

Uitwerking en evaluatie van een protocol voor het inzichtelijk maken van verzuring op gebiedsniveau

Onderzoeksrapport boswachterij Austerlitz-Noord

Frederik Otten
Mathijs Overeem



Uitwerking en evaluatie van een protocol voor het inzichtelijk maken van verzuring op gebiedsniveau

Onderzoeksrapport boswachterij Austerlitz-Noord

Auteurs

Frederik Otten

Mathijs Overeem

Bos- en Natuurbeheer

Hogeschool Van Hall Larenstein, Velp

Opdrachtgever

Ing. C. A. (Chris) Hartman

Senior beheerder

Staatsbosbeheer Eenheid Utrecht-Oost

Begeleidend docent

J. (Juriaan) Zandvliet

Hogeschool Van Hall Larenstein Velp

Status

1e versie

Datum

22 juni 2022

Voorwoord

Voor u ligt onze scriptie die wij hebben geschreven tijdens onze afstudeerperiode bij Staatsbosbeheer eenheid Utrecht-Oost. Het schrijven van een onderzoeksplan met betrekking tot het in kaart brengen van verzuring past in het werkveld waarin wij beiden graag terecht willen komen na het afronden van onze studie Bos- en Natuurbeheer. Het uitwerken van bevindingen in het veld en het schrijven van een passend onderzoeksrapport maakte het werk afwisselend en leuk. Alle aspecten die hierbij te pas zijn gekomen, hebben ervoor gezorgd dat wij enorm veel hebben geleerd. Wij willen dan ook iedereen binnen Staatsbosbeheer bedanken voor alle waardering en hulp die we hebben gekregen. In het bijzonder willen we Chris Hartman bedanken, die als afstudeerbegeleider ons heeft voorzien van de nodige adviezen. Naast Chris willen we Wanda Floor bedanken, die ons ook van de nodige adviezen en informatie heeft voorzien. Daarnaast willen we het GIS-team van Staatsbosbeheer bedanken voor het maken van kaartmateriaal, onze bodemkundig docent Richard Kraaijvanger voor het delen van zijn expertise en Britt Drost voor de hulp die zij heeft geboden bij het analyseren van de onderzoeksgegevens aan de hand van SPSS. Tenslotte willen we begeleidend docent Juriaan Zandvliet hartelijk bedanken voor de begeleiding en feedback gedurende deze periode. We kijken met veel plezier terug naar de afgelopen periode die we veelal hebben mogen volbrengen op het kantoor in Leersum.

Frederik Otten en Mathijs Overeem

Leersum, 8 juni 2022

Samenvatting

In dit rapport zijn de uitkomsten van een nog niet eerder uitgewerkt protocol beschreven, waarmee de mate van verzuring in een gebied kan worden bepaald. Met dit protocol kan er een completer beeld worden geschetst van de situatie buiten Natura 2000-gebieden. Voor dit onderzoek zijn 77 plots uitgezet in boswachterij Austerlitz-Noord, omdat er hier bij voorhand aanwijzingen waren die wijzen op verzuring. Ook zijn er enkele mogelijke oorzaken van deze verzuring onderzocht. Voorbeelden hiervan zijn de zure regen in de jaren tachtig, stikstofdepositie door onder andere landbouw en verkeer en kleinere oorzaken als hondenpoep en boomsoortensamenstelling. Deze oorzaken kunnen een verzurend effect op de bodem hebben. Aan de hand van een inventarisatieformulier zijn de belangrijkste aspecten in het veld onderzocht waarmee iets gezegd kan worden over de staat van verzuring. Zo is er voornamelijk gekeken naar de geomorfologische situatie, het humusprofiel, de zuurgraad, de omgekeerde basenverzadiging en de mineraalhuishouding van het gebied. De resultaten van het onderzoek bevestigde de vermoedens van opdrachtgever Staatsbosbeheer: het gebied heeft over het algemeen genomen een hoge zuurgraad. De gemiddelde pH onder de strooisellaag is 3,15, daar waar deze op 50 centimeter diepte een pH heeft van 3,92. Ook de omgekeerde basenverzadiging blijkt na berekening laag te zijn, waardoor basische kationen moeilijk vast te houden zijn in de bodem. Door deze mate van verzuring blijkt de F-laag veelal tussen de 5 en 7 centimeter dik te zijn: de vertering van organisch materiaal stagneert. Dit resulteert zich ook in de flora en fauna, die zich vooral kenmerkt door afwezigheid. De bodem is voor veel indicatieve flora- en faunasoorten te zuur om zich in het gebied te vestigen, laat staan te handhaven. Wel is het moment van uitvoeren erg belangrijk gebleken voor het inventariseren van flora en fauna: om deze optimaal in beeld te krijgen, wordt het aangeraden dit onderdeel van het onderzoek uit te voeren in de tweede helft van mei en nogmaals tussen half september en half oktober. Aan de hand van deze eerste uitvoering van dit protocol wordt aanbevolen dit in meer gebieden te gebruiken en uit te voeren zodat verzuring op grote schaal gemakkelijk, efficiënt en kostenbesparend kan worden geïnventariseerd. De pH-metingen geven daarbij de meest veelzeggende resultaten.

Kernwoorden: protocol, verzuring, Austerlitz, humusprofiel, pH-waarden, basenverzadiging

Inhoudsopgave

Samenvatting	
1. Inleiding	7
2. Theoretisch kader	12
2.1 Verzuring	12
2.2 Mogelijke oorzaken verzuring	13
3. Methode	20
3.1 Theoretisch kader	20
3.2 Voorbereiding inventarisatie	21
3.3 Hydrologische en geomorfologische situatie	23
3.4 Humusprofiel en zuurgraad	24
3.5 Mineraalhuishouding	28
4. Resultaten	31
4.1 Hydrologische en geomorfologische situatie	31
4.2 Humusprofiel en zuurgraad	34
4.3 Mineraalhuishouding	45
5. Conclusie	49
6. Discussie en aanbevelingen	55
6.1 Discussie	55
6.2 Aanbevelingen	60
Literatuurlijst	63
Bijlagen	71
Bijlage 1: Kaart projectgebied Austerlitz	72
Bijlage 2: Eerste versie protocol (W. Floor en A. van den Burg)	73
Bijlage 3: Inventarisatieformulier	76
Bijlage 4: Determinatietabellen	77
Bijlage 5: Group Statistics (SPSS)	80
Bijlage 6: Independent Samples T-Tests (SPSS)	81

Bijlage 7: Correlation Tables pH-metingen (SPSS)	82
Bijlage 8: Historische kaarten.....	83
Bijlage 9: pH + geomorfologische kaart.....	85
Bijlage 10: pH + hoofdvegetatiekaart	86
Bijlage 11: Plotkaart referentiegebied	87

1. Inleiding

Boswachterij Austerlitz, onderdeel van Staatsbosbeheer eenheid Utrecht-Oost, lijkt te maken te hebben met een probleem wat momenteel speelt in het bos- en natuurbeheer. Op enkele willekeurige plekken binnen deze boswachterij zijn pH-metingen uitgevoerd, waaruit bleek dat de pH-waarde hier laag is: de metingen gaven pH-waardes tussen de 2,3 en 3,0 aan (C. Hartman, persoonlijke communicatie, 20 juli 2021). Dit houdt in dat de bodem verzuurd is (Van den Burg, 2001). Door lage pH-waardes wordt de soortendiversiteit beperkt, waardoor stikstof-minnende flora de overhand neemt (De Vries, 2008). De totale biodiversiteit heeft hieronder te lijden: door deze verzuring kunnen er minder verschillende soorten flora en fauna gedijen, terwijl een aanzienlijk lager aantal flora- en faunasoorten hier juist wel van profiteren (Bobbink, Van den Berg, Tomassen, & Weijters, 2013). Zo heeft ook Staatsbosbeheer te maken met de gevolgen van verzuring in haar gebieden. Met name de bossen rondom Austerlitz lijken hiervan de gevolgen te ondergaan. Staatsbosbeheer beredeneert dat deze verzuring in deze bodem een voor de hand liggende oorzaak kan zijn van de afname van microfauna en uitval van klimaatbestendige boomsoorten als eik in het gebied.

De afname en uitval van de biodiversiteit is voor Staatsbosbeheer ongewenst, waardoor de vraag naar de ernst van de huidige verzuring is onderzocht in de vorm van dit onderzoeksrapport. Omdat er nog geen concrete gegevens bekend zijn over de staat van verzuring in gebieden als boswachterij Austerlitz, kunnen er nog geen gerichte beheeringrepen worden uitgevoerd om deze verzuring tegen te gaan. Dit is de reden dat er vanuit Staatsbosbeheer behoefte is aan onderzoeksgegevens en conclusies over de staat van verzuring in haar gebieden. Deze vraag vormt de basis van dit onderzoek.

Met name op de voedselarme zandgronden hebben bossen in toenemende mate te lijden onder de gevolgen van klimaatverandering, waarvan stikstofdepositie en verzuring enkele aanvullende problemen zijn (Van Hinsberg, Noordijk, Van Esbroek, Van der Hoek, & Wiertz, 2004). Staatsbosbeheer geeft aan dat een diverser bomenbestand meer CO₂ opslaat en daarmee bijdraagt aan het tegengaan van de impact van klimaatverandering op het bos. Ook is een gevarieerd bos sterker en beter bestand tegen ziektes, vorst, brand en storm (Staatsbosbeheer, 2006). De verzuring van de bodem is een probleem dat al vele decennia speelt en waar ook al veel onderzoek naar is gedaan (Hoeks, 1983; De Vries, 2008; Bobbink, Van den Berg, Tomassen, & Weijters, 2013; Bobbink, Bergsma, Den Ouden, & Weijters, 2017).

Buiten de onderzoeken in Natura 2000-gebieden om is er nog geen praktische en kostenbesparende methodiek beschikbaar gesteld waarmee verzuring in kaart gebracht kan worden.

Door het onderzoeken van zoveel mogelijk gebieden wordt er een completer beeld geschetst van de situatie buiten Natura 2000-gebieden en kunnen gerichte beheeringrepen worden ingepland om de verzuring zo veel mogelijk te remmen. Hierdoor kunnen planten van een neutralere zuurgraad opnieuw de kans krijgen zich te vestigen. Hiermee zal de biodiversiteit langzaam weer terrein terug winnen. Zo draagt dit onderzoek met daarbij de mogelijk toekomstige herstelmaatregelen bij aan een diversere en soortenrijkere natuur.

Naast de natuurwaarden zullen de uitkomsten van dit onderzoek ook een bijdrage leveren aan de belevingswaarde van de boswachterij. Er mag worden aangenomen dat recreanten een variatie in landschapsvormen, vegetatie en fauna op prijs stelt (De Jonge, 1969). Een bos wat lijdt aan de gevolgen van verzuring zal minder aantrekkelijk worden beschouwd door de recreanten, doordat een stuk natuurbeleving wegvalt: kwijnende bomen zorgen voor een minder groen karakter van het bos en de vogelzang in en voorafgaand de broedperiode kunnen hierdoor ontbreken (Van Linden, 1991). Al deze aspecten dragen bij aan de belevingswaarde van een bos.

Ook kunnen bossen die leiden aan de gevolgen van verzuring nadelige effecten hebben wat betreft het benutten van de opstand van het bos. Een overmaat aan stikstoftoevoer tast de vitaliteit van bomen aan, waar een onevenwichtige groei en een onbalans in nutriëntenopname gevolgen van kunnen zijn (De Vries, 2008). Een gevolg kan zijn dat bomen niet groeien naar verwachting en er een stagnatie in de groei plaatsvindt, waardoor deze minder bruikbaar zijn voor doeleinden als houtoogst. Een onevenwichtige groei is hier een soortgelijke oorzaak van. Op deze manier kan een bos minder inkomsten opleveren, waardoor het bos minder rendabel wordt.

Om het projectgebied te introduceren, wordt er allereerst teruggeblikt naar begin negentiende eeuw. In 1804 benoemde Napoleon generaal Marmon tot opperbevelhebber van de Franse en Bataafse troepen in Nederland. Om deze troepen te trainen, liet hij op de heide in Austerlitz een legerkamp bouwen voor 18.000 soldaten die onder meer de piramide van Austerlitz opbouwden (Wallenburg, 2007). Door de komst van het legerkamp kwam er toename in werkgelegenheid en recreatie: naast de aanvoer van voedsel, drinkwater en materieel zorgde de aanwezigheid van de soldaten ook voor de nodige aandacht.

Na het vertrek van het leger in 1813 werd het gebied onder meer verdeeld in twee particuliere landgoederen: Wallenburg en Austerlitz. Er werden bossen aangeplant als productiebos, met voornamelijk soorten als grove den, fijnspar en later douglas. Deze boomsoorten gedijen goed op arme bodems. In 1939 kwam Austerlitz in het beheer van Staatsbosbeheer en werd het gebied bestempeld tot boswachterij. Deze boswachterij heeft tegenwoordig een oppervlakte van 835 hectare. Na de verwerving van het gebied heeft het nog enkele tientallen jaren de functie productiebos gehad.

Tegenwoordig is de boswachterij niet alleen gericht op de functie houtproductie, maar ook op natuur en recreatie. Ook zijn er nog enkele cultuurhistorische elementen zichtbaar, zoals het Witte Huis en de Wallenberg. Het Witte Huis is in 1827 gebouwd als jachthuis en boswachterswoning. De Wallenberg is tegenwoordig nog zichtbaar als een grote open plek in het bos, waar tot 1944 de gelijknamige boerderij heeft gestaan. Een oude waterput en aarden wallen zijn hier overblijfselen van (Staatsbosbeheer, 2006).

Boswachterij Austerlitz is onderdeel van Nationaal Park Utrechtse Heuvelrug en ligt tussen Zeist en Woudenberg in. Het projectgebied voor dit onderzoek betreft enkel het noordelijk deel van de boswachterij, wat boven de Woudenbergseweg (N224) ligt (zie bijlage 1). Dit gebied betreft 566 hectare aan voornamelijk bos. Hierbij wordt er onderscheid gemaakt in verschillende, globale bostypen: de meest voorkomende bostypen in boswachterij Austerlitz-Noord zijn grove den, Japanse lariks, Amerikaanse eik, beuk en douglas. Daarnaast liggen er nog enkele percelen met Tsuga, reuzenzilverspar, fijnspar, Oostenrijkse den, Corsicaanse den, inlandse eik en berk. Deze variatie is aangebracht ten behoeve van de diversiteit in bomenbestand, wat ook nog een bijdrage kan leveren aan de houtoogst. Ook ligt er een heidecorridor in het gebied en zijn er in het verleden lanen geplant. In het gebied liggen ook enkele gronden die in erfpacht zijn uitgegeven, waaronder het terrein van het Scoutcentrum PBC Austerlitz.

Door een samenvoeging van jarenlang wetenschappelijk onderzoek in samenwerking met onder andere De Bosgroepen en Alterra hebben boswachter Wanda Floor van Staatsbosbeheer en onderzoeker Arnold van den Burg van Stichting BioSFeer hun eerste ideeën over een protocol opgeschreven (zie bijlage 2). Hierin staan de belangrijkste vraagstukken waaraan een oordeel over de bodemkwaliteit geveld kan worden. Dit protocol is met name gericht op het kostenbesparende aspect van het in kaart brengen van verzuring. Het laten uitvoeren van veldonderzoek en dit in het lab te laten onderzoeken door professionele instanties is namelijk een stuk kostbaarder (Kostentracker, z.d.).

Om het uitvoeren van het protocol kostenbesparend te houden, worden de pH-metingen bij dit protocol uitgevoerd met en zonder zout. Op deze manier wordt er feitelijk het omgekeerde van een basenverzadiging verkregen. Hiermee wordt er op een goedkopere manier vergelijkbare informatie verzameld (W. Floor, persoonlijke communicatie, 2 februari 2022). Het is de bedoeling dat de insteek van het protocol dusdanig gebruiksvriendelijk is dat deze niet alleen door specialisten kan worden uitgevoerd, maar ook door bijvoorbeeld vrijwilligers. Zo kan dit op grotere schaal worden uitgevoerd en bespaard dit logischerwijs kosten.

Het voor het eerst gebruiken en uitwerken van dit protocol in dit onderzoek kan helpen om onderbouwde conclusies te trekken over de staat van de huidige bodemkwaliteit in boswachterij Austerlitz. Als aan de hand hiervan een betrouwbare analyse kan worden uitgevoerd, is dit een primeur voor het in kaart brengen van verzuring en kan dit op meerdere plekken in Nederland worden uitgevoerd. Bij succesvol gebruik van deze onderzoeksmethode is hiervoor belangstelling getoond vanuit provincie Gelderland en het Agentschap voor Bos en Natuur in Vlaanderen. Om dit te kunnen bewerkstelligen, was het dan ook de vraag vanuit Staatsbosbeheer om dit protocol verder aan te scherpen zodat dit in de praktijk bruikbaar is voor iedereen. Op deze manier wordt het mogelijk om het protocol toe te passen in meerdere gebieden. Om de huidige staat van verzuring in Austerlitz in kaart te brengen, is dit protocol in de praktijk uitgevoerd waardoor Staatsbosbeheer het inzichtelijk heeft gekregen op welke plekken de effecten van verzuring het nadeligst zijn en of er mogelijke onderlinge verbanden te zien zijn.

Het schrijven en uitwerken van dit onderzoek voor boswachterij Austerlitz-Noord is uitgevoerd in de vorm van een onderzoeksrapport. Uit de probleemstelling waaruit de onderzoeksvraag is ontstaan, is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Welke uitspraken kunnen er aan de hand van het opgestelde protocol gedaan worden over de verzuring in Austerlitz?

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn er enkele deelvragen opgesteld, namelijk:

1. *Wat is de hydrologische en geomorfologische situatie van het projectgebied?*
2. *Hoe is de bodemgesteldheid wat betreft het humusprofiel en de zuurgraad?*
3. *Wat zegt de aanwezige flora en fauna over de mineraalhuishouding van de bodem?*

Door aan de hand van dit protocol de bodemkwaliteit te onderzoeken en de resultaten hiervan inzichtelijk te maken, kan er een uitspraak worden gedaan over de huidige bodemgesteldheid met betrekking tot verzuring. Op basis van de resultaten van het onderzoek kan Staatsbosbeheer het toekomstige beheer hierop aanpassen.

Voorafgaand de uitvoering van dit onderzoek zijn er enkele randvoorwaarden opgesteld, waardoor de opdracht duidelijk is ingekaderd. Het gaat hierbij om de volgende randvoorwaarden:

- Het projectgebied bestaat uit de noordelijke helft van boswachterij Austerlitz, zoals op de kaart in bijlage 1 te zien is.
- Aan de hand van een raster over de kaart worden de meetpunten bepaald. Hiervan mag niet worden afgeweken tijdens de uitvoering van het onderzoek.
- De stappen uit het op te volgen protocol dienen allemaal te worden uitgevoerd.
- Alle metingen die volgens het protocol worden uitgevoerd, dienen op dezelfde wijze en met dezelfde materialen te worden uitgevoerd.

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt er achtergrondinformatie behandeld dat betrekking heeft tot de probleemstelling van dit onderzoek. Het onderwerp verzuring wordt ingeleid, waarna er vervolgens wordt er gekeken naar de mogelijke oorzaken van verzuring in het projectgebied.

2.1 Verzuring

De afname van buffercapaciteit van de bodem wordt ook wel verzuring genoemd en is een proces dat van nature plaatsvindt. Naaldbomen zoals lariks en grove den, maar ook loofbomen als eik en beuk hebben van zichzelf een verzurend effect op de bodem (Bosgroepen, z.d.). Naast het natuurlijke proces van verzuring kan er ook sprake zijn van de uitstoot van gasen als zwaveloxide, stikstofoxide en ammoniak. De pH-waarde is hierbij van groot belang. Deze waarde geeft aan of een bodem zuur of basis is. Daarnaast geeft deze waarde ook informatie over de beschikbaarheid van essentiële nutriënten en de toxiciteit van de bodem (De Vries, 2008). De kritische pH-waarde voor een bos op arme droge zandgronden ligt rond de 3,2 (Van den Burg, 2001). Wanneer een bodem te zuur wordt en dus een te lage pH-waarde heeft, zal het bos of de vegetatie die op deze bodem staat het zeer zwaar krijgen, met sterfte tot het gevolg (zie tabel 1).

Het afnemen van de buffercapaciteit van de bodem gaat gepaard met de verhoging van de zuurgraad (Mettrop, 2009). In tabel 1 zijn de buffertrajecten weergegeven. De buffertrajecten geven aan welke stof(fen) een bufferend vermogen hebben, met hierbij de desbetreffende pH-waarden. Op plaatsen zonder grondwaterinvloed hangt de pH af van de verweerbaarheid van de minerale fractie van de bodem. Op kalkloze (dek)zandgronden is de pH laag ($< 5,0$) en vindt buffering plaats door met name kationenuitwisseling of aluminiumbuffering (Bobbink, 2021).

Tabel 1: In deze tabel worden de pH-trajecten met bijhorende buffermechanisme en de effecten op de flora weergegeven (Hoeks, 1983).

Buffertrajecten	pH-waarden	Effect op flora
Carbonaat-buffertraject	6,5 < pH < 8,5	Normale plantengroei
Silicaat-buffertraject	5,0 < pH < 6,5	Normale plantengroei
Kationomwisseling- buffertraject	4,2 < pH < 5,0	Planten lijden periodiek aan Al-toxiciteit
Aluminium-buffertraject	2,8 < pH < 4,2	Gevoelige plantensoorten verdwijnen, afname biomassa productie
IJzer-buffertraject	2,4 < pH < 3,8	Alleen planten die in de organische toplaag wortelen overleven

Naast het onderdeel verzuring van de problematiek die zich in de Nederlandse natuur afspeelt, is er ook een onderdeel vermesting. Vermesting is een gevolg van de emissie van stikstofhoudende stoffen als stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3). Deze stoffen kunnen in de bodem worden omgezet in zuren. Wanneer deze op de bodem of in het oppervlaktewater worden gedeponeerd, wordt vermesting veroorzaakt (Compendium voor de Leefomgeving, 2013). Bij vermesting ontbreken voedingsstoffen als aminozuren die in de plant geproduceerd zouden moeten worden. Aminozuren zijn stikstofdragers in planten en de productie hiervan raakt ontregelt door de stikstofdepositie. Het gevolg hiervan is dat planten zich niet meer kunnen handhaven, waardoor er een belangrijke schakel in het ecosysteem ontbreekt (Provincie Gelderland, 2021).

2.2 Mogelijke oorzaken verzuring

In deze paragraaf wordt onderzocht welke mogelijke oorzaken er zijn die bijdragen aan de verzuringsproblematiek in boswachterij Austerlitz. Hierbij wordt er gekeken naar de zure regen uit het verleden, stikstofdepositie die met de wind wordt aangevoerd, de rol van hondenpoep, historisch landgebruik, boomsoortsamenstellingen en de effecten van houtoogst uit het verleden.

Zure regen

Zure regen ontwikkelde zich in de begin jaren tachtig van de twintigste eeuw tot een breed ervaren milieuprobleem. De zure regen was het gevolg van langeafstandstransport van luchtverontreiniging in Europa, waarbij zwaveldioxide (SO_2) een grote rol leek te spelen. Al in de jaren zeventig zorgde deze zure regen in Zweden voor grote problemen: grote delen van Zweedse bossen werden door de zuren regen aangetast. Niet alleen de bossen van Zweden hebben nare gevolgen ondervonden van de zure regen: ook bossen in Nederland hebben hier erg onder te leiden gehad. Uit onderzoek van Buijsman (2010) blijkt dat de emissie van zwaveldioxide in West-Europa sinds 1980 is gedaald met 75%. Hiermee is deze verzurende depositie in Nederland sinds 1980 met 50% afgenomen (Buijsman et al., 2010). In de eerste helft van de jaren tachtig lag de pH-waarde van de neerslag nog tussen de 4,0 en de 4,5. Tegenwoordig zijn er pH-waarden tussen de 5,0 en 5,5 te zien (Buijsman, 2008).

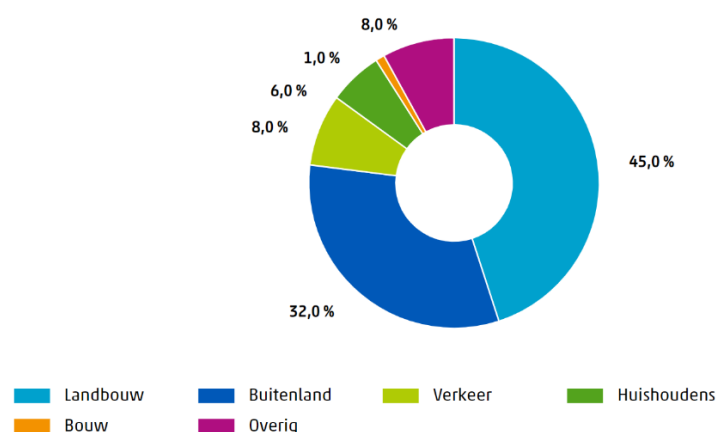
Later werd duidelijk dat naast de zwaveldioxide ook stikstofdioxide een belangrijke rol speelt bij verzuring: de zogenaamde stikstofdepositie. De rol van ammoniak als potentieel verzurende stof werd in de jaren tachtig vastgesteld. Eerst werd gedacht dat verzuring een probleem was dat zich alleen via neerslag leek te verspreiden. Later kwam men er echter achter dat stikstof niet alleen via natte depositie, maar ook via droge depositie zich kon verspreiden, in de vorm van stof. Op deze manier maakte de term zure regen plaats voor het begrip verzurende depositie, ofwel stikstofdepositie (Buijsman et al., 2010).

