of 2 ton/ha) of Soilfeed 10 ton/ha
90	Buffering aan de lage kant maar niet urgent	Soilfeed 10 ton/ha
	vergrast+braam	
87	Geen knelpunten bodemchemie	
93	Beschikbaar Ca laag. Lage CEC	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 1 of 2 ton/ha) of Soilfeed 10 ton/ha
95	Olsen-P te hoog	Verschrallen
96	Olsen-P te hoog	Verschrallen
	Heide	
91	Beschikbaar Ca en Mg te laag.	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 2 ton/ha)
92	Beschikbaar Ca en Mg te laag.	Bekalken met dolomietenkalk (5% Mg, 2 ton/ha)
	Varens	
83	Te voedselrijk	Verschrallen

5.4 Bodem- en bladchemie bosvakken

In het Bergerbos (Maasduinen) werden in totaal elf bosvakken bemonsterd. Van deze acht bosvakken werden er zeven regulier beheerd en één al een tijdje niet beheerd. Het bosvak dat niet beheerd wordt, wordt hier verder het reservaatbos genoemd. Het reservaatbos werd rond 1927-1930 aangeplant. In de periode 1930-1940 werden bosvakken B1, B2, B3, B6, B7 en B8 aangeplant en bestonden bosvakken B4 en B5 nog uit heide. Deze bospercelen staan pas sinds 1960 als bos op de historische kaart en zijn dus relatief jong (Figuur 5.23). Daarnaast bestond B7 deels uit een akker tot circa 1960.



Figuur 5.23. Overzicht van de boorlocaties in bosvakken op een topografische kaart en historische kaart uit 1950.

4.4.1 Beknopte vegetatiebeschrijving

De dominante boomsoort in alle bosvakken was grove den, behalve in bosvak B4 waar Corsicaanse den (*Pinus nigra* subsp. *laricio*) de dominante boomsoort was. Van zomereiken stonden er vaak maar enkele in de bosvakken en bij B8 slechts één. Monsterpunt B5.2 werd geplaatst bij een Beuk. In tegenstelling tot de Meinweg was in deze bosvakken vaak een sterk ontwikkelde tweede boomlaag aanwezig met voornamelijk soorten als Berk (*Betula* sp.) en Sporkehout (*Frangula alnus*). In bosvakken B1 en B2 groeide ook veel jonge wilde lijsterbes (*Sorbus aucuparia*) in de oude sporen van bosbouwmachines. In het reservaatbos van het Bergerbos was de bodem bijna volledig bedekt met haarmos (*Polytrichum* sp.).

4.4.2 Bodemchemie bosvakken

De bodemopbouw in de bosvakken bestond over het algemeen uit een pakket grof bladmateriaal met direct daaronder mineraal zand. In deze bodems treedt strooiselophoping op en is er nauwelijks menging tussen de strooisellaag en minerale bodemlaag. Dit is kenmerkend voor een morsysteem, waarbij organische stof traag afbreekt. In dit gebied werd enkel de bovenste 10 cm van de minerale bodem verzameld. De bodem bestond uit relatief arm zand met lage concentraties totaal aluminium, calcium, kalium, magnesium en fosfor. Met name de totaal-calciumconcentraties in de bodem waren zeer laag met concentraties onder de 2 mmol/l bodem. Op locatie B5.2 was de bodem wat rijker aan calcium, kalium en magnesium. Het organisch stofpercentage varieerde van 12 tot 25% in de bovenste 10 cm van de bodem.



Figuur 5.24. Typisch beeld van de bodemopbouw in de bosvakken van de Maasduinen. Een dik pakket organisch materiaal met daaronder vrijwel direct het minerale zand.

Bodembuffering

De bodem van de bosvakken was over het algemeen zuur met een lage basenverzadiging van slechts 3 tot 12%. De CEC varieerde van 30 tot 68 meq/l bodem. Bij een basenverzadiging lager dan 25% in de minerale bodemlaag gaat aluminium in oplossing (De Vries, 2008). Dat is ook in deze bosbodems te zien met beschikbare aluminiumconcentraties van 787 tot 2807 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Tegelijkertijd werden er zeer lage beschikbare Ca-concentraties in de minerale bodem gemeten van 85 tot 1156 $\mu\text{mol/l}$ bodem en was de pH-NaCl laag met een pH van 2,7-3,0. Dat resulteert in een over het algemeen zeer ongunstige Al/Ca-ratio in de minerale bodemlaag van 0,9 tot 33,1 mol/mol. Deze ongunstige Al/Ca-ratio is schadelijk voor wortels en ectomycorrhiza schimmels (Arnolds, 1991; Wallenda & Kottke, 1999).

Voedselrijkdom

In deze minerale bosbodems werden over het algemeen geen verhoogde ammonium- of nitraatconcentraties gemeten met concentraties lager dan 200 µmol/l bodem. Een uitzondering vormde locatie B1 en B5.1 met een hoge NH₄-concentratie van 524 en 277 µmol/l bodem. Ammonium was over het algemeen de dominante stikstofvorm in de bodem. De nitraatconcentraties waren over het algemeen zeer laag met op het merendeel van de locaties concentraties lager dan 50 µmol/l bodem. De concentratie Olsen-P was aan de hoge kant met concentraties van 283 tot 862 µmol/l bodem, met name op locatie B3.1 met een hoge concentratie Olsen-P van 1280 µmol/l bodem (Tabel 5.9).

Tabel 5.9 Belangrijkste bodemchemische parameters in zoutextractie (0,2M NaCl) waarbij concentraties in µmol/l zijn gegeven, strontiumextractie met basenverzadiging (BV) in procenten en cation exchange capacity (CEC) in meq/l bodem, Olsen-P concentratie in µmol/l bodem, totale concentraties (-t) uit een destructie in mmol/l bodem en organisch stofpercentage (OS).

