



Bosbodemonderzoek Drenthe

Bosgroepen

Onderzoekcentrum B-WARE

Bioclear earth

Colofon

Opdrachtgever:	Provincie Drenthe
Titel:	Bosbodemonderzoek Drenthe
Status:	Definitief
Datum:	11 juli 2025
Auteurs:	Harm Smeenge, Ariët Kieskamp, Leon van den Berg, Eline Keuning, Evi Verbaarschot, Jidske Knigge, Maaïke Weijters, Maarten Immerzeel, Loes Kampherbeek & Emiel Brouwer
Projectteam:	Bosgroepen: Harm Smeenge, Ariët Kieskamp, Leon van den Berg, Loes Kampherbeek, Maarten Immerzeel, Rik Koekoek, Marco Rouwhof, Mathijs Klok, Debora Flier Onderzoekcentrum B-WARE: Evi Verbaarschot, Maaïke Weijters, Emiel Brouwer Bioclear Earth: Eline Keuning, Jidske Knigge, Marcel Zandberg, Willemijn Brouwer
Kaartmateriaal:	Copyright © 2025 Het intellectuele eigendom van deze rapportage rust uitsluitend bij de Bosgroepen. Niets uit deze rapportage mag worden vermenigvuldigd en/of getoond aan derden, zonder voorafgaande toestemming van de Bosgroepen.
Projectnummer:	21.30.738.08
Foto omslag:	Harm Smeenge

© Coöperatie Bosgroep Noord-Oost Nederland u.a., 2025.

Balkerweg 48a
7738 PB Witharen
t (0523) 745700
www.bosgroepen.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting	6
1. Introductie	2
1.1 Aanleiding	2
1.2 Beschikbare kennis	6
1.3 Visie op het onderzoek	6
1.4 Probleemstelling en onderzoeksvragen	9
1.5 Leeswijzer	10
2. Methode	11
2.1 Stappen	11
2.2 Stap 1: Selectie onderzoekslocaties	11
2.3 Stap 2: Veldonderzoek	14
2.4 Stap 3: Bodemchemie	18
2.5 Stap 4: Bodemmicrobioom	19
2.6 Stap 5: Dataverwerking en -analyse	20
2.7 Stap 6: Knelpunten en perspectieven	20
3. Inleiding in de bossen van Drenthe	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Bodemgroepen en areaal	21
3.3 Referentiekader bodemgroepen	25
3.4 Historisch bosgebruik	31
4. Categorie A: bossen met typische soorten	44
4.1 1a: Rijk, keileem binnen 40 cm–mv	44
4.2 1b: Rijk, keileem tussen 40–120 cm–mv	55
4.3 2: Matig rijk	64
4.4 3: Arm droog	73
4.5 4: Arm vochtig	81
4.6 5a: Nat, grondwatergevoed	89
4.7 5b: Nat, regenwatergevoed	97
4.8 6: Cultuurgronden	106
4.9 Synthese Categorie A	111
5. Categorie B: bossen zonder typische soorten	113
5.1 3: Arm droog	113
5.2 4: Arm vochtig	118
5.3 Bodemgroep 5b: Nat, regenwatergevoed	122
5.4 Synthese categorie B	126
6. Overkoepelend beeld bodemgroepen	127
6.1 Categorie A	127
6.2 Categorie B	152
6.3 Vergelijking Categorie A en B	161

6.4	Synthese	170
7.	Conclusies bosbodem Drentse Bossen	174
7.1	Stand van de Drentse Bossen	174
7.2	Overige inzichten	181
8.	Maatregelen en aanbevelingen	182
8.1	Inleiding	182
8.2	Achtergronden van maatregelen	183
8.3	Maatregelenoverzicht per bodemgroep	189
8.4	Verdere kennisontwikkeling	196

Literatuur

Bijlagen

Samenvatting

Aanleiding en aanpak

De Bosgroepen, Onderzoekcentrum B-WARE en Bioclear Earth hebben een grootschalig onderzoek uitgevoerd naar de staat van de Drentse bosbodems. Aanleiding hiervoor zijn zorgen over teruglopende biodiversiteit, verminderde vitaliteit van bossen en toenemende boomsterfte, mede veroorzaakt door verzuring, vermesting en verdroging. Met dit onderzoek is de huidige toestand van de bosbodems in kaart gebracht, zijn de belangrijkste knelpunten geïdentificeerd en zijn handelingsperspectieven ontwikkeld voor herstel en behoud van robuuste bosecosystemen.

Het onderzoek was integraal opgezet, waarbij bodem, humus, bodemchemie, hydrologie, vegetatie en bodembioologie gezamenlijk zijn onderzocht. Op 186 locaties, verspreid over acht verschillende bodemgroepen (die de standplaatscondities van het bos representeren), is (veld)onderzoek uitgevoerd. Onderscheiden zijn de keileemgronden (bodemgroep 1a met keileem beginnend binnen 40 cm diepte en 1b met keileem tussen 40 en 120 cm diepte), droge matig rijke gronden (2), droge arme gronden (3), vochtige arme gronden (4), natte gronden waaronder veen (5a: Nat GW en 5b: Nat RW) en tot slot cultuurgronden, gekenmerkt door een plaggende (6). Er is onderscheid gemaakt tussen loofbossen met kenmerkende bosflora (categorie A) en jongere heidebebossingen (categorie B). De categorie B-bossen komen alleen voor op groepen 3, 4 en 5b.

Het veldonderzoek bestond uit het beschrijven van bodem, humus en vegetatie. Er zijn bodemmonsters genomen die zijn geanalyseerd op chemische parameters zoals pH, basenverzadiging, aluminium, stikstof en fosfaat. Tegelijkertijd is het bodemmicrobioom in kaart gebracht met DNA-analyses om inzicht te krijgen in de samenstelling en diversiteit van bacteriën, archaea en schimmels.

Algemene bevindingen over de Drentse bosbodems

De basisaanname voor dit onderzoek was dat de kenmerken van de Drentse bossen worden verklaard door de verschillende standplaatsen waarop ze voorkomen. Dat is ten dele waar. Uit het onderzoek blijkt dat bodemchemie, hydrologie, vegetatie en het bodemleven elkaar inderdaad sterk beïnvloeden. Bij de loofbossen met kenmerkende bosflora (categorie A) is de variatie in bodemgroepen nog goed zichtbaar. Deze bossen komen voor op alle acht bodemgroepen en zijn daarmee belangrijk voor de biodiversiteit van de Drentse bossen. Echter blijkt een aantal bodemgroepen nu sterk op elkaar te lijken. Dit is het gevolg van verdroging en verzuring. Bij de jonge heidebebossingen (categorie B), die op drie van de acht bodemgroepen voorkomen, is de variatie volledig weggevaagd.

Dit onderzoek geeft voor het eerst een inkijk in de relatie tussen de bodem, vegetatie en het bodemleven. Er zijn duidelijke relaties aangetroffen tussen de bovengrondse en ondergrondse biodiversiteit. Er is een relatie gevonden tussen het aantal plantensoorten enerzijds en de totale diversiteit aan bacteriën en denitrificerende bacteriën en strooiselafbrekende schimmels anderzijds. Daarnaast is aanwezigheid van denitrificerende bacteriën gekoppeld aan minder verruiging van de vegetatie. Op een aantal punten 'scoren' categorie A-bossen hoger, zoals de diversiteit aan schimmels en het aandeel ectomycorrhiza's: schimmels die samenwerken met plant- en boomwortels met wederzijds voordeel. In categorie B is de diversiteit aan bacteriën en archaea, de andere twee groepen

die zijn onderzocht, juist vaak hoger. Ook zijn er meer zeldzame paddenstoelen gevonden in deze jonge heidebebossingen.

Verzuring, vermesting en verdroging zijn wijdverbreide problemen in vrijwel alle onderzochte boslocaties. Met name jongere heidebebossingen (categorie B in dit onderzoek) zijn soortenarmer en gevoeliger voor verzuring en vermesting. In algemene zin spelen er in de Drentse bossen de volgende problemen:

- **Verzuring**

Dit vormt een structureel probleem in vrijwel alle onderzochte bossen. De pH-waarden zijn vaak lager dan 4, waardoor aluminium vrijkomt in concentraties die toxisch zijn voor planten en bodemorganismen. Deze chemische verzuring blijkt direct samen te hangen met de hydrologische situatie; in droge omstandigheden neemt de verzuring toe doordat bufferende grondwateraanvoer uitblijft. Vooral op zandgronden met lage buffercapaciteit leidt dit tot uitspoeling van calcium (Ca), magnesium (Mg) en kalium (K). Hierdoor zijn de minerale balansen verstoord en verliezen bomen essentiële voedingsstoffen, wat hun vitaliteit vermindert.

- **Verdroging**

Bij een groot deel van de onderzochte (oorspronkelijk) natte en vochtige bossen vormt dit een probleem. Veenbodems komen droog te liggen waardoor het veen oxideert. Door verminderde toevoer van gebufferd grondwater neemt verzuring toe en hoopt strooisel op. Dat heeft negatieve effecten op het aantal kruiden in het bos. Bovendien trekt de bosflora zich terug naar de randen van paden of houtwallen, waar minder strooiselophoping is. Het bos is als het ware 'leeg'. Ook beïnvloedt verdroging de microbiële samenstelling: schimmels en bacteriën die afhankelijk zijn van minerale nutriënten functioneren minder goed. Locaties die hydrologisch op orde zijn hebben betere nitrificatie en denitrificatie dan verdroogde bossen, waardoor stikstof verdwijnt uit het systeem.

- **Vermesting**

Stikstofdepositie heeft een grote invloed op de bosbodems. Door de hoge stikstofbeschikbaarheid verandert de samenstelling van de vegetatie; soorten die gebonden zijn aan voedselarme omstandigheden verdwijnen, terwijl soorten die profiteren van stikstof domineren. Hierdoor treedt homogenisering op van de vegetatiestructuur en verdwijnen veel kenmerkende soorten uit deze bossen. De bodemchemie en vegetatieprocessen beïnvloeden op hun beurt het bodemmicrobioom. Uit het onderzoek blijkt dat bossen met hoge stikstofbeschikbaarheid en sterke verzuring een andere microbiële samenstelling hebben dan bossen met rijkere, gebufferde bodems. Vooral mycorrhizaschimmels, essentieel voor de opname van voedingsstoffen door bomen, blijken minder divers en minder aanwezig in sterk verzuurde bodems. Tegelijkertijd leidt stikstofverzadiging tot veranderingen in bacteriële gemeenschappen die verantwoordelijk zijn voor stikstofomzetting, wat weer effect heeft op beschikbaarheid en uitspoeling van nitraat.

Specifieke bevindingen per boscategorie

B-bossen (heidebebossingen – 13.662 ha)

De categorie B-bossen representeren een behoorlijk areaal van de Drentse bossen. Veelal zijn dit heidebebossingen, vaak in grote, aaneengesloten en monotone aanplanten van naaldbomen. Ze komen in tegenstelling tot categorie A maar op drie bodemgroepen voor: arme, droge bodems (bodemgroep 3), arme, vochtige bodems (bodemgroep 4) en natte, regenwatergevoede bodems (5b; voormalige veentjes). De variatie tussen bodemgroepen blijkt vrijwel volledig weggevaagd. In dit type bossen speelt het intensieve historische verleden een grote rol. De ooit vochtige en natte bossen zijn vrijwel allemaal verdroogd (47 van de 48 locaties). Dat uit zich onder andere in de massale sterfte van droogtegevoelige fijnsparren. De aanwezige ontwatering (greppels, sloten, rabatten) die voor de aanplant zijn aangelegd hebben een negatieve invloed op de vitaliteit en veerkracht van het boscossysteem. De bossen zijn sterk verzuurd (27 van de 54 locaties). Er is veel stikstof opgehoopt in de strooisellaag wat bijdraagt aan verzuuring. Vergelijking van een aantal huidige Douglasbossen met historische data uit de jaren '60 duidt op een verminderde strooiselomzetting en een verdubbeling van de hoeveelheid zuur in de bodem.

A-bossen (oude, soortenrijke loofbossen – 445 ha)

De categorie A-bossen komen in tegenstelling tot categorie B-bossen op het hele spectrum aan bodemgroepen voor en zijn dus waardevol voor de variatie in de Drentse bossen. Ze beslaan echter maar een klein areaal (445 ha). Hier is de verwachte variatie in bodemkenmerken tussen de verschillende bodemgroepen overwegend nog zichtbaar. Er zijn mooi ontwikkelde locaties vol oud-bossoorten en een goede en passende buffering en hydrologie. De grondwatergevoede gronden (bodemgroep 5a) die hydrologisch op orde zijn, blijken een goede nitrificatie en denitrificatie te hebben, dat wil zeggen dat stikstof kan verdwijnen uit het systeem. Met andere woorden, ze zijn minder gevoelig voor verzurende (stikstof)depositie. Er zijn echter ook problemen in de categorie A-bossen. De van oorsprong droge, matig rijke bodems (bodemgroep 2), droge arme bodems (3) en vochtige arme bodems (4) hebben nu praktisch dezelfde buffering en soortenrijkdom als gevolg van verdroging en verzuring. Ook de andere bodemgroepen zijn overwegend minder sterk gebufferd dan verwacht. Verder is de stikstofconcentratie in de bodem (zeer) hoog, wat bijdraagt aan verzuuring. Soorten als braam en brandnetel gaan dan overheersen. Bij bodemgroepen 1a, 2, 4 en 5a is de vegetatie bij een derde tot de helft van de locaties verruigd. Daarnaast is er een verschuiving van het bosvegetatietype zichtbaar dankzij verdroging en/of verzuring. Beuken-eikenbos neemt de plek in van het Berken-zomereikenbos, Elzenbroekbos en Berkenbroekbos.