Stikstofdepositie

Stikstofdepositie is het neerslaan van stikstof op de bodem en in het water van reactieve stikstofverbindingen uit de lucht. Het van nature in de lucht aanwezige stikstofgas (N_2) valt hier niet onder, omdat dit niet neerslaat. Reactieve stikstofverbindingen komen in de lucht terecht door emissie. De belangrijkste vormen zijn ammoniak (NH_3) en stikstofoxiden (NO_x). Alle ammoniak en stikstofoxiden dat wordt uitgestoten door diverse sectoren als landbouw, verkeer en industrie komen uiteindelijk terug op het land of in het water (zie figuur 1 en 2). Een gedeelte van de stikstof komt naar beneden met regen: natte depositie. Het overige deel van de stikstof komt naar beneden door de werking van de zwaartekracht: droge depositie (CBS, 2022).

De stikstof die neerslaat op de Nederlandse bodem komt voor een aanmerkelijk deel uit het buitenland, namelijk voor ongeveer 32 procent (CBS, 2022). Zoals te zien is in figuur 1 is de stikstofdepositie afkomstig van Nederlandse bronnen (68 procent) voornamelijk afkomstig uit de landbouw, het verkeer en overig.

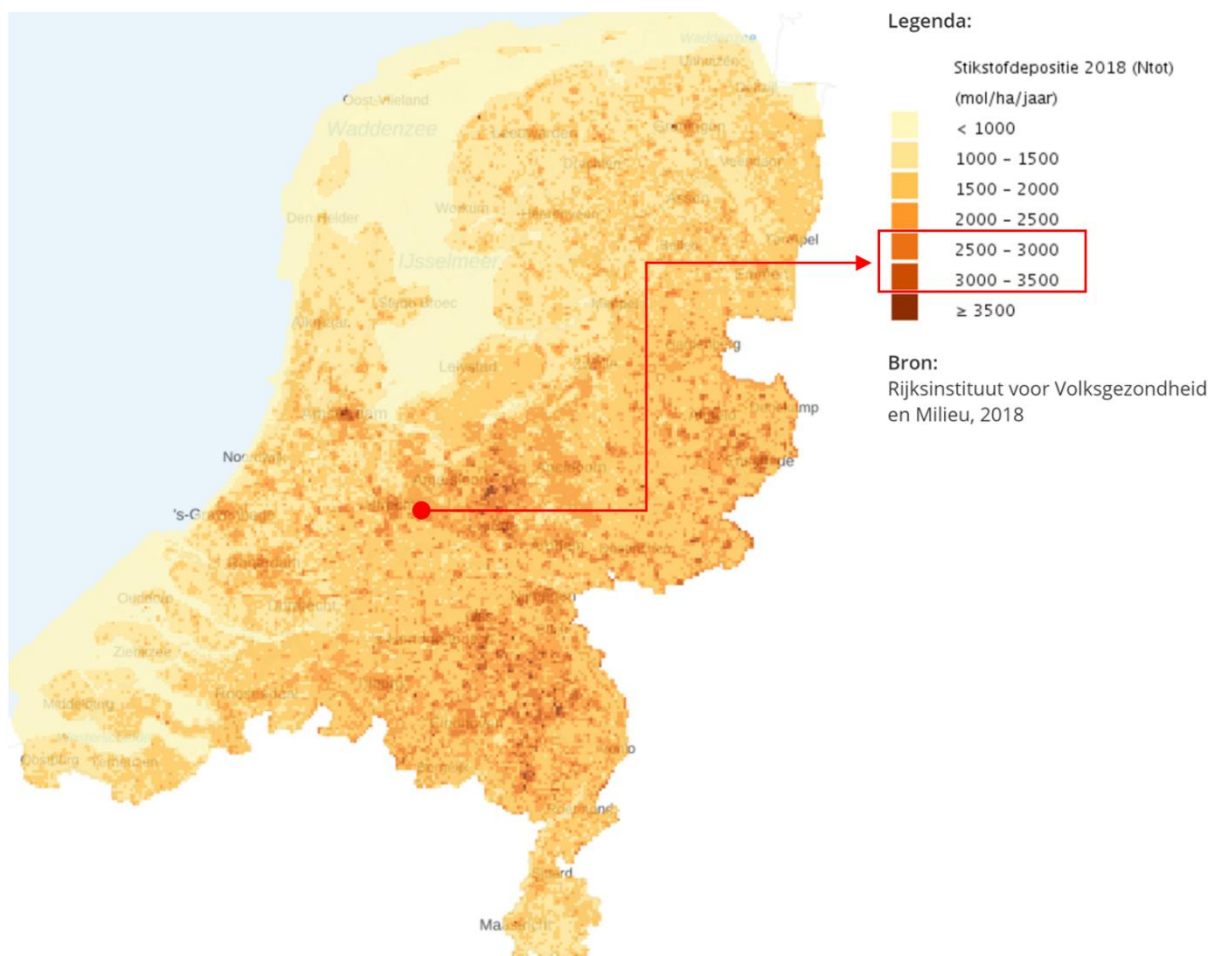
Stikstofdepositie naar oorsprong, 2019



Figuur 1: Dit cirkeldiagram weergeeft de oorsprong van de stikstof uit jaar 2019. In de cirkeldiagram zijn de verschillende bronnen van de stikstofdepositie in procenten weergegeven (CBS, 2022).

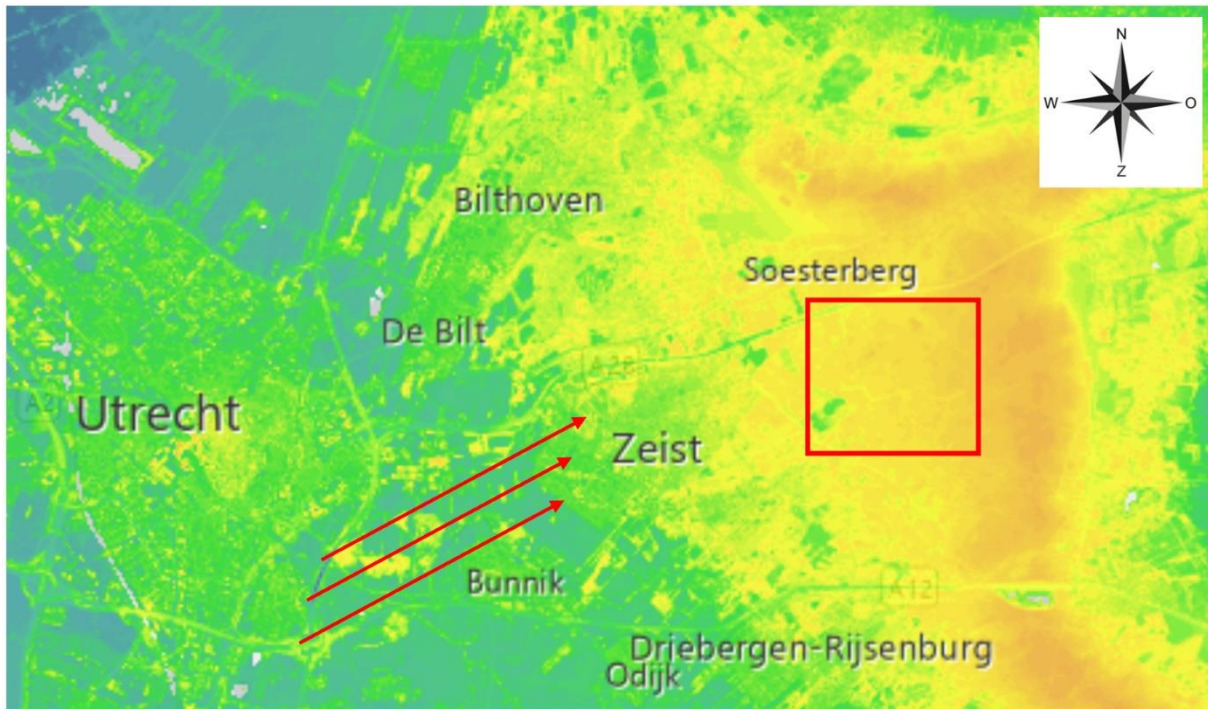
Het Operationele Prioritaire Stoffen (OPS)-model van het RIVM modelleert de hoeveelheid natte en droge depositie die wordt afgezet. De hoeveelheid depositie hangt af van de stikstofsoort (ammoniak of stikstofoxiden). Daarnaast speelt de afstand tot de emissiebron hierbij een rol: de meeste stikstof blijft dicht bij de bron en omdat er heel veel emissiebronnen zijn (landbouw, verkeer, industrie), vindt stikstofdepositie plaats verspreid over het hele land (zie figuur 2). De ruwheid van de oppervlakte waarop de stikstof terecht komt is de derde factor die de mate van depositie bepaalt. Per hectare wordt de meeste stikstof afgezet in bebouwing, gevolgd door bosgebieden. Water neemt per hectare de minste stikstof op (CBS, 2022).

Bij overgangen in het landschap, zoals tussen grasland naar bos, wordt het droge depositieproces van luchtverontreinigende stoffen sterk beïnvloedt. Uit recent onderzoek van Bobbink (2021) bleek dat de droge stikstofdepositie in een circa 10 tot 20 meter brede bosrand aanzienlijk hoger is (gemiddeld anderhalve keer) dan in het centrum van het bos en nam exponentieel af tot de reguliere depositiewaarden in dat centrum. De droge depositie is meetbaar verhoogd in een randzone die ongeveer vijf keer zo breed is al de hoogte van de bomen in de bosrand. Deze verhoogde depositie van stikstofverbindingen is het meest prominent in bosranden die op de overheersende windrichting waren gericht.



Figuur 2: Een kaart van Nederland met de stikstofdepositie van het jaar 2018 weergegeven in mol/ha/jaar. De rode stip geeft de locatie van het projectgebied aan.

Vergelijkbaar onderzoek is in Vlaanderen uitgevoerd. Daar is geconstateerd dat de stikstofdepositie in bosrandzones duidelijk hoger zijn. De zone waarin verhoogde waarden zijn geconstateerd was vijftien tot ruim honderd meter breed, waarbij de invang het grootst was aan het begin van de bosrand. Omdat bossen in Nederland en Vlaanderen veelal erg versnipperd en klein zijn, kan een flink deel van de bossen als bosrand met verhoogde depositie worden beschouwd (Bobbink, 2021). Boswachterij Austerlitz is gelegen aan de zuidwestelijke kant van de Utrechtse Heuvelrug en de meest voornamelijke windrichting in Nederland is zuidwest (Janssen, 2021), waardoor dit een rol kan spelen in de mate van depositie. Volgens het actueel hoogtebestand van Nederland (ahn) ligt boswachterij Austerlitz net voor het hoogste punt van de Utrechtse Heuvelrug (zie figuur 3). De ligging van het gebied in combinatie met de boomsoortensamenstelling en de meest voornaamste windrichting, kan mogelijk zorgen voor verhoogde depositie.



Figuur 3: Hoogtekaart van de omgeving van het projectgebied, waarop de stuwwal in het donker geel/oranje is te herkennen. Het rode vierkant geeft de ligging van het projectgebied weer, de rode pijlen geven de meest voorkomende windrichting in Nederland aan (Actueel Hoogtebestand Nederland, z.d.).

Hondenpoep

Het uitlaten van honden gebeurt steeds vaker in natuurgebieden. In 2019 stonden er ongeveer 1,7 miljoen honden geregistreerd in Nederland (Dibevo, 2020). Uit onderzoek blijkt dat er jaarlijks 2,2 kilo stikstof per hectare landelijk vrijkomt door hondenpoep (De Molenaar & Jonkers, 1993). Hiervan komt de helft ter beschikking voor planten. Het is onbekend hoeveel hiervan exact vrijkomt in bos- en natuurterreinen. Omdat boswachterij Austerlitz mede dankzij de gunstige en aantrekkelijke ligging veel hondeneigenaren uit de omgeving aantrekt en ook grotendeels hondenlosloopgebied is, kunnen honden gaan en staan waar zij willen en zal er sprake zijn van een vrij verdeeld oppervlak waarbij er sprake is van eutrofiëring. Enkel op de Wallenberg (177 hectare) moeten honden aangelijnd zijn. Ook blijkt uit het onderzoek van De Molenaar en Jonkers dat het zeer gering uitlaten van honden in relatief voedselarme bos- en natuurterreinen het risico van het verdwijnen van kenmerkende plantensoorten en aantasting van karakteristieke vegetatietypen kunnen beperken. Dit biedt meer kansen voor bos- en natuurterreinen waar er geen sprake is van een hondenlosloopgebied.

Historisch landgebruik

In het verleden werden er om akkers vruchtbaar te houden mineralen en nutriënten toegevoegd die van heide onttrokken werden. Ook werd er zoveel mogelijk mest verzameld om over de akkers te verspreiden. Op deze manier werden de akkers voedselrijker en steeg de pH door het beschikbaar komen van nutriënten en mineralen. Tegelijkertijd werden de heidevegetaties armer door het onttrekken van nutriënten en mineralen en daalde de pH (Odé, Groen, & De Blust, 2001). Dit wordt onderbouwd door de resultaten van onderzoek waaruit blijkt dat de pH toeneemt bij hoger niveau van organische bemesting, zoals potstalmest (Van Eekeren, Van der Burgt, & Schouten, 2009).

Boomsoortsamenstellingen

De samenstelling van boomsoorten kan bijdragen aan de verzuring van de bodem. Zo hebben de naalden en het blad van boomsoorten als spar, lariks, den, eik en beuk een verzurende invloed op de bosbodem (Kennisnetwerk OBN, z.d.). Loofhout neemt meer stikstof op dan naaldhout, waardoor loofbomen een over het algemeen minder verzurende werking hebben dan naaldbomen. Daarbij komt ook dat de strooisellaag van loofbomen (behalve eik en beuk) van betere kwaliteit is dan de strooisellaag van naaldbomen, omdat het blad van loofbomen veel meer calcium bevat en weinig lignine. Door de slechter verteerbare strooisellagen kunnen soorten die minder zuurminnend zijn hier niet of slecht groeien. Ook vangen naaldbomen door de fijne structuur van de naalden en het jaarrond groene karakter (met uitzondering van lariks) veel meer vervuilende depositie zoals stikstof dan loofbomen (De Vos, De Keersmaeker, & Van der Aa, 2020). Zoals in hoofdstuk 1 is benoemd, zijn deze boomsoorten veelvuldig aangeplant in boswachterij Austerlitz waardoor hier de kans op een extra verzurende werking door boomsoorten aanwezig is. Dit zorgt ervoor dat enkel zuurminnende soorten zich hier kunnen vestigen en groeien, waardoor zuurminnende bomen de overhand hebben en behouden zullen blijven (Bosgroep Zuid Nederland, 2018).

Houtoogst

Bij houtoogst is er naast de uitspoeling van basen door zure depositie ook sprake van afvoer van basen. Volgens schattingen is het verlies aan calcium, magnesium en kalium door uitspoeling echter nog twee tot vier maal zo hoog als het verlies aan deze stoffen door houtoogst. Uit onderzoek van De Vries, Bolhuis, Van de Burg en Bobbink (2017) blijkt dat in de jaren tachtig de basenafvoer door houtoogst rond de 10 tot 15 procent werd geschat, wat momenteel nauwelijks hoger zal zijn. Wel verdwijnen er tijdens de eindkap extra basen uit het systeem.

Dat komt vooral door mineralisatie van eerder opgeslagen stikstof die volledig uitspoelt omdat deze stikstof niet meer wordt opgenomen (De Vries, Bolhuis, Van de Burg, & Bobbink, 2017). Staatsbosbeheer geeft aan dat er momenteel kleinschaliger wordt gekapt dan in de periode tussen 1990 en 2005.

Daarnaast kan het achterlaten van dood hout de effecten van verzurende depositie lokaal verminderen. Uit onderzoek blijkt ook dat het laten liggen van bijvoorbeeld dood hout plaatselijk kan leiden tot behoud van essentiële nutriënten zoals voorbeeld calcium. Er kan geconstateerd worden dat er rond verterende dood hout-eilandjes mineralenrijke bodems ontstaan, die een toevlucht kunnen bieden voor verzuringsgevoelige biodiversiteit (De Keersmaecker, Dhiedt, Vandekerkhove, & Verheyen, 2020).

3. Methode

In dit hoofdstuk wordt er een globaal overzicht geschetst van de activiteiten die zijn uitgevoerd om tot het gewenste eindresultaat te komen. De stappen zijn gebaseerd op overleggen met de opdrachtgever en zijn allereerst globaal per stap in tabel 2 gezet. Vervolgens zijn deze stappen per paragraaf toegelicht.

Tabel 2: De volgorde van stappen wordt in deze tabel toegelicht. Deze stappen worden gebruikt om de hoofdvraag te beantwoorden.

Stap:	Hoofdphase:	Details:
1	Theoretisch kader	Het begrip verzuring is geïntroduceerd en de mogelijke oorzaken van verzuring zijn onderzocht.
2	Deelvraag 1	Er is literatuuronderzoek gedaan naar de geomorfologie van het projectgebied.
3	Deelvraag 2	Er is tijdens het veldonderzoek gekeken naar de bodemgesteldheid.
4	Deelvraag 3	Er is tijdens het veldonderzoek gekeken naar de aanwezige flora en fauna.

3.1 Theoretisch kader

In het theoretisch kader is achtergrondinformatie verzameld met betrekking tot de onderzoeksvraag. Hierbij is gekeken naar de mogelijke oorzaken van verzuring in het projectgebied. Omdat verzuring naar alle waarschijnlijkheid de hoofdoorzaak is van het vitaliteitsprobleem van de bosopstand, is het nuttig om meer te weten over de oorzaken en gevolgen van verzuring. Met deze achtergrondinformatie zijn waarnemingen in het veld deels te verklaren. Bij het schrijven van het theoretisch kader is er gebruik gemaakt van zoektermen op Google en Google Scholar (zie tabel 3). Zo is er ook gebruik gemaakt van recent verschenen artikelen die hierop van toepassing zijn.

Tabel 3: In deze tabel worden de zoektermen en bijhorende zoekmachines weergegeven om mogelijke oorzaken van verzuring te achterhalen.

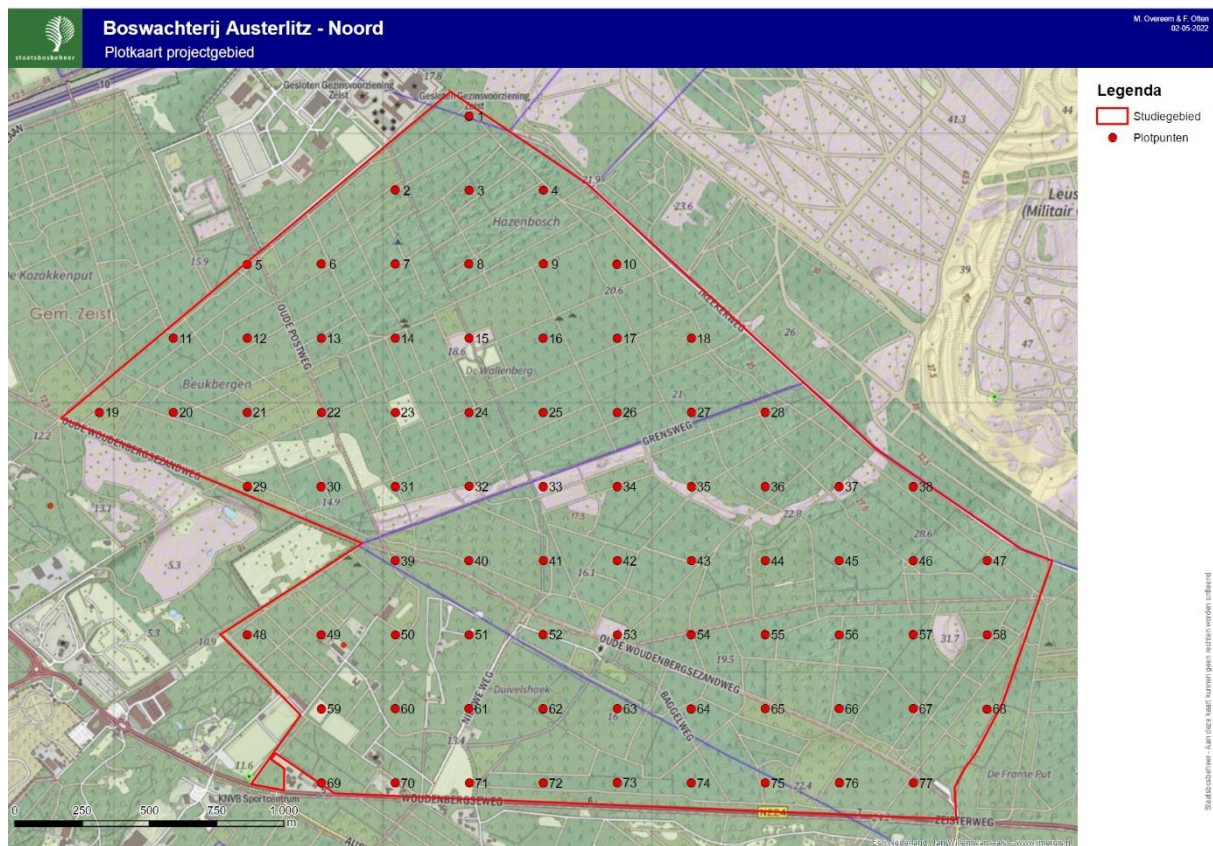
Zoekmachine	Zoekterm
Google	Oorzaken verzuring bodem
	Verzuring Utrechtse Heuvelrug
	Verzuring zandgronden
	Stikstof model RIVM
	Zure regen
	AHN
	Stikstofdepositie
Google Scholar	Oorzaken verzuring bodem
	pH buffer trajecten
	Verzuring Austerlitz
	Houtoogst “verzuring”
	Hondenpoep “verzuring”
	Verzuring boomsoorten
	Stikstofdepositie bosranden

3.2 Voorbereiding inventarisatie

Aan de hand van het protocol wat door de opdrachtgever beschikbaar is gesteld (zie bijlage 2), zijn er drie deelvragen opgesteld. Uit dit protocol kwamen verschillende vraagstukken naar voren, die vervolgens per onderdeel zijn verwerkt in een inventarisatieformulier. Zo is in het inventarisatieformulier de aanwezigheid van gebufferd grondwater opgenomen, evenals de geomorfologische situatie, het bepalen van het humusprofiel, de pH-waardes met en zonder zout en de bijbehorende omgekeerde basenverzadiging en ten slotte de aanwezigheid van indicatieve flora, fauna en paddenstoelen.

De uitvoering van het protocol is opgedeeld in drie fasen, die overeen komen met de deelvragen. Dit betekent dat er één deelvraag per fase in het onderzoek is beantwoord. Dit inventarisatieformulier (zie bijlage 3) is bij ieder plot (meetpunt) ingevuld. De locatie van de plots zijn bepaald door voorafgaand het veldonderzoek een raster over de kaart van het projectgebied op ArcGIS te leggen.

Aan de hand van de duur van een testmeting die in het veld is uitgevoerd, is bepaald hoeveel metingen er in de beschikbare tijd uitgevoerd kunnen worden. Op basis van het aantal metingen wat verwacht werd te kunnen behalen, namelijk 77, is de grootte van de rastergrids bepaald. Dit komt neer op één plot per 7,5 hectare (zie figuur 4). Onderstaande kaart is in de app Field Maps gezet, waardoor de exacte locaties op de telefoon te vinden zijn. Enkele plots die niet op de exacte GPS-locatie af te nemen zijn, zijn afgeweken naar de dichtstbijzijnde mogelijke plek (in een straal van maximaal 10 meter) die representatief is voor de directe omgeving van het plot. Dit is het geval bij plots die zich bijvoorbeeld op privéterrein of op een wateroppervlak bevinden. Wanneer dit ook binnen een straal van 10 meter niet mogelijk is, is de plotlocatie komen te vervallen. Door het invullen van de inventarisatieformulieren bij ieder plot zijn de onderstaande deelvragen beantwoord.



Figuur 4: Plotkaart projectgebied. De rode lijn geeft de grenzen van het projectgebied weer en de rode stippen met bijbehorende nummers geven de onderzochte plotlocaties weer.

3.3 Hydrologische en geomorfologische situatie

Deelvraag 1 “*Wat is de hydrologische en geomorfologische situatie van het projectgebied?*” is beantwoord aan de hand van het uitvoeren van literatuuronderzoek. Dit zijn stap 1 en stap 4 van de eerste versie van het protocol (zie bijlage 2), die zijn verwerkt als fase 1 in het inventarisatieformulier (zie bijlage 3).

Hydrologische situatie

Allereerst is er gekeken naar het achterhalen van de mogelijke beschikbaarheid van gebufferd grondwater dat tot in de wortelzone komt. Door dit te onderzoeken, kan er worden bepaald of en waar er in het projectgebied hiervan daadwerkelijk sprake is. Het herleiden en mogelijk herstellen hiervan is belangrijk, omdat herstel van aanwezig gebufferd grondwater de eerste voorkeur als herstelmaatregel heeft (A. Van den Burg en W. Floor, persoonlijke communicatie, 3 februari 2022). Om de benodigde informatie te verkrijgen, is er gekeken naar beschikbare gegevens van grondboringen die in het verleden in het projectgebied zijn uitgevoerd, grondwaterkaarten, hoogtekarten en is er contact opgenomen met de hydroloog van Staatsbosbeheer.