Locatie	Diepte cm	OS %	Zoutextract										Strontium		Olsen-P µmol/l	Destructie					
			pH	Al	Ca	K	Mg	P	NO ₃	NH ₄	Al/Ca	NH ₄ /NO ₃	BV	CEC		Al-t	Ca-t	K-t	Mg-t	Fe-t	P-t
			µmol/l										%	meq/l		mmol/l					
B1	0-10	19	2,9	1653	679	1043	436	17	93	524	2,4	5,7	11	61	862	45	0,4	3,2	1,6	57	3,8
B2	0-10	19	2,9	1116	1000	399	279	25	174	70	1,1	0,4	12	48	283	16	1,6	2,1	0,9	8	1,5
B3.1	0-10	22	3,0	2807	85	289	155	5	2	7	33,1	4,3	3	58	1280	64	1,9	2,6	2,2	76	5,4
B3.2	0-10	18	2,8	1284	393	333	214	14	2	64	3,3	31,2	6	47	804	21	1,7	2,0	1,3	33	3,2
B4	0-10	17	3,0	2409	304	238	143	9	7	98	7,9	14,7	7	57	683	78	1,8	2,6	1,8	16	3,3
B5.1	0-10	23	2,9	2206	255	561	699	10	1	277	8,7	221,9	6	57	632	51	0,7	2,9	2,8	45	3,3
B5.2	0-10	21	2,8	1680	1156	190	503	8	1	33	1,5	32,8	5	68	809	72	2,8	3,7	4,0	22	3,3
B6	0-10	13	3,0	865	997	196	160	12	17	60	0,9	3,6	11	30	448	17	1,0	1,6	0,9	18	2,1
B7	0-10	25	2,8	1450	400	235	146	5	1	44	3,6	44,3	4	58	596	37	1,5	2,1	1,6	33	3,4
B8	0-10	12	2,8	787	579	195	193	15	39	155	1,4	4,0	7	38	411	15	1,4	1,7	0,8	25	1,9
Reservaatbos	0-10	19	2,7	1264	610	289	157	20	92	87	2,1	0,9	5	65	257	19	1,6	1,6	0,6	7	1,4

4.4.3 Bladchemie bosvakken

De gehalten in het blad geven een indruk van tekorten of overschotten aan elementen in de bomen. De verzamelde gegevens werden vergeleken met de gegevens gepubliceerd in Mellert & Gottlein uit 2012 (Tabel 5.10). Daarnaast werd ook gekeken naar de verhoudingen waarin elementen voorkwamen in het blad. Door het uitspoelen van basische kationen (Ca, K en Mg) als gevolg van verzurende depositie (stikstof en in het verleden zwavel), en de vermestende N-depositie kunnen de verhoudingen van elementen in het blad sterk verschuiven.

Per locatie werd op kaart aangegeven of er sprake was van een tekort, of de gegevens zich in het normale bereik bevonden of dat er sprake was van een overschot aan Ca, K, Mg, N en P in de bemonsterde bomen. Voor calcium wordt in Mellert & Gottlein (2012, Tabel 5.10) enkel de waarde voor latent tekort beschreven en wordt geen onderscheid gemaakt tussen latent tekort of ernstig tekort.

Tabel 5.10. Referentietabel naar Mellert en Gottlein (tabel 1, 3, 4 en 6) met de referentiegegevens in mg/g van naald van Grove den (*Pinus sylvestris*), blad van Beuk (*Fagus Sylvatica*) en Eik (zomer- en wintereik, *Quercus Robur* en *Quercus petraea*).

Eik				Beuk				Grove den			
mg/g	Gebrek	Normale bereik	Overschot	mg/g	Gebrek	Normale bereik	Overschot	mg/g	Gebrek	Normale bereik	Overschot
N	<19,8	19,8-26,8	>26,8	N	<18,7	18,7-23,2	>23,2	N	<14	14-18,3	>18,3
P	<1,4	1,4-2,1	>2,1	P	<1,2	1,2-1,9	>1,9	P	<1,3	1,3-1,9	>1,9
K	<7,2	7,2-11,4	>11,4	K	<6,1	6,1-9,7	>9,7	K	<4,6	4,6-7	>7
Ca	<5,3	5,3-10,2	>10,2	Ca	<6,7	6,7-14,0	>14,0	Ca	<2	2-3,9	>3,9
Mg	<1,2	1,2-2,4		Mg	<1,1	1,1-2,3	>2,3	Mg	<0,8	0,8-1,3	>1,3
N/P		9,3-19,6		N/P		10,0-18,9		N/P		7,4-14,1	
N/K		1,7-3,7		N/K		1,9-3,8		N/K		2,0-4,0	
N/Ca		1,9-5,0		N/Ca		1,3-3,5		N/Ca		3,6-9,1	
N/Mg		8,1-21,8		N/Mg		8,2-21,7		N/Mg		10,8-22,9	

Algemeen beeld

De bemonsterde eiken in de Maasduinen hadden een tekort aan calcium en kalium in het blad. De gehalten aan magnesium en fosfor vielen binnen de normale ranges en lokaal werd een overschot voor P gemeten. Betreft stikstof werden gehalten gemeten die boven het normale bereik vielen (Tabel 5.11). Deze relatief hoge N-gehalten zorgden ook voor een zeer ongunstige verhouding tussen N en K en Ca.

Ook in de grove dennen werden met name tekorten aan calcium en kalium in het naaldmateriaal gemeten. De magnesium- en fosforgehalten vielen over het algemeen binnen het normale bereik. In vijf van de negen bemonsterde grove dennen werd een overschot aan stikstof gemeten. De lokaal lage gehalten aan K, Ca, P en Mg zorgden soms voor een zeer ongunstige verhouding tussen N en Ca, K en P.

In vergelijking met de Meinweg en andere gebieden in Noord-Brabant (Maashorst, Regte heide en Strabrechtse heide) en Veluwe werden in de bemonsterde eiken ook tekorten gemeten aan kalium en calcium. In de Maasduinen werd daarentegen geen tekort aan P gemeten in het eikenblad. Ook voor grove den werd in de Maasduinen bijna geen tekort aan P gemeten, terwijl dat in andere gebieden wel vaak het geval is. Verder werden in Noord-Brabant ook weinig tekorten aan kalium of magnesium gemeten, in tegenstelling tot de Meinweg.