Conclusies, maatregelen en aanbevelingen

Met dit onderzoek beschikt de Provincie Drenthe over een uniek, provinciebreed beeld van de staat van de bosbodems. Dit onderzoek biedt een representatief beeld van de standplaatscondities en vegetatie van een groot deel van de Drentse bossen (27.000 ha). De integrale kennis uit dit onderzoek biedt een sterke basis voor gericht bosbeheer en natuurbeleid in de komende decennia, en is essentieel voor het realiseren van doelen op het gebied van biodiversiteit, klimaatadaptatie en een duurzame leefomgeving. De resultaten van het onderzoek wijzen op een duidelijke ecologische achteruitgang, met aantoonbare negatieve effecten van verzuring, verdroging en vermesting. Herstel van

hydrologie en verlaging van de stikstofdruk zijn dringend noodzakelijk. Met name de jongere heidebebossingen (categorie B) zijn soortenarmer en gevoeliger voor verzuring en vermessing. Voor herstel en behoud van robuuste bossystemen is het advies om maatregelen te nemen op landschapsschaal en perceelsniveau.

Op landschapsschaal speelt het herstel van gradiënten zoals van het keileemplateau naar beekdalen en geïsoleerde laagten. Bosgebieden die op de overgang liggen tussen verschillende landschappen bevatten vaak meerdere bodemgroepen en zijn dikwijls soortenrijk. Juist in deze overgangszones ligt een belangrijke kans om de biodiversiteit te versterken. Belangrijke maatregelen op landschapsschaal zijn:

1. Hydrologisch herstel
2. Het verbinden van bestaande bosgebieden

Op perceelsniveau zijn belangrijke aanbevelingen:

1. Hydrologisch herstel
2. Vrijstellen en aanplanten van rijkstrooiselsoorten
3. Aanbrengen van bufferende stoffen (alleen op specifieke bodemgroepen)
4. Stikstof invangen door bosaanleg rondom oude boskernen
5. Bosomvorming van naald naar loof (categorie B-bossen)
6. Stimuleren van bestaande populaties bosflora
7. Creëren van variatie door meer aan te sluiten op het traditionele beheer
8. Experimenteren met strooiseltransplantatie om het bodemleven te stimuleren.

Door deze maatregelen worden bossen weer veerkrachtiger en kunnen ze een belangrijke rol spelen in het behouden van kwetsbare soorten. In het rapport is een maatregelenoverzicht per bodemgroep gegeven en toelichting op de achtergronden van de maatregelen.

Aanbevolen vervolgstappen zijn onder andere:

- Langjarige monitoring op vaste locaties om trends te duiden en beheer te onderbouwen.
- Aanvullend onderzoek naar jonge bossen op voormalige landbouwgrond (ca. 10.000 ha), die buiten deze studie vielen, maar cruciaal zijn voor een volledig beeld van de Drentse bosontwikkeling.
- Nader onderzoek naar de nutriëntenbalans in bladmateriaal op enkele locaties om meer inzicht te krijgen in de vitaliteit van de bomen.
- Een nadere analyse van de samenstelling van bodem- en oppervlaktewater in vochtige en natte bossen.
- Verdere analyse van verzuringseffecten op fosfaatbeschikbaarheid en de rol van het bodemmicrobioom, in relatie tot verzuiging van de bossen.
- Ontwikkeling van biologische indicatoren (zoals het microbioom en paddenstoelen) om herstelprocessen vroegtijdig te signaleren.
- Onderzoek naar stikstofverwerking in de bodem (denitrificatie/nitrificatie) als aanknopingspunt voor herstel van vochtige en natte bossen.

Deze studie levert waardevolle uitgangspunten voor toekomstig beleid en herstelmaatregelen, en legt een belangrijke basis voor het volgen van ecologische trends in de Drentse bossen.

1. Introductie

1.1 Aanleiding

Wie aan Drenthe denkt, ziet in gedachten wellicht fietsers door eindeloze bossen en weinig verstoorde cultuurlandschappen gaan. Echter, een kleine 200 jaar geleden bestond slechts 1,6% van de Provincie uit bos (Figuur 1-1). Momenteel zijn deze oude boslocaties de oudste bossen van Drenthe. Deze bevatten een schatkamer aan bijzondere soorten, waaronder eenbes, heekruid, gele dovenetel, liehevrouwebedstro, eenbloemig parelgras, boswederik, fraai hertshooi en schedegeelster (Westhoff et al., 1973).

In de 20^{ste} eeuw zijn door ontginning en veranderende omgevingsfactoren diverse soorten verdwenen (32 soorten van moerasbossen, 42 van drogere en van nature voedselrijke bossen (Werkgroep Florakartering Drenthe). De bosjes bij Mantinge, Anloo, Anderen, Amen, Lieveren, Roden, Drijber, Gieten, Geelbroek, Gasteren en Foxwolde zijn door botanici al vroeg als 'biodiversiteitshotspots' op de kaart gezet. Ze hebben nog steeds aandacht in het natuurbeleid. Ondanks hun ecologische waarden zijn dit geen 'oerbossen', waaraan de menselijke invloed voorbij is gegaan. Het zijn eeuwenoude gebruiksbossen, die werden benut voor o.a. delfstofwinning (potklei, zand) of voor de agrarische bedrijfsvoering (loofwinning, strooiselwinning, houtwinning of beweiding). Vanaf 1950 verdwenen deze gebruiksfuncties en kwamen mens en natuur steeds meer van elkaar af te staan. De bosjes werden weliswaar natuurreserveaat, maar werden ongemerkt beïnvloed door een veranderend landgebruik in de omgeving van deze bosjes. Hierdoor is de biodiversiteit onder druk komen te staan (Werkgroep Florakartering Drenthe).

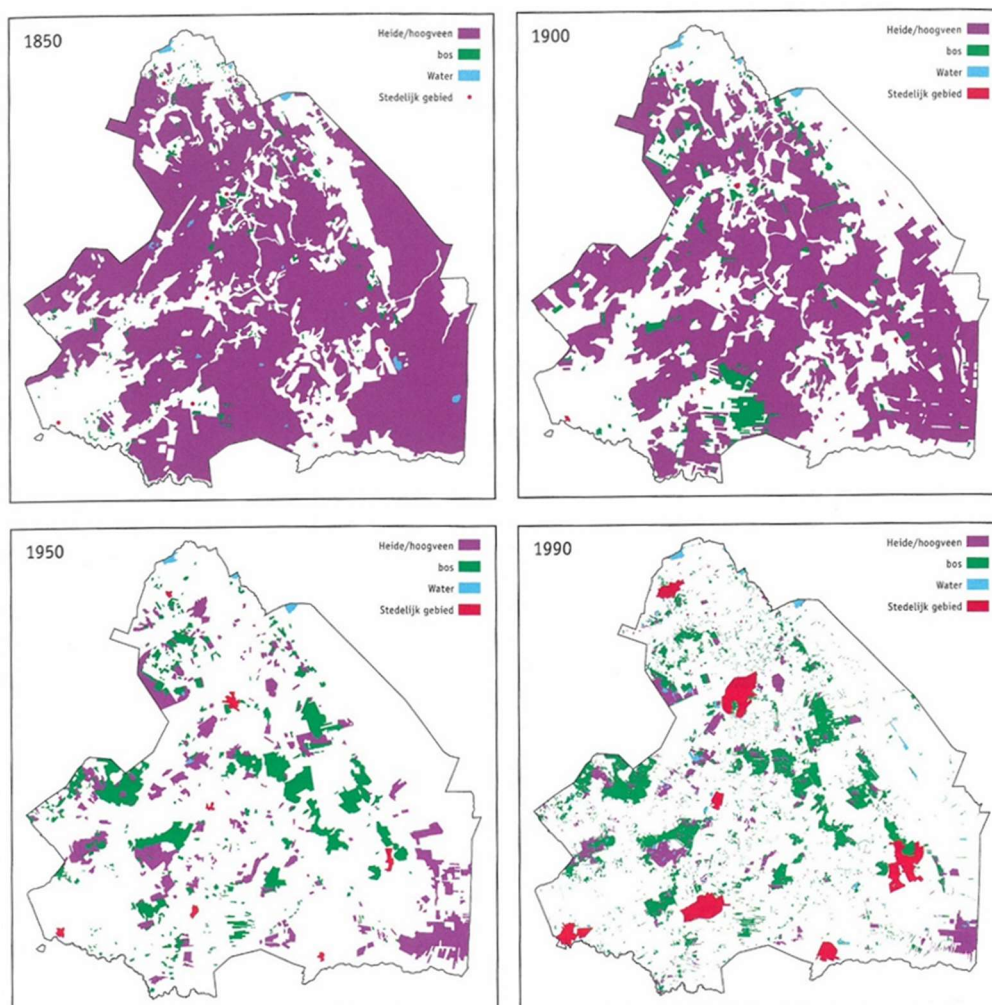
Tussen 1850 en 2024 is er ook bos aangelegd. Allereerst op de oude middeleeuwse landgoederen bij Roden (Mensinghe), Dwingeloo (Oldengaerde), Oosterhesselen (De Klencke), Eelde (Ter Borch) en Assen (Overcingel). Aan het eind van de 19^{de} eeuw werden duizenden hectares van de heide bebost door cultuurmaatschappijen (Werkgroep Florakartering Drenthe). Parallel hieraan kochten investeerders heidegronden op om deze te bebossen, zoals het Evertsbos bij Anloo.

Deze relatief jonge bossen hebben niet alleen een commerciële waarde. Bossen vervullen veel verschillende functies. Ze dragen bij aan het behoud van biodiversiteit en verbeteren de kwaliteit van onze leefomgeving. Ze filteren het water en de lucht die we inademen, en helpen bij het voorkomen van erosie. Ook spelen ze een belangrijke rol in het vastleggen van CO₂. Tot slot leveren ze hout, een van de meest duurzame grondstoffen die we hebben. Echter loopt in de bossen biodiversiteit terug en vindt sterfte plaats van diverse boomsoorten.

Er spelen problemen omtrent verdroging, verzuring en vermesting, waarbij vooral de bossen op de hoger gelegen zandgronden het zwaar hebben (Crutzen & Stoermer, 2000; Braje, 2015; Pabian, Ermer, Tzikowski, & Brittingham, 2012; Oosterbaan, Bobbink, & Decuyper, 2014; Burg van den, 2017; Berg van de & et al., 2018; Desie, et al., 2019; Desie, 2020).

Verzuring van de bodem treedt op wanneer de buffercapaciteit van de bodem afneemt (Lamers, Graaf de, Bobbink, & Roelofs, 1997). Dit proces vindt van nature plaats: relatief zure bossen zijn kenmerkend voor de Pleistocene zandgronden door de uitloging vanuit het

neerslagoverschot die vanaf het laatste glaciaal plaatsvond (Iversen, 1958). De verzuring is echter zeer sterk versneld door de zuurdepositie veroorzaakt door de mens (zwaveldepositie uit het verleden en stikstofdepositie uit verleden en heden). De bodemchemie van de bossen is uit balans geraakt, door zowel de verzuring vanuit de lucht als de verminderde mineralenbuffering vanuit het grondwater (Berg van de & et al., 2018; Desie, et al., 2019; Desie, Litter effects on structures and functions of the belowground forest ecosystem, 2020). Onderzoek naar bossen in Gelderland en Drenthe toont aan dat de pH van bosbodems tot wel een hele pH-eenheid is gedaald ten opzichte van ‘fossiele’ bosbodems van ± 100 jaar oud.



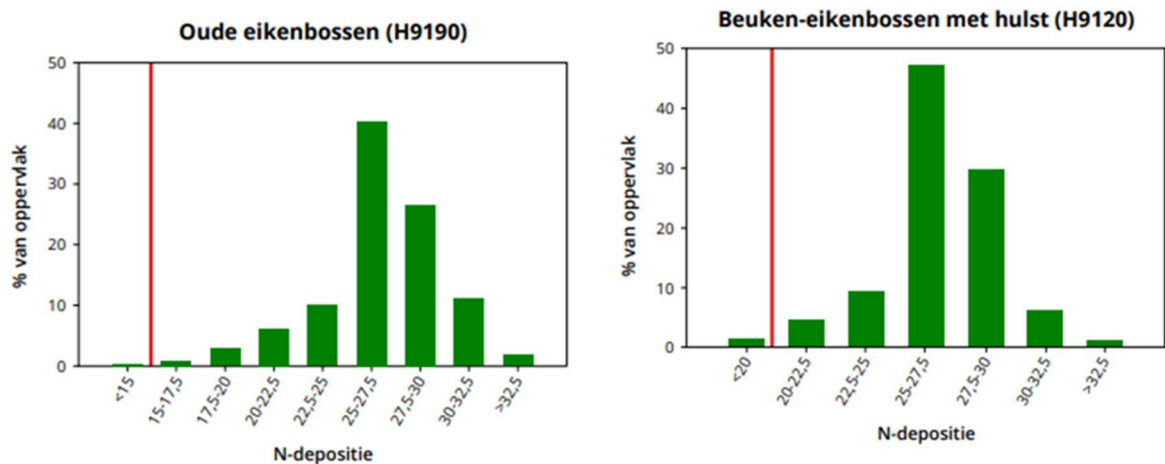
Figuur 1-1: Bosareaal in Drenthe tussen 1850 en heden. Verreweg het meest bos is aangeplant in voormalige heidegebieden. Bron: Werkgroep Florakartering Drenthe (1999)

De pH is nu veelal lager dan 4, wat betekent dat aluminium (Al) in oplossing gaat, wat in lage doses al zeer giftig is voor flora en fauna (Kieskamp & Smeenge, 2022). In recent onderzoek door WENR (De Jong et al, 2024) werden veranderingen in de bodemchemie tussen 1990 en 2023 geanalyseerd in 127 bossen op de hogere zandgronden. De pH in deze onderzoekslocaties bleek onveranderd, maar de aluminium bezetting aan het bodemcomplex (CEC) bleek sterk verhoogd wat aangeeft dat de verzuring is doorgegaan in de afgelopen 30 jaar (De Jong et al., 2024).