Geomorfologische situatie

Vervolgens is door het bestuderen van geomorfologische kaarten op gedetailleerd niveau een zo exact mogelijke situatieschets gemaakt. Aan de hand van geomorfologische kaarten is bepaald welke typen bodems in het projectgebied liggen. Aan de hand van deze kennis is er een globaal inzicht van de bodemopbouw geschetst. Hierbij is er met name gekeken naar kaartmateriaal dat beschikbaar is gesteld door Staatsbosbeheer en naar online kaartmateriaal wat beschikbaar is op ArcGIS Online en GeoWeb. Om verdere informatie te kunnen vinden, is er opnieuw gebruik gemaakt van zoektermen op Google en Google Scholar (zie tabel 4). Na het verzamelen van deze informatie is er aan de hand van het aanwezige grondwaterprofiel bepaald of deze meegenomen kan worden bij het plannen van bepaalde maatregelen door de beheerder.

Tabel 4: In deze tabel worden de zoektermen en bijhorende zoekmachines weergegeven om de geomorfologische situatie van boswachterij Austerlitz te achterhalen.

Zoekmachine	Zoekterm
Google	Dinoloket
	GeoWeb
	Geomorfologie kaart Nederland
	Geomorfologie Utrechtse Heuvelrug
	Bodemkaarten WUR
	Geologische dienst Nederland
Google Scholar	Geomorfologie Nederland

3.4 Humusprofiel en zuurgraad

Deelvraag 2 “Hoe is de bodemgesteldheid wat betreft het humusprofiel en de zuurgraad?” is beantwoord aan de hand van het veldonderzoek. Deze deelvraag is verwerkt als fase 2 in het inventarisatieformulier. Dit zijn stap 5 en 6 van het protocol (zie bijlage 2). Door het humusprofiel te bepalen en de zuurgraad te meten, kan er uitspraak gedaan worden over de bodemgesteldheid in het gebied. Om een zo compleet mogelijk beeld te schetsen, zijn de weersomstandigheden van het moment van onderzoek opgenomen en is er aangegeven wat de hoofdvegetatie is op de locatie van het plot.

Om deze aspecten te onderzoeken, is er allereerst per plot een bodemprofiel uitgestoken. Bij de uitvoering van het onderzoek is er met een steekschop met een lengte van het blad van 25 centimeter gewerkt. Het uitsteken van het bodemprofiel is gedaan door de steekschop aan drie zijdes recht de grond in te steken tot ongeveer 25 centimeter diepte. Vervolgens is er aan de vierde kant de steekschop schuin de grond in gestoken, waardoor er een driehoekvormige laag wordt uitgegraven (zie figuur 5). Op deze manier bleef het humusprofiel intact en kon deze nader onderzocht worden.



Figuur 5: Links een schuin uitgestoken bodemprofiel, waardoor de gelaagdheid van de bodem is af te lezen. Rechts een uitgestoken bodemprofiel met een rolmaat ernaast, zodat de diktes van het bodemprofiel kunnen worden afgelezen.

Het humusprofiel is onderzocht om er achter te komen of er een H-laag (fijn organisch materiaal: humus) aanwezig is in de bossen. Het humusprofiel zegt iets over het functioneren van het ecosysteem in het bos (Van Delft, 2004), zeker wanneer dit wordt gekoppeld aan de aanwezige bodemfauna, zoals in deelvraag 3 wordt gedaan. De dikte van de H-laag is aan de hand van een rolmaat opgenomen.

De mor, moder en mull zijn tijdens het onderzoek als volgt onderscheiden en ingedeeld in de volgende klassen (Richard Kraaijvanger, persoonlijke communicatie, 24 maart 2022):

- Mor: blokkige, smeerbare laag: schoensmeerachtig
- Moder: veel zichtbare droppings (uitwerpselen) van insecten (moderbolletjes). Er is sprake een korrelige, losse massa aan omgezet (onherkenbaar) organisch materiaal
- Mull: geheel bestaande uit uitwerpselen van wormen; wat minder korrelig

Daarnaast is de dikte van de F-laag (gedeeltelijk afgebroken materiaal, structuur nog herkenbaar: fragmentatie) genoteerd in centimeters. Ook de F-laag zegt iets over het functioneren van het ecosysteem in het bos. Deze ontbrak in het protocol, maar is toegevoegd als aanvulling die mogelijk van belang kan zijn. Deze dikte is ook bepaald met behulp van een rolmaat.

Bij ieder meetpunt zijn er twee bodemonsters van 100 kubieke centimeter afgenomen. Het eerste monster is afgenomen door een Kopeckyring te vullen met de voorgeschreven 100 kubieke centimeter, die net onder de strooisellaag is afgenomen. Vervolgens is er een tweede grondmonster genomen op twee steekschoplengtes diepte (ongeveer 50 centimeter diep). De grondmonsters zijn in aparte zakjes gedaan en meegenomen naar het kantoor. Om deze monsters uit elkaar te houden, is het plotnummer hierop genoteerd met de bijbehorende diepte van het afgenomen monster. Ter illustratie: het grondmonster van plotnummer 33 op de tweede diepte (50 centimeter diep) is op het zakje weergegeven als P33 - D2.

Hierna zijn op kantoor de pH-metingen uitgevoerd: per bodemonster eerst één meting zonder zout en daarna één meting met zout. Allereerst zijn de bodemonsters overgegoten in schone potten, waarbij 100 milliliter kraanwater wordt toegevoegd. Vervolgens is de inhoud van de pot goed gemengd en na 15 minuten is met behulp van de digitale pH-meter (portable meter PC 7 Vio) de eerste pH-meting uitgevoerd. Na deze meting is er 2.4 gram zout (NaCl 99,9+%) afgewogen en aan het bodemonster toegevoegd, waarna het monster weer goed gemengd is. Bij het afwegen van het zout zijn er geen afwijkingen van meer dan 0.03 gram gebruikt. Direct na het mengen is deze tweede pH-meting afgenomen.

De pH van de meting met zout wordt gebruikt om aan te geven hoe zuur de bodem is, de pH van de metingen zonder zout is van belang bij het berekenen van de omgekeerde basenverzadiging. De basenverzadiging is het percentage basische kationen (calcium, magnesium, kalium en natrium) ten opzichte van de capaciteit waarmee de bodem positief geladen deeltjes vast kan houden. Dit wordt ook wel kationuitwisselcapaciteit of CEC genoemd (De Vries, 2017). De omgekeerde basenverzadiging is als ware een “zuurverzadiging”: hoe hoger het getal, hoe zuurder de bodem is.

Na het verzamelen van alle pH-metingen zijn deze in kaart gebracht. Als extra verdieping, naast het gebruikte protocol, is er vervolgens gekeken naar mogelijke verbanden met historisch landgebruik. Dit is gedaan door op ArcGIS de pH-kaart over historische kaarten van 1850, 1900 en 1950 te leggen.

Door het verschil in pH kan er geconstateerd worden hoeveel zuur er aan uitwisselingscomplexen zit. Dit is berekend door de formule $((A - B) / B) * 100$ te gebruiken, waarbij A de pH is van de meting zonder zout en B de pH van de meting met zout. De uitkomst van deze formule is de omgekeerde basenverzadiging in procenten uitgerekend (A. Van den Burg en W. Floor, persoonlijke communicatie, 3 februari 2022).

De omgekeerde basenverzadiging wil zeggen dat hoge getallen een lage basenverzadiging indiceren, en lage getallen een hoge basenverzadiging indiceren.

Deze resultaten van deelvraag 2 zijn vervolgens geanalyseerd en onderbouwd met behulp van literatuuronderzoek. Er is getracht verbanden te zoeken tussen de uitkomsten van het onderzoek, zodat geconstateerd kon worden dat het beeld samen met de andere resultaten bevestigd kon worden.

Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)

Hierna zijn er met behulp van SPSS error bars van de aanwezige humusprofielen, F-lagen, pH-metingen en omgekeerde basenverzadiging opgesteld. Het gebruik van SPSS biedt een feitelijke onderbouwing. Hiermee zijn de minimale, maximale en gemiddelden berekend. Dit is gedaan aan de hand van alle gegevens die in de inventarisatieformulieren zijn verwerkt. Deze zijn onder elkaar gezet in Excel, waarna ze zijn geüpload om een error bar per onderwerp te realiseren. Deze error bar is gebaseerd op het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Dit is een interval dat aantoont dat wanneer het onderzoek herhaald zou worden, het 95% zeker is dat de waarde van een plot binnen dit interval ligt. Ook geven ze overzichtelijk weer hoe de verdeling is van de onderzochte onderdelen onder de strooisellaag en op 50 centimeter diepte.

Ook is SPSS gebruikt bij het zoeken naar correlaties (samenhang) tussen variabelen. Dit is bepaald door het kijken naar de p-waarde: ofwel de gestelde alpha van 0,05. Wanneer deze lager is, is er sprake van een lineair verband tussen variabelen. Wanneer de p-waarde hoger is dan 0,05, is er geen sprake van een lineair verband en is er geen correlatie aanwezig.

Tenslotte is SPSS bij het schrijven van de conclusie gebruikt om een t-toets in te zetten, waardoor er bepaald is of er sprake is van significantie tussen variabelen. Welke t-toets is gebruikt, hangt af van de resultaten van de Independent Samples T-Tests. Wanneer de p-waarde bij bijbehorende tabel lager is dan de gestelde alpha van 0,05, is er sprake van ongelijkheid in variantie (t-toets "Equal variances not assumed"): er is dus sprake van significantie. Wanneer de p-waarde hoger is dan 0,05, is er sprake van gelijkheid in variantie (t-toets "Equal variances assumed") en geen sprake van significantie. Hierdoor is het duidelijk of er bij de resultaten van het onderzoek sprake is van een toevallig verschil of een werkelijk (betrouwbaar) verschil.

3.5 Mineraalhuishouding

Deelvraag 3 “*Wat zegt de aanwezige flora en fauna over de mineraalhuishouding van de bodem?*” is beantwoord aan de hand van het veldonderzoek. Dit zijn stap 2 en 3 van het protocol (zie bijlage 2). Deze deelvraag is verwerkt als fase 3 in het inventarisatieformulier. Met het waarnemen van indicatieve flora- en faunasoorten in het projectgebied kan er een oordeel worden gegeven over de mineraalhuishouding. Ook bij deze fase van het onderzoek zijn de datum en weersomstandigheden bij uitvoering opgenomen.

Wat flora betreft is er in de directe omgeving gekeken naar de visuele aanwezigheid van bosanemoon, breedbladige wespenorchis, vingerhoedskruid en rankende helmbloem. Hiervan is rankende helmbloem een stikstofindicator (Timmermans & Cuppen, 1988) en indiceren bosanemoon (Flora van Nederland, z.d.-a), breedbladige wespenorchis (Flora van Nederland, z.d.-b) en vingerhoedskruid (Flora van Nederland, z.d.-c) dat er op deze groeiplaats nog enigszins sprake is van buffering in de bodem. Echter kunnen deze soorten ook groeien op plekken waar er geen sprake meer is van buffering. Ook dalkruid is in kaart gebracht. Achteraf is er aan de hand van beschikbare gegevens van de Nationale Databank Flora en Fauna (NDFF) bepaald of dalkruid hier altijd al heeft gegroeid. Wanneer dit niet het geval is, is dit namelijk een indicator voor stagnerend grondwater in de H-laag (De Waal & Bijlsma, 2003).

Wat paddenstoelen betreft is er gekeken naar kluifzwammen (Arnolds, 2015), aardsterren (Ozinga, Arnolds, Keizer, & Kuyper, 2013) en rupsendoders (Verheesen, 2002). Dit zijn soorten van gebufferde bodems en zijn stikstofgevoelig. Dit betekent dat deze onder invloed van stikstofdepositie worden weggeconcentreerd door andere, stikstofminnende soorten.

Wat fauna betreft is er gezocht naar de aanwezigheid van huisjesslakken (Majoer, De Groot, & Lever, 2013), pissebedden (De Smedt & Vandekerckhove, 2020) en miljoenpoten (Van Diggelen et al., 2019) in de strooisellaag. Deze soorten zijn zuurgevoelig en zullen daarom ontbreken in bossen waar nutriënten als calcium schaars zijn.

Het strooisel is onderzocht door in een straal van vijf meter vanaf de GPS-coördinaten van het plot twee representatieve samples te onderzoeken. Het onderzoeken van twee kleine samples in plaats van één groot sample krijgt de voorkeur, omdat flora en fauna reageren op fluxen en er met deze methode een realistischer beeld wordt geschetst.

In deze samples is de strooisellaag van 25 centimeter bij 25 centimeter uitgestoken en gezeefd boven een bak (zie figuur 6). Hierbij is de indicerende fauna geteld. De huisjesslakken en de pissebedden zijn enkel op aanwezigheid geïnventariseerd, wat inhoudt dat de aantallen zijn bijgehouden. De miljoenpoten zijn op type en aantal geïnventariseerd en niet op soortniveau, omdat het type een indicatie geeft wat betreft de bodemgesteldheid.

Voor het inventariseren van stobben is er een zoektijd gehanteerd van maximaal 10 minuten. Naast de strooisellaag zijn er ook stobben onderzocht omdat rottend en dood hout andere faunasoorten aantrekt, zoals beschreven in paragraaf 2.2. Per plot is er, wanneer aanwezig, één stobbe in een straal van vijf meter geïnventariseerd. De stobben zijn uitgeplozen door de schorsplaten van de stobbe met behulp van een steekschop en een kleine koevoet te verwijderen, waardoor de mogelijk aanwezige miljoenpoten en huisjesslakken zichtbaar zijn geworden (zie figuur 6). Ook op deze stobben zijn de huisjesslakken geteld en miljoenpoten geteld en geïdentificeerd op type.



Figuur 6: links is te zien hoe de strooisellaag gezeefd wordt boven een bak, waardoor de miljoenpoten zichtbaar worden. Rechts is te zien hoe de boomschors van een stobbe wordt losgewrikt met een kleine koevoet.

De miljoenpoten zijn in vijf determineerbare typen onderverdeeld. Elk type heeft zijn eigen kenmerken, welke als volgt zijn beschreven:

- Borstelmiljoenpoot (Polyxenidae): leeft voornamelijk onder boomschors. De soort prefereert matig vochtige gronden en slaat geen kalk op in de buitenhuid, waardoor deze ook onder zuurdere omstandigheden kan gedijen (BODENTIER hoch 4, z.d.-c).
- Oprolmiljoenpoot (Glomeridae): komt zowel in zure als basische omstandigheden voor, tussen een pH van 3,7 en 8,2. De soort is actief van het voorjaar tot de herfst. Als de temperatuur daalt tot 6°C trekt deze soort naar de minerale bodem om te overwinteren.

In het voorjaar, wanneer de temperatuur zo'n 5,5 °C tot 6,3 °C bereikt, komen ze terug naar de oppervlakte. Het hoofdvoedsel is bladafval en in mindere mate mos, gras en hout (BODENTIER hoch 4, z.d.-a).

- Dikwang/ribbelmiljoenpoot (Chordeumatidae): leeft voornamelijk op hoogte in koele en vochtige bossen en komt regelmatig voor in monocultuur spar. Hij geeft de voorkeur aan zure bossen, maar leeft ook op neutrale gronden. Hij komt voor tussen een pH van 3,7 en 7,1 en leeft voornamelijk in het bladafval en onder rottend hout. De voorkeurstemperatuur van de soort is tussen de 6°C en 12°C. Het hoofdvoedsel bestaat uit bladafval, met daarnaast mos (BODENTIER hoch 4, z.d.-b).
- Slangenmiljoenpoot (Cylindroiulus): leeft diep in het hout en onder de schors van boomstronken, onder mos, in bladstrooisel en in de bodem. Hij komt voor in naald en loofbossen, ook op zure gronden. De voeding zal voornamelijk bestaan uit rot hout, bladafval en mos (BODENTIER hoch 4, z.d.-e).
- Platrug-miljoenpoot (Polydesmidae): komt in veel biotopen voor, maar voornamelijk in vochtige bossen in de buurt van stronken en dood hout. Deze soort komt op zowel zure als basische gronden voor, met een pH tussen de 3,7 en 9,2. Hij is het meest actief in mei en oktober, en geeft de voorkeur aan temperaturen tussen de 4°C tot 10°C. Het hoofdvoedsel is bladafval en hout, en in mindere mate mos (BODENTIER hoch 4, z.d.-d).

Om deze planten-, paddenstoelen- en faunasoorten te kunnen determineren, zijn er voorafgaand het veldonderzoek determinatietabellen opgesteld (zie bijlage 4a, b en c). Er is besloten deze soorten te inventariseren omdat deze goed zijn te determineren voor iedereen die in de toekomst met dit protocol aan het werk zal gaan. Met deze reden zijn andere, moeilijk determineerbare, stikstofindicerende soorten als springstaarten, mijten en kevers in dit onderzoek buitenwege gelaten.

Tenslotte is er ook bij deze fase van het onderzoek aan de hand van SPSS een error bar opgesteld van de verzamelde gegevens wat betreft de gevonden fauna. Hiernaast is SPSS ook hier gebruikt om een t-toets in te zetten om te kijken of er sprake is van een werkelijk of een toevallig verschil in de pH-waarden in de plots met en zonder fauna.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van het onderzoek uitgewerkt. Per paragraaf worden de deelvragen beantwoordt. Het gaat hier om de resultaten die van belang zijn om de hoofdvraag te beantwoorden, zoals de hydrologische en geomorfologische situatie, de bodemgesteldheid en de mineraalhuishouding van het projectgebied. Deze informatie is afkomstig uit de ingevulde inventarisatieformulieren die behoren bij het onderzoek. Deze inventarisatieformulieren zijn te vinden in de externe bijlage “Inventarisatieformulieren protocol verzuring”.

4.1 Hydrologische en geomorfologische situatie

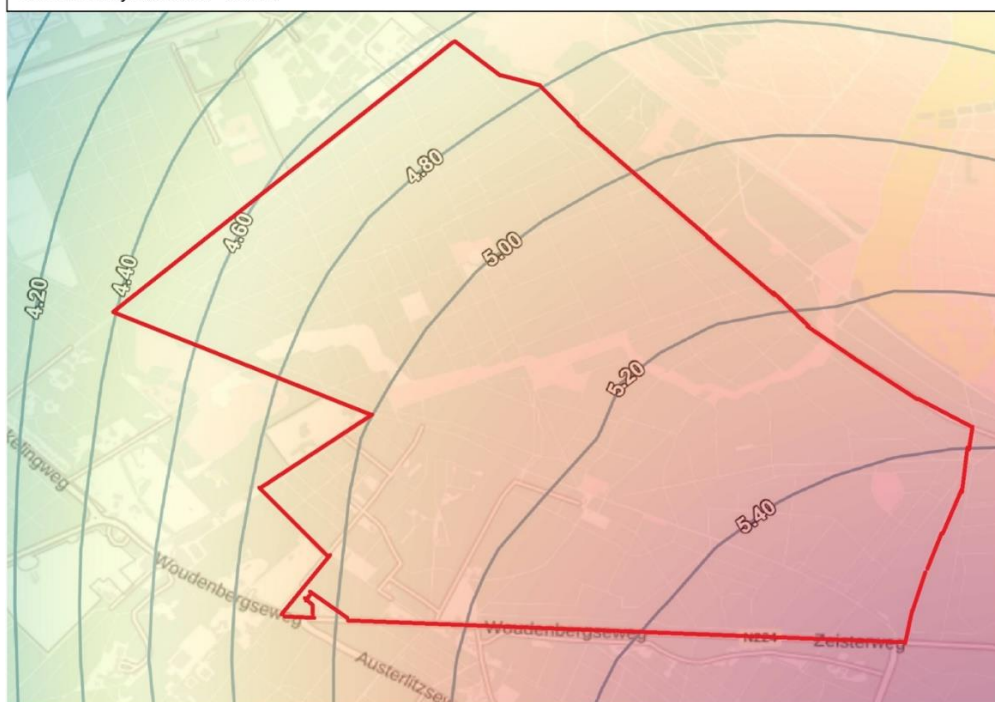
In deze paragraaf worden de resultaten van deelvraag 1: *“Wat is de hydrologische en geomorfologische situatie van het projectgebied?”* weergegeven. Er is gekeken of er gebufferd grondwater aanwezig is en welke geomorfologische situaties er zijn in het projectgebied.

Hydrologische situatie

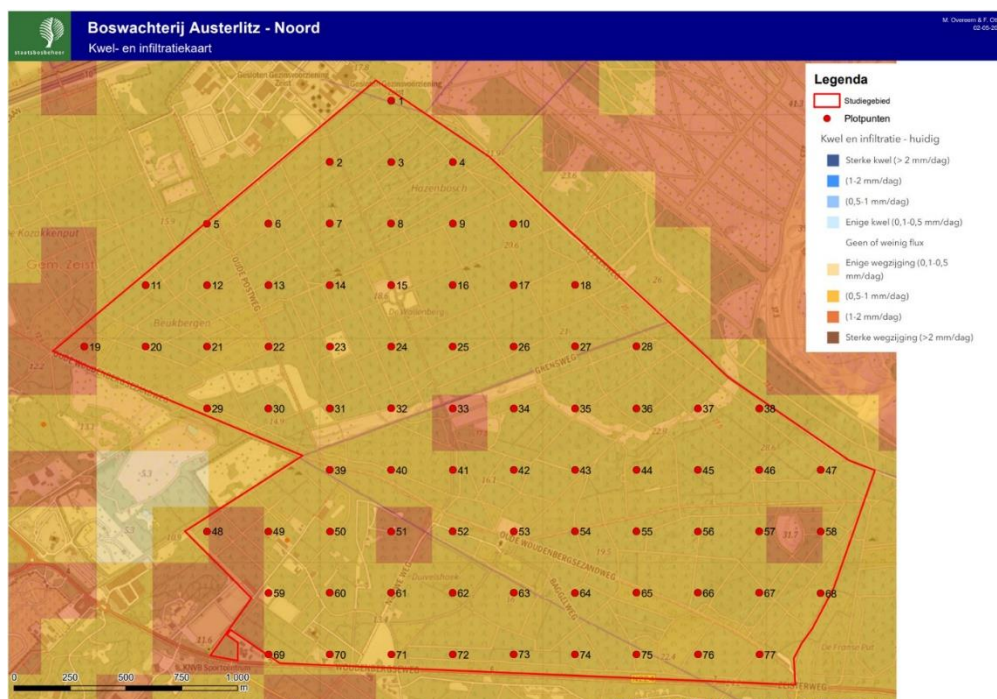
Allereerst is er gekeken naar de aanwezigheid van gebufferd grondwater in de wortelzone. (Gebufferd) grondwater binnen de grenzen van het projectgebied bevindt zich ver buiten bereik van de aanwezige vegetatie. In dit gebied is er enkel sprake van grondwateronafhankelijke vegetaties (E. Harkema, persoonlijke communicatie, 22 maart 2022). Dit beeld wordt bevestigd wanneer er naar de isohypsenkaart gekeken wordt: hieruit is op te maken dat het grondwater tussen 4,40 meter en 5,40 meter diepte zit (zie figuur 7). Dit houdt in dat er sprake is van een dikke onverzadigde zone. Eén van de redenen voor het ontbreken van grondwater in de wortelzone zijn de hydrologische omstandigheden van het gebied. Het projectgebied ligt immers op de rand van de flank en het plateau van de Utrechtse Heuvelrug, een stuwwal die voornamelijk is opgebouwd uit zandlagen.

In figuur 8 is te zien dat er in het projectgebied voornamelijk sprake is van wegzijging van 0,5 millimeter tot 1,0 millimeter per dag, met op sommige plekken zelfs een wegzijging van 1,0 millimeter tot 2,0 millimeter per dag.

Isohypsenaart projectgebied Boswachterij Austerlitz - Noord



Figuur 7: Isohypsenaart van het projectgebied. De rode lijn geeft de grenzen van het projectgebied weer. De lijnen met de getallen (de isohypsen) geven de diepte van het grondwater ten opzichte van het maaiveld weer (Geologische Dienst Nederland, z.d.).