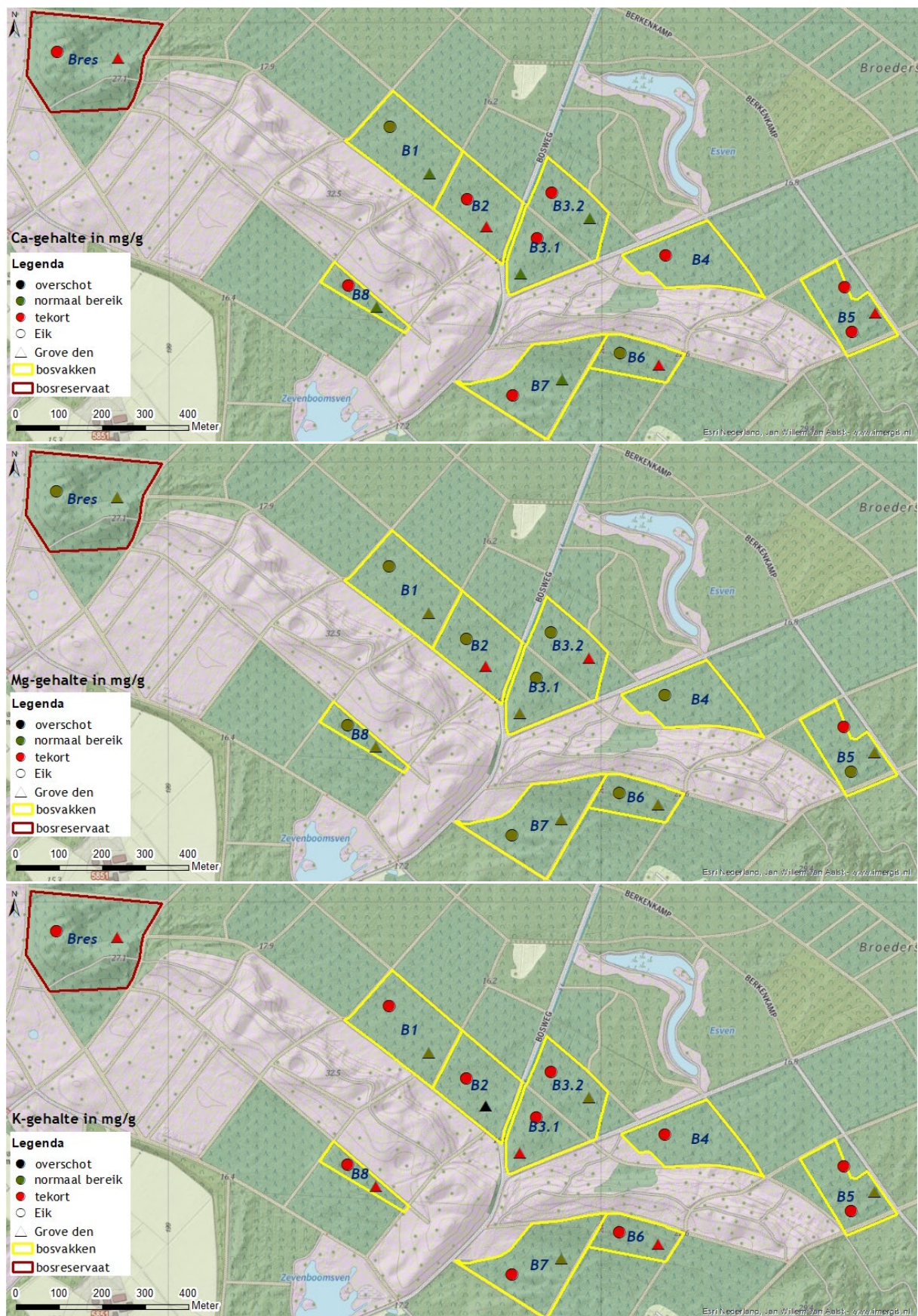
Tabel 5.11. Gemeten verhoudingen in blad- en naaldmateriaal in g/g. Klasseringen volgens tabel 5.10, waarbij groen = binnen range, rood = gebrek en zwart = overschot.

Locatie	Boom	N	Ca	K	Mg	P	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg
		mg/g					g/g			
B1	eik	31,7	6,8	6,5	1,7	1,8	17,5	4,8	4,7	18,3
B2	eik	26,9	5,0	6,0	1,3	1,6	16,9	4,5	5,4	20,2
B3.1	eik	27,2	4,9	5,6	1,4	1,4	19,1	4,9	5,6	20,0
B3.2	eik	27,0	4,7	5,7	1,4	1,8	14,6	4,7	5,8	19,8
B4	eik	33,2	3,7	6,3	1,3	2,0	16,5	5,2	9,0	26,2
B5.1	eik	27,2	3,7	6,1	1,8	2,3	11,6	4,5	7,4	15,3
B5.2	eik	25,4	2,1	7,1	0,7	1,4	17,8	3,6	12,0	38,1
B6	eik	31,3	6,6	4,7	1,5	1,8	17,7	6,6	4,7	21,0
B7	eik	25,0	4,0	3,6	1,5	1,5	16,6	7,0	6,3	16,8
B8	eik	-	4,3	2,8	1,4	2,1	-	-	-	-
Bres	eik	28,8	4,3	5,0	1,5	2,0	14,1	5,8	6,7	19,5
B1	grove den	20,1	2,9	5,9	1,2	1,6	12,3	3,4	6,9	16,6
B2	grove den	20,2	1,9	7,2	0,7	1,6	12,9	2,8	10,9	29,6
B3.1	grove den	18,6	2,9	4,1	1,2	1,4	13,2	4,5	6,5	15,5
B3.2	grove den	18,9	2,6	5,8	0,7	1,7	11,4	3,2	7,4	26,4
B5.1	grove den	16,9	1,6	5,1	1,0	1,4	11,7	3,3	10,3	17,2
B6	grove den	18,0	1,8	3,3	1,1	1,2	15,0	5,4	10,0	17,0
B7	grove den	19,4	2,1	4,9	0,9	1,6	12,1	4,0	9,0	21,0
B8	grove den	17,8	2,7	4,5	1,1	1,3	13,3	4,0	6,5	16,0
Bres	grove den	17,5	1,9	4,4	1,1	1,4	12,3	4,0	9,1	16,0