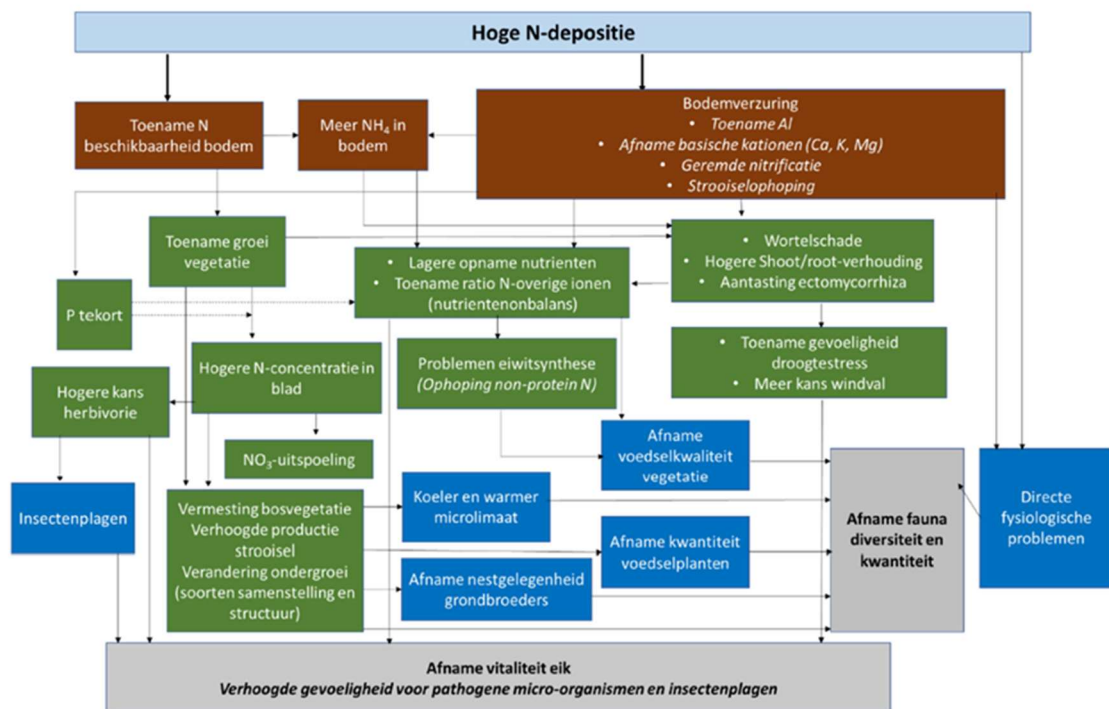
Naast verzuring vormt vermisting een drukfactor voor veel bossen. Momenteel is de jaargemiddelde ammoniakconcentratie (NH_3) in de lucht bijvoorbeeld op veel plaatsen in Nederland zo hoog dat deze toxisch is voor gevoelige korstmossen (Sutton et al., 2009). Een verhoogde beschikbaarheid van stikstof (N) in de bodem zorgt voor verschuivingen in de concurrentie tussen plantensoorten, met een steeds homogener vegetatiestructuur als gevolg (Bobbink 2021). Ook wordt de stikstofkringloop beïnvloed door deze langdurige overmaat aan stikstof (N), met als gevolg dat op den duur plantengroei niet langer wordt gelimiteerd door stikstof, maar door andere elementen zoals fosfor (P), kalium (K) of magnesium (Mg). De stikstofconcentratie in planten blijft echter toenemen, waardoor verschuivingen ontstaan in de element: N-verhoudingen in plant- en strooisel. Uit het onderzoek van De Jong et al. (2024) blijkt dat stikstof (N) accumuleert in de strooisellaag van de Nederlandse bossen sinds de jaren '90 van de vorige eeuw, en uit recent onderzoek van Onderzoekcentrum B-WARE blijkt dat er onder het habitatype Oud eikenbos (H9190) op de Veluwe ruim 40 kg N/ha/jaar uitspoelt onder de wortelzone (Sitters et al., 2024). Onze bossen zijn op veel plekken volledig met stikstof verzadigd. Vrijwel het gehele areaal aan habitatype Oude eikenbossen (H9190) en Beuken-eikenbossen met Hulst (H9120) ontvangt structureel meer reactief stikstof dan ze aankan (Figuur 1-2).

Hoge stikstofbeschikbaarheid zorgt naast verschuivingen in concurrentiekracht en nutriënten-verhoudingen ook voor een verandering in de investering van bomen in de verhouding van hun wortel en kroon (minder wortels, meer kroon) (Figuur 1-3). Gecombineerd met een milieu waarin het merendeel van de beschikbare voedingsstoffen is opgeslagen in de strooisellaag, de minerale bodemlaag vaak zeer zuur is met toxische aluminiumconcentraties en een volledig stikstof gedomineerd systeem, is het niet onlogisch dat veel bomen nu vooral wortelen in de bovenste 10 à 20 cm van de bodem. Ook op de samenwerking met schimmels heeft de combinatie van een hoog stikstofgehalte en bodemverzuring een negatief effect. Deze complexe combinatie van drukfactoren zorgt ervoor dat veel bomen gevoeliger zijn voor vraat, droogte, wind en vorst (Vries de, et al., 2019). De hierboven genoemde drukfactoren zijn daarmee ook van invloed op de biodiversiteit en hebben een negatieve doorwerking in de voedselketen. In verzuurde bodems zijn bijvoorbeeld nauwelijks wormen of ander voedsel voor bijvoorbeeld vogels te vinden.

Kortom: Onze Nederlandse bossen staan constant onder zware druk als gevolg van verdroging, vermisting verzuring en een steeds extremer wordend klimaat. Provincie Drenthe heeft aan de Bosgroepen gevraagd om samen met Onderzoekcentrum B-WARE en Bioclear Earth de kwaliteit van de Drentse bosbodems in kaart te brengen. De vraag is wat de huidige staat is van de bosbodems, rekening houdend met hun landschapsecologische context, bodemchemie en bodembioïologie en welke perspectieven er zijn voor het robuuster maken van deze groeiplaatsen ter verhoging van de natuurwaarden.



Figuur 1-2: Verdeling van de stikstofdepositie per 2,5 kg N/ha/ jaar-klasse voor Beuken-eikenbossen met hulst (H9120) en Oude eikenbossen (H9190) als percentage van het totaal oppervlak. De rode lijn geeft de Kritische Depositie Waarde (KDW) vastgesteld in 2021 van het habitattype weer. De huidige KDW is lager bijgesteld voor deze habitattypen waardoor de overschrijding nog ernstiger is. Uit Bobbink 2021.



Figuur 1-3: Samenvattend overzicht van de gevolgen van stikstofdepositie in droge loofbossen. Deze figuur uit Bobbink et al. (2019) is een synthese, aan de hand van de schema's uit Bobbink & Hettelingh (2011), de Vries et al. (2019) en Nijssen et al., (2017)

1.2 Beschikbare kennis

Zoals gezegd zijn er in de afgelopen decennia vele gebiedsstudies gedaan, maar Provinciaal dekkende studies gericht op bossen zijn schaars. Bijzonder is de provinciedekkende milieukartering die is uitgevoerd in 1974–1978, waarin de fysische geografie (aardkundige basis) de vegetatiekartering en vogelsamenstelling zijn uitgewerkt (Nijland et al., 1982; Dijkstra et al., 1992). Dit heeft ook voor de bossen die buiten de bekende reservaten vallen een uniek beeld opgeleverd. Dit ruimtelijk en Provinciaal dekkend beeld biedt daarmee een uitstekend overzicht als basis.

Bodemchemisch onderzoek is in het verre verleden (vanaf circa 1960) op diverse plekken vanuit de Stichting voor Bodemkartering Nederland uitgevoerd, maar biedt onvoldoende gegevens voor een provinciaal beeld. Ook zijn er onduidelijkheden met betrekking tot exacte locatie en monsterdiepte in relatie tot horizonten.

Onderzoek naar de bodembioologie (bodemmicrobioom) staat nog in de kinderschoenen en wordt vooral op landbouwbodems toegepast.

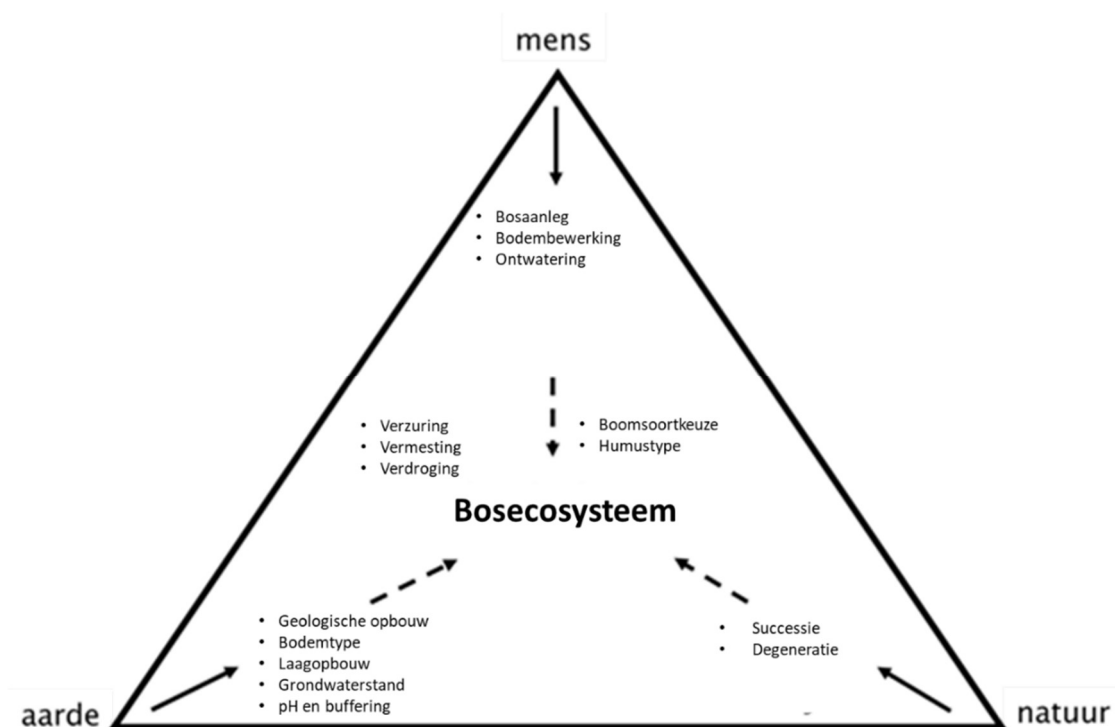
Provincie Drenthe is voortvarend aan de slag gegaan om een provinciaal beeld te krijgen van de “staat van de bossen in Drenthe”, waarbij op zowel de landschapsecologische kenmerken van de bosgroeiplaats, de bodemchemie en de bodembioologie worden onderzocht en geïntegreerd. Vanuit de systeemkenmerken van de bossen worden vervolgens passende maatregelen geformuleerd. Een interdisciplinair onderzoek van deze omvang, waarbij methodiekwontwikkeling, diagnosestelling en oplossingen worden uitgewerkt, is nieuw.

1.3 Visie op het onderzoek

1.3.1 Belang van een brede kijk op landschap

Het landschap en daarmee ook het bosecosysteem is ontstaan door een samenspel van aarde, mens en natuur (Figuur 1–4) (Smeenge, 2020). Om de kwaliteit van de Drentse bossen in beeld te kunnen brengen, is het belangrijk om factoren binnen alle drie de hoekpunten te onderzoeken. Het hoekpunt aarde omvat de geologische opbouw en de bodemvorming daarin. Het voorkomen van potklei of keileem heeft een sterke betekenis voor de rijkdom van de bodem (pH, buffering). Bij armer geologisch substraat zoals dekzand speelt met name invloed van grondwater een rol in de buffering van de bodem. De wisselwerking tussen de aarde en de natuur wordt vooral bepaald door verschillen in vocht, voedselrijkdom, zuurgraad en licht (Ellenberg, et al., 1991). Vanuit het hoekpunt natuur zijn verder onder andere het successiestadium van het bos en de mate van aftakeling (degeneratie) van invloed op de soortenrijkdom. Als voorbeeld zijn diverse oude geriefhoutbossen (holten) in de 17^e eeuw aangeplant met eiken en als hakhout geëxploiteerd. Sinds de beschikking over aardgas worden deze bossen niet meer als zodanig beheerd en zijn ze eenvormiger geworden qua leeftijd en soortensamenstelling. Dit leidt tot concurrentiedruk en sterfte. Dit speelt ook bij de jongere heidebebossingen die speciaal voor houtproductie zijn aangelegd. Dit (historische en actuele) beheer raakt ook het hoekpunt mens. Van belang zijn boomsoortkeuzes en bodembewerking voorafgaand aan aanplant. De studies over het Drentse Esdorpenlandschap, Biografie van de Drentse Aa laten zien dat ook de oudste

bosgroeiplaatsen van Drenthe een grote antropogene dynamiek hebben doorgemaakt (Elerie, 1993; Elerie, 1998; Spek, 2004; Smeenge, 2005; Elerie & Spek, 2010).



Figuur 1–4: Benaderingswijze voor het doorgronden van het boslandschap (naar Smeenge, 2020).

1.3.2 Belang van bodemchemie

Met behulp van de bodemchemische metingen kan een knelpuntenanalyse gemaakt worden van de bemonsterde bossen binnen de voorkomende bosgroeiplaatsen. De Nederlandse bossen staan momenteel onder druk als gevolg van een combinatie van klimaatverandering, bodemverzuring en vermist met stikstof (N). In het pleistocene zandlandschap is door atmosferische depositie van stikstof (N) en, voorheen, zwavel (S)-verbindingen de natuurlijke bodemverzuring in hoge mate versterkt en versneld, en is vermist opgetreden. Door de versterkte bodemverzuring (= afname buffercapaciteit) zijn kationen zoals calcium (Ca), kalium (K) en magnesium (Mg) steeds meer uitgespoeld, en is de beschikbaarheid van aluminium (Al) verhoogd (De Vries et al., 2019). Verder wordt de afbraak van organisch materiaal en vaak ook de nitrificatie, de omzetting van ammonium (NH₄) naar nitraat (NO₃), geremd waardoor dikke strooiselpakketten kunnen ontstaan, met daarin een overmaat aan ammonium (NH₄), en waarin essentiële voedingsstoffen zoals calcium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg) en fosfor (P) opgesloten raken. Daarnaast is door de overmaat aan stikstof (N) de mineralenbalans van de systemen op zandgronden verstoord geraakt. Uit eerder onderzoek is duidelijk naar voren gekomen dat in eikenbossen op arme zandgronden, sprake is van een mineralenonbalans die doorwerkt in de voedselketen (Bobbink, et al., 2012; Burg van den, Dees, Huigens, Bijlsma, & Waal de, 2014). In bosbodems is ammonium nu de dominante N-vorm voor planten, zeker in de zuurdere bostypen, met name doordat gereduceerd N (ammoniak/ammonium) al decennialang meer dan 75% uitmaakt van de N-atmosferische depositie, in combinatie met een vaak geremde nitrificatie (Vries de, et al.,

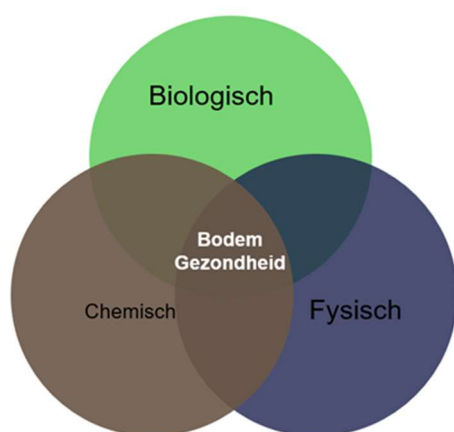
2019). Verwacht wordt dat dit net zo goed speelt bij naaldbossen en gemengde bossen op zandgronden.