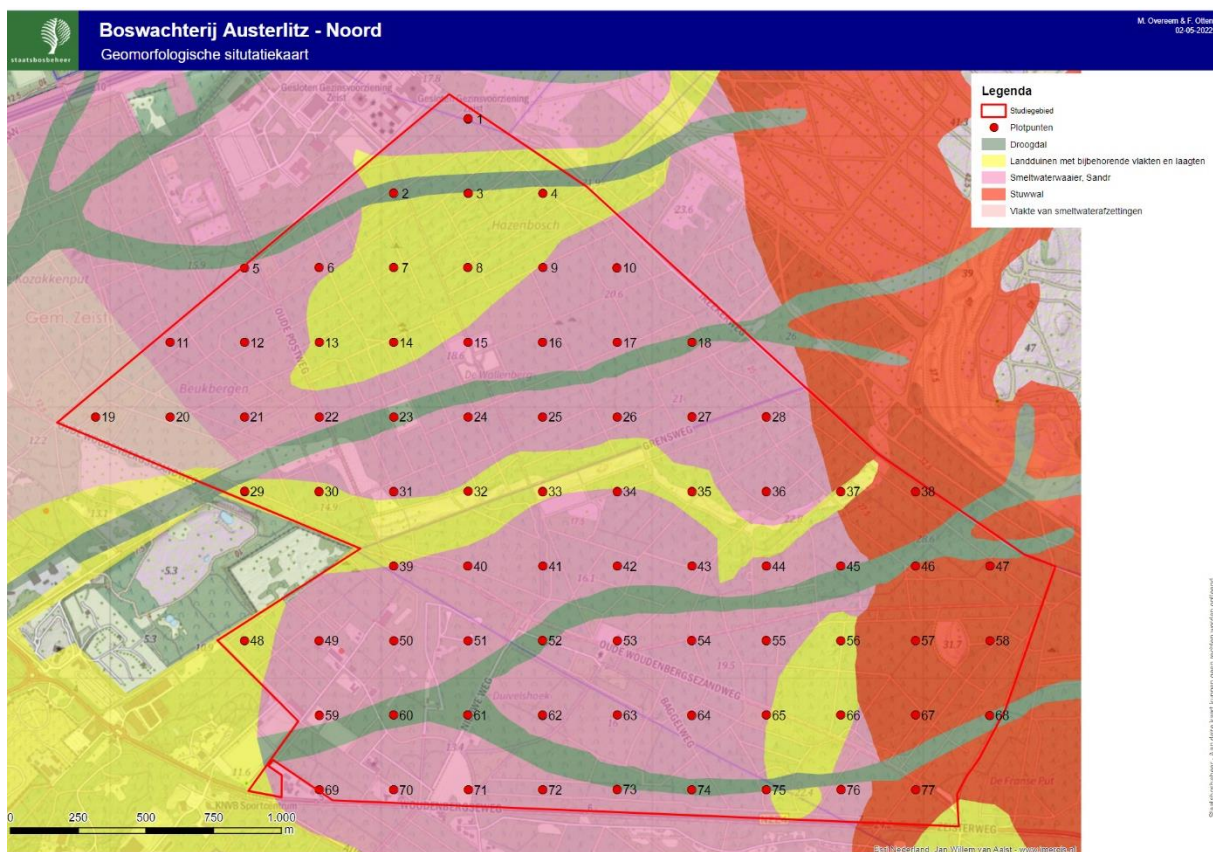


Figuur 8: Kwel- en infiltratie kaart van de omgeving van het projectgebied. De rode lijn geeft de grenzen van het projectgebied weer, de rode stippen met nummers geven de plotlocaties weer. De oranje vlakken geven een wegzijging van 0,5 - 1 mm/dag weer, de rode vlakken geven een wegzijging weer van 1 - 2 mm/dag weer (Esri Nederland, 2021).

Een andere reden voor het ontbreken van het grondwater in de wortelzone is de waterbalans op de hoger gelegen plekken van de Utrechtse Heuvelrug. Ongeveer 20% van de grondwateraanvulling wordt weer onttrokken door onttrekkingen zoals die voor drinkwater (HydroLogic BV & Acacia Water BV, 2021).

Geomorfologische situatie

Vervolgens is er gekeken naar de geomorfologische situatie in het projectgebied. Uit het onderzoek blijkt dat er binnen de grenzen van het projectgebied er vijf verschillende geomorfologische verschijnselen aanwezig zijn: een type stuwwal, een type landduinen, een type droogdal, een type vlakte van smeltwaterafzetting en een type smeltwaterwaaier (zie figuur 9). In tabel 5 is te zien hoeveel plots er binnen het projectgebied op welk geomorfologisch verschijnsel liggen.



Figuur 9: Geomorfologische situatietekstkaart van de omgeving van het projectgebied. De rode lijn geeft de grenzen van het projectgebied weer, de rode stippen met nummers geven de te onderzoeken plotlocaties weer. In de legenda zijn de verschillend aanwezige geomorfologische verschijnselen af te lezen.

Tabel 5: In deze tabel is te zien hoeveel plots er per geomorfologisch verschijnsel in het projectgebied liggen.

Geomorfologisch verschijnsel	Aantal plots in projectgebied
Stuwwal	7
Landduinen	15
Droogdal	9
Vlakte van smeltwaterafzetting	2
Smeltwaterwaaier	44

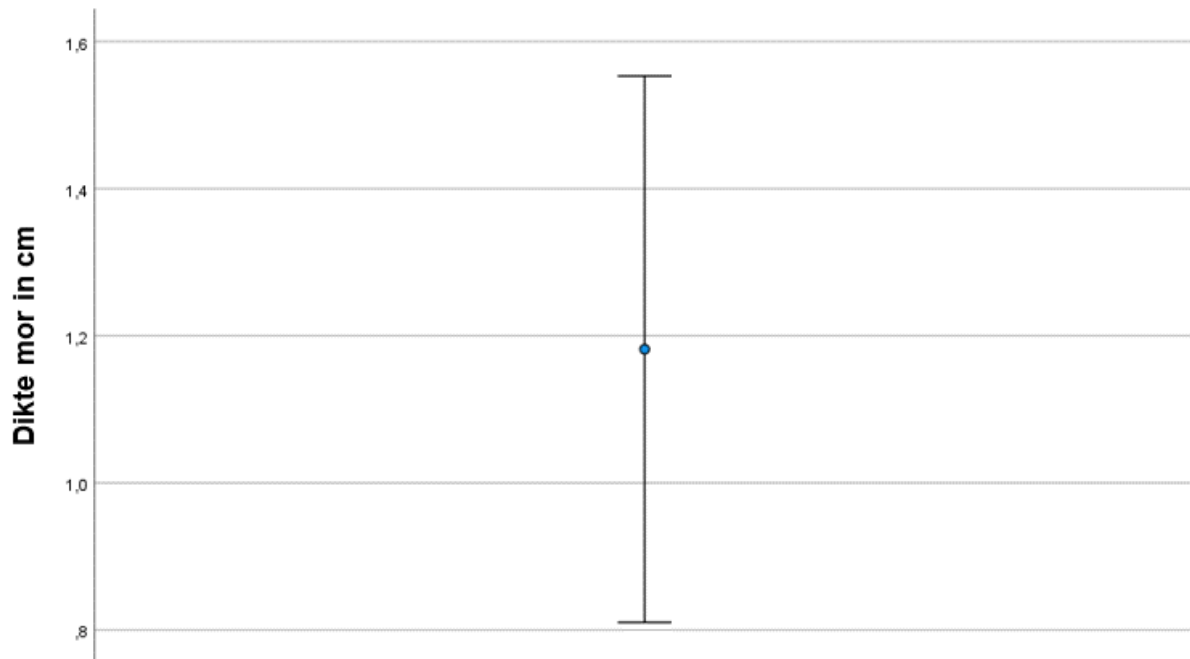
4.2 Humusprofiel en zuurgraad

In deze paragraaf worden de resultaten van deelvraag 2: *“Hoe is de bodemgesteldheid wat betreft het humusprofiel en de zuurgraad?”* weergegeven. Er is gekeken naar het humusprofiel en de zuurgraad in het projectgebied.

Humusprofiel

Uit de inventarisatie is gebleken dat van alle plots het humusprofiel, wanneer aanwezig, bestaat uit morprofielen. Bij 45% van de onderzochte plots ontbrak het gehele humusprofiel. Bij 55% van de onderzochte plots was er sprake van een morprofiel, waarvan 46% bestaat uit een laag van 1 centimeter.

In figuur 10 is aan de hand van een error bar te zien welke dikte morlagen in centimeter er zijn geïnventariseerd. In dit geval is de dikte van de morlaag per plot gelegen tussen ongeveer 0,82 en 1,55 centimeter.

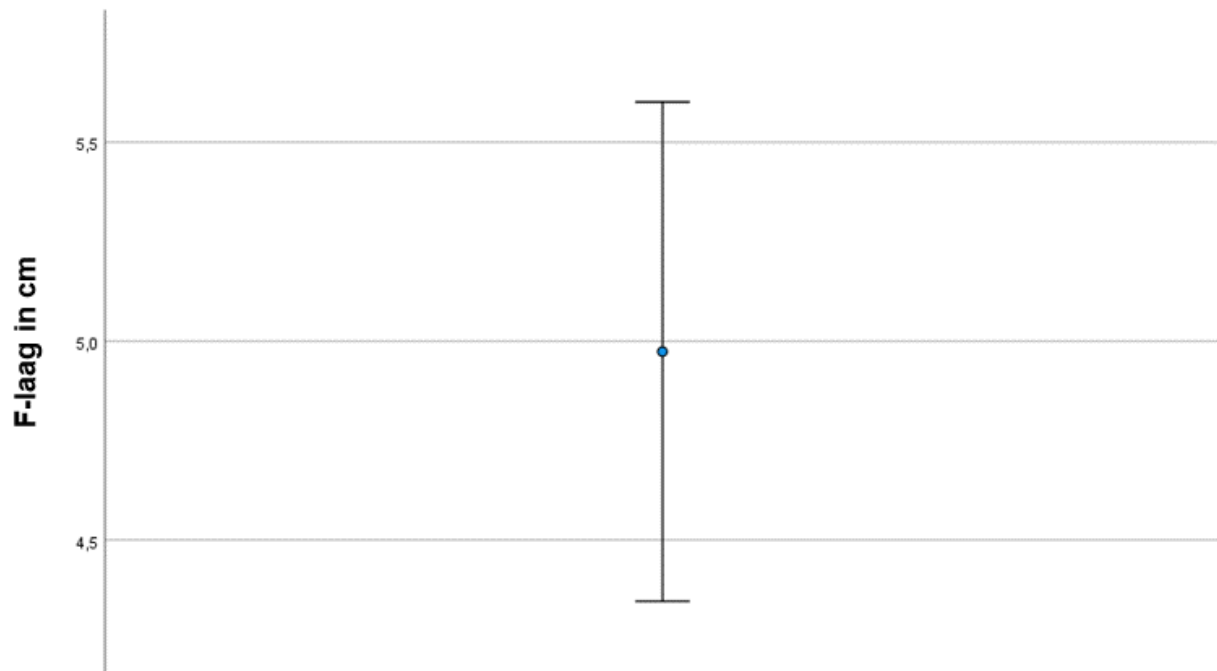


Figuur 10: in de error bar zijn de geïnventariseerde morlagen opgenomen met een betrouwbaarheidsinterval van 95%.

Uit de inventarisatie is gebleken dat de dikte van de fragmentatielaag aanzienlijk verschilt per plot. In figuur 11 is te zien dat op de heideterreinen de fragmentatielaag zo goed als ontbreekt. Ook zijn er in bosvakken fragmentatielagen van 1 centimeter gevonden en plekken waar de fragmentatielaag geheel ontbrak. De dikste fragmentatielaag die in het projectgebied is aangetroffen, is 11 centimeter. De fragmentatielagen van 5 en 7 centimeter komen het meest voor, namelijk beide 14 keer. Dit komt neer op een percentage van 36%.



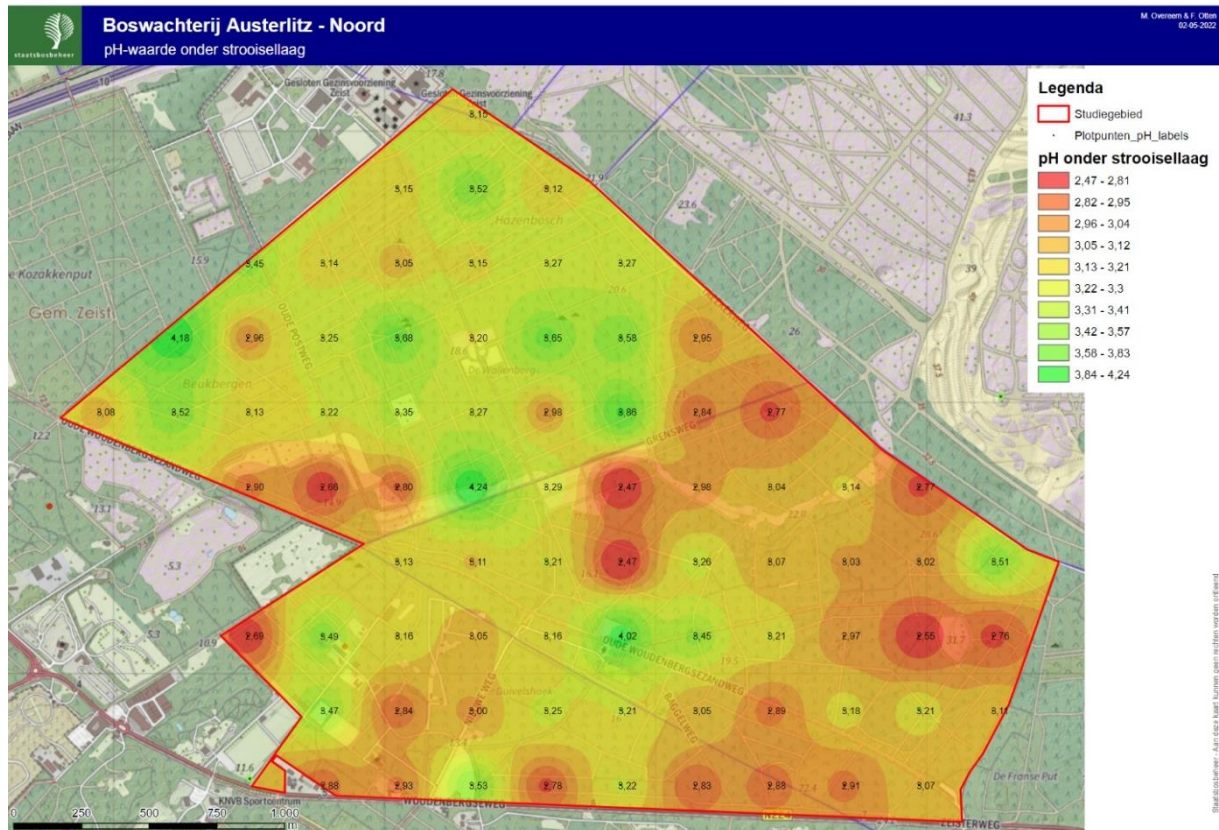
In figuur 12 is aan de hand van een error bar te zien welke dikte F-lagen in centimeter er zijn geïnventariseerd. In dit geval is de dikte van de F-laag per plot gelegen tussen ongeveer 4,25 en 5,65 centimeter.



Figuur 12: in de error bar zijn de geïnventariseerde F-lagen opgenomen met een betrouwbaarheidsinterval van 95%.

Zuurgraad

Uit de inventarisatie blijkt dat net onder de strooisellaag de hoogst gemeten zuurgraad een pH heeft van 2,47. De laagst gemeten zuurgraad heeft daarentegen een pH van 4,24 (zie figuur 13). De gemiddelde zuurgraad van de bodem onder de strooisellaag komt uit op een pH van 3,15 (zie bijlage 5a).



Figuur 13: Op deze kaart is per plot te zien wat de pH-NaCl is, gemeten onder de strooisellaag.

Boswachterij Austerlij - Noord
pH-waarde op 50 centimeter diepte

Legenda

- Studiegebied
- Plotpunten_pH_labels

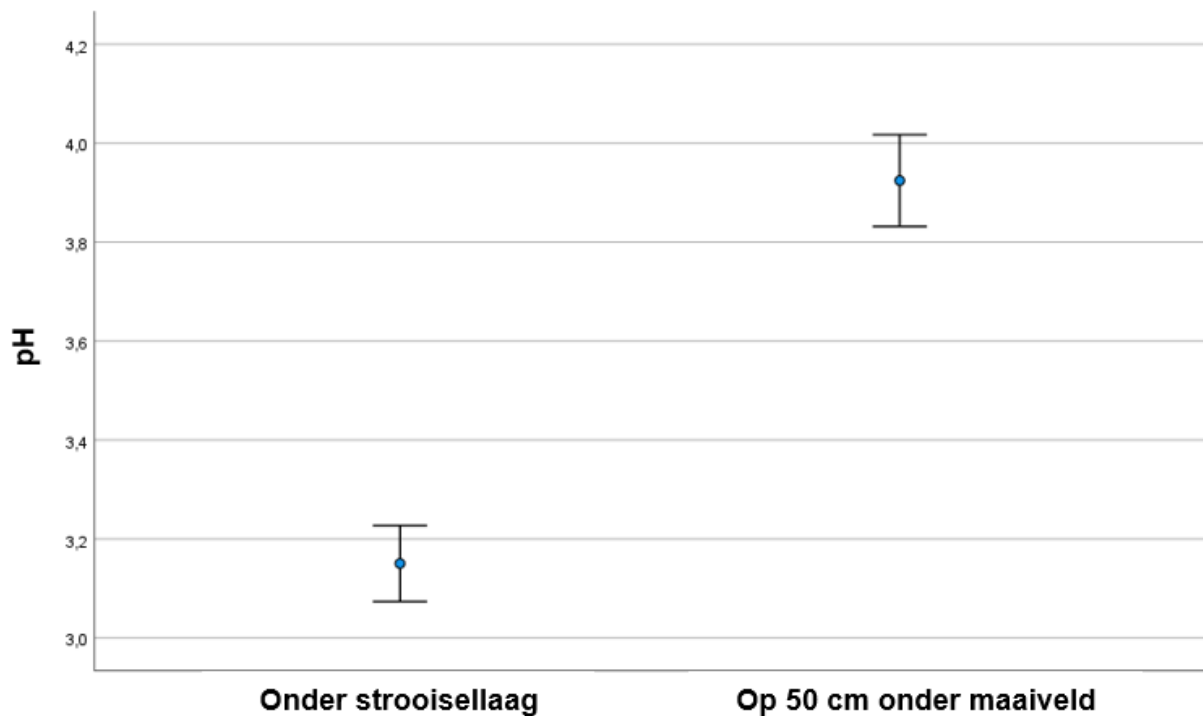
pH op 50 centimeter

- 2,47 - 2,81
- 2,82 - 2,95
- 2,96 - 3,04
- 3,05 - 3,12
- 3,13 - 3,21
- 3,22 - 3,3
- 3,31 - 3,41
- 3,42 - 3,57
- 3,58 - 3,83
- 3,84 - 4,24

0 250 500 750 1000 m

Staatsbeschikbaar - Aan deze kaart kunnen geen rechten worden ontleend

In figuur 15 is aan de hand van twee error bars te zien welke pH-waardes er zijn geïnventariseerd. In dit geval is de pH onder de strooisellaag gelegen tussen ongeveer 3,08 en 3,22. De pH op 50 centimeter diepte onder maaiveld ligt ongeveer tussen 3,82 en de 4,01.



Figuur 15: in de error bar zijn de pH-metingen op verschillende dieptes opgenomen met een betrouwbaarheidsinterval van 95%.

Correlatiemetingen zonder zout

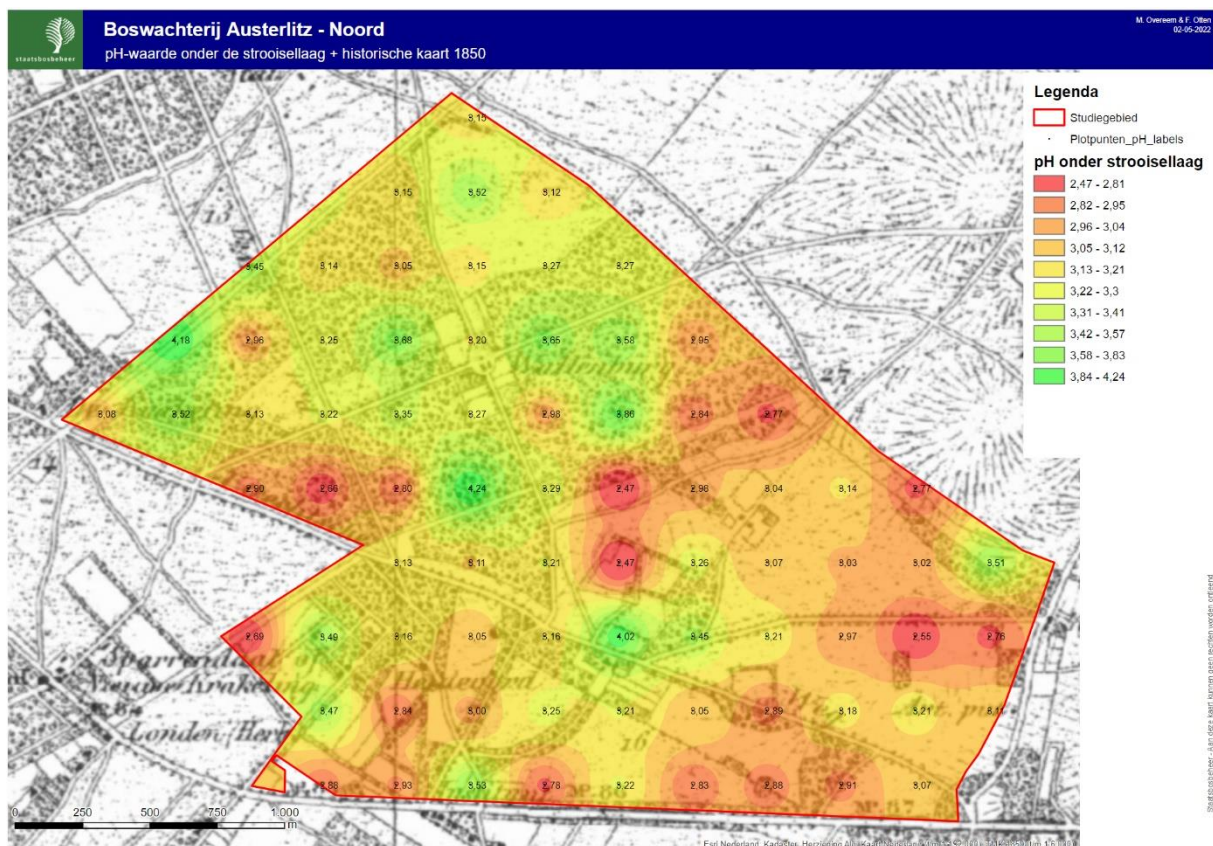
Uit de tabel in bijlage 7a blijkt dat de correlatie tussen de pH van de bodem zonder zout onder de strooisellaag en de pH van de bodem zonder zout op 50 centimeter diepte significant is ($r = 0,434$, $p = <0,001$). Dit betekent dat er sprake is van een matig, positief verband tussen de pH van de bodem zonder zout onder de strooisellaag en de pH van de bodem zonder zout op 50 centimeter diepte.

Correlatiemetingen met zout

Uit de tabel in bijlage 7b blijkt dat de correlatie tussen de pH van de bodem met zout onder de strooisellaag en de pH van de bodem met zout op 50 centimeter diepte significant is ($r = 0,505$, $p = <0,001$). Dit betekent dat er sprake is van een matig, positief verband tussen de pH van de bodem met zout onder de strooisellaag en de pH van de bodem met zout op 50 centimeter diepte.

Historisch landgebruik

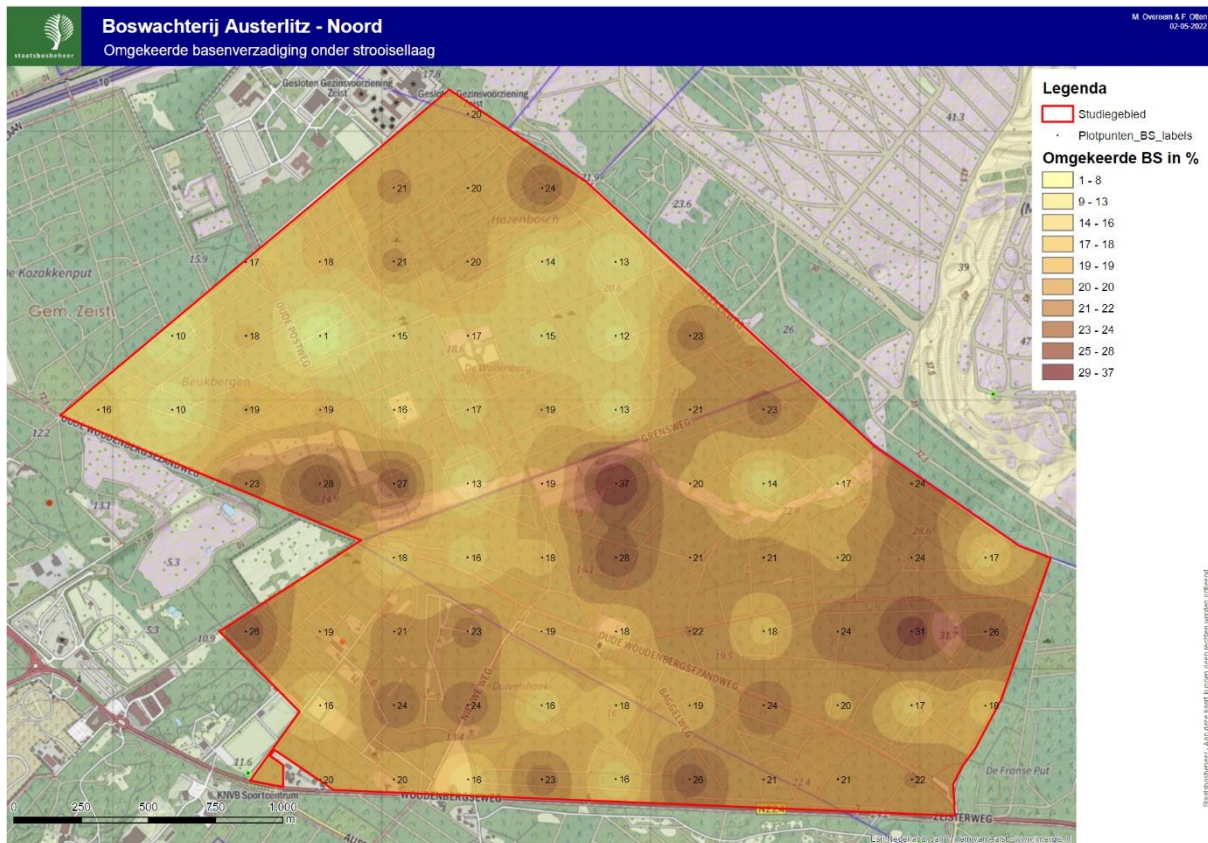
Aan de hand van historische kaarten is gekeken naar verbanden in het vroegere landgebruik van boswachterij Austerlitz en de pH-waardes die tijdens dit onderzoek zijn gemeten. In figuur 16 is de historische kaart van 1850 afgebeeld. Op deze historische kaart is te zien dat het noordelijke deel van het projectgebied bestond uit voornamelijk bos en akkers, met uitzondering van een aantal heidevelden. De pH-waarde is in het noordelijke deel over het algemeen hoger dan in de rest van het gebied. De oost-zuidoostkant van het gebied werd destijds gedomineerd door stuifzand en heidevelden, daar waar de gemeten pH-waarden het laagst zijn. De meest zure plekken zijn momenteel voornamelijk te vinden op de voormalige stuifzandoppervlaktes en heidevelden. Op de historische kaart van 1900 (zie bijlage 8a) is te zien dat aan de noordwest- zuidwestkant van het gebied destijds op verschillende plekken akkers gelegen hebben. Deze akkers hebben op de minder zure gronden gelegen. Aan de hand van de historische kaart van 1950 (zie bijlage 8b) is te zien dat deze akkers later zijn omgevormd naar bos.