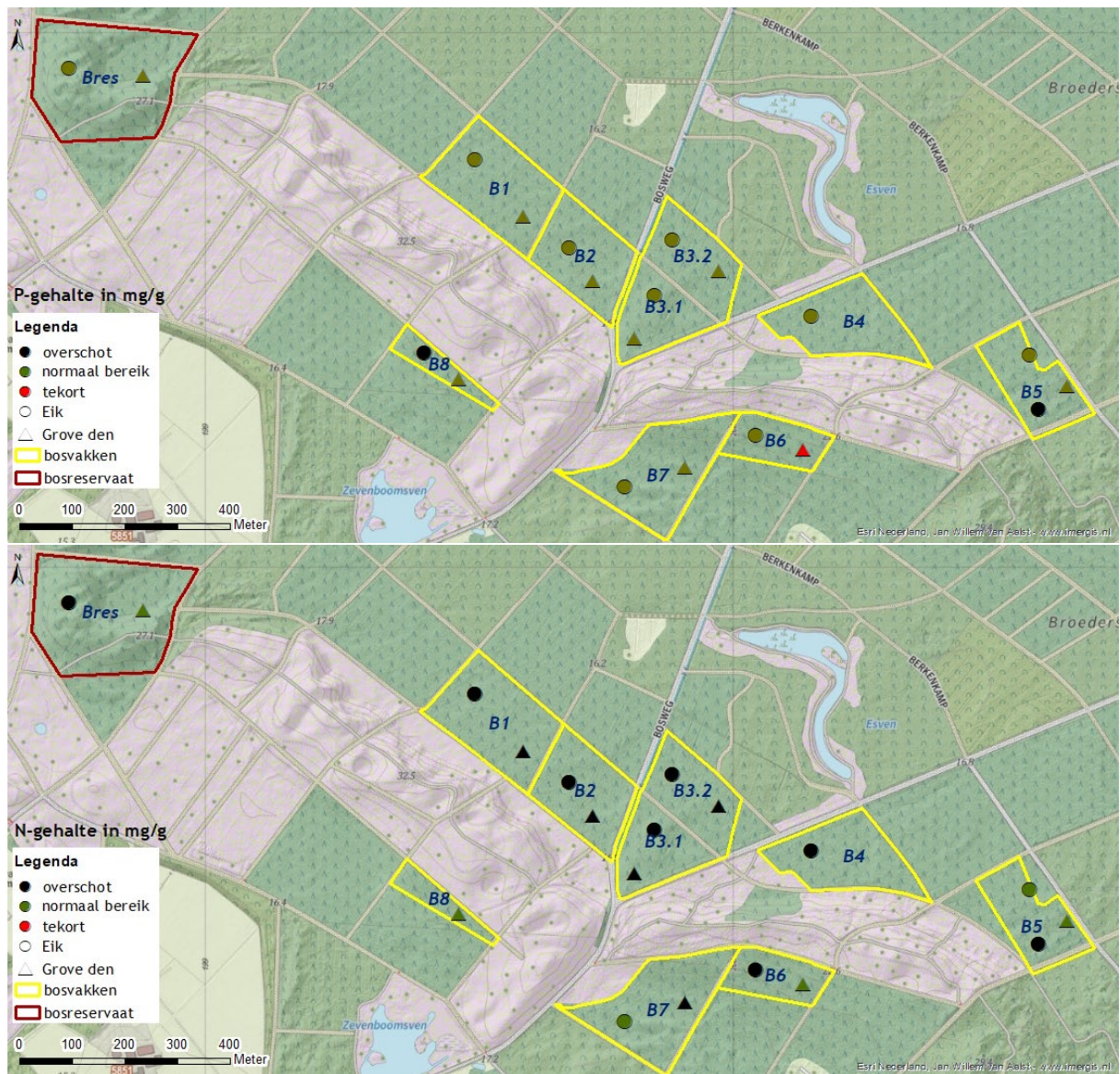
Ruimtelijke weergave

Op bijna alle locaties werd in het eikenblad een tekort aan calcium gemeten (Figuur 5.24). Een uitzondering vormde bosvak B1 en B6 met gehalten die binnen of aan de onderkant van het normale bereik vielen (6,6 en 6,8 mg/g Ca). Wat magnesium betreft werden in het eikenblad op bijna alle locaties gehalten gemeten die in of aan de onderkant van de normale range vielen (1,1-1,9 mg/g). Een uitzondering vormt bosvak B5 waarin een tekort aan magnesium werd gemeten in het eikenblad van 0,7 mg/g, terwijl in de bodem juist de hoogste Mg-concentraties werden gemeten. De kaliumgehalten in het eikenblad waren overal (veel) te laag (<7,2 mg/g).

Voor grove den ziet het beeld er iets beter uit wat betreft calcium met op het merendeel van de locaties Ca-gehalten die vallen in de normale range of aan de onderkant van de normale range. Een uitzondering vormde bosvak B2, B5, B6 en het reservaat waar in de naalden van grove den een tekort gemeten werd (Ca-gehalten lager dan 2 mg/g). In de naalden van grove den werden over het algemeen Mg-gehalten gemeten die binnen of aan de bovenkant van het normale bereik vielen. Een uitzondering vormde bosvak B2 en B3.2 waar een tekort aan Mg werd gemeten (0,6-0,8 mg/g). Wat kalium betreft werd in de vakken B3.1, B6, B8 en het reservaat een tekort aan kalium gemeten. In bosvak B6, B8 en het reservaat werden ook de laagste totaal-K gehalten in de bodem gemeten. In vak B2 werd juist een overschot aan K in de naalden gemeten.



Figuur 5.24 Gemeten gehalten aan Ca, Mg en K ingedeeld in de categorieën gegeven in Mellert & Gottlein (2012, Tabel 5.10).



Figuur 5.25 Gemeten gehalten aan P en N ingedeeld in de categorieën gegeven in Mellert & Gottlein (2012, Tabel 5.10).

Over het algemeen was er geen sprake van een P-tekort in de bladeren van eik of naalden van grove den met ranges die binnen het normale bereik vielen. In bosvak B5 en B8 werd zelfs een overschot aan P gemeten in het blad van eik. Een uitzondering vormde bosvak B6 waar in de naalden van grove den een tekort aan P gemeten werd (1,2 mg/g). Als laatste werd gekeken naar de N-gehalten in het blad van de bomen (Figuur 5.25). In bijna alle bosvakken werd zowel in bladmateriaal van eik als grove den een overschot aan N gemeten. In bosvakken B5, B6, B7 en B8 werden N-gehalten gemeten in eik en grove den die aan de bovenkant van het normale bereik of in het normale bereik vielen.

5.4.4 Knelpunten bosvakken

De minerale bodem bestond uit relatief arm zand met lage concentraties totaal aluminium, calcium, kalium, magnesium en fosfor. De minerale bosbodems waren over het algemeen zuur met een zeer lage basenverzadiging, lage concentraties beschikbaar Ca en ongunstige Al/Ca-ratio. De bodem was over het algemeen niet (sterk) verrijkt met stikstof met concentraties onder de 200 $\mu\text{mol/l}$ NO_3 of NH_4 . Een uitzondering vormde bosvak B1 met een hoge NH_4 -concentratie van 524 $\mu\text{mol/l}$ bodem. De

concentratie plantbeschikbaar P was aan de hoge kant (283 tot 862 $\mu\text{mol/l}$ bodem) en vrij hoog op locatie B3.1 (1280 $\mu\text{mol/l}$ bodem).

De bladchemie laat zien dat de eiken over het algemeen flinke tekorten aan calcium en kalium in het blad hebben en een sterk overschot aan stikstof. De verhouding tussen N en K of Ca in het eikenblad was in bijna alle bosvakken ongunstig. Dit was ook het beeld in het niet beheerde reservaatbos. Dit beeld komt overeen met eiken in andere gebieden in Noord-Brabant en de Veluwe. De magnesium en fosforgehalten vielen over het algemeen binnen de normale range voor eik, in tegenstelling tot andere gebieden in Nederland waar over het algemeen tekorten aan P en Mg in het blad gemeten worden.

In de naalden van grove den werden betreft fosfor weinig tekorten in het naaldmateriaal gemeten, in tegenstelling tot de Meinweg en andere gebieden in Noord-Brabant en de Veluwe. De Ca-gehaltes in het naaldmateriaal vielen op het merendeel van de locaties nog net binnen het normale bereik. Ook wat betreft magnesium werden over het algemeen weinig tekorten gemeten in de naalden van grove den. Betreft kalium werden met name in bosvakken met een laag totaal-K gehalte in de bodem ook tekorten aan K in het naaldmateriaal gemeten. Lokaal werd zelfs een overschot aan kalium gemeten (vak B2). Ook in andere gebieden in Nederland worden over het algemeen weinig tekorten aan kalium of magnesium gemeten. De N-gehaltes in het naaldmateriaal was op bijna alle locaties hoger of aan de bovenkant van het normale bereik voor grove den. De verhoudingen in het naaldmateriaal vielen over het algemeen binnen de ranges met uitzondering van vak B6.