In de vochtige bossen kan ook verdroging een knelpunt zijn. Wanneer grondwater niet meer periodiek tot in de humeuze bovenlaag stijgt kan verzuring en/of vermisting gaan optreden. Door verzuring wordt de strooiselafbraak geremd en accumuleert grof organisch materiaal. Daarnaast verloopt onder zure omstandigheden ook nitrificatie minder snel. Omdat er door verdroging ook dieper in de bodem geen natte, zuurstofloze condities meer zijn waar denitrificatie plaats kan vinden, de omzetting van nitraat naar gasvormig stikstof, hoopt stikstof op in het systeem. Ook fosfaat (P) blijft in verhoogde mate beschikbaar na verdroging, omdat het niet meer kan binden aan het met grondwater meekomend ijzer (Fe) of calcium (Ca). Verdroging van vochtige bossen leidt dus tot verzuring en vermisting.

1.3.3 Belang van het bodemmicrobioom

De kwaliteit van de bodem is onlosmakelijk verbonden met de algehele kwaliteit van het bosecosysteem. Figuur 1–5 toont de verschillende factoren die samen de bodemgezondheid bepalen. Naast de chemische en fysische parameters vormt de biologie de derde belangrijke factor. Sinds de komst van moleculaire technieken, die gebruik maken van unieke DNA sequenties, is het mogelijk om de onzichtbare bodembioologie (de bacteriën en de schimmels) te analyseren. Deze micro-organismen maken zowel in aantallen als gewicht het grootste deel uit van het bodemleven.

Micro-organismen spelen een cruciale rol in het bodemecosysteem, bijvoorbeeld door dood, organisch materiaal om te zetten naar voor de plant beschikbare nutriënten en organische stoffen. Bacteriën en schimmels zorgen ook voor omzettingen van complexe moleculen en verbindingen naar voor planten bruikbare verbindingen zoals stikstofverbindingen; bacteriën leggen bijvoorbeeld inert stikstof (N_2) uit de lucht vast in de vorm van ammonium (NH_4) en maken op deze manier reactief stikstof beschikbaar voor planten. Schimmels zoals mycorrhiza helpen planten bij de opname van reactief stikstof door hun uitgebreide netwerk van draden die zijn verbonden met de plantenwortels. Onderzoek heeft uitgewezen dat de groei van bomen sterk wordt beïnvloedt door de aanwezigheid van deze schimmels (Anthony, et al., 2022). Het neerslaan van stikstof op natuurgebieden heeft naar verwachting impact op de aanwezigheid van organismen die deze stikstof kunnen omzetten en zo bijdragen aan bijvoorbeeld de concentratie nitraat (NO_3) in de bodem en verzuring.



Figuur 1–5: De chemisch, fysisch en biologische eigenschappen van de bodem bepalen de bodemgezondheid.

Het onderzoeken van het bodemmicrobioom in relatie tot de ecologische kwaliteit van bossen levert naar verwachting nieuwe inzichten die bruikbaar zijn om effecten te kunnen duiden van bijvoorbeeld stikstofdepositie, verdroging of vernatting en de aan- of afwezigheid van typische soorten voor de groeiplaats. Deze inzichten kunnen vervolgens leiden tot nieuwe handelingsperspectieven voor het beheren van bossen.

1.4 Probleemstelling en onderzoeksvragen

We weten eigenlijk weinig over hoe de bossen van Drenthe ervoor staan. Enerzijds bereiken ons alarmerende berichten over grootschalige sterfte en verzuring, anderzijds bevat het Drentse bos een schatkamer aan bijzondere soorten, zelfs uniek voor Nederland. Zonder kennis over de ligging van deze bossen in het landschap en de onderliggende bodemprocessen is het onmogelijk om een goede diagnose te stellen. Het ontbreekt aan een overzicht, waarin een koppeling tussen het systeem, de onderliggende processen, chemische en (bodem) biologische eigenschappen en de eeuwenoude relatie tussen de mens en het bos. Naast het ontbreken van overzicht van hoe “goed” of “slecht” het met deze bossen gaat, is het ook nodig om perspectief te bieden voor behoud en herstel. Dit kan alleen als er een goed overzicht is en men weet aan “welke knoppen” gedraaid kan worden. Dit onderzoek speelt in op beide aspecten.

De basisaanname voor het onderzoek vormt de stelling dat de kenmerken van de Drentse bossen worden verklaard door de bodemkenmerken waarop ze voorkomen. De Drentse bosgroeiplaatsen zijn daartoe als eerste ingedeeld in groepen op basis van de standplaatscondities (geologie, bodem, hydrologie), deze indeling is beschreven in paragraaf 2.2.1 en hoofdstuk 3.

Een tweede basisaanname vormt het belang van de leeftijd van de bosgroeiplaats. Zoals hierboven beschreven in paragraaf 1.1 zijn er geen echte “oerbossen” in Drenthe aanwezig, maar wel relatief oude bossen met een duidelijke, brede, gebruikshistorie (de 1,6%); en relatief jonge bossen die na 1900 zijn aangeplant op voormalige heideontginningen met als voornaamste gebruiksdoel houtproductie.

Op basis van de twee aannames (bodemkenmerken en leeftijd) wordt in dit onderzoek een verwachting geformuleerd van het type standplaats (bodemopbouw, hydrologie, bio-geochemie en vegetatie) en wordt getoetst of de aangetroffen situatie voldoet aan dit geschetste verwachtingspatroon. Deze toetsing wordt gedaan voor de relatief oude bossen (hoofdstuk 4) en de relatief jonge bossen (hoofdstuk 5). Als er sprake is van een mismatch tussen de verwachting en de aangetroffen situatie, wordt gezocht naar verklaringen waaronder knelpunten. Voorbeelden hiervan zijn dat er een andere boomsoort is aangeplant, dat er sprake is van verdroging, vermesting of verzuring of dat sturende processen om andere redenen niet goed kunnen verlopen. Voor het bodemmicrobioom kunnen nog geen verwachtingen worden geschetst. Voor het bodembioom is de belangrijkste doelstelling om het bioom te beschrijven van de verschillende bosgroeiplaatsen, en te verkennen in hoeverre locaties die in meer of mindere mate aan de geschetste “bovengrondse” verwachtingen voldoen, ook in het bodembioom verschillen. Deze verkenning is beschreven in hoofdstuk 6. Op basis van al deze metingen en analyses is in hoofdstuk 7 uitspraak gedaan over de toestand van de Drentse Bossen. Waar gaat het goed en waar niet? Op basis van deze studie wordt ook aangegeven welke verklaringen er gevonden zijn voor de plekken waar de situatie

niet voldeed aan de verwachtingen, op basis waarvan knelpunten geformuleerd zijn en worden globale herstelmaatregelen gegeven in hoofdstuk 8.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2, de methode, geeft een toelichting op de vakgebieden en metingen uit dit provinciebrede bosonderzoek. Er zijn diverse keuzes gemaakt om tot onderzoekslocaties te komen en metingen zijn uitgevoerd in de bodem, de vegetatie, de bodemchemie en bodembioologie. Daarbij zijn de bossen van Drenthe ingedeeld in bodemgroepen, die verschillende groeiplaatsen representeren, en in twee categorieën: A (veelal de oudere loofbossen) en B (jongere bossen, veelal heidebebossingen).

Hoofdstuk 3 geeft uitleg over de landschapsecologische en historische kenmerken van de Drentse bossen, waaruit blijkt dat de bossen heel anders zijn dan zo'n 100 jaar geleden. Ook wordt ingegaan op de variatie aan bosgroeiplaatsen en bosgemeenschappen in relatie tot de ligging in het landschap. Daarbij wordt een referentiekader gegeven voor die verschillende groeiplaatsen.

In hoofdstuk 4 en 5 zijn voor respectievelijk de categorie A- en B-bossen de onderzoeksgegevens uiteengezet. Per bodemgroep wordt ingegaan op de ligging, geologie en bodem, hydrologie, bodemchemie, vegetatie en flora en menselijk gebruik.

Hoofdstuk 6 geeft de resultaten van de bodemgroep-overkoepelende analyses, waaronder ook het onderzoek naar het bodemmicrobioom. In dit hoofdstuk zijn ook categorie A- en B-bossen met elkaar vergeleken.

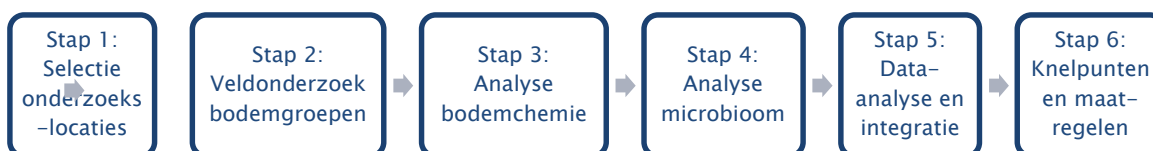
De conclusies zijn beschreven in hoofdstuk 7. Er wordt ingegaan op de hoofdvraag, wat de toestand van de Drentse bossen is op basis van de voorgaande hoofdstukken.

Hoofdstuk 8 is gewijd aan maatregelen en aanbevelingen. Er worden vragen behandeld als: Hoe kunnen bestaande waarden behouden blijven, waar liggen de kansen voor herstel en ontwikkeling en welke maatregelen zijn nodig en waar?

2. Methode

2.1 Stappen

Om een representatief beeld te krijgen van de bosgroeiplaatsen van Drenthe, is een aantal selectiecriteria opgesteld om tot een set onderzoekslocaties te komen (stap 1). Deze zijn bezocht en, wanneer geschikt bevonden, beschreven door de Bosgroepen (stap 2). Er zijn door de Bosgroepen bodemonsters genomen die door het laboratorium van onderzoekcentrum B-WARE zijn geanalyseerd (stap 3). Bioclear earth bemonsterde de bosbodems in het najaar en onderzocht de monsters op bodemleven via een DNA-analyse (stap 4). De verschillende datasets zijn door de drie onderzoekspartijen geanalyseerd en besproken tijdens diverse werksessies (stap 5). Vervolgens zijn knelpunten en perspectieven geschetst op basis van de uitkomsten (stap 6). De onderzoeksstappen zijn in de komende paragrafen verder toegelicht.



Figuur 2-1: Onderzoeksstappen bosbodemonderzoek Drenthe

2.2 Stap 1: Selectie onderzoekslocaties

2.2.1 Indeling categorieën en bodemgroepen

Een provinciebreed onderzoek vraagt om onderzoekslocaties verspreid over de variatie aan bosgroeiplaatsen van Drenthe. Het verzoek van provincie Drenthe was om het onderzoek te focussen op het Natuurnetwerk Nederland (NNN), daarom zijn allereerst die bossen geselecteerd. Aan de hand van de Boskaart van Nederland zijn vervolgens de bosgroeiplaatsen ouder en jonger dan 1900 onderscheiden. Vervolgens zijn bodemgroepen onderscheiden op basis van de landelijke 1:50.000-bodemkaart. De bodem, gevormd door een combinatie van geologisch substraat, het reliëf, hydrologische processen, de vegetatie en cultuurhistorische invloeden, bepaalt namelijk in grote mate de conditie van het bos (Jenny, 1941; Jenny, 1980; Bakker, 1981; Kemmers & Waal de, 1999; Kemmers, et al., 2011).

In eerste instantie zijn de bodemtypen in Drenthe geclusterd tot zes hoofdgroepen die de gradiënt van arm tot rijk en droog tot vochtig representeren. Later zijn de natte gronden (groep 5) opgesplitst in grondwatergevoed (5a), regenwatergevoed (5b). Een restgroep binnen de natte gronden betreffen die met onduidelijke bodemvorming, overwegend zijn dit de veenkoloniën. Deze zijn buiten het onderzoek gelaten. Na het onderzoek bleken gronden met keileem tussen pakweg 40 en 120 cm diepte tussen wal en schip te vallen: ze zijn dan ook armer dan gronden met ondiepere keileem, maar ze passen ook niet in een andere bodemgroep. Daarop is bodemgroep 1 opgesplitst in 1a met keileem binnen 40 cm en 1b met keileem tussen 40 en 120 cm. Tabel 2-1 toont de onderscheiden bodemgroepen en de bijbehorende bodemtypen volgens de landelijke bodemkaart.

Tabel 2-1: Onderscheiden bodemgroepen

Bodemgroep			Bodemtypen met code volgens bodemkaart (niet volledig, zie voor volledige lijst Bijlage 1)
Code	Naam	Afkorting	
1a	Wisselvochtig, keileem of potklei < 40 cm	Rijk 40	keileem of potklei
1b	Wisselvochtig, keileem of potklei 40-120 cm	Rijk 120	gooreerdgrond, beekeerdgrond
2	Droog, matig rijk	Matig rijk	holtpodzolgrond
3	Droog, arm	Arm droog	duinvaaggrond, haarpodzolgrond
4	Vochtig, arm	Arm vochtig	veldpodzolgrond
5a	Nat, grondwatergevoed	Nat GW	gooreerdgrond, beekeerdgrond, Moerige eerdgrond, madeveengrond, vlierveengrond
5b	Nat, regenwatergevoed	Nat RW	moerpodzolgrond, meerveengrond, boveengrond
6	Cultuurgronden	Cultuur	enkeerdgrond, looppodzolgrond

Vervolgens zijn bossen onderscheiden op basis van de provinciedekkende milieukartering uit 1974-1978 (Dijkstra et al., 1992). Deze biedt een 50 jaar oude referentie die met de hedendaagse vegetatie kan worden vergeleken. Dit maakt het mogelijk om te zien of bijvoorbeeld verzuuring of verzuring heeft plaatsgevonden, omdat door inmiddels beschikbare ecologische randvoorwaarden veel milieukenmerken kunnen worden afgeleid (Synbiosys Nederland). Voor het onderzoek zijn twee categorieën bossen onderscheiden: bossen waarin typische soorten zijn gekarteerd (categorie A) en bossen waar die soorten afwezig waren (categorie B) (Tabel 2-2). Dit betekent wel dat voor voorliggend onderzoek alleen de bossen zijn meegenomen die er in 1978 al waren. Recenter ontstane bossen, zoals aangeplant bos op landbouwgrond, zijn geen onderdeel van het onderzoek.