Figuur 16: Historische kaart van 1850, met overlap van de actuele pH-waarde die net onder de strooisellaag is gemeten.

Omgekeerde basenverzadiging

Uit de inventarisatie blijkt dat net onder de strooisellaag de laagst gemeten omgekeerde basenverzadiging 1% is. De hoogst gemeten omgekeerde basenverzadiging is daarentegen 37% (zie figuur 17). De gemiddelde omgekeerde basenverzadiging van de bodem onder de strooisellaag komt uit op 20% (zie bijlage 5b).

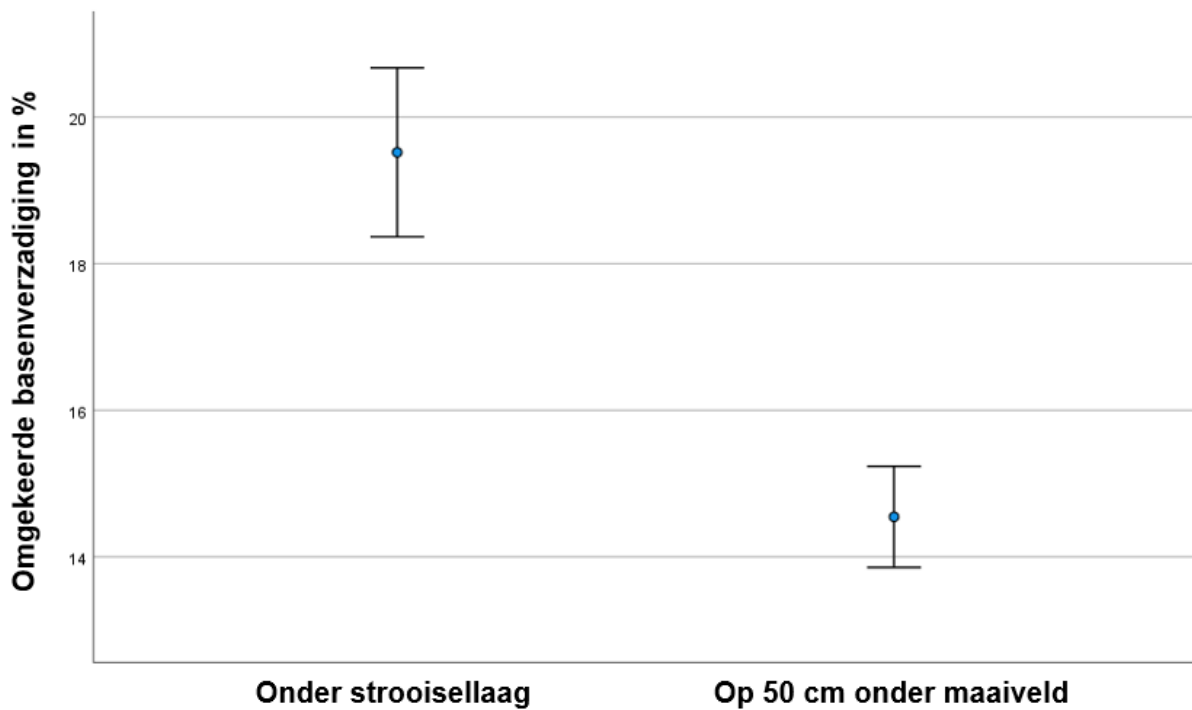


Figuur 17: Omgekeerde basenverzadiging weergegeven in procenten onder de strooisellaag, weergegeven per onderzocht plot.

[illegible]

Staatsbosbeheer - Aan deze kaart kunnen geen rechten worden ontleend

In figuur 19 is aan de hand van twee error bars te zien welke omgekeerde basenverzadigingen er zijn geïnventariseerd. In dit geval is de omgekeerde basenverzadiging onder de strooisellaag gelegen tussen ongeveer 18,3 en de 21 procent. De omgekeerde basenverzadiging op 50 centimeter diepte onder maaiveld ligt ongeveer tussen 13,9 en de 15,3 procent.



Figuur 19: In de error bar zijn de omgekeerde basenverzadigingen op verschillende dieptes opgenomen met een betrouwbaarheidsinterval van 95%.

4.3 Mineraalhuishouding

In deze paragraaf worden de resultaten van deelvraag 3: *Wat zegt de aanwezige flora en fauna over de mineraalhuishouding van de bodem?* weergegeven. Er is hierbij gekeken naar de indicerende flora en fauna in het projectgebied, zoals deze beschreven zijn in paragraaf 3.5.

Flora

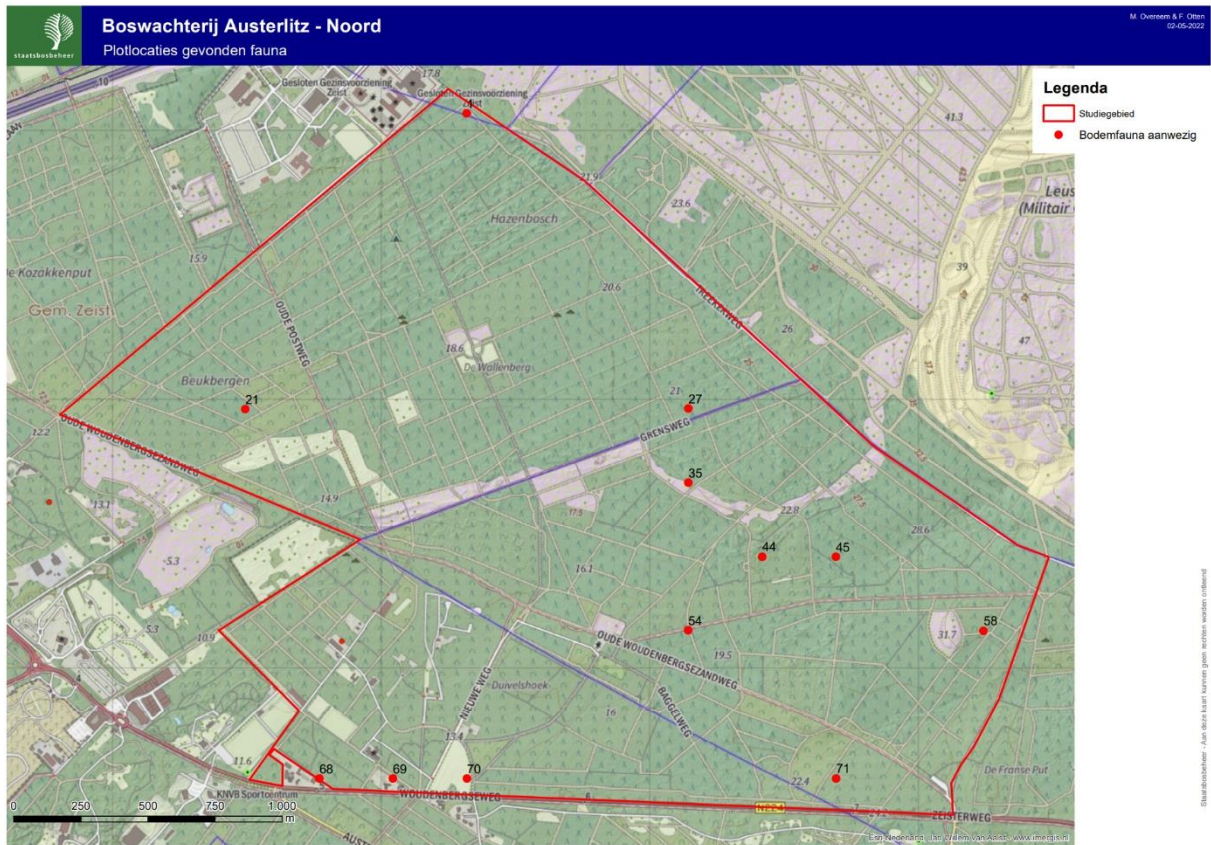
Gedurende de uitvoering van het onderzoek is er in geen enkel plot de bepaalde florasoorten bosanemoon, breedbladige wespenorchis, vingerhoedskruid, rankende helmbloem en dalkruid aangetroffen. Aan de hand van de NDFF is bepaald dat er ook in het verleden op geen enkele plek dalkruid is aangetroffen.

Paddenstoelen

Op geen van de onderzochte plots zijn de vooraf bepaalde zwammen kluitzwam, aardster en rupsendoder aangetroffen die duiden op de aanwezigheid van stikstof of enige buffering.

Fauna

Van de 77 onderzochte plots zijn er in 13 plots enkele faunasoorten aangetroffen die van toegevoegde waarde zijn bij de uitvoering van het onderzoek, namelijk verschillende miljoenpoten en pissebedden. Deze locaties zijn in beeld gebracht in figuur 20 en uitgewerkt in tabel 6. In de strooisellaag zijn in totaal drie slangenmiljoenpoten, twee platrugmiljoenpoten en drie pissebedden gevonden. In de onderzochte stobben werden 31 slangenmiljoenpoten en twee platrugmiljoenpoten gevonden. Ook werd er in één stobbe een dusdanig grote hoeveelheid slangenmiljoenpoten aangetroffen, wat is geschat op minimaal 30 tot 50 exemplaren. In 17 plots werd er geen stobbe aangetroffen binnen de vastgestelde straal van vijf meter van de GPS-locatie.



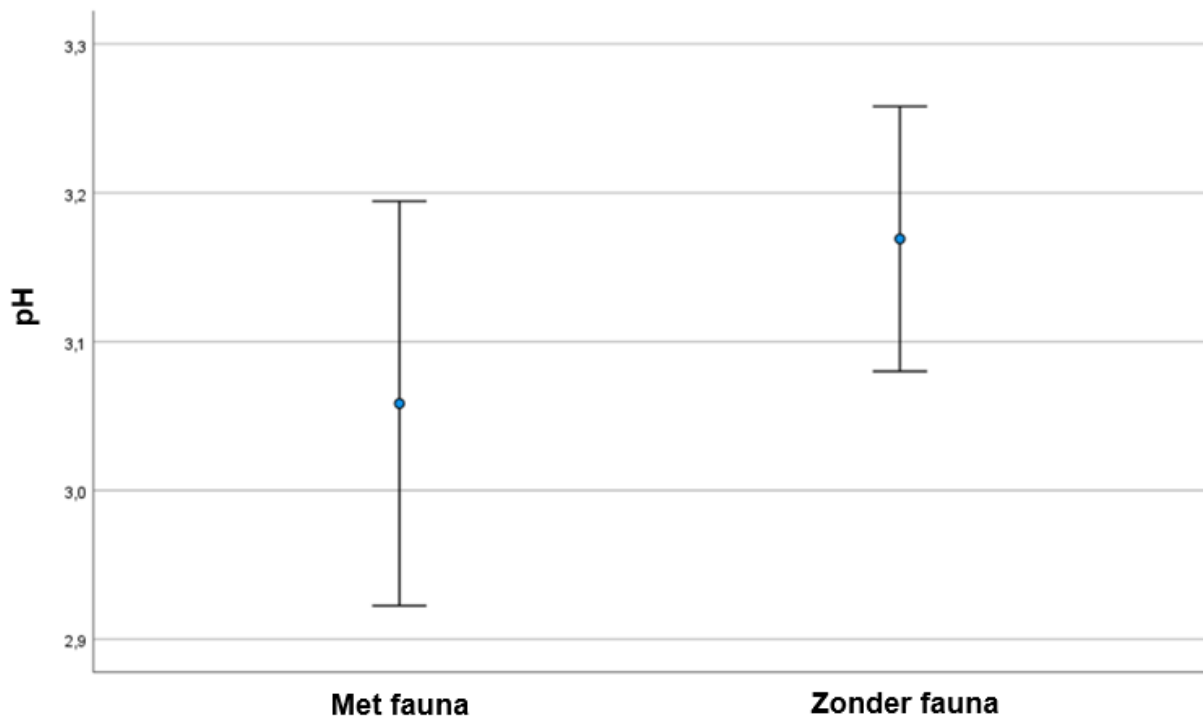
Figuur 20: Plots (inclusief bijbehorende nummering) waar bodemfauna is waargenomen.

Tabel 6: In deze tabel worden de resultaten van het veldonderzoek naar de fauna weergegeven. Per plot zijn de gevonden soorten, aantallen en de vindplaats weergegeven.

Plotnummer	Soort	Aantal	Vindplaats
1	Slangenmiljoenpoot	2	Stobbe
21	Slangenmiljoenpoot	2	Stobbe
27	Platrugmiljoenpoot	1	Stobbe
35	Pissebed	1	Strooisel
44	Slangenmiljoenpoot	1	Strooisel
	Slangenmiljoenpoot	1	Stobbe
	Platrugmiljoenpoot	1	Stobbe
45	Slangenmiljoenpoot	30 tot 50	Stobbe
54	Slangenmiljoenpoot	1	Strooisel
58	Slangenmiljoenpoot	1	Strooisel
	Platrugmiljoenpoot	1	Strooisel
68	Pissebed	1	Strooisel
69	Slangenmiljoenpoot	26	Stobbe
70	Slangenmiljoenpoot	2	Stobbe
71	Platrugmiljoenpoot	1	Strooisel
76	Pissebed	1	Strooisel

In de strooisellaag en in de stobben zijn tijdens de uitvoering van het onderzoek geen huisjesslakken, borstelmiljoenpoten, oprolmiljoenpoten en dikwang/ribbelmiljoenpoten aangetroffen.

In figuur 21 is aan de hand van twee error bars te zien welke pH-waardes er zijn geconstateerd in de bodem met fauna en in de bodem zonder fauna. In dit geval is de pH van de bodem met fauna gelegen tussen ongeveer 2,90 en 3,19. De pH van de bodem zonder fauna ligt ongeveer tussen 3,16 en 3,52.



Figuur 21: In deze error bars zijn de pH-waarden opgenomen van de plots waarin faunasoorten zijn aangetroffen (links) en van plots waar er geen faunasoorten zijn aangetroffen (rechts).

De plots waarin fauna is aangetroffen tijdens het veldonderzoek heeft een gemiddelde pH heeft van 3,06. De overige plots, waar geen fauna is aangetroffen, heeft een gemiddelde pH van 3,17. Dit blijkt uit de tabel in bijlage 5c.

5. Conclusie

Door het beantwoorden van de deelvragen is de hoofdvraag beantwoord. Deze zijn beantwoord aan de hand van de inventarisaties en verzamelde resultaten. In onderstaande alinea's wordt er per deelvraag een korte conclusie getrokken, waarna de hoofdvraag kort en bondig wordt beantwoord.

De eerste deelvraag (*Wat is de hydrologische en geomorfologische situatie van het projectgebied?*) is beantwoord door het uitvoeren van fase 1 van het onderzoek. Zoals in paragraaf 4.1 is beschreven, is er in het projectgebied geen sprake van grondwaterinvloed. In het projectgebied is er sprake van een hangwaterprofiel. In een profiel als deze is er geen grondwaterinvloed in de bewortelde zone. Uit eerder onderzoek is gebleken dat dit op vergelijkbare stuwwallen als de Veluwe ook het geval is (Cuppen & Timmermans, 1987). Dit betekent dat de vegetatie voor haar vochtvoorziening volledig is aangewezen op neerslag en de vochtvoorraad in de bewortelde zone (Kennisplatform CROW, z.d.).

Het projectgebied is gelegen aan de rand van een van de grootste stuwwalcomplexen in Nederland en is gevormd door een gletsjer die zo'n 150.000 jaar geleden over Nederland schoof (Martens, z.d.). Aan de hand van de geomorfologische kaart is gekeken naar de verschillende geomorfologische verschijnselen die voorkomen in het projectgebied. Aangezien het projectgebied op de Utrechtse Heuvelrug gelegen is, deel uitmakend van een stuwwal, zijn de gevonden geomorfologische verschijnselen goed te verklaren. Uit de resultaten blijkt dat 57% van de plots zich bevindt op het geomorfologische verschijnsel smeltwaterwaaiers, 20% op landduinen, 11% op droogdalen, 9% op stuwwallen en 3% van de plots bevindt zich op smeltwaterafzetting.

De tweede deelvraag (*Hoe is de bodemgesteldheid wat betreft het humusprofiel en de zuurgraad?*) is beantwoord door het uitvoeren van fase 2 van het onderzoek. Wanneer er naar de resultaten van de humusprofielen wordt gekeken, kan geconstateerd worden dat de aanwezige humusprofielen bestaan uit mor: moder en mull ontbreken in alle onderzochte plots. Moder- en mullprofielen komen voor in beter ontwikkelde bodems, waarvan in dit projectgebied geen sprake is. Het voorkomen van mor in het projectgebied is een logisch gevolg van verzuring: dit veroorzaakt een vertraagde strooiselafbraak met ophoping van strooisel als gevolg.

Verzuring kan zorgen voor een versnelde overgang van een mullprofiel naar een morprofiel. Verdroging zorgt ervoor dat dit proces van een overgang naar een morprofiel wordt versnelt. (Kuyper, Berg, & Muys, z.d.).

De overgang naar een morprofiel wordt verklaard door het verdwijnen van diepgravende regenwormen, die door het ontbreken van basische kationen als calcium hier niet meer kunnen overleven. Hierdoor worden nutriënten niet meer dieper in het bodemprofiel verdeeld. Het gevolg is dat de omzetting is aangewezen op schimmels, waardoor de afbraak van organisch materiaal veel trager gebeurt en er ieder jaar organisch materiaal op de bodem accumuleert (Desie, Vancampenhout, & Muys, 2021). Dit resulteert in een ophoping van fragmentatie, wat terug te zien is in de resultaten van de inventarisatie: de meeste van de onderzochte plots bevatten een F-laag van vijf tot zeven centimeter niet afgebroken materiaal. Een lage biologische activiteit in combinatie met een hoge stikstofdynamiek versnelt de ruimtelijke processen in het minerale en organische deel van het profiel (Kuyper, Berg, & Muys, z.d.).

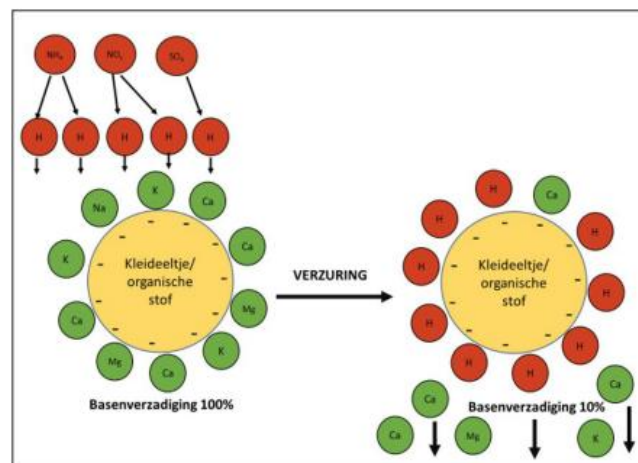
Uit de resultaten van de pH-metingen blijkt dat de pH onder de strooisellaag dusdanig laag is dat de vegetatie het zeer zwaar heeft. Zoals in paragraaf 2.1 is benoemd, is pH van de kritische grens voor bossen op arme zandgronden 3,2. Ruim 61% van de onderzochte plots heeft een pH lager dan 3,2, wat inhoudt dat deze zich bevinden in het ijzer-buffertraject, waarbij alleen planten die in de organische toplaag wortelen overleven (zie tabel 1 in paragraaf 2.1). Als gevolg van deze zure bodems lossen ijzer(hydr)oxides op. Deze zijn juist van belang voor het binden van fosfaat, waardoor nalevering hiervan naar het oppervlakte wordt geremd (Smolders et al., 2013). De meest zure geomorfologische verschijnselen blijken met name aan de oostkant van het projectgebied te liggen (zie figuur 13).

Uit de resultaten van de statistische analyse blijkt dat de pH-metingen onder de strooisellaag hier significant zuurder zijn dan op 50 centimeter diepte: ruim 94% van de onderzochte plots heeft op deze diepte een pH hoger dan 3,2. Op deze diepte is er met name sprake van het aluminium-buffertraject en in mindere mate het ijzer-buffertraject. Bij het aluminium-buffertraject is er sprake van het verdwijnen van gevoelige plantensoorten, met afname van biomassa-productie als gevolg. Naast ijzer is aluminium ook belangrijk bij zure omstandigheden. De voorraad aluminium en ijzerverbindingen kan bij bemesting in de bodem fosfaat vastleggen. Echter is hiervan geen sprake in het projectgebied, waardoor fosfaat nog steeds niet in de bodem gefixeerd kan worden (Kemmers, 1993).

Ook op deze diepte lijken de meest zure bodems gelegen aan met name de oostkant van het projectgebied, zoals dit weergegeven is in figuur 14. Een mogelijke verklaring voor het verschil in zuurgraad is dat er aan de noordwestkant meerdere akkers hebben gelegen, zoals te zien in bijlage 8a.

Uit de resultaten van de statistische analyse (zie bijlage 6a) blijkt dat de pH onder de strooisellaag significant lager is dan de pH op 50 centimeter diepte ($p < 0,001$). Dit houdt in dat er sprake is van een werkelijk verschil tussen deze groepen.

De omgekeerde basenverzadiging onder de strooisellaag valt voor 83% van de onderzochte plots in de klasse van 16% t/m 30%, wat aangeeft dat de bodem sterk is verzuurd (Mulder, Van Beek, & Dierx, 1991). Dit betekent dat basische kationen als magnesium (Mg), kalium (K), calcium (Ca) en natrium (Na) worden verdrongen door zure H^+ -ionen. Hierdoor bufferen de basische ionen het zuur in de bodem en neemt de basenverzadiging af (zie figuur 22). De basische kationen spoelen uit naar het grondwater, waardoor deze niet meer beschikbaar zijn voor de vegetatie: er is, zoals eerder vermeld, in dit gebied namelijk sprake van een hangwaterprofiel. Daarnaast neemt de concentratie vrij aluminium toe. Ook is er een kans op een toename van H^+ (R. Kraaijvanger, persoonlijke communicatie, 29 maart 2021). Op zandgronden gaat dit proces sneller, omdat er minder kleideeltjes en organische stof met basische kationen in de bodem zitten dan in klei- en veenbodems (Weijters, 2021).



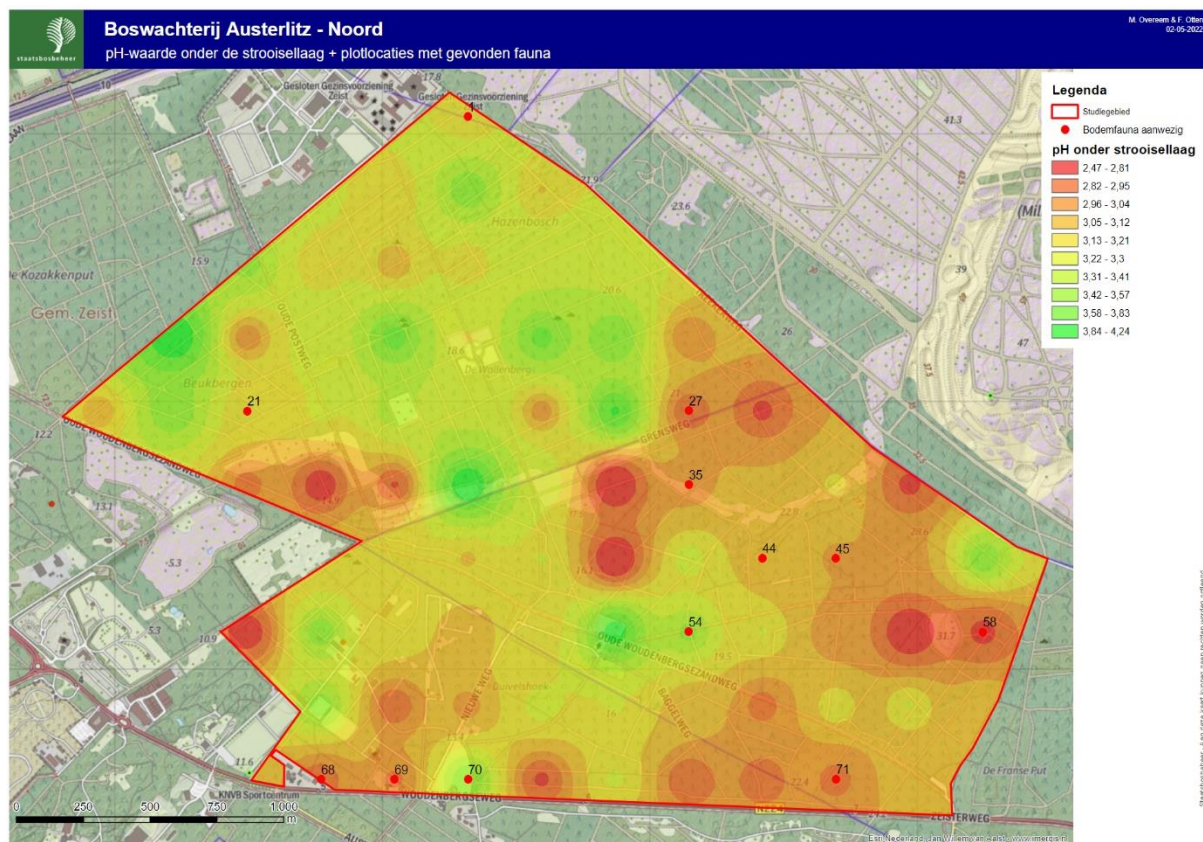
Figuur 22: Bij verzuring van de bodem verdringen zure H^+ ionen de basische kationen, waardoor de basenverzadiging afneemt (Weijters, 2021b).