In deze bosvakken vormt stikstof in het blad een knelpunt, zoals ook wel verwacht werd op basis van de hoge N-depositie in het gebied, naast lage calcium- en kaliumgehaltes in blad en bodem. Dit geldt ook voor het onbeheerde reservaatbos.

6. Literatuur en bijlagen

- Arnolds, E., 1991. Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 35, 209-244.
- Bergsma, H., J. Vogels, M. Weijters, R. Bobbink, A. Jansen & L. Krul, 2016. Tandrot in de bodem. *Bodem nummer 1*, februari 2016.
- Bergsma, H., J. Vogels, A. van den Burg & R. Bobbink, 2018. Is de bodemverzuring in Nederland onomkeerbaar? *Vakblad Natuur Bos Landschap*: 4-6.
- Bijlsma, R.J., S.P.J. van Delft, R. Loeb en R. Bobbink 2020. Kansen voor oude droge heide in het heidelandschap. Rapport nummer 2020/OBN240-DZ, VBNE, Driebergen.
- Bobbink, R. (2008). Biodiversiteit in natuurreservaten. *Landschap-Tijdschrift voor Landschapsecologie en Milieukunde*, 25(3), 109-115.
- Bobbink, R., M. Weijters, M. Nijssen, J. Vogels, R. Haveman & L. Kuiters (2009). Branden als EGM-maatregel. Rapport nummer 2009/dk117-O, DK, Ede.
- Bobbink, R., D. Bal, H.F. van Dobben, A.J.M. Jansen, M. Nijssen, H. Siepel, J.H.J. Schaminée, N.A.C. Smits & W. de Vries (2012). De effecten van stikstofdepositie op de structuur en het functioneren van ecosystemen. In: *Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats: Ecologische onderbouwing van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS)*. Deel I: Algemene inleiding op herstelstrategieën: beleid, kennis en maatregelen. Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag, pp.41-82.
- 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., & van der Zee, F. F. (2018). Actieplan tot redding van droge heischrale graslanden. B-WARE Research Centre.
- Bobbink, R., A. van den Burg, E. Brouwer, B. van de Riet & H. Siepel (2018). Langetermijneffecten van bosbekalking en -bemesting: de Harderwijkerproef. *Monitoring OBN-17-DZ*. VBNE, Driebergen.
- Bobbink, R. (2021). Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen. Rapportnummer RP-20.135.21.35.
- Bossenbroek, P., & Hermans, J. T. (1999). Nationaal park de Meinweg. *Natuurhistorisch Maandblad*, 88(12), 282-288.
- Desie, Ellen & Vancampenhout, Karen & Berg, Leon & Nyssen, Bart & Weijters, Maaïke & Ouden, Jan & Muys, Bart. (2020). Litter share and clay content determine soil restoration effects of rich litter tree species in forests on acidified sandy soils. *Forest Ecology and Management*. 474. 118377. 10.1016/j.foreco.2020.118377.
- Desie, E., L. van den Berg, B. Nyssen, M. Weijters, G. van Duinen, J. den Ouden, K. Vancampenhout & B. Muys (2020). Rijkstrooisel: kansen voor herstel van de nutriëntenkringloop in bossen. *De Levende Natuur*, 121(4), 134-139.
- 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.
- Eenshuistra, P. (2014a). Korstmossen in de Meinweg. *Natuurhistorisch Maandblad*, 103(6), 154-159.
- Eenshuistra, P. (2014b). Paddestoelen in de Meinweg. *Natuurhistorisch Maandblad*, 103(10), 253-265.

- de Graaf, M. C., Bobbink, R., Smits, N. A., Van Diggelen, R., & Roelofs, J. G. (2009). Biodiversity, vegetation gradients and key biogeochemical processes in the heathland landscape. *Biological conservation*, 142(10), 2191-2201.
- Koster, E. (2011). Aardkundig excursiepunt 45 Breuktrappen en terrassen in De Meinweg. *Grondboor & Hamer*, 65(6), 167-173.
- Mellert, K. & Göttlein, A. (2012). Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. *European Journal of Forest Research* 131(5).
- Mohamed, A. & Haerdte, W. & Jirjahn, B. & Niemeyer, T. & Oheimb, G. (2007). Effects of prescribed burning on plant available nutrients in dry heathland ecosystems. *Plant Ecology*. 189. 279-289. 10.1007/s11258-006-9183-7.
- Pilkington, M., S. Caporn, J. Carrrol, N. Cresswell, G. Phoenix, J. Lee, B. Emmett & T. Sparks (2007). Impacts of burning and increased nitrogen deposition on nitrogen pools and leaching in an upland moor. *Journal of Ecology* 95(6):1995-1207.
- Provincie Limburg. (2016). Overzicht per Natura 2000-gebied. Geraadpleegd op 2 februari 2022, van <https://www.limburg.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/natura-2000-gebieden/overzicht/>
- Provincie Limburg (2017). Document PAS-analyse Herstelstrategieën voor Maasduinen. Provincie Limburg, Maastricht.
- Reutelingsperger, L. (2016). Het natuurlijke landschap van de Zuidelijke Maasduinen: Een beschrijving van de bijzondere geomorfologie van de Maasduinen. *Natuurhistorisch Maandblad*, 105(12), 269-275.
- Schreven, S. (2013). Bijen en wespen in Nationaal Park De Meinweg. *Bzzz/HymenoVaria*, 6(1), 8-14.
- Siepel, H., R. Bobbink, B.P. van de Riet, A. 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* 55:675-683.
- Van den Berg, L.J.L., Dorland, E., Vergeer, P., Hart, M.A.C., Bobbink, R. & Roelofs, J.G.M. (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 Burg, A.B, F. Berendse, H.F. van Dobben, J. Kros, R. Bobbink, J. Roelofs, B. Odé, C.A.M. van Swaay, H. Sierdsema, H.N. Siebel, W. de Vries (2021). Onderzoek naar een ecologisch noodzakelijke reductiedoelstelling van stikstof: stikstof en natuurherstel. Wereld Natuur Fonds.
- Venner, G.H.A. (1985). De Meinweg. Onderzoek naar rechten op gemene gronden in het voormalige Gelders – Gulikse grensgebied circa 1400 - 1822.
- 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, 117 pag.
- Vogels, J.J., H. Jansma, R. Bobbink, M. Weijters, E. Verbaarschot, P. ten Den, R. Versluijs & S. Waasdorp (2013). Herstellen van akkers als onderdeel van een intact heidelandschap. De koppeling tussen arme heidegebieden en rijkere gronden. Rapport nummer 2013/OBN179-DZ, Den Haag.
- Vogels, J. J., Weijters, M. J., Bobbink, R., Bijlsma, R.-J., Lamers, L. P. M., Verberk, W. C. E. P., & Siepel, H. (2020). Barriers to restoration: soil acidity and phosphorus limitation constrain recovery of heathland plant communities after sod cutting. *Applied Vegetation Science*, 23(1), 94-106.