Tabel 2-2: Onderscheiden categorieën op basis van de milieukartering uit 1974-1978.

Cat.	Ouderdom	Geselecteerde vegetatietypen milieukartering 1974-1978
A	Oud (<1900) Jong (>1900): maar ouder dan 1950 (geen bos op landbouwgrond)	La Elzenbroekbos (<i>Alnion glutinosae</i>) La.u Elzenbroekbos soorten Elzen-vogelkersbos La1 Elzenbroekbos grote zeggen La2 Elzenbroekbos veel elzenzegge Lu Elzen-vogelkersbos (<i>Alno padion</i>) Lu.a Elzen-vogelkersbos soorten Elzenbroekbos Lu.q Elzen-vogelkersbos soorten Eiken-berkenbos Luf Elzen-vogelkersbos soorten Eiken-beukenbos Elzen-vogelkersbos soorten Eiken-berken- en Eiken-Lufq beukenbos Qa.u Eiken-berkenbos soorten Elzenbroekbos Qb.a Vochtig berkenbos soorten Elzenbroekbos Qf Eikenbos goed ontwikkelde ondergroei Beuken-eikenbos Eikenbos goed ontwikkelde ondergroei Beuken-eikenbos en Qf.a Elzenbroekbos Eikenbos goed ontwikkelde ondergroei Beuken-eikenbos en Qf.u Elzen-vogelkersbos Qh.f Eiken-berkenbos, plaatselijk soorten van Beuken-eikenbos Qi Eiken-hulstbos Qo.a Eiken-berkenbos, soorten van Elzenbroekbos Qo.f Eiken-berkenbos, soorten van Beuken-eikenbos Qo.q Eiken-berkenbos plaatselijk typische soorten Qq Eiken-berkenbos goed ontwikkelde ondergroei Eiken-berkenbos goed ontwikkelde ondergroei en soorten Qq.a Elzenbroekbos Eiken-berkenbos goed ontwikkelde ondergroei en soorten Qq.f Beuken-eikenbos Eiken-berkenbos goed ontwikkelde ondergroei en soorten Qq.u Elzen-vogelkersbos Qu Eikenbos soorten Elzen-vogelkersbos (<i>Alno-Padion</i>) Qu.d Eikenbos soorten Elzen-vogelkersbos en doornstruweel
B	Jong (<1900), maar ouder dan 1950 (geen bos op landbouwgrond)	Dit zijn heidebebossingen, waarin in 1974-1978 geen specifieke ecologische kenmerken aanwezig waren. Inmiddels is het bos op deze heidebebossingen circa 100 jaar en is het de vraag in hoeverre zich hier een bosgroeiplaats heeft kunnen ontwikkelen. Aangezien de boomsoortensamenstelling door de tijd is gewijzigd (van houtproductie met korte omlooptijden naar multifunctioneel bos) is alleen geselecteerd op de bosgroeiplaats en niet voor de opstand.

2.2.2 Onderzoekslocaties

Per unieke combinatie van bodemgroepen en categorieën (zie vorige paragraaf) zijn in het programma ArcGIS (ESRI) onderzoekslocaties geselecteerd. Er is bij de selectie gebruik gemaakt van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN3) om plekken te mijden waar het reliëf verstoord is, zoals rabatsloten. Bij de aanleg van rabatten is mogelijk meer gebufferd zand naar het oppervlak gebracht ten behoeve van ophoging en liggen de bodems in een andere landschapsecologische positie wat vergelijking met natuurlijke standplaatsen lastig maakt. Wanneer de bodems moeten worden bemonsterd voor chemische analyse levert dit ook diverse problemen op door vermenging van horizonen. Daarom was het doel zoveel mogelijk 'intacte' bodems (niet relatief recent verstoorde) te beschrijven en bemonsteren.

Tabel geeft een overzicht van het uiteindelijke aantal onderzoekslocaties per combinatie van categorie, ouderdom en bodemgroep. Niet overal is de minimale steekproefgrootte van vijf gehaald. Sommige combinaties komen in de praktijk niet tot nauwelijks voor (zoals categorie B op bodemgroep 1a/1b). Er kan wel gezegd worden dat alle bosobjecten die voldoen aan de criteria, zijn geselecteerd voor veldonderzoek. Er zijn dus geen belangrijke bosarealen gemist.

Tabel 2-3: Aantal onderzoekslocaties voor categorie A en B, voor de jonge en oude bosgroeiplaatsen en per bodemgroep.

Bodemgroep		Categorie			# per bodemgroep
		A		B	
		Oude groeiplaats (voor 1900)	Jonge groeiplaats (na 1900)		
1a	Rijk 40	10	5	1	16
1b	Rijk 120	5	2		7
2	Matig rijk	14	2	2	18
3	Arm droog	7	10	20	36
4	Arm vochtig	16	5	34	55
5a	Nat GW	6	6	1	13
5b	Nat RW	7	7	14	28
6	Cultuur	1	5	6	12
# per (sub)categorie		66	42	78	186
# totaal		108		78	

2.3 Stap 2: Veldonderzoek

In 2022 en 2023 is van april tot en met september het veldonderzoek uitgevoerd waarbij ook de bodemmonsters ten behoeve van bodemchemische analyses zijn genomen. De rijke bossen zijn als eerst bezocht vanwege de bosflora die in het voorjaar bloeit, de armere bossen later in het seizoen. De bodemmonsters voor het bodemleven zijn door Bioclear earth geclusterd bemonsterd in augustus–september van beide jaren.

2.3.1 Overzicht parameters per categorie

Bij de categorie A-bossen is uitgebreider veldonderzoek uitgevoerd dan bij categorie B-bossen. De reden hiervoor is dat de categorie A-bossen als de belangrijkste bossen worden gezien ten aanzien van biodiversiteit en vervangbaarheid. De categorie B-bossen maken ook een substantieel onderdeel uit van de Drentse bossen en zijn op een geringer aantal parameters onderzocht (Tabel 2-4).

Tabel 2-4: Te onderzoeken parameters per boscategorie. Groen = op dezelfde manier onderzocht bij A en B, geel = verschillende aanpak tussen de categorieën.

Parameter ↓	Categorie	
	A	B
Bodem, water, vegetatie (<u>Bosgroepen</u>)		
Geologisch substraat		
Bodemtype en kenmerken	Bodemtype en -horizonten	Alleen bodemtype
Bodemdichtheid		
pH-profiel bodem met indicatorstrips		
Humus	Humusvorm, -opbouw en -dikte	Alleen humusdikte
Vegetatie	Vegetatie-opname, SNL-doelsoorten	Alleen SNL-doelsoorten en het totaal aantal soorten
Successiestadium (ouderdom bos)		
Waterstand in boorgat		
Bodemchemie (o.a. eutrofie N, P/ buffering, Al) (<u>Onderzoekcentrum B-WARE</u>)		
F-/H-horizont (indien aanwezig)		
A-horizont (0-10 cm-mv)		
C-horizont (100-120 cm-mv)		
'X-horizont': Afwijkende bodemlagen zoals klei in een verder zandig profiel		
Bodemleven (<u>Bioclear Earth</u>)		
Bacteriën, schimmels, archaea		

2.3.2 Toelichting per parameter

Alle kwalitatieve parameters zijn vastgelegd in de applicatie FieldMaps (ESRI). De overige parameters (zoals bodemhorizonten) zijn op veldformulieren genoteerd, later zijn de relevante gegevens gedigitaliseerd. De volledige veldformulieren zijn niet als officiële bijlage bij dit rapport gevoegd, maar wel in bezit van provincie Drenthe.

Geologie en bodem

Per onderzoekslocatie zijn boringen uitgevoerd tot gemiddeld 2,2 meter onder maaiveld (m -mv) met een Edelmanboor, waarbij minimaal tot de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) is geboord, maximaal tot 3,2 m -mv. Van het bodemprofiel is beschreven:

- Bodemtype volgens (Bakker de, Schelling, Brus, & Wallenburg van, 1989).

Het bodemtype geeft inzicht in de processen die hebben gespeeld tijdens de vorming van de bodem. Het vormt daarmee een referentie van oorspronkelijke processen behorend bij deze bosgroeiplaats (infiltratie, kwel, stagnatie). Deze processen kunnen in de huidige situatie zijn veranderd, hetgeen zich pas op langere termijn zal uiten in een ander bodemtype. Per bodemtype is goed bekend wat de referentiewaarden zijn voor de waterstanden. Dit maakt het mogelijk om oplossingsrichtingen tegen verdroging en verzuring te formuleren.

- Bodemhorizonten volgens (Cate ten, Holst van, Kleijer, & Stolp, 1995).

- Geologische afzettingen (meest voorkomende): stuifzand en dekzand (beide Formatie van Bortel), keileem of -zand (Formatie van Drenthe), potklei (Formatie van Peelo) of zand uit de Formatie van Peelo. Bossen kunnen namelijk op hetzelfde bodemgroep staan, maar dankzij een andere geologische afzetting toch bodemchemisch verschillen.
- pH op verschillende diepten: in ieder geval de humuslaag, toplaag van de minerale ondergrond en vervolgens elke 40 cm. Er zijn pH-indicatorstrips (ColorPhast) gebruikt. Deze 'pH-veld'-metingen correleren met labmetingen met diverse extractiemethoden zoals pH-KCl en -H₂O, maar zijn niet 1 op 1 vertaalbaar blijkt uit recent onderzoek door Van Delft et al. (2024). De pH-profielen zijn dus indicatief om binnen een profiel verschillen in zuurgraad te zien, ze geven bijvoorbeeld inzicht in de diepte van de verzuring. De metingen zijn echter niet goed met labanalyses te vergelijken.
- Bodemdichtheid
Het is denkbaar dat compactie een belangrijke factor vormt voor beworteling en vochtleverantie. Daarom is met behulp van een penetrometer de bodemdichtheid gemeten. Dit wordt gedaan op elke 10 cm tot maximaal 50 cm onder maaiveld. Echter is de methode controversieel en de data zijn daarom uiteindelijk verder niet gebruikt.
- Humus
In tegenstelling tot het bodemtype reageert humusvorming snel op veranderingen (andere boomsoort, waterstanden) en geeft daarmee ook zicht in bodem-vegetatie-interacties. Het is daarmee waardevol, ook ten aanzien van monitoring, deze parameter mee te nemen. Bij beide categorieën is de totale dikte van het humuspakket, zonder de L-laag (vers blad) gemeten. Bij categorie A-bossen wordt ook de humusvorm en -opbouw beschreven en geclassificeerd aan de hand van Van Delft et al., 2004. Als gevolg van verzuring kan een 'mull'-humustype (goed afgebroken humus) veranderen naar een 'moder' of 'mor' (slechter afgebroken humus). Dit leidt tot een afname van de diversiteit in de kruidlaag.

Vegetatie

Per onderzoekslocatie is een vak van 20x20 m uitgezet. Vervolgens is het volgende geïventariseerd:

- Vegetatie-opname (alleen categorie A-bossen): Opname aan de hand van de Braun-Blanquet schaal in het programma TurboVeg. Zowel de boom-, struik-, kruid- als moslaag werden geïventariseerd. Er is gekeken of de vegetatie uit de milieukartering (1974-1978) nog zichtbaar is in de huidige situatie.
- SNL-doelsoorten en indicatorsoorten (onderverdeeld in doelsoorten of verruigingssoorten, zie Bijlage 1).
- Totaal aantal soorten (boom-, struik-, kruid- en moslaag).
- Successiestadium

De ouderdom van het bos heeft invloed op de biodiversiteit. In een bos met een hoog stamtal is de biodiversiteit van kruiden lager door gebrek aan licht, ten opzichte van een bos waar meer ruimte is. Een lage biodiversiteit hoeft dus niet veroorzaakt te worden door bijvoorbeeld verzuring van de bosgroeiplaats, maar kan ook het gevolg zijn van een jong successiestadium. Binnen het vak waar de vegetatie wordt opgenomen (20x20 m) wordt het bos ingedeeld in één van de onderstaande klassen (Werf van der, 1991):

- Open fase: Deze fase ontstaat na velling van de voormalige opstand of na een natuurlijke verstoring.
- Jonge fase: Jonge bomen hebben zich gevestigd op de vlakte.
- Dichte fase: De kronen van de bomen raken elkaar.
- Stakenfase: Het verschil met de dichte fase is dat de onderste 2–3 meter van de bomen geen levende takken meer hebben.
- Boomfase: De gemiddelde diameter op borsthoogte (dbh) is nu boven de 20 cm.
- Aftakelingsfase: Door de sterfte van grote bomen vallen er gaten in het bladerdek.

Alle onderzochte locaties bevinden zich in de boomfase, waarbij op sommige plekken een gat in de kroonlaag aanwezig was.