De omgekeerde basenverzadiging op 50 centimeter diepte valt voor 31% van de onderzochte plots in de klasse van 16% t/m 30%. Echter, een groter deel van de onderzochte plots, namelijk 69%, valt onder de klasse van 0% t/m 15%.

De gemiddelde omgekeerde basenverzadiging onder de strooisellaag is 20% en op 50 centimeter diepte is deze gemiddeld 15%. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat door het lagere percentage kationen er nauwelijks nutriënten gebonden kunnen worden onder de strooisellaag, waardoor de CEC hier minder hoog is dan op 50 centimeter diepte (Rottink et al., 2021). Op deze diepte lijken er wel meer nutriënten gebonden te kunnen worden.

Uit de resultaten van de statistische analyse (zie bijlage 6b) blijkt dat de omgekeerde basenverzadiging onder de strooisellaag significant lager is dan de omgekeerde basenverzadiging op 50 centimeter diepte ($p = < 0,001$). Dit houdt in dat er sprake is van een werkelijk verschil tussen deze groepen.

De derde deelvraag (Wat zegt de aanwezige flora en fauna over de mineraalhuishouding van de bodem?) is beantwoord door het uitvoeren van fase 3 van het onderzoek. Opvallend is dat er indicerende faunasoorten zijn aangetroffen in plots waar de zuurgraad juist hoog is (zie figuur 23), met name aan de zuidoostkant van het projectgebied. Aan de noordwestkant van het projectgebied zijn juist geen indicerende faunasoorten aangetroffen, terwijl de pH-waarde daar over het algemeen hoger is. Deze bevindingen wijken af van de bodemeisen die de indicerende miljoenpoten lijken te stellen, zoals deze beschreven zijn in paragraaf 3.4. De afname van miljoenpoten in kalkarme bodems als in dit projectgebied, wordt ook benoemd in eerder uitgevoerd onderzoek (Van Diggelen et al., 2019).



Figuur 23: pH-waarde kaart met de genummerde plots waar bodemfauna is aangetroffen.

Uit de resultaten van de statistische analyse (zie bijlage 6c) blijkt dat de pH van de plots met fauna onder de strooisellaag niet significant hoger is dan de pH van de plots zonder fauna ($p = 0,287$). Dit houdt in dat er sprake is van een toevallig verschil tussen deze groepen.

Uit de resultaten van deelvraag 3 kan worden geconcludeerd dat de opgenomen flora en fauna geen grote rol hebben gespeeld bij het uitvoeren van het protocol, omdat florasoorten en paddenstoelen niet zijn aangetroffen in de plots. Dit wordt bevestigd door de uitkomst van de t-toets, welke zegt dat het verschil in resultaten toevallig is.

De hoofdvraag van dit onderzoek is als volgt: *Welke uitspraken kunnen er aan de hand van het opgesteld protocol gedaan worden over de verzuring in Austerlitz?* Aan de hand van het opgestelde protocol kan er op gebiedsniveau uitspraak gedaan worden over de verzuring van het gebied. Aan de hand van deelvraag 1 is duidelijk geworden dat boswachterij Austerlitz gelegen is aan de rand van een stuwwalcomplex. Er is sprake van een hangwaterprofiel, waardoor er geen (gebufferd) grondwater aanwezig is. Maatregelen tegen verzuring waarbij gebruik wordt gemaakt van lokaal grondwater zijn in dit gebied dus niet mogelijk.

Aan de hand deelvraag 2 waarbij pH-metingen op verschillende dieptes zijn verricht is er een gedetailleerd en concreet overzicht geschetst van het gebied. Ook de omgekeerde basenverzadiging die aan de hand van de pH-metingen is berekend, zijn veelzeggend en bieden directe data. Uit deze pH-metingen blijkt dat de bodem daadwerkelijk verzuurd is, al zijn de pH-waardes die in de inleiding benoemd werden niet tegengekomen. De resultaten van de omgekeerde basenverzadiging bevestigen daarnaast het beeld wat de pH-metingen hebben uitgewezen.

Tot slot is bij de uitwerking van deelvraag 3 gebleken dat op het moment van uitvoeren deze fase niet zoveel als gehoopt heeft kunnen toevoegen aan het protocol. Een voorbeeld hiervan is het niet of nauwelijks waarnemen van flora en fauna. Wel zijn er op verschillende plekken indicerende miljoenpoten gevonden, maar veel hiervan zijn op plekken aangetroffen waar deze op basis van de theorie als beschreven in paragraaf 3.4 niet zouden kunnen voorkomen. Voor het uitblijven van veel flora- en faunasoorten kunnen meerdere oorzaken zijn, die in paragraaf 6.1 verder worden toegelicht.

Samenvattend kan geconstateerd worden dat met name fase 2 van het onderzoek veelzeggend is. Fase 3 is tijdens de uitvoering van dit protocol nog niet geheel uit de verf gekomen: mogelijk is dit van toegevoegde waarde bij een tweede uitvoering van ditzelfde protocol. Fase 1 van het onderzoek is gemakkelijk in kaart te brengen en kan een basis bieden voor mogelijke, gebiedsgerichte maatregelen. Feit is dat aan de hand van dit protocol een compleet beeld kan worden geschetst van de staat van verzuring in gebieden als boswachterij Austerlitz.

6. Discussie en aanbevelingen

Tijdens het uitvoeren van het onderzoek en het schrijven van deze scriptie zijn er enkele punten voorbij gekomen die ter discussie zijn komen te staan. Deze worden in paragraaf 6.1 toegelicht. Vervolgens worden in paragraaf 6.2 enkele aanbevelingen gedaan die uit dit onderzoek voort zijn gekomen.

6.1 Discussie

Volgorde uitvoering protocol

In de eerste versie van het protocol stond dat het van belang was de volgorde aan te houden als hoe deze daarin beschreven was (zie bijlage 2), maar vanwege efficiëntie gedurende de uitvoering van het onderzoek is ervoor gekozen de volgorde aan te passen waar dit handig was. Met deze reden zijn de drie fasen van onderzoek ontstaan, waarbij iedere fase gericht is op een specifiek onderdeel. Zo bestaat fase 1 uit de onderdelen van het protocol die aan de hand van bureaustudie konden worden uitgevoerd (hydrologie en geomorfologie). Fase 2 bestond uit onderdelen die niet seizoenafhankelijk waren (humusprofiel en zuurgraad), waardoor deze te combineren waren tijdens de uitvoering van de inventarisatie. Fase 3 bevat wel seizoenafhankelijke onderdelen (flora en fauna), waardoor ook dit tijdens de inventarisatie te combineren was. Na afronding van dit onderzoek is gesteld dat de volgorde van het onderzoek zoals deze gesuggereerd werd in de eerste versie van het protocol, bij de uitvoering niet van essentieel belang is.

Grootte rastergrids

De grootte van de rastergrids is voor de uitvoering van het protocol gedurende dit onderzoek bepaald op één plot per 7,5 hectare. Voor deze grootte rastergrids is gekozen omdat het uiteindelijke aantal van 77 plots haalbaar zou moeten zijn in de tijd die voor dit onderzoek beschikbaar was gesteld. Het aanhouden van een andere rastergrootte bij andere gebieden is mogelijk en biedt bij een kleiner rastergrid nog exactere data. Het gebruik van een andere grootte van rastergrids zal door het verschil in data veranderen op detailniveau, wat het vergelijken van gebieden lastiger kan maken. Het gebruik van een groter rastergrid voor het krijgen van een eerste indruk wordt niet aangeraden, omdat er door de grote verschillen in detailniveau een onbetrouwbaar beeld kan worden geschetst. Bij een oppervlakte zoals het projectgebied (566 hectare) is het aanhouden van dit raster genoeg om een conclusie te trekken op gebiedsniveau.

Wanneer er bijvoorbeeld een klein gebied geïnventariseerd wordt, zullen er kleinere rastergrids gebruikt moeten worden om iets te kunnen zeggen op gebiedsniveau.

Verband tussen pH en geomorfologie

Na het opstellen van een geomorfologische kaart en het opnemen van de pH-waardes zijn beide kaartlagen over elkaar heen gelegd om te kijken of hier zichtbare verbanden in terug te zien waren (zie bijlage 9). Op basis van de combinatie van deze kaartlagen bleken er geen verbanden getrokken te kunnen worden tussen de geomorfologische situatie en de pH-waarde.

Verband tussen pH en hoofdvegetatie

Voorafgaand aan de inventarisatie behorende bij het protocol is er als toevoeging besloten om per plot de hoofdvegetatie (boslaag) op te nemen, met het idee verbanden te zoeken tussen de hoofdvegetatie en de pH (zie bijlage 10). Beide kaartlagen zijn over elkaar heen gelegd maar het is zeer lastig gebleken verbanden te vinden, mede doordat de pH-metingen niet op opstandniveau zijn uitgevoerd. Met deze reden is er geen verdere aandacht besteed aan de hoofdvegetatie.

Omgekeerde basenverzadiging als indicator

Anders dan bij de basenverzadiging is er bij de omgekeerde basenverzadiging geen sprake van een concreet percentage, maar van een indicerend getal. Daarom is het lastig klassen te hangen aan de getallen die uit het onderzoek naar voren zijn gekomen. Deze verzamelde gegevens zijn minder concreet dan een percentage basenverzadiging, maar bieden een kostenbesparend houvast bij dit protocol: met name omdat de omgekeerde basenverzadiging de resultaten van de pH-waarden bevestigt.

Resultaten flora- en faunaonderzoek

Tijdens het uitvoeren van fase 3 van het protocol is er gezocht naar indicerende flora, paddenstoelen, miljoenpoten, pissebedden en huisjesslakken. Hierbij werden de indicerende soorten nauwelijks gevonden. De eerste mogelijke oorzaak hiervan is dat deze fase van het protocol te vroeg in het seizoen is uitgevoerd. Door de beschikbare tijd heeft de inventarisatie in de eerste twee weken van april plaatsgevonden: dit terwijl veel indicerende flora nog niet tot bloei of vegetatieve kenmerken (bladbezetting) is gekomen. Ook zijn indicerende paddenstoelen een stuk onopvallender in deze tijd van het jaar.

Pissebedden zijn bijna enkel aangetroffen onder schorsplaten van stobben. Echter zijn deze, volgens protocol, alleen in de strooisellaag gezocht. Dit terwijl pissebedden met name veel onder dode schorsplaten zijn te vinden. Ook zijn pissebedden nachtactief, waardoor de trefkans tijdens het overdag uitgevoerde onderzoek minder groot is gebleken (De Smedt & Vandekerckhove, 2020).

Het jaargetijde kan voor het zoeken naar huisjesslakken ook een belangrijke rol hebben gespeeld. Naast dat ook huisjesslakken vooral nachtactief zijn, is het voorjaar een minder goede tijd om landslakken te zoeken omdat zij op dat moment minder actief zijn (Mabelis & Van Velden, 1992).

Een tweede oorzaak kan zijn dat de bodem dusdanig verzuurd is dat de florasoorten en paddenstoelen van gebufferde bodems daadwerkelijk niet meer kunnen groeien in het projectgebied. Zoals in tabel 1 te zien is, is er in het projectgebied sprake van een aluminium-buffertraject en een ijzer-buffertraject, waarbij gevoelige plantensoorten verdwijnen of zelfs alleen planten die in de toplaag wortelen kunnen overleven.

Determinatie miljoenpoten

Tijdens fase 3 van de uitvoering van het onderzoek is gebleken dat de vijf typen miljoenpoten vrij lastig te determineren waren. Hier was vooral sprake van bij het onderscheiden van de dikwang/ribbelmiljoenpoot en de slangenmiljoenpoot. Dit kwam mede doordat sommige exemplaren niet groter waren dan 10 millimeter, waardoor het mogelijk is dat velen over het hoofd zijn gezien. De borstelmiljoenpoot en oprolmiljoenpoot zijn gedurende de inventarisaties helemaal niet gevonden, waardoor over de determinatie van deze soorten geen oordeel geveld kan worden.

Significantie t-toetsen

Bij de t-toetsen tussen de pH-waarde en de basenverzadiging onder de strooisellaag en op 50 centimeter diepte is gebleken dat er sprake is van een significant verschil. Dit betekent dat de kans klein is dat tijdens dit onderzoek het gevonden verschil toevallig is geweest, maar niet dat dit vanzelfsprekend is bij alle vergelijkbare onderzoeken.

Bij de t-toets tussen de pH-waarde van plots met fauna en plots zonder fauna is er geen significant verschil aangetoond. Dit zegt niet dat er geen verschil is, maar dat dit verschil in dit onderzoek niet is aangetoond. Een oorzaak hiervoor zou bijvoorbeeld kunnen zijn dat het onderzoek in het verkeerde jaargetijde is uitgevoerd. Deze uitkomsten kunnen dus verschillen bij het uitvoeren van hetzelfde onderzoek op andere locaties.

Aanvullend onderzoek

Om te controleren of er daadwerkelijk verschil zit tussen de momenten van uitvoering van het protocol, is er na afronding van het reguliere onderzoek aanvullend onderzoek gedaan. In boswachterij Austerlitz en in boswachterij Leersum zijn drie plots aangewezen waar (opnieuw) onderzoek is gedaan naar de flora en fauna. De plots in boswachterij Austerlitz zijn geselecteerd op de afwezigheid van fauna tijdens de eerste, reguliere inventarisatie. Ook moeten deze plots een pH-waarde hebben die rond het gemiddelde hangt, namelijk 3,15 onder de strooisellaag. Omdat plotlocaties 8, 39 en 52 aan deze voorwaarden voldeden, zijn deze nader onderzocht. De plotlocaties in Leersum zijn inzichtelijk gemaakt op de kaart in bijlage 11. Ook deze inventarisatieformulieren zijn terug te vinden in de externe bijlage "Inventarisatieformulieren protocol verzuring".

Opvallend was dat er in alle drie de plots ditmaal wel pissebedden in de strooisellaag werden gevonden, namelijk respectievelijk 1, 1 en 3. Dit kan erop wijzen dat de reguliere inventarisaties inderdaad te vroeg in het seizoen zijn uitgevoerd. Daarentegen is er in de drie plots in boswachterij Leersum maar één slangenmiljoenpoot gevonden. Deze plots zijn in dit gebied geselecteerd op gelijkenissen die zij tonen met het projectgebied: er is gekeken naar vergelijkbare hoofdvegetaties die op een geomorfologisch bodemtype liggen die ook in boswachterij Austerlitz aanwezig zijn.

De pH-metingen en de berekende omgekeerde basenverzadiging in deze plots wezen uit dat de omstandigheden in Leersum op het eerste gezicht vergelijkbaar zijn met Austerlitz. Het uitblijven van fauna op deze plek kan dus te maken hebben met de zuurgraad. Echter zegt dit op het moment van het afnemen van het onderzoek nog niks over de aangetroffen fauna, omdat deze in Austerlitz wel zijn aangetroffen en in Leersum niet. De resultaten van dit aanvullende onderzoek bevestigen noch ontkrachten de bevindingen die zijn gedaan aan de hand van de uitvoering van het protocol in boswachterij Austerlitz. De omvang van dit aanvullende onderzoek is wel dusdanig klein dat hier verder geen aandacht aan wordt besteed. Wel kan het voor de opdrachtgever wijselijk zijn om de omstandigheden in boswachterij Leersum in de gaten te houden, omdat alles erop wijst dat ook hier sprake is van verzuring.

Duurzaamheid

Het testen en uitwerken van het protocol heeft ervoor gezorgd dat de opdrachtgever Staatsbosbeheer, en mogelijk andere instanties daarbuiten, met meerdere mensen binnen de organisatie de gewenste informatie kunnen verkrijgen. Hierbij kunnen niet alleen boswachters, maar ook vrijwilligers en andere veldmedewerkers het veld in om het protocol te gebruiken. Op deze manier kan Staatsbosbeheer snel en veel informatie vergaren die iets zegt over de staat van verzuring. Wanneer er uit wordt gegaan van een rastergrid van 7,5 hectare bij een oppervlakte van 100 hectare, zal er naar schatting 20 uur nodig zijn voor de uitvoering van alles fases van het protocol. Hieronder valt de uitvoering van de inventarisaties, maar niet het interpreteren van de resultaten en het maken van bijbehorend kaartmateriaal.

Het in kaart brengen van de staat van verzuring van een gebied geeft de beheerder van het desbetreffende gebied informatie waar de verzuring zo ernstig (of juist niet) is, dat er gerichte beheermaatregelen uitgevoerd moeten worden. Deze plekken zijn inzichtelijk gemaakt door het kaartmateriaal wat is opgesteld na het verzamelen van alle gegevens. Ook helpt het de gebruikers van het protocol met het kunnen aantonen van de ernst van de verzuringsproblematiek: wanneer dit in meerdere gebieden gebeurt kan de ernst van de situatie duidelijk gemaakt worden aan instanties als de provincies, om druk te zetten achter het zo snel mogelijk verhelpen van dit probleem.

Het verzamelen van veel en concrete informatie aan de hand van dit protocol, zorgt voor het snel inzichtelijk maken van de staat van verzuring. Doordat het protocol bedoeld is om door veel mensen te kunnen laten uitvoeren, waaronder vrijwilligers, bespaard dit de opdrachtgever veel geld: tegelijkertijd krijgen zij wel de nodige, betrouwbare informatie binnen. Het verkrijgen van de nodige informatie in dit protocol wordt onder andere gedaan door kostenbesparende handelingen te doen als het berekenen van de omgekeerde basenverzadiging: dit levert vergelijkbare informatie, maar is goedkoper dan het laten analyseren van de daadwerkelijke basenverzadiging.

Factoren naast verzuring

Na het verzamelen en interpreteren van alle onderzoeksgegevens zijn er enkele locaties nagelopen met boswachter beheer Peter Frans Koops, welke naar verwachting een hoge of juist lage zuurgraad zouden hebben. Hier bleek dat er een aanzienlijk aantal bospercelen een redelijke mate van verjonging bevat, terwijl deze volgens de pH-metingen juist onder de kritische grens van 3,2 ligt. Op andere plekken, waar de bosopstand zichtbaar een verminderde vitaliteit had, bleek de pH-waarde juist boven de kritische grens te liggen.

Hieruit blijkt dat er meer factoren dan alleen verzuring meespelen bij de conditie van het bos. Enkel op basis van de pH-waarde kan er geen onderbouwde conclusie worden getrokken over de achteruitgang van een bos. Het blijft een kwestie van allerlei factoren die meespelen bij vitaliteit en het beheer van het bos, zoals verdroging of andere extremen van klimaatverandering.

6.2 Aanbevelingen

Volgorde protocol

Zoals in de discussie is beschreven, is de aangehouden volgorde in de eerste versie van het protocol enigszins aangepast om de uitvoering van het onderzoek en bijbehorende efficiëntie te optimaliseren. Het opdelen in fases van het onderzoek maakt de uitvoering overzichtelijker omdat hierbij onderscheid wordt gemaakt in de geomorfologische situatie, het humusprofiel en zuurgraad en de mineraalhuishouding.

Het faseren van het onderzoek, wat niet zozeer werd aangeraden in de eerste versie van het protocol, heeft geholpen het onderzoek in de beschikbare tijd van 20 weken zo efficiënt mogelijk uit te voeren. Het vroegtijdig maken van een pH-kaart geeft al vroegtijdig in het onderzoek een duidelijke basis wat betreft de zuurgraad van het gebied. Het aanhouden van deze fases is ook van groot belang bij het herhalen van het onderzoek, wat later in deze paragraaf aangehaald wordt.

Verband tussen pH en geomorfologie

Gedurende het uitwerken van de onderzoeksresultaten is de kaartlaag met de pH-waarden over de geomorfologische kaart gelegd (bijlage 9). Hieruit bleek dat er geen aantoonbare conclusies te trekken waren over de geomorfologische situatie in het projectgebied. Het verband kan per bodemtype verschillen, waardoor dit in andere gebieden zoals bij kalkrijke gronden wel van betekenis kan zijn. Met deze reden is het advies dit onderdeel dan ook wel te behouden.

Historisch grondgebruik

Omdat de spreiding in pH-waarde groot is gebleken, zijn er verschillende historische kaarten onder de kaartlaag met pH-waarden neergelegd. Uit dit kaartmateriaal blijkt mogelijk waarom de pH-waarde op sommige plekken hoger is dan op andere plekken. Deze informatie kan voor de beheerder van belang zijn. Met deze reden wordt het dan ook aanbevolen dit te herhalen in toekomstige uitvoeringen van het protocol.

Hoofdvegetatie

Met dezelfde reden als het historisch grondgebruik is de hoofdvegetatie opgenomen, namelijk om te kijken of er verbanden met de pH-waarden te vinden zijn. Na het over elkaar heen leggen van beide kaartlagen is er getracht verbanden te leggen. Omdat er lastig verbanden te leggen zijn, wordt het aanbevolen dit in vervolgonderzoeken niet toe te passen. Deze kaart is terug te vinden in bijlage 10. Het opnemen van de hoofdvegetatie kan wel op detailniveau (per plot) van belang zijn voor de beheerder, om bijvoorbeeld gerichte beheeringrepen toe te passen per hoofdvegetatietype. Met deze reden wordt het wel aanbevolen deze hoofdvegetatie op te blijven nemen.

Toevoegen F-laag

Het inventariseren van de F-laag was niet opgenomen in de eerste versie van het protocol, maar is wel toegevoegd aan het inventarisatieformulier wat is opgesteld tijdens het uitvoeren van het onderzoek. Dit onderzoekscomponent is van toegevoegde waarde gebleken, omdat de dikte van de F-laag een indicatie geeft van het bodemleven. Het opnemen van de F-laag kan de uitkomsten van het flora- en faunaonderzoek zo versterken. Het wordt daarom ook aanbevolen om de F-laag in toekomstige onderzoeken ook op te nemen.

Uitvoeringen protocol

Gedurende de uitvoering van de inventarisaties is gebleken dat fase 3 van het onderzoek niet de resultaten heeft gebracht als dat vooraf was gehoopt. Het jaargetijde speelde hierbij een grote rol. Om zoveel mogelijk inventarisatiegegevens te verzamelen, wordt er zoals beschreven in de eerste versie van het protocol aangeraden om twee veldseizoenen te bemonsteren.

Het advies is om het protocol voor het eerst in de tweede helft van mei uit te voeren. In deze periode is er namelijk de grootste kans 4 van de 5 indicerende planten bloeiend te zien, namelijk de bosanemoon, vingerhoedskruid, rankende helmbloem en dalkruid. Alleen brede wespenorchis bloeit net buiten deze periode, namelijk vanaf juli. Desondanks zijn de vegetatieve kenmerken van deze plant goed te herkennen.

De tweede uitvoering van het protocol wordt aanbevolen uit te voeren tussen de tweede helft van september tot half oktober. In deze periode is namelijk de trefkans om huisjesslakken te vinden het grootst. Huisjesslakken zijn vooral dan actief en de meeste slakken zijn volwassen in deze periode (Mabelis & Van Velden, 1992). Ook de indicerende paddenstoelen zijn in deze tijd van het jaar gemakkelijker te vinden. De grond is dan namelijk nog relatief warm en de doorgaans vele regen zorgt voor een vochtige ondergrond. Een combinatie van deze factoren biedt schimmels als paddenstoelen optimale omstandigheden om te groeien (IVN Natuureducatie, 2017).

In beide periodes voor de twee uitvoeringen van het protocol is er goede kans voor het treffen van miljoenpoten. Zoals in paragraaf 3.5 is te lezen, zijn de indicerende miljoenpoten voornamelijk actief bij een temperatuur tussen de 4°C en 12°C graden. Ondanks dat pissebedden vooral nachtactief zijn, moeten zij in beide periodes te vinden kunnen zijn.

Gebruik protocol

Het verzamelen van de resultaten in de inventarisatieformulieren heeft geen grote hoeveelheid tijd gekost. Daarom lijkt het toekomstige gebruik van het protocol op relatief snelle wijze te kunnen zorgen voor veel informatie, waardoor de verzuring nog beter in kaart gebracht kan worden: hiermee kan aan de wens van de opdrachtgever worden voldaan. Om zo efficiënt mogelijk te werken, wordt het aanbevolen de inventarisatiegegevens met behulp van een smartphone of een tablet in het veld digitaal in te vullen, bijvoorbeeld in Excel. Op deze manier worden de gegevens direct opgeslagen en wordt voorkomen dat na het verzamelen van de gegevens deze ook nog op de computer moeten worden ingevoerd.