- Vogels, J.J., E. Bohnen-Verbaarschot, R. Loeb, M. Weijters, R. Bobbink, M.C. Scherpenisse, P.J.M. Verbeek & V. de Jong (2020). Monitoring steenmeeltoepassing ten behoeve van herstel biodiversiteit in het Nationale Park de Hoge Veluwe. Eindrapport monitoring 2015-2019. Rapport Stichting Bargerveen, i.o.v Stichting Het Nationale Park de Hoge Veluwe & Provincie Gelderland, Nijmegen.
- de Vries, W. (2008) Verzuring: oorzaken, effecten, kritische belastingen en monitoring van de gevolgen van ingezet beleid. Alterra-rapport 1699. Alterra Wageningen Universiteit en Research Centrum, Wageningen.
- de Vries, W., M.J. Weijters, J.J. de Jong, S.P.J. van Delft, J. Bloem, A. van den Burg, G.A. van Duinen, E. Verbaarschot & R. Bobbink (2019). Verzuring van loofbossen op droge zandgronden en herstelmogelijkheden door steenmeeltoediening. Rapport OBN229-DZ. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE), Driebergen.
- Wallenda, T. and Kottke, I., 1998. Nitrogen deposition and ectomycorrhizas. *New Phytologist* 139, 169-187.
- Wallis de Vries, M., K. Huskens, J. J. Vogels, R. Versluijs, R. Loeb, E. Brouwer, and R. Bobbink. (2018). Alternatieven voor plaggen van natte heide - Effecten op middellange termijn. VBNE, Driebergen.
- Weijters, M., R. Bobbink, E. Bohnen-Verbaarschot, B. Van de Riet, J. Vogels, H. Bergsma & H. Siepel (2018). Herstel van heide door middel van slow release mineralengift. Resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek, VBNE, Driebergen, 216 pag.
- Weijters, M.J., A.U. van der Bij, J.A. Harris, M. Pawlett, W.-J. Emsens, J. Frouz, P. Benetkova, E. Verbruggen, D. Radujkovic, E. Verbaarschot, R. van Klink, R. Vermeulen, R. van Diggelen en R. Bobbink (2019). Praktijkproef heideontwikkeling op voormalige landbouwgrond in het Noorderveld (Dwingelderveld). VBNE, Driebergen.

Bijlage 1. Bodemchemische resultaten Meinweg, V=vochtpercentage, OS=organisch stofpercentage, MV=massavolume in kg droog/l verse bodem, BV=basenverzadiging en CEC=cation exchange capacity.

Locatie				Zoutextractie																Strontium			Destructie											
	OS	V	MV	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC	Olsen-P	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	Mn-t	P-t	S-t	Si-t	Zn-t				
	%			µmol/l																ratio	%	meq/	µmol/l	mmol/l										
1	5	12	1,0	3,2	1140	570	26	539	313	72	6	140	51	14	7	429	2,0	14	27	834	53,1	1,9	86,4	5,6	6,0	0,5	4,3	3,0	14,1	0,2				
2	6	14	1,0	2,9	843	2263	10	359	579	123	9	148	69	37	200	186	0,4	20	25	463														
3	5	8	0,9	3,0	1029	926	16	259	311	27	3	141	70	16	11	109	1,1	15	22	719														
4	6	11	1,0	3,2	940	2025	13	663	701	52	1	151	69	37	9	1086	0,5	18	31	344														
5	8	17	0,8	3,0	986	1080	11	335	377	88	4	139	58	28	63	194	0,9	16	39	842														
6	9	16	0,9	3,0	748	1652	14	586	975	117	10	141	69	32	108	147	0,5	16	30	762														
7	7	11	1,0	2,9	908	2052	19	504	619	119	8	193	89	50	172	1465	0,4	32	56	612	53,2	2,7	80,4	4,9	5,4	0,5	3,6	5,2	13,5	0,3				
8	7	16	1,0	3,2	1469	992	55	702	489	130	2	205	86	24	62	1567	1,5	18	40	743														
9	5	11	1,0	3,3	561	2976	12	463	1049	127	8	146	99	35	4	152	0,2	27	30	765	59,3	5,9	87,7	5,7	6,9	0,8	5,0	4,4	14,5	0,3				
10	4	11	1,1	3,4	935	1350	12	541	633	111	2	167	61	14	83	545	0,7	24	28	643														
11	5	8	1,0	3,1	1396	401	18	459	245	25	5	169	82	33	18	300	3,5	8	27	822														
12	5	14	1,1	3,2	1066	1193	16	437	515	79	1	167	49	29	73	774	0,9	15	36	580														
13	6	14	1,0	3,2	1061	1849	12	666	857	288	1	191	64	43	37	1011	0,6	23	36	602	74,6	3,6	90,8	7,5	7,6	0,9	4,4	5,4	13,9	0,3				
14	8	17	0,9	3,2	820	2685	6	1054	935	64	16	185	73	34	271	1529	0,3	26	31	581														
15	8	12	0,9	3,1	728	1755	8	399	621	88	4	146	81	38	18	522	0,4	28	30	678														
16	14	21	0,7	3,2	649	2036	6	931	716	54	9	159	110	27	50	389	0,3	9	37	956														
17	7	16	0,9	3,1	880	2552	15	2294	789	313	13	180	142	27	746	287	0,3	28	37	892														
18	8	13	1,0	3,2	526	2870	8	953	976	105	10	202	119	56	9	1537	0,2	28	30	393														
19	6	14	1,0	3,2	491	2358	8	693	884	260	10	185	59	36	169	1008	0,2	26	27	783	37,4	4,2	66,1	5,3	5,0	0,7	4,8	4,6	12,3	0,3				
20	6	12	1,0	3,0	709	1805	5	826	626	39	8	155	71	47	8	1465	0,4	22	31	304														
21	4	11	1,0	3,6	368	1965	5	465	523	503	9	159	60	14	119	224	0,2	32	18	912														
22	14	31	0,7	2,9	948	2977	15	1173	499	78	6	262	88	52	26	2342	0,3	20	40	361														
23	6	19	1,0	3,1	694	612	8	268	205	21	4	148	40	15	180	232	1,1	9	25	205	18,5	1,1	6,8	2,5	1,1	0,1	1,0	3,8	11,6	0,1				
24	13	22	0,8	3,0	910	465	3	468	208	2	1	127	32	22	0	17	2,0	3	20	213														
25	4	12	1,1	3,3	854	1029	8	614	480	117	3	142	45	23	184	271	0,8	21	25	683														
26	8	16	1,0	3,2	651	2938	9	958	1149	510	7	197	96	45	225	2028	0,2	22	36	523														
27	7	16	1,0	3,4	511	2028	8	865	880	354	3	165	89	35	158	1872	0,3	27	32	454	64,6	3,9	72,3	6,2	6,7	1,7	3,3	5,3	13,3	0,3				
28	10	14	1,0	3,2	482	3010	6	659	1093	119	3	168	60	47	154	1331	0,2	19	21	422														
29	6	12	1,0	3,1	653	2489	11	643	786	728	4	161	77	21	124	267	0,3	26	34	557														
30	5	10	1,0	3,0	822	1175	11	241	293	85	6	136	56	29	33	174	0,7	15	25	738	40,5	2,6	72,8	3,7	4,0	0,4	3,6	4,0	13,5	0,3				
31	8	17	0,9	3,1	1081	1765	18	656	675	246	5	160	66	59	189	455	0,6	20	33	565														
32	7	15	0,9	3,4	560	3330	13	911	1301	170	2	158	115	41	59	1070	0,2	21	30	274														
33	6	9	1,0	3,3	643	1548	6	557	694	314	1	144	30	24	55	171	0,4	18	24	1555														
34	4	13	1,1	3,3	1964	2530	20	1570	542	126	16	193	98	70	585	111	0,8	24	29	411														
35	7	17	0,9	3,1	933	1224	10	703	486	79	4	151	79	35	32	271	0,8	20	39	930														
36	8	16	0,8	3,2	543	2134	11	494	938	109	10	110	69	37	41	192	0,3	31	30	1131	36,4	4,1	61,7	3,8	4,9	0,5	6,0	8,4	10,6	0,3				
37	3	13	1,0	5,4	3	7420	2	1559	1957	4	48	124	34	3	79	147	<0,01	97	40	1109														
38	5	16	1,0	4,6	52	5797	3	543	1061	38	57	125	19	31	28	77	0,01	79	33	2244	100,9	12,6	106,5	7,4	12,1	3,4	14,3	5,4	12,4	0,5				
39	5	17	0,9	3,1	975	696	8	287	343	101	5	136	41	25	38	160	1,4	9	24	765														
40	10	23	0,9	3,1	905	1933	20	428	554	347	5	179	37	37	146	348	0,5	17	30	588														
41	9	19	0,8	3,0	1312	506	31	323	227	106	2	144	59	25	4	143	2,6	10	40	733	46,2	1,7	69,5	4,0	4,9	0,6	4,2	9,1	9,8	0,3				
42	3	10	1,1	4,6	17	4484	1	417	1366	19	54	122	21	22	13	87	<0,01	85	22	1795														
43	8	24	0,9	3,4	1230	747	200	3246	229	39	1	189	101	26	289	2675	1,6	20	40	293														
44	4	9	1,1	4,3	60	5673	5	938	1483	135	40	142	57	43	11	129	0,01	70	25	2162														
45	6	16	1,0	4,2	28	8785	4	445	917	73	47	152	71	60	20	154	<0,01	84	42	1300														
46	6	16	1,0	3,4	1087	1357	16	441	456	154	1	155	37	32	26	191	0,8	17	26	513														
47	8	16	0,9	3,8	57	6049	7	1127	3107	218	34	113	55	42	9	279	0,01	53	37	1087	38,8	5,9	35,3	5,0	4,5	0,6	5,6	7,2	11,9	0,2				
48	5	15	1,1	3,6	245	3608	11	1400	1688	134	18	137	54	39	39	200	0,1	22	30	525														
49	5	14	1,1	3,5	1090	1405	9	1409	463	274	2	150	53	23	141	316	0,8	22	27	269														
50	5	18	1,0	3,3	972	850	12	521	449	219	1	171	47	39	108	398	1,1	14	23	455														