Hydrologie

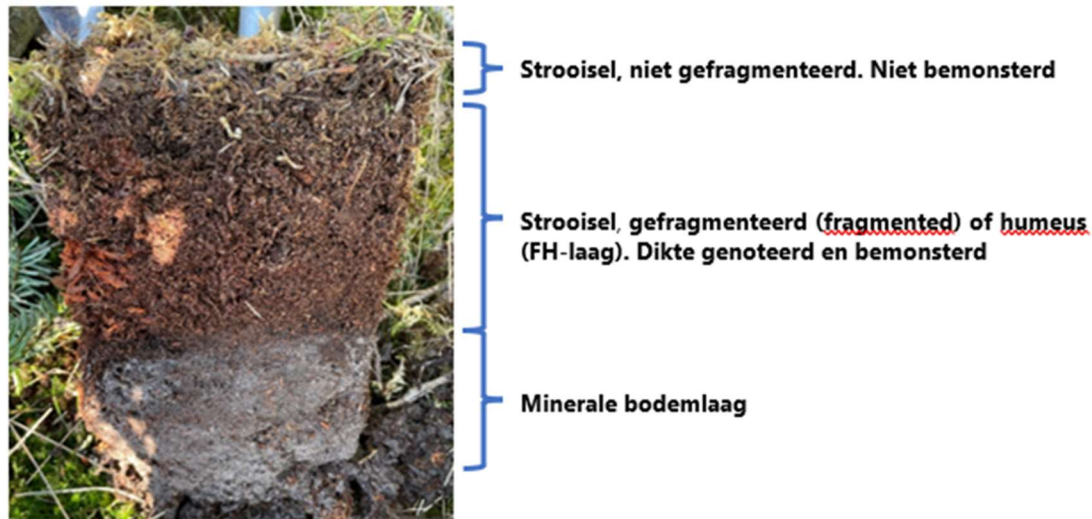
In het boorgat (zie 2.3.2 Geologie en bodem) is ongeveer een uur na het boren de waterstand gemeten. Hoewel deze meting een momentopname is, kan het inzicht geven in de waterhuishouding van het bos: dit geldt vooral voor bossen op veen, waar we weten dat de waterstand van oorsprong niet dieper wegzakt dan 30 cm onder maaiveld (randvoorwaarden uit applicatie Waterlood v3.0.4). Naast de waterstandsmeting is de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) geschat op basis van reductiekenmerken in het bodemprofiel. Dit is niet mogelijk voor veengronden, omdat door de organische stof geen reductie- en oxidatieverschijnselen af te lezen zijn. De diepte waarop het veen gemineraliseerd of verweerd is in combinatie met het pH-profiel geven een indruk van de hydrologische omstandigheden.

Bodemchemie

De volgende bodemlagen zijn bemonsterd (zie ook paragraaf 2.4):

- F-laag (humus, als deze laag dikker was dan 2 cm). Dit betreft de humuslaag met gefragmenteerde bladeren. Hier kunnen haarwortels van bomen in wortelen en wortels van bosflora. In zuurdere bodems met een slechtere strooiselomzetting is mogelijk ook een H-laag aanwezig (volledig afgebroken humus zonder minerale delen) (Delft van, Veldgids humusvormen; beschrijving en classificatie van humusprofielen voor ecologische toepassing, 2004). Indien dat het geval is, wordt een monster genomen van de F- en H-laag samen. Naar verwachting is op vrijwel alle locaties een F-laag aanwezig, H-lagen zijn veel schaarser.
- A-horizont (toplaag; 0–10 cm). Hiervoor is een mengmonster gemaakt door de A-horizont op drie plekken te bemonsteren.
- C-horizont (moedermateriaal; 100–120 cm–mv). De bodemchemie van het moedermateriaal is van belang om inzicht te hebben wat er voor bomen ‘te halen valt’ qua voedingsstoffen en mineralen. Rijk-strooiselsoorten met een ‘pompwerking’ en/of hydrologisch herstel kunnen eraan bijdragen om bufferende stoffen naar oppervlakte te krijgen.
- ‘X-horizont’, indien van toepassing. Hiermee wordt een afwijkende bodemlaag bedoeld, zoals een leem- of kleilaag in een verder zandig profiel. Omdat deze lagen de bodemchemie en waterkwaliteit kunnen beïnvloeden, is het van belang om de chemie van deze laag te onderzoeken. Voorbeeld is de potklei die soms op grotere diepte aanwezig was.

De monsters zijn in plastic zakken in de koelbox en na maximaal 2 dagen in de koelkast bewaard. Binnen 3 weken na bemonstering zijn ze afgeleverd bij onderzoekcentrum B-WARE en geanalyseerd.



Figuur 2-2: Voorbeeld van een profiel van de bemonsterde F(H)-laag en A-horizont (minerale bodem).

2.4 Stap 3: Bodemchemie

2.4.1 Toelichting bodemchemische parameters

Bodemchemische metingen kunnen inzicht geven in de bodemopbouw en mogelijke knelpunten in bodems zoals verzuring en vermisting. Voor de bodemopbouw wordt gekeken naar het percentage organische-stof in een bodem en de totaal-gehalten aan elementen in een bodem. Een sterk organische bodem (>35% organische-stof) is venig en minder organische bodems bestaan uit zand, leem of klei. Hoe hoger de totaal-aluminium- en kaliumconcentraties in een bodem, hoe leemhoudender een bodem over het algemeen is.

Een goede graadmeter voor de mate van bodemverzuring vormt de basenverzadiging, dit is de mate waarin het bodemadsorptiecomplex (Cation Exchange Capacity of CEC) is opgeladen door basen, en in staat is om inkomende zuren te bufferen. Dat gebeurt door inkomende zuren uit te wisselen voor aan het complex gebonden basische kationen (met name calcium (Ca), kalium (K) en magnesium (Mg)), die vervolgens uitspoelen en daarmee niet langer beschikbaar zijn voor planten en dieren. Bodems met een grote CEC kunnen veel inkomend zuur bufferen, maar zijn bij verzuring ook moeilijker weer te herstellen. Bodems met een lage CEC zijn gevoelig voor verzuring maar vaak ook makkelijker weer op te laden met basen. Een lage CEC is vaak gekoppeld aan arme zandgronden en een hoge CEC aan leemhoudende of organische bodems. Wanneer de minerale bodem niet langer in staat is inkomende zuren te neutraliseren door het uitwisselen van basische kationen, daalt de pH en komt aluminium (Al) in oplossing (de aluminium bufferrange). De hoeveelheid giftig aluminium in de bodemoplossing neemt toe, waardoor de opname van voedingsstoffen (de Wit et al., 2010) en de groei van micro-organismen wordt geremd (Piña & Cervantes, 1996). De hoeveelheid aluminium in de bodemoplossing kan schadelijk zijn als de verhouding tussen de aluminium- en calciumbeschikbaarheid (Al/Ca-ratio) in het bodemvocht hoger is dan 2 (Cronan & Grigal, 1995).

Een graadmeter voor de voedselrijkdom vormen de stikstofconcentraties en de fosfaatconcentraties in de bodem. Stikstofconcentraties in de bodem worden gemeten als anorganisch nitraat (NO_3) en ammonium (NH_4). Hoge stikstofconcentraties kunnen wijzen op vermisting, verstoring en in natte systemen ook op afbraak van organisch materiaal door zuurstofloze omstandigheden. Fosfaatconcentraties in de bodem worden gemeten als vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P. Hoge fosfaatconcentraties kunnen wijzen op bemesting en zorgen voor verzuuring van vegetaties. Een goede graadmeter voor de mate van vermisting vormt de ontwikkeling van de ondergroei, metingen aan het porievocht en metingen in blad. Deze laatste twee parameters werden niet meegenomen in dit onderzoek.

2.4.2 Toelichting op lab-bepalingen

In de periode april tot september 2022 en 2023 werden door de Bosgroepen bodemmonsters verzameld op de door hen geselecteerde locaties en binnen drie weken aangeleverd aan Onderzoekcentrum B-WARE. In totaal werden 180 FH-horizonten, 192 A-horizonten en 191 C-horizonten verzameld. Op 58 locaties werd ook een monster verzameld van de over het algemeen dieper gelegen leem- of kleilagen (X-horizont). Op de verzamelde bodemmonsters werden de volgende bewerkingen uitgevoerd:

- Organische stofgehalte en massa-volume;
- Zoutextractie voor het bepalen van de pH, beschikbare concentraties aluminium (Al), calcium (Ca), kalium (K) en magnesium (Mg), de Al/Ca-ratio, de vrij beschikbare fosfaat (P) concentratie en de concentratie ammonium (NH_4) en nitraat (NO_3) in de bodem;
- Strontiumextractie voor het bepalen van de Cation Exchange Capacity (CEC) en de basenverzadiging in de bodem;
- Olsen-extractie voor het bepalen van de concentratie plantbeschikbaar fosfaat (Olsen-P);
- Magnetron-destructie om het totaal gehalte aan elementen te bepalen (Ca, K, Mg, Al, P).

De analysemethoden staan beschreven in Bijlage 2.

2.5 Stap 4: Bodemmicrobioom

In september 2022 is 25% van de totale locaties uit dit onderzoek bemonsterd door Bioclear earth. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd (februari 2023) en beschreven in een tussenrapportage (2023-10-30 secr. Tussenrapportage Bodemmicrobiologie 5839 13329). Op basis van deze uitkomsten is besloten alle locaties uit het onderzoek te bemonsteren voor analyse op het microbiom (bacteriën, archaea en schimmels). In september 2023 zijn de overige 75% van de locaties bemonsterd.

De locaties zijn bemonsterd aan de hand van door de Bosgroepen aangeleverde coördinaten. Hierbij is in het veld rekening gehouden met het representatief steken van de monsters op basis van de aanwezige vegetatie, mogelijke hoogteverschillen, etc. Op basis van het overleg tijdens de demodag (1 april 2022) is vastgesteld dat de toplaag van 5 tot 25 cm onder het maaiveld wordt bemonsterd. Een monster bestaat uit een mengmonster van 3-4 steken, elke locatie wordt in duplo bemonsterd (2 monsters per locatie). Het monster is in het veld geconserveerd en gekoeld bewaard. Vervolgens zijn DNA-extracten gemaakt en DNA Next Generation Sequencing (NGS) uitgevoerd op de groepen (targets): bacteriën (16S), archaea

(16S) en schimmels (ITS) in het laboratorium van Bioclear earth. Dit heeft geresulteerd in totaal 1158 datasets (386 monsters x 3 targets).

2.6 Stap 5: Dataverwerking en –analyse

De data zijn opgeschoond en geanalyseerd. Een uitgebreide beschrijving is opgenomen in Bijlage 1.

2.7 Stap 6: Knelpunten en perspectieven

Op basis van de resultaten van het onderzoek zijn er per bodemgroep knelpunten beschreven en maatregelen geformuleerd (hoofdstuk 80).

3. Inleiding in de bossen van Drenthe

3.1 Inleiding

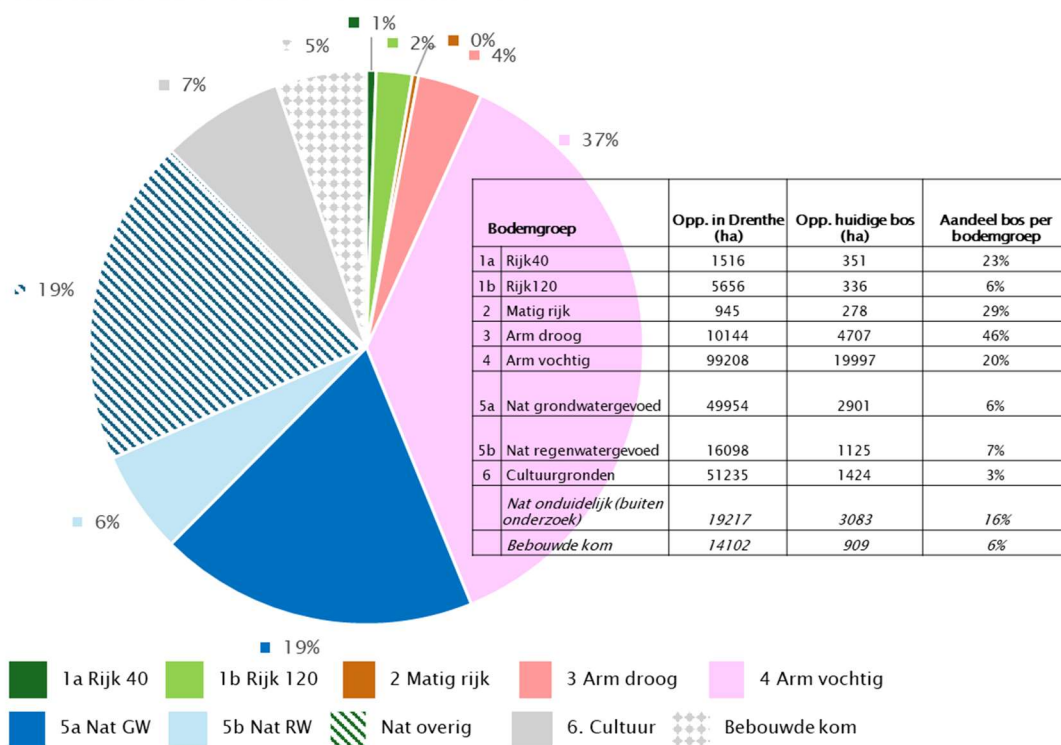
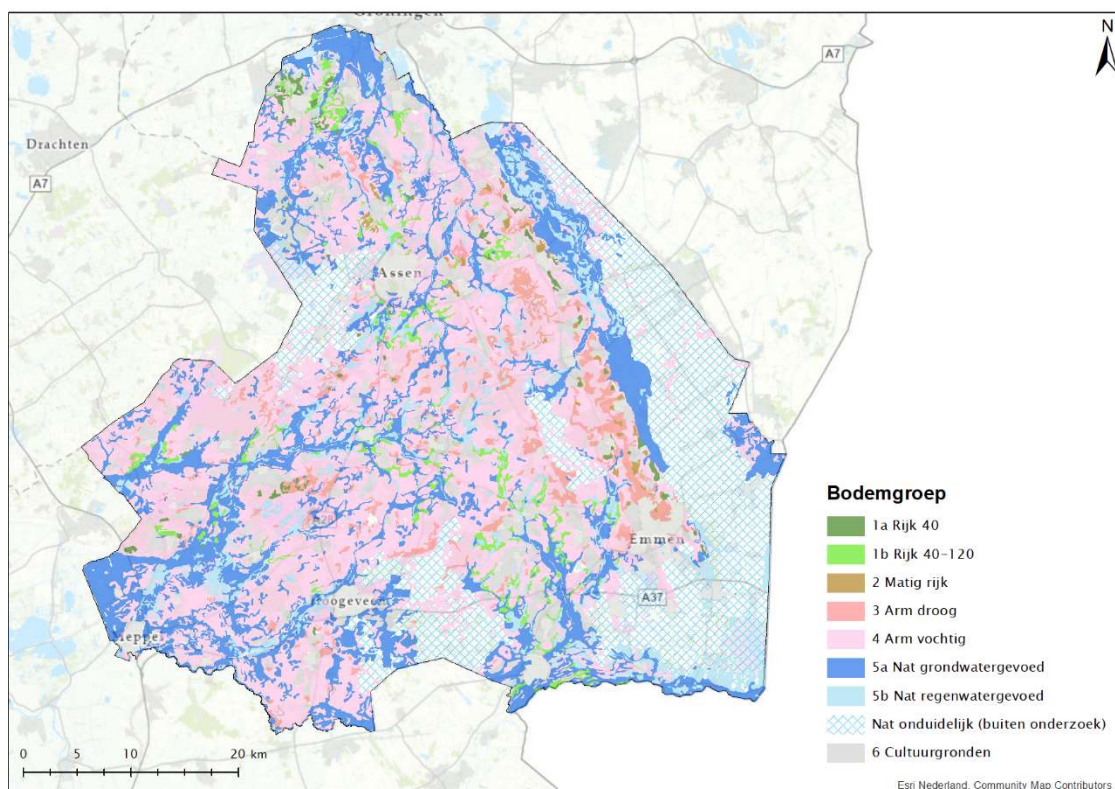
Drenthe bestaat voor 14% uit bos (37.323 ha) (Provincie Drenthe, 2021). Het bijzondere is de grote variatie op verschillende schaalniveaus. Op provinciaal niveau zijn er overgangen van het keileemplateau naar hoogveen- of laagveengebieden. Op de keileemplateaus wisselen dekzandruggen en -vlakten, geïsoleerde laagten en beekdalen elkaar af. Hierop is het oude cultuurlandschap van heide, bossen, essen en groenlanden aanwezig. De hoogvenen liggen in grote depressies tussen ruggen op dit keileemplateau, maar vooral langs de randen. Aan de noord- en zuidwestzijde van het Drents plateau zijn er overgangen naar het laagveenlandschap. De overgangen tussen de verschillende landschapstypen bevatten veel variatie in bodemgroepen en zijn daarmee in potentie heel soortenrijke milieus. Dit onderzoek richtte zich op de verschillende bodemgroepen binnen deze landschapstypen en hoofdzakelijk op het Drents plateau, waar het grootste bosareaal aanwezig is. Het doel van dit hoofdstuk is om de lezer een inleiding te geven in de variatie van deze bossen, geredeneerd vanuit de acht onderscheiden bodemgroepen en twee categorieën. Paragraaf 3.2 laat zien om welk areaal het gaat per bodemgroep en categorie. Paragraaf 3.3 stelt het referentiekader van de bodemgroepen en in paragraaf 3.4 wordt het historisch bosgebruik van Drenthe beschreven.