Literatuurlijst

Actueel Hoogtebestand Nederland. (z.d.). *AHN Viewer*. Geraadpleegd op 23 februari 2022, van <https://www.ahn.nl/ahn-viewer>

Arnolds, E. (2015 maart). *PADDENSTOELEN IN WATERWINGEBIED 'RUINERWOLD' VAN DE WATERLEIDINGMAATSCHAPPIJ DRENTHE*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van <https://paddenstoelenwerkgroepdrent.files.wordpress.com/2019/07/paddenstoelen-op-wmd-terrein-ruinerwold.-rapport-pwd.-2015-03-24-pdf.pdf>

Berg, M. P., & Franken, O. (2016). *De cruciale rol van bodemtype op de verspreiding van bodemfauna*. Geraadpleegd op 30 maart 2022, van <https://natuurtijdschriften.nl/pub/1011445/EB2016076002003.pdf>

Bobbink, R. (2021, 16 maart). *Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse*. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van https://www.greenpeace.org/static/planet4-netherlands-stateless/2021/05/b0f273ff-0bobbink2021_rapportstikstofgreenpeace_def-2.pdf

Bobbink, R., Bergsma, H., Den Ouden, J., & Weijters, M. (2017 februari). *Na het zuur geen zoet?* Geraadpleegd op 15 februari 2022, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/417801>

Bobbink, R., Van den Berg, L., Tomassen, H., & Weijters, M. (2013 juli). *Effecten van verhoogde stikstofdepositie: is herstelbeheer zinvol?* Geraadpleegd op 4 februari 2022, van <https://natuurtijdschriften.nl/pub/580488/DLN2013114004005.pdf>

BODENTIER hoch 4. (z.d.-a). *Glomeris marginata* | *Bodentier*. Geraadpleegd op 30 maart 2022, van <https://bodentierhochvier.de/steckbrief/glomeris-marginata/>

BODENTIER hoch 4. (z.d.-b). *Mycogona germanica* | *Bodentier*. Geraadpleegd op 30 maart 2022, van <https://bodentierhochvier.de/steckbrief/mycogona-germanica/>

BODENTIER hoch 4. (z.d.-c). *Pinselfüßer (Polyxenida)*. Geraadpleegd op 30 maart 2022, van <https://bodentierhochvier.de/erleben/doppelfuesser/pinselfuesser-polyxenida/>

BODENTIER hoch 4. (z.d.-d). *Polydesmus angustus* | *Bodentier*. Geraadpleegd op 30 maart 2022, van <https://bodentierhochvier.de/steckbrief/polydesmus-angustus/>

BODENTIER hoch 4. (z.d.-e). *Proteroiulus fuscus* | *punctatus*. Geraadpleegd op 30 maart 2022, van <https://bodentierhochvier.de/steckbrief/cylindroiulus-punctatus/>

Bosgroep Zuid Nederland. (2018, 18 juli). *Bodemdegradatie*. Geraadpleegd op 23 februari 2022, van <https://www.boseco.nl/problemen/bodemdegradatie/>

Bosgroepen. (z.d.). *Naar een gezonde bosbodem op zandgrond*. Geraadpleegd op 15 februari 2022, van <https://bosgroepen.nl/naar-een-gezonde-bosbodem-op-zandgrond/>

Buijsman, E. (2008). *Gisteren, vandaag, morgen Een terugblik op het probleem van de zure regen*. Geraadpleegd op 23 februari 2022, van https://www.inzichten.nl/reeksen/gisteren_vandaag_morgen.pdf

Buijsman, E., Aben, J. M. M., Hettelingh, J.-P., Van Hinsberg, A., Koelemeijer, R. B. A., & Maas, R. J. M. (2010 augustus). *Zure regen een analyse van dertig jaar verzuringsproblematiek in Nederland*. Geraadpleegd op 24 februari 2022, van https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/500093007_0.pdf

CBS. (2022). *Stikstofdepositie*. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van [https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-stikstof/stikstofdepositie#:~:text=Stikstofdepositie%20is%20het%20neerslaan%20van,reactieve%20stikstofverbindingen%20uit%20de%20lucht.&text=Reactieve%20stikstofverbindingen%20komen%20in%20de,en%20stikstofoxiden%20\(NOx\)](https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-stikstof/stikstofdepositie#:~:text=Stikstofdepositie%20is%20het%20neerslaan%20van,reactieve%20stikstofverbindingen%20uit%20de%20lucht.&text=Reactieve%20stikstofverbindingen%20komen%20in%20de,en%20stikstofoxiden%20(NOx)).

Compendium voor de Leefomgeving. (2013, 12 juni). *Vermesting en verzuring: oorzaken en effecten* | *Compendium voor de Leefomgeving*. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl017808-vermesting-en-verzuring-oorzaken-en-effecten>

Cuppen, H. P. J. J., & Timmermans, W. (1987). *Grondwaterrelaties en het milieu van stilstaande wateren op de Oost-Veluwe*. Geraadpleegd op 28 april 2022, van <https://natuurtijdschriften.nl/pub/494578/DLN0881141183.pdf>

De Jonge, D. (1969). *Het bos als recreatiegebied: uitkomsten van gedragsstudies*. Geraadpleegd op 10 maart 2022, van <https://edepot.wur.nl/269118>

De Keersmaeker, L., Dhiedt, E., Vandekerkhove, K., & Verheyen, K. (2020). *Dood hout: bron van stikstof of buffer tegen verzuring?* Geraadpleegd op 21 februari 2022, van https://purews.inbo.be/ws/portalfiles/portal/18212425/DeKeersmaeker_etal_2020_Bosreservatennieuws_3.pdf

De Molenaar, J. G., & Jonkers, D. A. (1993). *De invloed van stikstof in de ontlasting van honden op de vegetatie in voedselarme bos- en natuurterreinen*. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van <https://edepot.wur.nl/390970>

De Smedt, P., & Vandekerkhove, K. (2020). *Pissebedden in bosgebieden*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van https://purews.inbo.be/ws/files/18212943/DeSmedt_Vandekerkhove_2020_Bosreservatennieuws_9.pdf

De Vos, B., De Keersmaeker, L., & Van der Aa, B. (2020). *Advies over duurzaam bosbeheer in de Kempen in het licht van verzuring en klimaatverandering*. Geraadpleegd op 24 februari 2022, van <https://purews.inbo.be/ws/portalfiles/portal/19037589/INBO.A.3641.pdf>

De Vries, P. W. (2018, 8 mei). *Verzuring bosbodems gaat door ondanks forse afname zure depositie*. Geraadpleegd op 2 februari 2022, van <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Verzuring-bosbodems-gaat-door-ondanks-forse-afname-zure-depositie.htm>

De Vries, W. (2008). *Verzuring: oorzaken, effecten, kritische belastingen en monitoring van de gevolgen van ingezet beleid*. Geraadpleegd op 2 februari 2022, van https://esites.vito.be/sites/reflabos/onderzoeksrapporten/Online%20documenten/rapport_pH_2006.pdf

De Vries, W. (2017, 17 november). *Verzuring bosbodems gaat door ondanks forse afname zure depositie*. Geraadpleegd op 5 april 2022, van <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Verzuring-bosbodems-gaat-door-ondanks-forse-afname-zure-depositie.htm>

De Vries, W., Bolhuis, P., Van de Burg, A., & Bobbink, R. (2017 september). *Doorgaande verzuring van Oorzaken en gevolgen voor het boscossysteem*. Geraadpleegd op 15 februari 2022, van <https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/180318/180318.pdf>

De Waal, R. W., & Bijlsma, R. J. (2003). *Bossen van de keileemgronden*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/37668>

Dibevo. (2020, 17 september). *Nieuwe cijfers: meer dan 27 miljoen huisdieren in Nederland*. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van <https://dibevo.nl/nieuws/nieuwe-cijfers-meer-dan-27-miljoen-huisdieren-in-nederland>

Desie, E., Vancampenhout, K., & Muys, B. (2021, 14 oktober). *De donkere kant van het bos: kansen voor rijkstrooisel*. Geraadpleegd op 5 april 2022, van <https://lirias.kuleuven.be/retrieve/648661>

Esri Nederland. (2021, 5 mei). *Kwel en infiltratie - huidig*. Geraadpleegd op 9 maart 2022, van <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=19393fceb49e40f486e7b6ebd3ae1f79>

Flora van Nederland. (z.d.-a). *Bosanemoon - Anemone nemorosa*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van <https://www.floravannederland.nl/planten/bosanemoon>

Flora van Nederland. (z.d.-b). *Brede wespenorchis - Epipactis helleborine*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van https://www.floravannederland.nl/planten/brede_wespenorchis

Flora van Nederland. (z.d.-c). *Vingerhoedskruid - Digitalis purpurea*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van <https://www.floravannederland.nl/planten/vingerhoedskruid>

Geologische Dienst Nederland. (z.d.). *Grondwaterstanden in Beeld*. Geraadpleegd op 10 maart 2022, van <https://www.grondwatertools.nl/gwsinbeeld/>

Hoeks, J. (1983 november). *Verzuring van bodem en grondwater als gevolg van atmosferische depositie*. Geraadpleegd op 15 februari 2022, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/213834>

HydroLogic BV & Acacia Water BV. (2021). *Factsheets Visie Blauwe Agenda Utrechtse Heuvelrug*. Amersfoort, Nederland: HydroLogic BV.

IVN Natuureducatie. (2017, 13 september). *Waarom paddenstoelen in de herfst groeien*. Geraadpleegd op 3 mei 2022, van <https://www.ivn.nl/2uurnatuur-challenge/paddenstoelen/waarom-paddenstoelen-in-de-herfst-groeien>

Janssen, W. (2021, 20 januari). *Wind in Nederland*. Geraadpleegd op 30 mei 2022, van <https://www.weerplaza.nl/weerinhetnieuws/klimaat/wind-in-nederland/6820/#:%7E:text=In%20alle%20maanden%20is%20zuidwest,vaak%20voorkomen%20als%20de%20zuidwestenwinden.>

Kemmers, R. H. (1993). *Ecohydrologie*. Geraadpleegd op 31 maart 2022, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/356295>

Jeekel, C. A. W. (1978, 1 februari). *Voorlopige atlas van de verspreiding der Nederlandse miljoenpoten (Diplopoda)*. Geraadpleegd op 30 maart 2022, van <https://repository.naturalis.nl/pub/506338/VTG1978015001.pdf>

Kennisnetwerk OBN. (z.d.). *Bedreigingen en kansen - Het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN)*. Geraadpleegd op 23 februari 2022, van <https://www.natuurkennis.nl/natuurtypen/n16-bossen-met-productiefunctie/n16-04-vochtig-bos-met-productie/bedreigingen-en-kansen-n1604/>

Kennisplatform CROW. (z.d.). *Hangwaterprofiel*. Geraadpleegd op 31 maart 2022, van <https://begrippen.crow.nl/thesaurus/nl/page/?uri=https%3A%2F%2Fdata.crow.nl%2Fthesaurus%2Fterm%2FD32AD5CC-0847-495D-9709-32A5EAC9D6A2>

Kostentracker. (z.d.). *Bodemanalyse: welke kosten moet u berekenen?* Geraadpleegd op 8 maart 2022, van <https://kostentracker.nl/bodemanalyse-met-deze-kosten-moet-u-rekening-houden>

Kuyper, T., Berg, M., & Muys, B. (z.d.). *Voedselweb*. Geraadpleegd op 5 april 2022, van https://www.researchgate.net/profile/Thom-Kuyper/publication/241872255_Voedselweb/links/02e7e522eb8e79aaaf000000/Voedselweb.pdf

Lucassen, E. C. H. E. T., Van den Berg, L. J. L., Aben, R. C. H., Smolders, A. J. P., Roelofs, J. G. M., & Bobbink, R. (2014). *Bodemverzuring en achteruitgang zomereik*. Geraadpleegd op 28 april 2022, van <https://edepot.wur.nl/327670>

Mabelis, A. A., & Van Velden, M. C. (1992 september). *Bosjes in het cultuurlandschap als ecologische eilanden voor ongewervelden; de rol van oppervlakte en isolatie*. Geraadpleegd op 2 mei 2022, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/427431>

Majoer, G., De Groot, A., Lever, J., & B.L. (2013 mei). *De slakkenfauna van de Cannerberg*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van <https://natuurtijdschriften.nl/pub/1003061/NAHM2013102005003.pdf>

Martens, A. (z.d.). *Stuwwal - Geologie van Nederland*. Geraadpleegd op 31 maart 2022, van <https://www.geologievannederland.nl/landschap/landschapsvormen/stuwwal>

Mettrop, I. (2009, 1 december). *IJZERSUPPLETIE IN LAAGVEENPLASSEN; EEN MITIGERENDE MAATREGEL TER VERVANGING VAN VERDWENEN IJZERRIJKE KWEL*. Geraadpleegd op 2 februari 2022, van <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202012/STOWA%202012-43/NL138%20Mettrop%202009.pdf>

Mulder, J., Van Beek, C. G. E. M., & Dierx, H. A. L. (1991). *Effecten van atmosferische depositie op de chemische samenstelling van grondwater onder bos*. Geraadpleegd op 4 april 2022, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/375001>

Odé, B., Groen, K., & De Blust, G. (2001). *Het Nederlandse en Vlaamse heidelandschap*. Geraadpleegd op 19 april 2022, van <https://natuurtijdschriften.nl/pub/495307/DLN1021451494.pdf>

Ozinga, W. A., Arnolds, E., Keizer, P., & Kuyper, T. W. (2013 december). *Paddenstoelen in het natuurbeheer*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van https://www.researchgate.net/profile/Wim-Ozinga/publication/264037242_Macrofungi_in_conservation_management_Part_2_Mycoflora_per_habitat_type_OBN_report_Ministry_of_Economic_Affairs_Den_Haag_The_Netherlands/links/0deec53c90a0198f4c000000/Macrofungi-in-conservation-management-Part-2-Mycoflora-per-habitat-type-OBN-report-Ministry-of-Economic-Affairs-Den-Haag-The-Netherlands.pdf

Rottink, A., Termorshuizen, A., Reijneveld, A., Van Vliet, P., Ketelaar, I., & Hermans, M. (2021, 3 februari). *CEC*. Geraadpleegd op 5 april 2022, van <https://nutrinorm.nl/bodem/wat-levert-de-bodem-op/cec/>

Smolders, A., Van Diggelen, J., Loermans, J., Van Dijk, G., Van Mullekom, M., & Lamers, L. (2013 juli). *Het veenweidegebied: pompen en verzuipen?* Geraadpleegd op 31 maart 2022, van https://www.researchgate.net/profile/Gijs-Van-Dijk/publication/273459239_Het_veenweidegebied_pompen_en_verzuipen/links/55152e6d0cf2b5d6a0e93b31/Het-veenweidegebied-pompen-en-verzuipen.pdf

Timmermans, W., & Cuppen, H. P. J. J. (1988). *Een gemeentelijk landschapsecologisch onderzoek naar effecten van vermessing op bosvegetatie*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van <https://natuurtijdschriften.nl/pub/494649/DLN0891821886.pdf>

Provincie Gelderland. (2021, 28 oktober). *Gelderland herstelt de Veluwe* [Videobestand]. Geraadpleegd van <https://www.youtube.com/watch?v=v7m0DGhxukl&feature=youtu.be>

Staatsbosbeheer. (2006). *Austerlitz*. Geraadpleegd op 15 februari 2022, van <https://web.archive.org/web/20160305032053/http://www.tinekezwijgers.nl/pdf/staatsbosbeheer-austerlitz-algemene-folder.pdf>

Van Delft, B. (2004). *Veldgids Humusvormen*. Geraadpleegd op 5 april 2022, van <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/33187>

Van den Burg, J. (2001). *Hoe men in het bosonderzoek kan omgaan met de pH*. Geraadpleegd op 15 februari 2022, van <https://edepot.wur.nl/114184>

Van Diggelen, R., Bergsma, H., Bijlsma, R., Bobbink, R., Van den Burg, A., Sevink, J., . . . Weijters, M. (2019 mei). *Steenmeel en natuurherstel: een gelukkige relatie of een risicovolle combinatie?* Geraadpleegd op 29 maart 2022, van <https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/205872/205872.pdf>

Van Eekeren, N., Van der Burgt, G.-J., & Schouten, T. (2009). *Kringlopen sluiten naar 100% biologische mest*. Geraadpleegd op 19 april 2022, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/5104>

Van Hinsberg, A., Noordijk, H., Van Esbroek, M. L. P., Van der Hoek, D. C. J., & Wiertz, J. (2004 oktober). *Ecologische Hoofdstructuur en het milieu*. Geraadpleegd op 11 maart 2022, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/42355>

Van Linden, F. J. M. (1991). *De rol van milieugevaarlijke stoffen in veranderingen in de vogelstand in Nederland*. Geraadpleegd op 3 mei 2022, van <https://natuurtijdschriften.nl/pub/544039/HVJ1991039003002.pdf>

Wallenburg, W. (2007, 20 oktober). *Landschap Wallenburg*. Geraadpleegd op 15 februari 2022, van https://web.archive.org/web/20150405015148/http://wallenburgarchief.info/Landschap_Wallenburg/Landschap_Wallenburg.htm

Verheesen, S. (2002 december). *DE PADDESTOELEN VAN HET MIDDELSTE HOUT*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van <https://natuurtijdschriften.nl/pub/1004292/NAHM2002091012013.pdf>

Weijters, M. (2021a). *Rijkstrooiselsoorten*. Geraadpleegd op 4 april 2022, van <https://www.veldwerkplaatsen.nl/veldwerkplaats/download/?f=651&d=kennisblad-rijkstrooiselsoorten.27e662.pdf>

Weijters, M. (2021b). [Proces verzuring bodem]. Geraadpleegd van <https://www.veldwerkplaatsen.nl/veldwerkplaats/download/?f=651&d=kennisblad-rijkstrooiselsoorten.27e662.pdf>

Bijlagen

Bijlage 1: Kaart projectgebied Austerlitz

Bijlage 2: Eerste versie protocol (W. Floor en A. van den Burg)

Bijlage 3: Inventarisatieformulier

Bijlage 4: Determinatietabellen

Bijlage 5: Group Statistics (SPSS)

Bijlage 6: Independent Samples Tests (SPSS)

Bijlage 7: Correlation tables pH-waarden (SPSS)

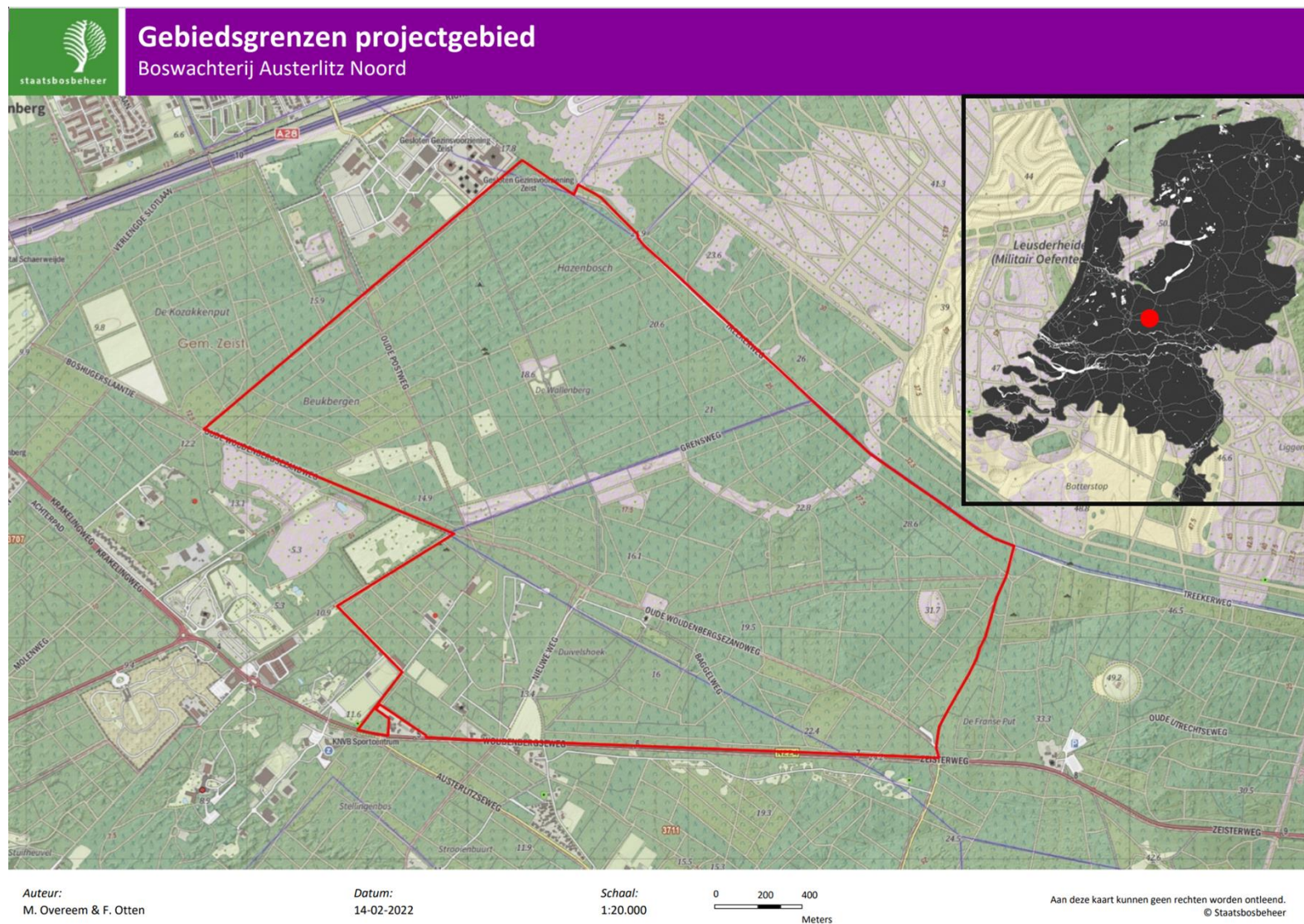
Bijlage 8: Historische kaarten

Bijlage 9: pH + geomorfologische kaart

Bijlage 10: pH + hoofdvegetatie kaart

Bijlage 11: Plotkaart referentiegebied

Bijlage 1: Kaart projectgebied Austerlitz



Figuur 1: Kaart projectgebied boswachterij Austerlitz.

Bijlage 2: Eerste versie protocol (W. Floor en A. van den Burg)

Opzet verzuring onderzoek bossen Utrechtse Heuvelrug

De onderzoeksvraag is eigenlijk vrij simpel: Wat hebben we nodig om verstoorde bodem door verzuring te herstellen?

Onderstaande combinatie van onderzoeken (punten in volgorde van belang) is nog geen gestandaardiseerde onderzoeksmethode, maar nieuw en in ontwikkeling (belangstelling is er ook vanuit provincie Gelderland en het Agentschap voor Bos en Natuur in Vlaanderen). Het verzamelen van data is conform vrij simpele protocollen zodat niet alleen specialisten nodig zijn maar het veldwerk eventueel ook gedaan kan worden door bv. eigen mensen en/of vrijwilligers etc. Op deze manier kunnen we relatief snel en veel informatie vergaren die iets zeggen over de natuurkwaliteit. De onderstaande methodes zijn los van elkaar wel gedaan (Gelderland) en hebben bewezen te werken. Het is per saldo vele malen goedkoper dan intensieve bodemanalyse (op Heuvelrug schaal gaat dat in de miljoenen lopen). Vanwege het jaareffect wordt aangeraden om twee veldseizoenen te bemonsteren.

Bossen:

1: Gebufferd grondwater zoeken

Waar kunnen we gebruikmaken van gebufferd grondwater dat tot in de wortelzone komt?

Herleiden waar dit nu en/of in het verleden het geval was en waar dit hersteld kan worden heeft de eerste voorkeur als herstelmaatregel.

Dit is de meest natuurlijke manier om de bodem te herstellen. Dit werkt zowel tegen verzuring als ook tegen vermisting. Het grondwater zorgt voor aanvoer van basische anionen en basische kationen, die helpen bij herstel van de bodem. Door steeds opnieuw aanvoer van water vullen steeds opnieuw de kationen aan. Daarom maakt het uitspoelen van nitraat in deze situatie niet uit.

Indien de situatie zich voordoet met gebufferd grondwater gecombineerd met een zure bodem wordt een uitgebreider onderzoek geadviseerd!

2: Indicatieve flora en paddenstoelen zoeken

Door te kijken naar je indicatieve flora en fauna kun je al iets zeggen over de mineraalhuishouding.

In kaart brengen van groeiplaatsen gemakkelijk herkenbare soorten bosanemonen, breedbladige wespenorchis, vingerhoedskruid, rankende helmbloem (stikstofindicator).

In kaart brengen van groeiplaatsen van dalkruid waar dit geen oorspronkelijke groeiplaats is. In loofbos waar grondwater stagneert (H laag) kan dalkruid gaan groeien.

2A:

in kaart brengen van kluitzwammen en aardsterren, rupsendoders (soorten van gebufferde bodems) Ook bovenstaande zwammen zijn makkelijk te herkennen soorten.

3: indicatieve fauna zoeken

Huisjesslakken komen niet aan hun calcium op zure plaatsen en ze lossen gewoonweg op. Door verzuring neemt de hoeveelheid calcium af en de aanwezigheid van huisjesslakken geeft aan dat er nog voldoende calcium aanwezig is in het systeem. Oprolmiljoenpoten zijn typisch voor gebufferde bodems. Andere miljoenpoten geven dichtheidseffecten en afhankelijkheid van dood hout bij toenemende verzuring.

Zoeken naar aanwezigheid van huisjesslakken, miljoenpoten en aanwezigheid en dichtheid van pissebedden in strooisel en stobben. Kort protocol strooisel: bv. kwart vierkante meterstrooisel uitgeven in witte bak en dan dierentellen.