Locatie				Zoutextractie														Strontium			Destructie									
	OS	V	MV	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC	Olsen-P	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	Mn-t	P-t	S-t	Si-t	Zn-t
				µmol/l														ratio	%	meq/	µmol/l	mmol/l								
51	11	26	0,8	3,2	912	2107	13	713	790	289	1	161	50	54	217	653	0,4	23	36	419	55,0	2,6	70,6	5,0	6,0	0,7	3,2	5,6	10,8	0,3
52	5	15	1,1	3,4	1146	1364	22	658	431	370	2	160	43	27	83	172	0,8	19	34	273										
53	5	13	1,1	3,3	1387	1232	49	788	399	80	1	169	70	20	76	408	1,1	16	50	233										
54	17	33	0,6	3,0	765	1549	5	717	811	66	3	130	47	41	55	414	0,5	29	40	417	27,8	3,8	25,7	3,0	4,7	0,5	2,4	6,7	7,9	0,2
55	7	21	0,9	3,0	713	2670	22	465	532	80	2	155	37	39	130	337	0,3	28	37	480										
56	4	15	0,9	3,2	773	1349	32	717	443	18	1	158	71	21	269	2262	0,6	19	29	496	39,1	3,8	21,3	3,8	4,5	0,2	2,4	6,6	12,0	0,2
57	11	24	0,8	3,1	667	1514	36	423	449	83	16	156	45	44	193	363	0,4	22	28	638										
58	5	17	1,1	3,1	1305	2216	14	641	1058	216	6	186	57	50	170	474	0,6	38	49	694										
59	10	19	0,9	3,0	990	2075	15	2178	629	55	2	154	86	65	494	3253	0,5	22	52	418										
60	22	37	0,6	2,9	923	2264	11	1018	607	43	5	153	40	61	212	1549	0,4	34	36	566	17,2	3,0	13,2	2,6	1,7	0,1	2,2	7,2	8,4	0,1
61	6	11	1,0	4,2	47	1335	11	6098	1516	327	18	210	257	7	952	8678	0,04	31	29	366	81,5	3,6	88,6	11,4	8,7	1,6	6,9	5,2	15,4	0,2
62	5	13	1,0	3,1	1101	548	2	264	190	10	1	135	26	23	83	316	2,0	8	29	1407										

Bijlage 2. Bodemchemische resultaten Maasduinen, V=vochtpercentage, OS=organisch stofpercentage, MV=massavolume in kg droog/l verse bodem, BV=basenverzadiging en CEC=cation exchange capacity.