3.2 Bodemgroepen en areaal

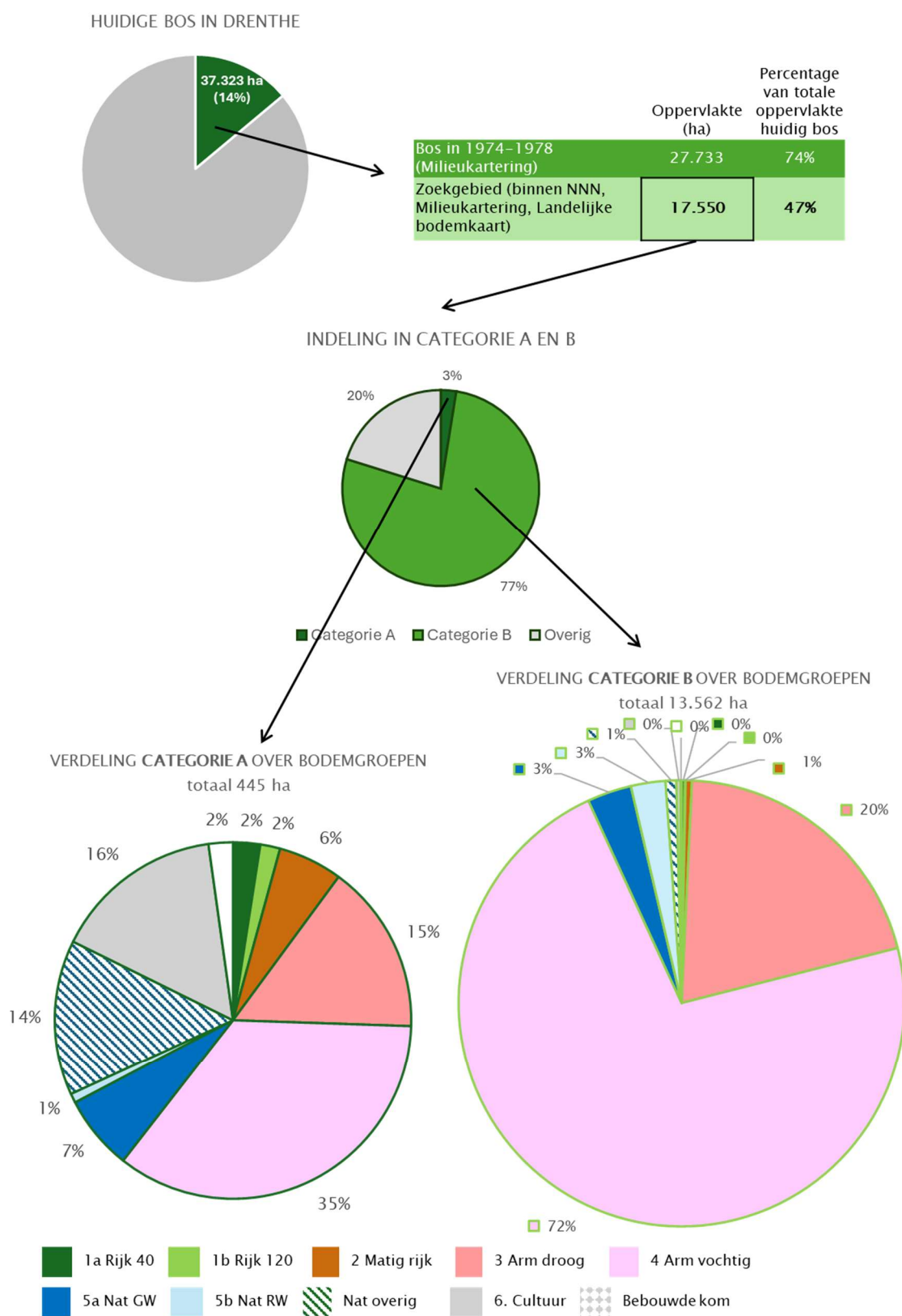
Voor dit onderzoek zijn op basis van geologie, bodem en hydrologie acht bodemgroepen onderscheiden (zie paragraaf 2.2.1 en Figuur 3-1). De natte gronden (1b, 5a, 5b en de overige natte gronden) hebben met een totaal van 46% de grootste bedekking. Daarvan is een groot deel niet meegenomen in het onderzoek vanwege de sterk verstoorde bodems (veenkoloniën). Ook bodemgroep 4: Arm vochtig heeft een grote bedekking (37%). De bedekking van 1a: Rijk 40 en 2: Matig rijk is heel klein (<1%). De tabel in Figuur 3-2 toont het oppervlakte per bodemgroep en het deel daarvan dat momenteel bestaat uit bos. Van de rijke (1a) en matig rijke bodemgroep (2) is de omvang van het huidige bos slechts een paar honderd hectare, ten opzichte van bijna 20.000 hectare bos op de arme, vochtige bodems (4).

Hoewel er momenteel 37.323 hectare bos is in Drenthe, was het zoekgebied voor dit onderzoek zo'n 17.550 hectare. Dat is het resultaat van het toepassen van de criteria dat de bossen meegenomen moeten zijn in de milieukartering van 1974–1978, het NNN en de landelijke bodemkaart (zie hoofdstuk 2). Het verschil van 20.000 hectare omvat 10.000 hectare bos dat is ontstaan of aangeplant ná de milieukartering (Figuur 3–2), de overige 10.000 hectare is bos buiten het NNN of buiten de bodemkaart. De middelste taartdiagram in Figuur 3–2 laat zien dat van het zoekgebied van 17.550 hectare bos, 3% (445 hectare) tot categorie A-bossen behoort (bossen met typische soorten). Categorie B-bossen (na 1900, zonder typische soorten) omvatten een veel groter areaal, namelijk 77% van het zoekgebied (13.562 hectare).¹ Wanneer per categorie wordt gekeken (taartdiagrammen onderin Figuur 3–2) is te zien dat de variatie aan bodemgroepen in categorie A-bossen groter is. Categorie B-bossen staan voor het overgrote deel (92%) op de arme droge en vochtige bodemgroepen.

¹ De overige 20% vallen buiten categorie A en B en betreffen jonge bossen met typische soorten en oude bossen zonder typische soorten.



Figuur 3-1: Verspreiding bodemgroepen over Drenthe. Tabel: oppervlakte huidige bos en percentage van het totale oppervlak in Drenthe. Een groot deel van de natte gronden is buiten het onderzoek gelaten, dit betreffen de veenkoloniën met verstoorde bodems ('Nat onduidelijk').



Figuur 3-2: Boven: percentage huidig bos in Drenthe. Midden: verdeling van dat bos over categorie A en B, binnen NNN, en binnen de milieukartering. Onder: representativiteit (%) van elke bodemgroep in categorie A en B.

3.3 Referentiekader bodemgroepen

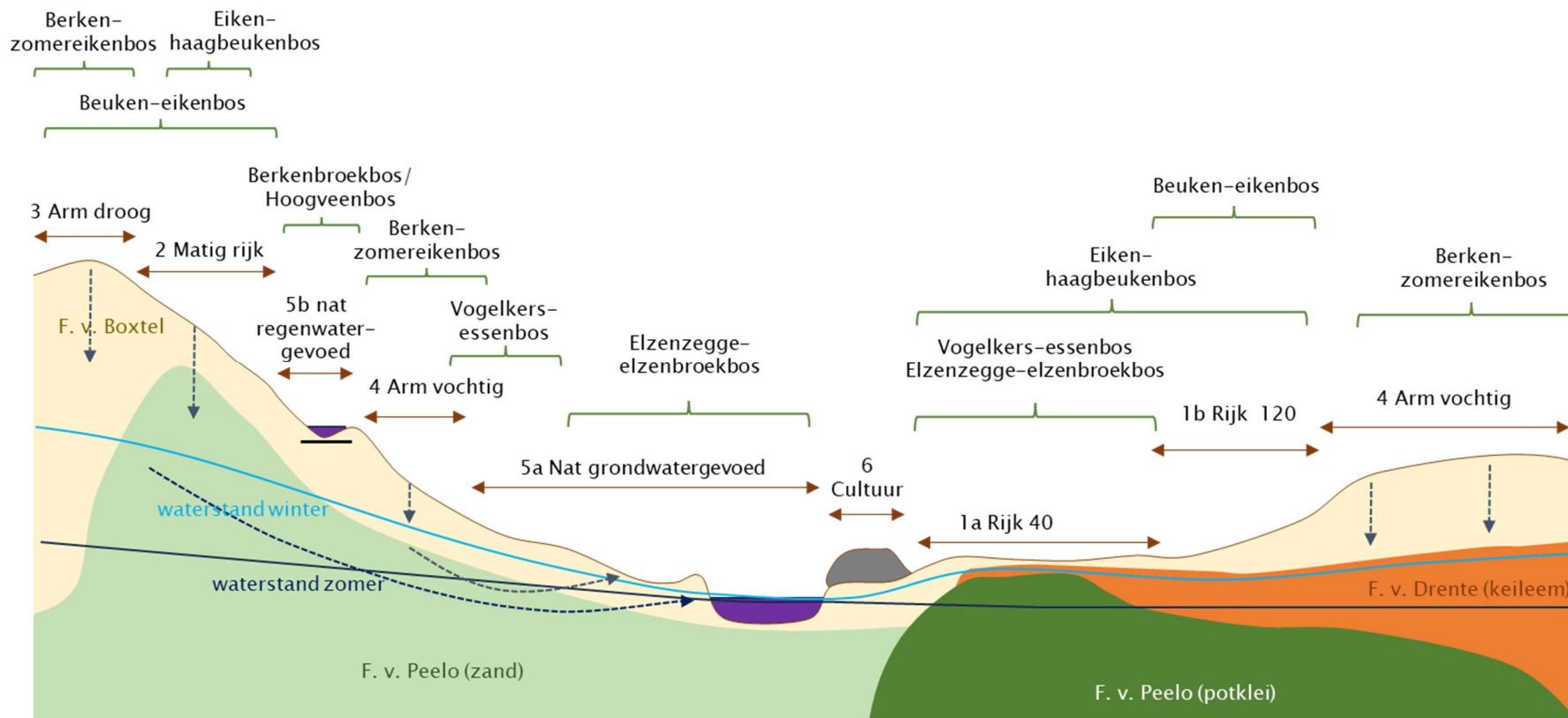
Elke bodemgroep omvat een aantal bodemtypen en heeft een aantal bodemchemische en hydrologische kenmerken, typische vegetaties en vermoedelijk ook een bepaald type bodemmicrobioom. Er is dus een bepaalde relatie tussen de ondergrond en de vegetatie te verwachten. In dit onderzoek is gekeken of de huidige relatie daarmee overeenkomt. Komende paragrafen gaan in op het 'referentiekader' waarmee de huidige staat van de Drentse bossen is vergeleken.

3.3.1 Bosvegetaties in relatie tot bodemgroepen

Tabel 3-1 laat per bodemgroep de bijbehorende 'natuurlijke' bosvegetaties zien. Om de interactie tussen geologie, hydrologie en bodem en vervolgens de invloed op de vegetatie inzichtelijk te maken, is in Figuur 3-3 een schematische doorsnede gemaakt van het landschap van Drenthe met de verschillende geologische afzettingen, hydrologie, bodemgroepen en natuurlijke bosvegetaties.