- Soorten miljoenpoten onderscheiden van verschillende typen en aantallen tellen. (niet op soort determineren)
- Slakken aanwezigheid en dichtheid tellen. Hiervan zijn enkele soorten die van belang zijn wel vrij makkelijk determineerbaar. (determinatietabellen via Arnold vd Burg)
- Pissebedden tellen.

Kort protocol stobben: Vaste zoektijd hanteren

- Soorten miljoenpoten onderscheiden van verschillende typen en aantallen tellen. (niet op soort determineren)
- Slakken aanwezigheid en dichtheid tellen. Hiervan zijn enkele soorten die van belang zijn wel vrij makkelijk determineerbaar. (determinatietabellen via Arnold vd Burg)

Liever meerdere kleine samples dan 1 grote per plek (fauna reageert namelijk op fluxen). Uitgebreid beschreven protocol moet nog worden opgesteld!

4: Bodemkaart

Met de bodemkaart bepalen waar stuwwal bodems en waar dekzandbodems zijn. (geomorfologisch verifiëren)

5: Humusprofielen bepalen, kan op grote schaal.

Onderzoeken of er H lagen aanwezig zijn in de bossen.

Indelen in drie klassen: geen H, beginnende H, en goed ontwikkelde H

Dikte van F laag inschatten in klassen of centimeters.

6: pH-metingen

Aan de hand van de gradiënten te zien in de dataset van flora en fauna kunnen er steekproefsgewijs pH metingen gedaan worden.

pH-metingen doen met en zonder zout. Door te meten met en zonder zout kan je zien hoeveel zuur er aan uitwisselingscomplexen zit. (Dit is eigenlijk het omgekeerde van de basenverzadiging; het geeft vergelijkbare informatie, maar is veel goedkoper).

7: Uitgebreide bodemanalyse

Door B-ware in N2000 habitattypen (bv stervende/kwakkelende eikenopstanden) gerichte uitgebreide bodemanalyse laten doen. (zonder destructie! En alles laten meten zoals standaard bij het bedrijf.).

Hierin meenemen:

- Water uitspoelfracties
- Zout uitspoelfracties
- Macro-en micronutriënten.
- Koolstof, ammonium en nitraat mee meten.

Deze metingen dienen uiteindelijk ook als referenties voor effect-monitoring van de maatregelen.

Wat we nog nodig hebben:

Protocol fauna

Determinatietabellen

Iemand die de bevindingen interpreteert en advies kan geven over te nemen maatregelen.

Bijlage 3: Inventarisatieformulier

Inventarisatieformulier protocol verzuring

Fase:	Plotnummer:	
1	Aanwezigheid gebufferd grondwater in wortelzone: → Ja / nee	
	Bodemtype:	
	→ Stuwwal	
	→ Landduinen	
	→ Droogdal	
	→ Vlakte van smeltwaterafzetting	
	→ Smeltwaterwaaier	
2	Datum:	
	Weersomstandigheden:	
	Hoofdvegetatie:	
	Bepalen humusprofiel (cm):	
	→ Ontbreekt	
	→ Mor	
	→ Moder	
	→ Mull	
	Inschatting dikte F-laag (cm):	
	pH-metingen:	1 (onder strooisellaag):
→ Zonder zout:	A:	A:
→ Met zout (NaCl 99,9+%)	B:	B:
→ Omgekeerde basenverzadiging in %: $((A - B) / B) * 100$	#DELING.DOOR.0!	#DELING.DOOR.0!
3	Datum:	
	Weersomstandigheden:	
	Indicatieve flora (zie determinatietabel): → Zo ja, soort:	
	Indicatieve paddenstoelen (zie determinatietabel): → Zo ja, soort:	
	Indicatieve fauna in strooisel (zie determinatietabel): → Miljoenpoten aanwezig: → Zo ja, typen en aantal:	
	→ Huisjesslakken aanwezig: → Zo ja, aantal:	
	→ Pissebedden aanwezig: → Zo ja, aantal:	
	Indicatieve fauna op stobben (zie determinatietabel): → Miljoenpoten aanwezig: → Zo ja, typen en aantal:	
	→ Huisjesslakken aanwezig: → Zo ja, aantal:	

Tabel 1: Inventarisatieformulier aan de hand van het protocol

Bijlage 4: Determinatietabellen

Bijlage 4a: Determinatietabel indicatieve paddenstoelen

Indicatieve **paddenstoelen**, behorend bij protocol verzuring

Kluifzwam	Aardster	Rupsendoder
		
		

Bijlage 4b: Determinatietabel indicatieve miljoenpoten

Indicatieve **typen miljoenpoten**, behorend bij protocol verzuring

Borstelmiljoenpoot	Oprolmiljoenpoot	Dikwang/ribbelmiljoenpoot
		
Slangenmiljoenpoot	Platrug-miljoenpoot	
		

Bijlage 4c: Determinatietabel indicatieve flora

Indicatieve **flora**, behorend bij protocol verzuring

	Bosanemoon (bloei: maart t/m mei)	Brede wespenorchis (bloei: juli t/m september)	Vingerhoedskruid (bloei: mei t/m oktober)	Rankende helmbloem (bloei: juni t/m september)	Dalkruid (bloei: mei t/m juni)
Zomerbeeld:	 <i>Anemone nemorosa</i>		 <i>Digitalis purpurea</i> L.	 <i>Fumaria officinalis</i> L.	 <i>Convallaria majalis</i> L.
Winterbeeld/blad:					

Bijlage 5: Group Statistics (SPSS)

Bijlage 5a: Group Statistics van de pH-waarden onder de strooisellaag en op 50 centimeter diepte.

Group Statistics					
	Plot	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
pH	1,00 pH50cm	77	3,9244	,40864	,04657
	2,00 pHOnderOS	77	3,1505	,33897	,03863

Bijlage 5b: Group Statistics van de omgekeerde basenverzadiging onder de strooisellaag en op 50 centimeter diepte.

Group Statistics					
	Plot	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Base	1 BaseOnderOS	77	19,52	5,080	,579
	2 BaseOp50cm	77	14,55	3,046	,347

Bijlage 5c: Group Statistics van de pH-waarden van de plots met fauna en de plots zonder fauna.

Group Statistics					
	Plot	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
PH	1,00 Met fauna	13	3,0585	,22486	,06237
	2,00 Zonder fauna	64	3,1691	,35626	,04453

Bijlage 6: Independent Samples T-Tests (SPSS)

Bijlage 6a: Independent Samples T-Test van de pH-waarden onder de strooisellaag en op 50 centimeter diepte.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Significance		Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
						One-Sided p	Two-Sided p			Lower	Upper
pH	Equal variances assumed	3,405	,067	12,791	152	<,001	<,001	,77390	,06051	,65436	,89344
	Equal variances not assumed			12,791	146,982	<,001	<,001	,77390	,06051	,65432	,89347

Bijlage 6b: Independent Samples Test van de omgekeerde basenverzadiging onder de strooisellaag en op 50 centimeter diepte.

Independent Samples Test											
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Significance		Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
						One-Sided p	Two-Sided p			Lower	Upper
Base	Equal variances assumed	10,179	.002	7,369	152	<.001	<.001	4,974	,675	3,640	6,308
	Equal variances not assumed			7,369	124,392	<.001	<.001	4,974	,675	3,638	6,310

Bijlage 6c: Independent Samples Test van de pH-waarden van de plots met fauna en de plots zonder fauna.

Independent Samples Test											
		Levene's Test for Equality of Variances			t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Significance		Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
						One-Sided p	Two-Sided p			Lower	Upper
PH	Equal variances assumed	1,486	,227	-1,073	75	,143	,287	-,11060	,10303	-,31585	,09465
	Equal variances not assumed			-1,443	26,066	,080	,161	-,11060	,07663	-,26810	,04690

Bijlage 7: Correlation Tables pH-metingen (SPSS)

Bijlage 7a: De uitkomst van de correlatie tussen de pH-waarden onder de strooisellaag en op 50 centimeter diepte, gemeten zonder zout.

		Correlations	
		Zonderzout Zonder zout onder OS	Zonderzout_A Zonder zout op 50cm diepte
Zonderzout Zonder zout onder OS	Pearson Correlation	1	,434**
	Sig. (2-tailed)		<,001
	N	77	77
Zonderzout_A Zonder zout op 50cm diepte	Pearson Correlation	,434**	1
	Sig. (2-tailed)	<,001	
	N	77	77

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

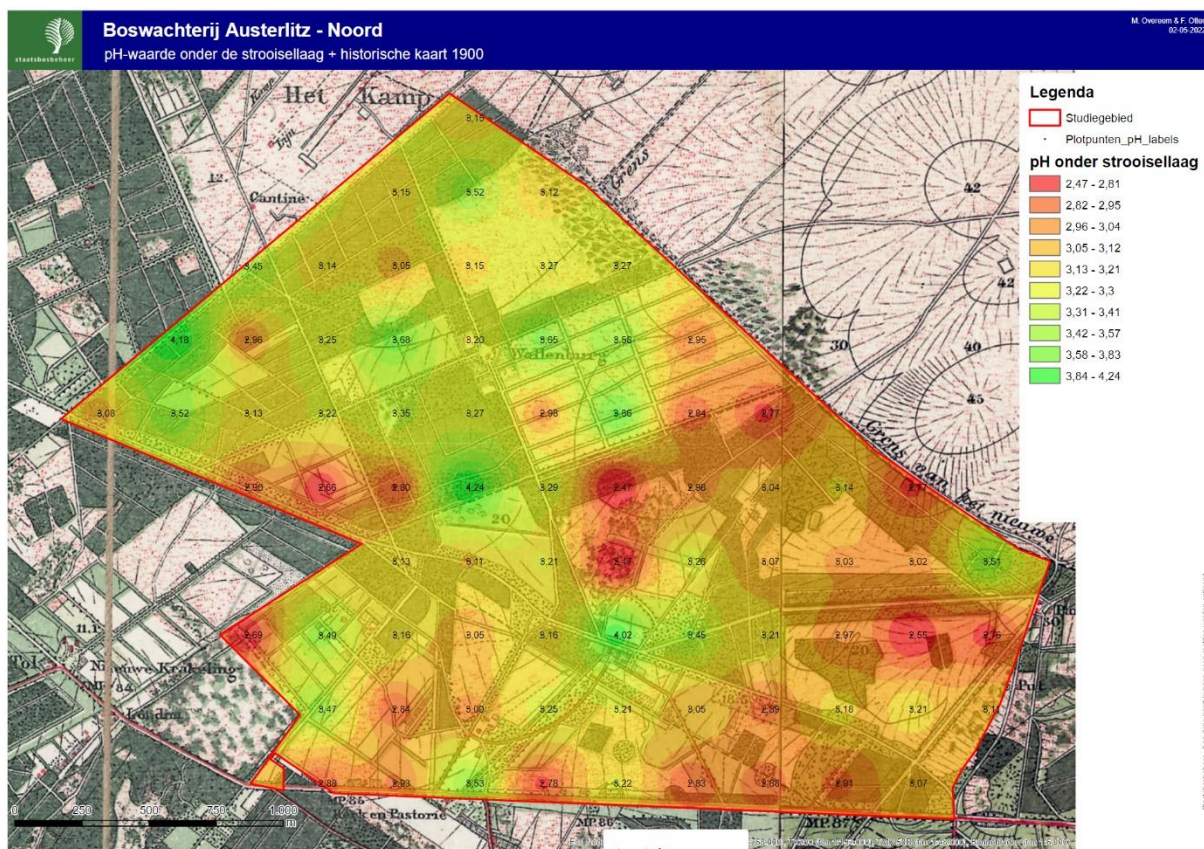
Bijlage 7b: De uitkomst van de correlatie tussen de pH-waarden onder de strooisellaag en op 50 centimeter diepte, gemeten met zout.

		Correlations	
		Metzout Met zout	Metzout_A Met zout
Metzout Met zout	Pearson Correlation	1	,505**
	Sig. (2-tailed)		<,001
	N	77	77
Metzout_A Met zout	Pearson Correlation	,505**	1
	Sig. (2-tailed)	<,001	
	N	77	77

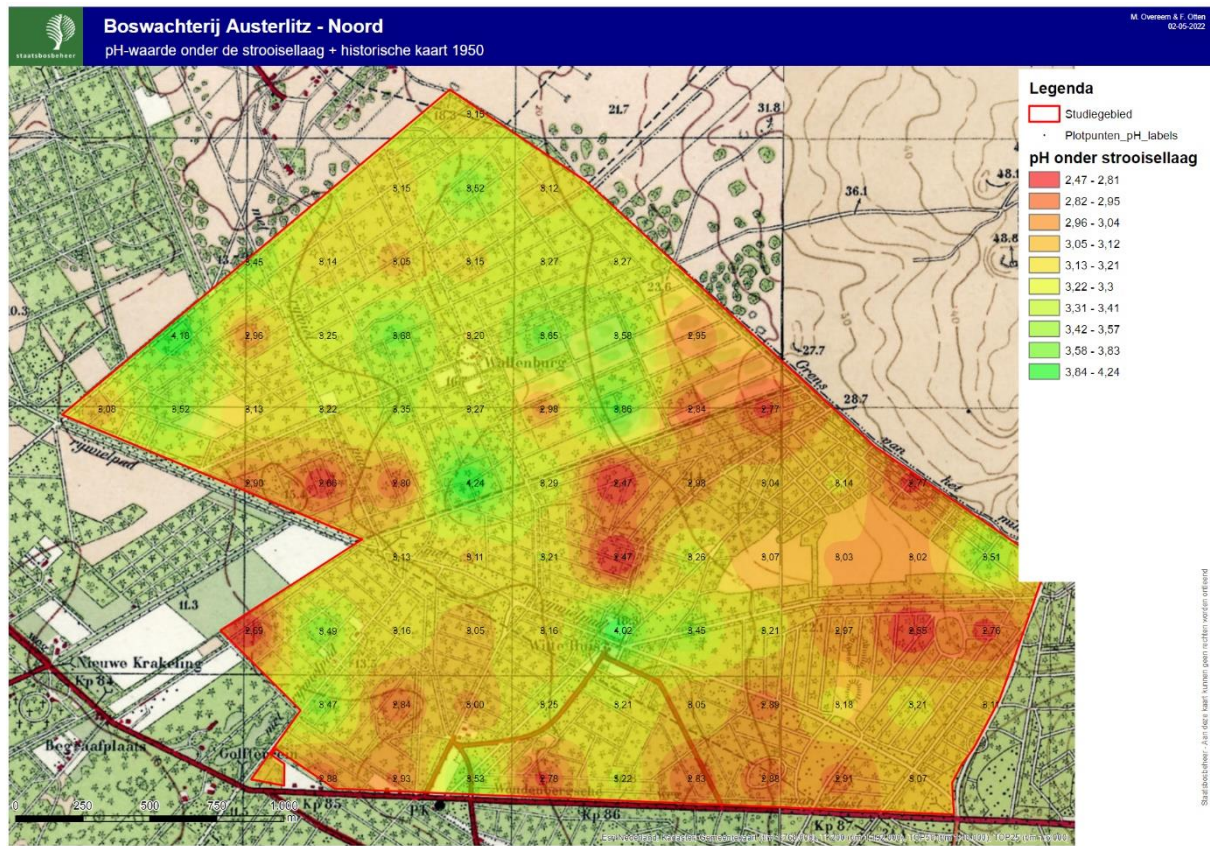
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Bijlage 8: Historische kaarten

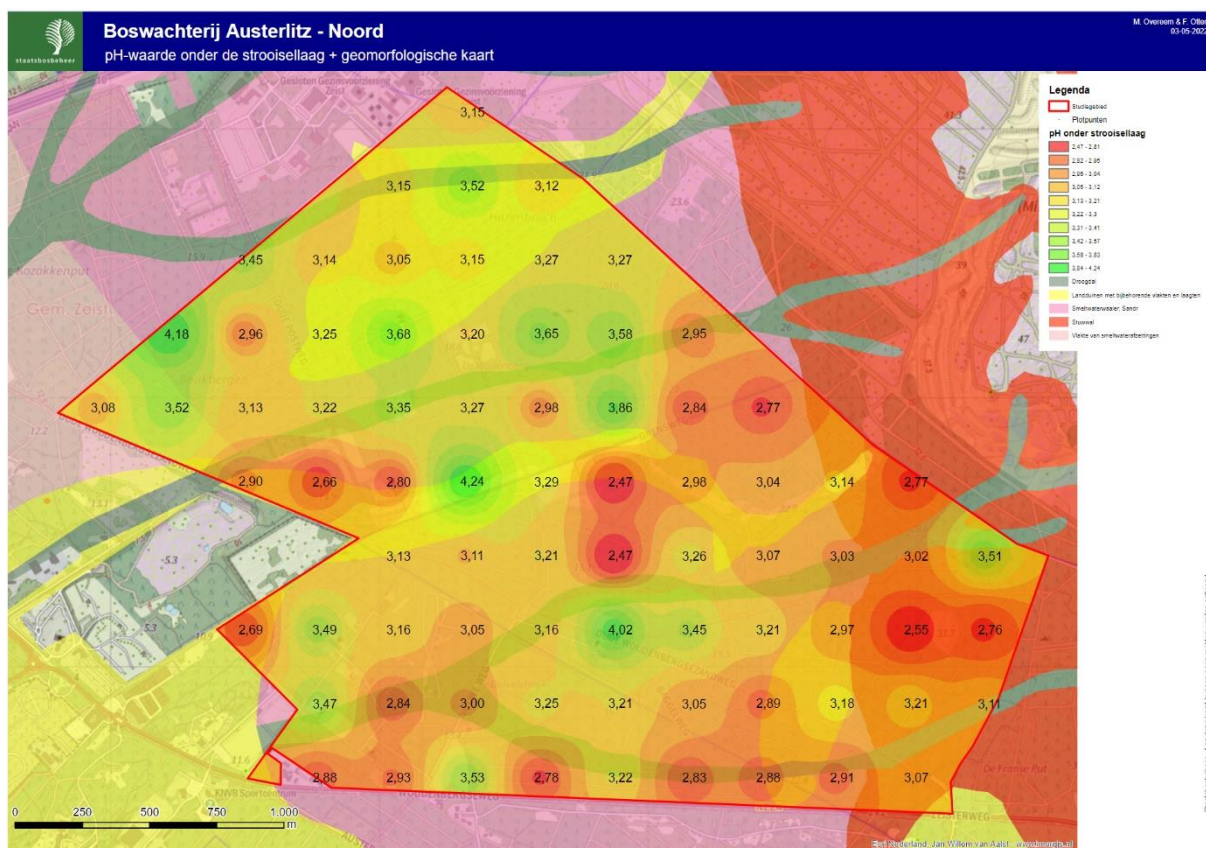
Bijlage 8a: Historische kaart van 1900 met de actuele pH-waarde net onder het maaiveld.



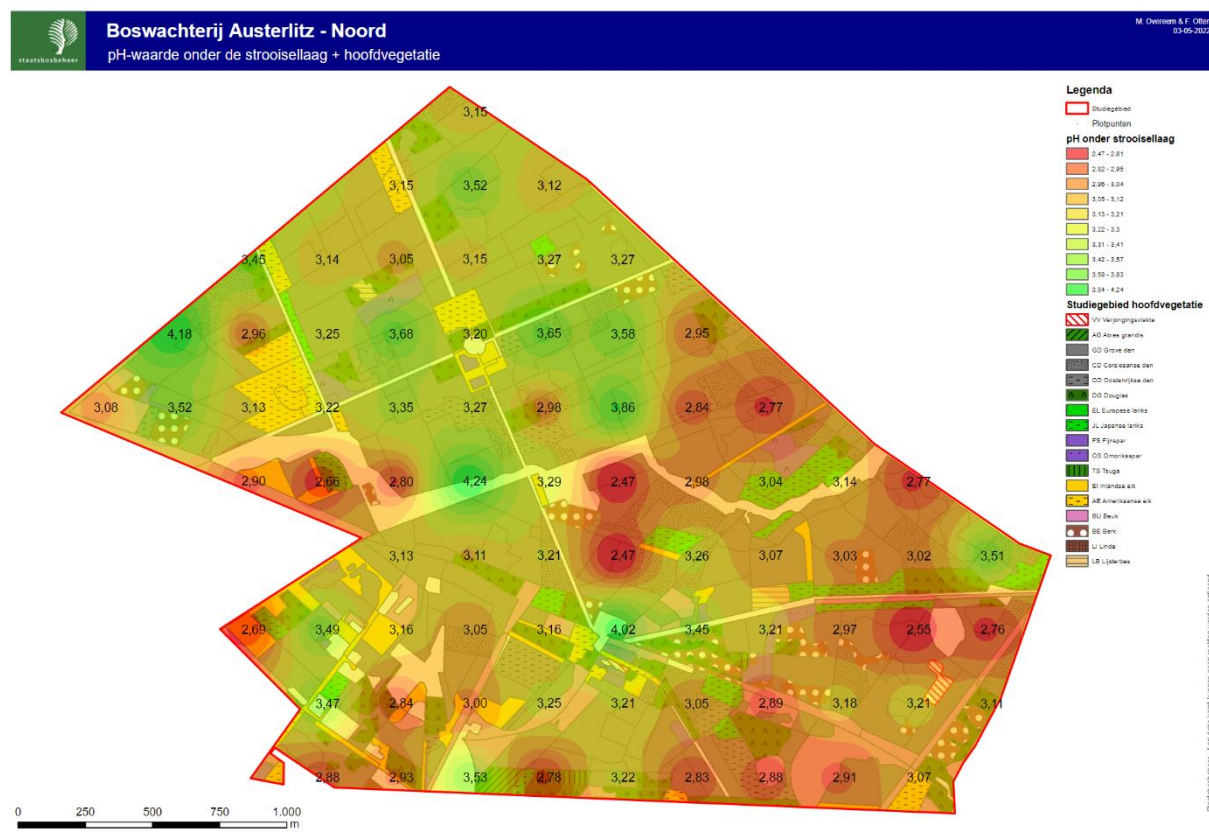
Bijlage 8b: Historische kaart van 1950 met de actuele pH-waarde net onder het maaiveld.



Bijlage 9: pH + geomorfologische kaart

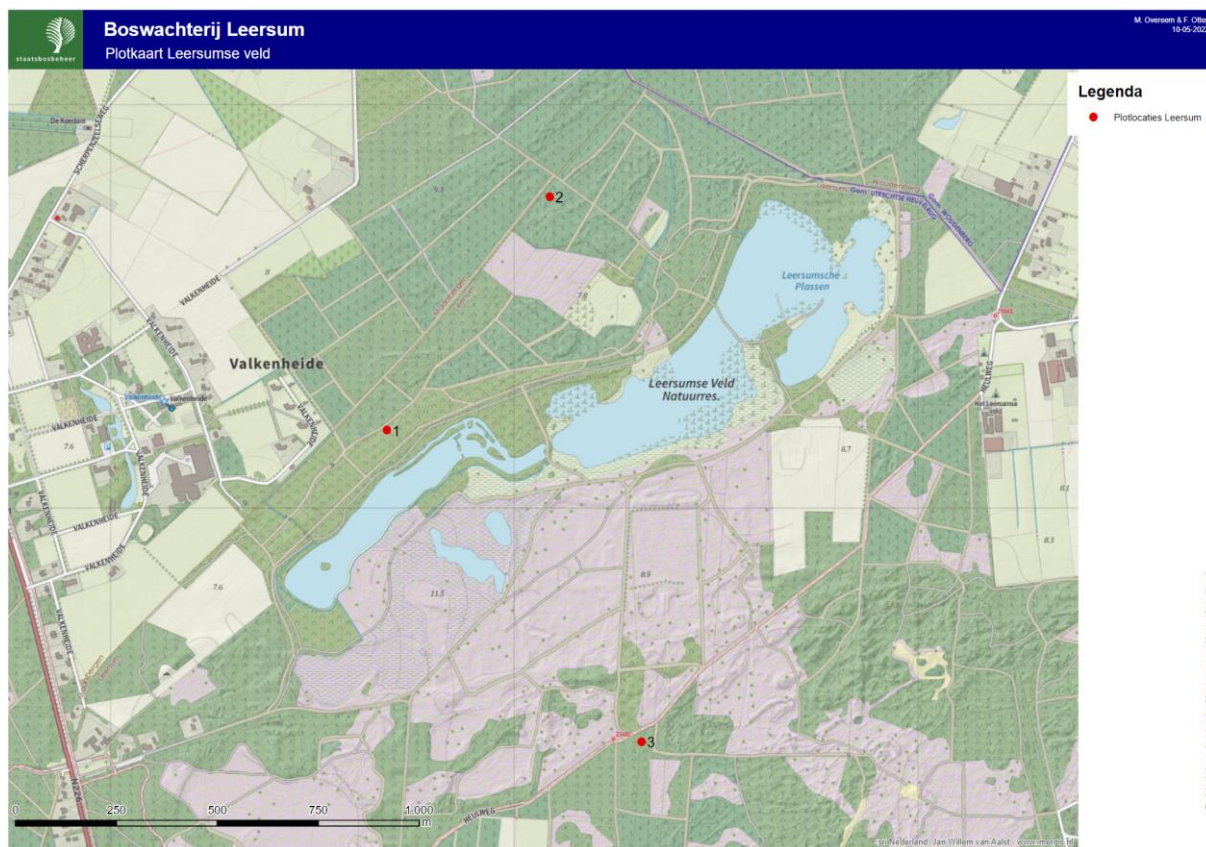


Figuur 1: Geomorfologische kaart met daarboven de pH-kaart, gemeten onder de strooisellaag.



Figuur 1: Hoofdvegetatiekaart met daarboven de pH-kaart, gemeten onder de strooisellaag.

Bijlage 11: Plotkaart referentiegebied



Figuur 1: Plotkaart van het referentiegebied boswachterij Leersum.