Locatie				Zoutextractie															Strontium			Destructie											
	OS	V	MV	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	Al/Ca	BV	CEC	Olsen-P	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	Mn-t	P-t	S-t	Si-t	Zn-t			
				µmol/l															ratio	%	meq/l	µmol/l	mmol/l										
63	6	11	1,0	3,3	1630	639	18	365	267	12	5	143	40	23	41	535	2,6	14	29	911													
64	4	9	1,2	3,4	1175	502	7	387	264	13	9	136	50	26	21	387	2,3	16	24	954	25,9	2,3	41,4	1,8	2,1	0,2	3,7	4,8	9,6	0,3			
65	7	9	1,1	3,4	785	2052	5	329	666	23	17	115	41	29	11	201	0,4	33	25	456													
66	8	12	1,0	3,4	854	412	5	387	263	10	9	106	41	18	9	197	2,1	18	21	919	16,5	1,9	19,3	1,3	1,4	0,1	2,7	4,9	5,5	0,1			
67	2	8	1,1	3,4	434	113	10	343	166	2	1	102	38	13	7	37	3,8	22	12	154													
68	8	23	1,2	3,2	1830	1500	8	434	508	3	4	167	42	107	7	370	1,2	14	49	54													
69	4	26	1,1	3,6	479	2260	4	467	702	17	30	145	50	26	35	810	0,2	32	27	432	13,8	3,5	5,9	1,1	1,4	0,1	1,8	3,4	6,3	0,1			
70	8	13	1,0	3,3	1072	654	6	311	402	6	7	118	36	43	21	649	1,6	19	25	650													
71	4	11	1,3	3,5	497	1132	6	533	517	31	20	131	59	22	50	1035	0,4	32	18	786													
72	2	2	1,3	4,3	1013	318	17	379	101	11	2	112	18	8	21	81	3,2	18	15	832	60,6	1,4	58,4	2,9	7,8	0,4	4,1	1,9	9,8	0,2			
73	2	3	1,2	4,0	983	264	20	269	134	5	2	86	17	5	5	19	3,7	21	14	1044													
74	3	5	1,4	3,4	518	553	3	423	233	6	7	114	42	12	112	659	0,9	18	24	136													
75	2	2	1,2	4,2	915	314	8	197	81	8	4	105	21	5	11	44	2,9	22	15	1218													
76	2	2	1,2	3,7	491	519	6	303	282	30	7	116	45	10	22	148	0,9	33	12	888	32,4	2,1	53,9	3,1	6,5	0,5	3,1	3,2	10,4	0,3			
77	3	5	1,2	3,7	484	825	6	782	451	64	12	129	41	16	85	100	0,6	30	15	888													
78	4	5	1,2	3,5	991	399	6	262	131	8	5	115	45	11	8	113	2,5	16	18	302	13,0	1,3	13,2	0,9	0,5	0,0	1,3	1,7	6,5	0,1			
79	3	6	1,3	3,1	1056	814	6	316	229	14	21	129	53	24	121	117	1,3	19	24	320													
80	4	5	1,3	3,4	1086	486	17	475	307	18	7	118	44	15	15	134	2,2	24	19	356													
81	4	7	1,3	3,6	1576	389	9	270	183	11	4	123	42	14	8	79	4,1	12	24	630													
82	5	8	1,2	3,6	2545	762	24	193	249	11	2	190	36	27	13	111	3,3	18	30	895	38,1	2,4	74,7	1,9	3,8	0,2	4,8	4,7	10,8	0,2			
83	10	19	0,9	2,7	931	2684	33	985	1108	87	60	175	56	72	103	457	0,3	29	36	853													
84	11	19	1,0	2,7	912	3302	10	1286	977	66	66	170	45	118	116	2583	0,3	17	27	733													
85	3	5	1,3	3,7	1056	289	7	234	110	5	2	126	38	7	6	22	3,7	28	46	317													
86	5	6	1,2	3,3	1570	1132	18	398	323	19	6	121	37	24	95	458	1,4	20	32	665													
87	5	7	1,2	2,7	597	2865	8	405	775	50	34	126	46	48	151	393	0,2	36	30	162													
88	3	4	1,3	3,6	672	651	5	332	296	13	5	112	36	15	34	99	1,0	22	17	289	14,0	1,6	21,6	0,9	0,7	0,1	1,5	1,9	6,6	0,1			
89	5	8	1,3	2,9	2611	597	7	397	219	13	5	133	42	20	83	414	4,4	13	36	792													
90	5	7	1,2	3,4	873	1352	6	222	568	18	6	110	38	34	10	89	0,6	32	25	703													
91	3	3	1,3	3,4	638	642	6	291	454	14	2	112	33	5	10	141	1,0	30	23	518													
92	5	8	1,2	3,5	1467	544	9	349	363	6	1	100	45	13	7	37	2,7	12	26	412	22,3	1,4	24,7	1,0	0,9	0,1	1,8	2,8	7,0	0,1			
93	2	3	1,3	3,5	648	608	9	889	403	12	2	103	35	7	37	86	1,1	32	18	671													
94	4	3	1,1	3,6	739	1564	19	768	989	108	14	182	63	25	118	1590	0,5	19	22	652													
95	6	9	1,1	2,8	1536	2502	5	516	877	44	34	121	36	37	50	293	0,6	26	45	723													
96	10	10	0,8	2,8	1251	1767	38	929	989	72	5	143	25	37	199	487	0,7	22	26	983	22,7	2,4	50,4	1,9	3,2	0,3	3,4	4,8	7,3	0,1			
97	10	19	1,0	3,3	974	2007	11	528	1056	41	20	140	52	46	50	761	0,5	38	29	1076													
98	2	11	1,3	3,2	155	374	5	269	190	2	1	127	39	12	7	78	0,4	34	9	24													
99	6	9	1,0	3,0	528	1409	5	456	581	24	8	104	37	30	5	102	0,4	34	19	621	14,7	3,1	13,6	1,4	1,5	0,1	2,2	4,1	7,3	0,2			
100	9	12	1,0	3,2	613	3318	5	344	1193	36	19	115	33	86	5	178	0,2	41	28	984													
101	4	5	1,3	3,2	389	711	9	638	1270	12	11	113	35	8	5	115	0,5	45	20	459	13,4	2,1	14,0	1,1	1,6	0,1	1,6	1,9	6,1	0,1			
102	4	6	1,2	3,6	1287	714	27	439	423	14	2	109	31	12	4	43	1,8	21	23	2415	31,9	1,9	71,2	1,9	2,0	0,1	7,5	2,6	9,1	0,2			
103	3	4	1,2	3,2	975	490	12	348	234	9	3	108	26	23	9	85	2,0	21	21	1014													
104	5	8	1,1	3,4	493	1859	5	367	852	23	26	117	32	49	14	180	0,3	42	30	621													
105	5	6	1,2	2,6	519	3102	6	411	854	15	21	117	53	110	11	137	0,2	28	42	204													
106	5	7	1,2	3,9	1460	1462	17	1337	1436	69	3	105	14	14	7	76	1,0	16	27	2053													
107	6	10	1,2	2,6	887	1182	6	325	412	14	17	127	51	32	58	1129	0,8	33	23	717	15,5	2,3	21,5	1,1	1,1	0,1	2,4	3,9	7,4	0,2			