Tabel 3-1: Natuurlijke bosvegetatie per bodemgroep (gebaseerd op een combinatie van bronnen waaronder Jalink et al. (2003), de applicaties SynBioSys en Waternood (WUR), de vegetatietypen die in 1974-1978 (Dijkstra et al., 1992) zijn aangetroffen in combinatie met expert judgement). Voor bodemgroep 6 is niet zozeer een 'natuurlijk' bosvegetatietype te benoemen, uitgaande van de rijkdom van de ondergrond is hier hetzelfde te verwachten als bij bodemgroepen 2, 3 en 4.

Bodemgroep	Vegetatietype
1a: Rijk 40	Eiken-haagbeukenbos Vogelkers-essenbos Elzenzegge-elzenbroekbos
1b: Rijk 120	Beuken-eikenbos Eiken-haagbeukenbos
2: Matig rijk	Beuken-eikenbos Eiken-haagbeukenbos
3: Arm droog	Berken-zomereikenbos Beuken-eikenbos
4: Arm vochtig	Berken-zomereikenbos
5a: Nat GW	Vogelkers-essenbos Elzenzegge-elzenbroekbos
5b: Nat RW	Berkenbroekbos



Figuur 3-3: Schematische doorsnede van Drenthe om de relatie tussen geologische afzettingen, bodemgroepen, hydrologie en natuurlijke bosvegetaties te laten zien. Afhankelijk van de menselijke beïnvloeding en doelstelling wijkt de huidige vegetatie af. Bij productiebossen is de relatie tussen bosgroeiplaats en vegetatie bijvoorbeeld minder aanwezig door aanplant van boomsoorten die van origine niet in Nederland voorkomen (gebaseerd op een combinatie van bronnen waaronder Jalink et al. (2003) en de applicaties SynBioSys en Waternood (WUR) in combinatie met expert judgement).

3.3.2 Humusvorm en hydrologie

Tabel 3–2 geeft per bodemgroep de hypothese weer voor de humusvorm en de hydrologie. Er is geen referentie–onderzoek bekend waaruit kan worden opgemaakt welke humusvorm passend is bij welk bodemtype. Dit komt ook doordat er altijd interactie is tussen de boomsoortensamenstelling (bladeigenschappen) en bodemeigenschappen. Dit betekent dat er ten aanzien van de humusvorm altijd een wisselwerking is tussen de bodem en de vegetatie. Wel kan in algemene zin worden gezegd dat bij de rijkere, nattere bodemgroepen (1a en 5a) een betere strooiselomzetting verwacht wordt dan bij armere, drogere groepen (Van Delft et al., 2002; Van Delft et al., 2004; Zanella et al., 2009). Uiteraard is dit sterk afhankelijk van de boomsoortensamenstelling; in welke mate er soorten staan waarvan het blad goed afbreekt (Desie et al., 2020). Een mull–humusvorm wordt verwacht bij bodemgroep 1a: Rijk 40 door het rijke substraat. Bij de natte bodemgroepen (5a: Nat GW en 5b Nat RW) is de verwachting dat op de veengronden een strooisellaag ontbreekt. Mor–humustypen worden verwacht bij oude, van nature zure bossen (bodemgroep 3: Arm droog). Moder is de tussenvorm en deze kan bij een breed scala aan bodemgroepen worden verwacht (1b: Rijk 120, 2: Matig rijk, 3: Arm droog, 4: Arm vochtig en 6: Cultuur).

Qua hydrologie zijn er wel referenties. In de referentiedatabase Waternood zijn referentiewaarden opgenomen voor de gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstand (GHG en GLG) bij verschillende bodemtypen.

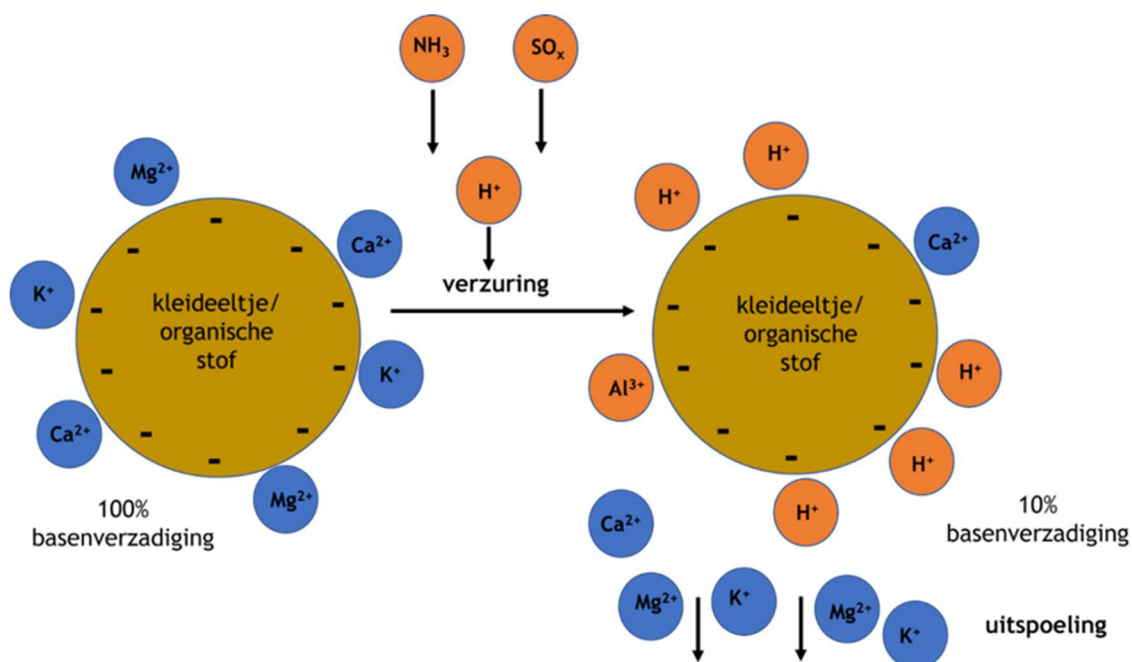
Tabel 3–2: Referenties per bodemgroep voor de hydrologie (bron: applicatie Waternood), humusvorm (expert judgement) en vegetatietype (bron: Synbiosys en expert judgement). GHG = gemiddelde hoogste grondwaterstand, GLG = gemiddelde laagste grondwaterstand.

Bodemgroep	Hydrologie			Humusvorm (hoofdgroep)
	Bodemtypen	GHG	GLG	
		cm-mv		
1a: Rijk 40	keileem	25	120	mull
1b: Rijk 120	gooreerd, beekeerd	0	80	moder
2: Matig rijk	holtpodzol	nvt	nvt	moder
3: Arm droog	haarpodzol, duinvaag	nvt	nvt	moder/mor
4: Arm vochtig	veldpodzol	25	120	moder
5a: Nat GW	veen, gooreerd, beekeerd	0	30 (veen) of 60 (mineraal)	geen (veen)
5b: Nat RW	veen	0	30	geen (veen)
6: Cultuur	enkeerd, loopodzol, laarpodzol, kamppodzol	nvt	nvt	moder/mor

3.3.3 Bodemchemie

Momenteel bestaat er geen compleet bodemchemisch referentiebeeld voor een groot deel van de Nederlandse bossen. Ondanks de vele metingen in binnen- en buitenlandse bossen op leem- en zandgronden zijn deze metingen niet of nauwelijks beschreven/geanalyseerd in relatie tot het bodemtype waardoor een goed referentiebeeld per bodemtype veelal ontbreekt. Om toch tot goede criteria/referentiewaarden te komen is gebruik gemaakt van empirische kennis uit de vele onderzoeken van onderzoekcentrum B-WARE en Bosgroepen in diverse bostypen in relatie tot waarden die zijn gepubliceerd in de wetenschappelijke literatuur.

Een goede graadmeter voor de mate van bodemverzuring vormt de basenverzadiging, dit is de mate waarin het bodemadsorptiecomplex (Cation Exchange Capacity of CEC) is opgeladen door basen, en in staat is om inkomende zuren te bufferen. Dat gebeurt door inkomende zuren uit te wisselen voor aan het complex gebonden basische kationen (met name calcium (Ca), kalium (K) en magnesium (Mg)), die vervolgens uitspoelen en daarmee niet langer beschikbaar zijn voor planten en dieren (Figuur 3–4). Het omslagpunt tussen de buffering van zuren door middel van het adsorptiecomplex en het in oplossing komen van aluminium (Al) ligt rond een pH 4 tot 5 gemeten in het demiwaterextract (Rahman, et al., 2018). Dit ligt rond een pH 3,2 tot 4,5 gemeten in het NaCl-extract zoals in dit onderzoek (uitgerekend m.b.v. de correlatie tussen pH H₂O en pH NaCl uit bosbodems op de Veluwe).



Figuur 3–4: Schematische weergave van kationenuitwisseling door het bodemadsorptiecomplex.

Een basenverzadiging van <7% wordt geclassificeerd als zeer laag bij bosbodems op zandgronden (Wellbrock & Bolte, 2019) en is ook voor zure bostypen ongunstig (GRIP). Bij een basenverzadiging lager dan 25–30% komt aluminium in oplossing en dit is giftig voor veel planten. Echter een basenverzadiging tussen de 7–30% hoeft voor zuurdere bostypen niet direct een knelpunt te zijn. Een belangrijke kennislacune is dat onvoldoende bekend is

tot welke pH en basenverzadiging de natuurlijke verzuring in deze bostypen leidt. Een pH (NaCl) van $<3,2$ is een indicator dat er sprake is van een verzuringsknelpunt en een hoge pH (NaCl) van $>4,5$ is een indicator voor voldoende buffering in de bodem (o.a. (Blume, et al., 2016)). Bovendien is er geen sprake van een harde grens: hoe sterker de verzuring, uitloging en mobilisatie van aluminium, hoe groter het aantal kenmerkende soorten dat uit het bos zal verdwijnen. Voor iedere locatie zal de uitgangssituatie (voor de grote verzurende- en vermestende depositie en voor grootschalig ander gebruik door de mens) anders zijn geweest. Over het algemeen kan gesteld worden dat het zuurbufferend vermogen (de CEC) op locaties met veel organische stof of een hoge leemfractie groter geweest zal zijn dan op arme zandgronden. Maar een hoge CEC betekent niet per definitie dat de locatie altijd een hoge basenverzadiging heeft gehad, zo kan een leemlaag bestaan uit zure leem of juist uit basenrijke leemafzettingen. Ook de invloed van grondwater is een belangrijke factor, omdat hiermee basische kationen aangevoerd kunnen worden die het bodemcomplex weer opladen. Ook hiervoor geldt dat de aanwezigheid van grondwater niet per definitie zorgt voor de aanvoer van basen. Grondwater kan basenrijk- of zuur zijn.

Wanneer de minerale bodem niet langer in staat is inkomende zuren te neutraliseren door het uitwisselen van basische kationen, daalt de pH en komt aluminium in oplossing (de aluminium bufferrange). De hoeveelheid giftig aluminium in de bodemoplossing neemt toe, waardoor de opname van voedingsstoffen (de Wit et al., 2010) en de groei van micro-organismen wordt geremd (Piña & Cervantes, 1996). Bij verzuring vindt aanvankelijk mobilisatie van fosfaat (P) plaats, bijvoorbeeld uit de calcium-gebonden fractie. Maar onder langdurig zure condities kan aluminium verbindingen vormen met P waardoor de beschikbaarheid van P op den duur afneemt (Hansen et al. 2007). Voor behoud van de biodiversiteit van een zuur bos, dus inclusief de soorten die gevoelig zijn voor te sterke verzuring, is in het bodemvocht een vrij Al/Ca-ratio van hoger dan 2 ongunstig (Cronan & Grigal, 1995).

Tabel 3-3 geeft een overzicht van de referentiewaarden op basis van de literatuur. Let wel, het betreft de samenstelling van de toplaag van de minerale bodem (A-horizont). In de humeuze toplaag (FH-laag) is de pH van nature nog lager (tot een pH-NaCl van 2,5) maar de Al/Ca-ratio lager en de basenverzadiging juist hoger. In deze tabel is aangegeven in welke ranges de verschillende bosgroeiplaatsen verwacht zouden worden op basis van expert judgement en gegevens uit de literatuur.

Tabel 3-3: Overzicht van referentiewaarden bosbodems op basis van (Cronan and Grigal 1995, Blume et al. 2016, Rahman et al. 2018, de Vries et al. 2019, Wellbrock and Bolte 2019). pH en Al/Ca-ratio gemeten in het NaCl-extract in mol/mol; BV=basenverzadiging in het strontiumextract in %, in de toplaag van de minerale bodem.

	Sterk verzuurd, ook voor zure bostypen ongunstig	Afhankelijk van historie bos een knelpunt (komend vanuit een beter gebufferde situatie), of niet direct een knelpunt (behorend bij zuurdere bostypen (bodemgroep 3: Arm droog en 5a: Nat GW (dophei- berkenbroek))	Goed gebufferd bostype, waarschijnlijk geen verzuringknelpunt * bodemgroep 1a:Rijk 40, 1b: Rijk 120, 2: Matig rijk, 4: Arm vochtig, 5a: Nat GW, 5b: Nat RW (zompzegge-berkenbroek)
pH (NaCl)	<3,2	3,2-4,5	>4,5
BV (%)	<7	7-30	>30
Al/Ca (mol/mol)	>2	2-1	<1

Een goede graadmeter voor de mate van vermessing vormt de ontwikkeling van de ondergroei, metingen aan het porievocht en metingen in blad. Deze laatste twee parameters werden niet meegenomen in dit onderzoek.

Naast analyse van de bodemchemie is op meerdere dieptes in het bodemprofiel de pH-veld bepaald. pH-profielen geven inzicht in de eigenschappen van verschillende geologische lagen, maar ook in de diepte van verzuring. De verwachting op voorhand was dat bodemgroepen 1a: Rijk 40 en 5a: Nat GW door enerzijds het rijke substraat (potklei) en anderzijds de invloed van mineraalrijk grondwater, hoge pH-waarden hebben tot hoog in het profiel. De droge infiltratiegronden (bodemgroepen 2: Matig rijk, 3: Arm droog en 4: Arm vochtig) zijn gevoeliger voor verzuring en hier zijn in de toplaag lagere pH-waarden verwacht dan in de diepere ondergrond. Daarbij is de verwachting dat bodemgroep 2: Matig rijk een hogere pH heeft vanwege de iets mineraalrijkere en leemhoudende ondergrond.

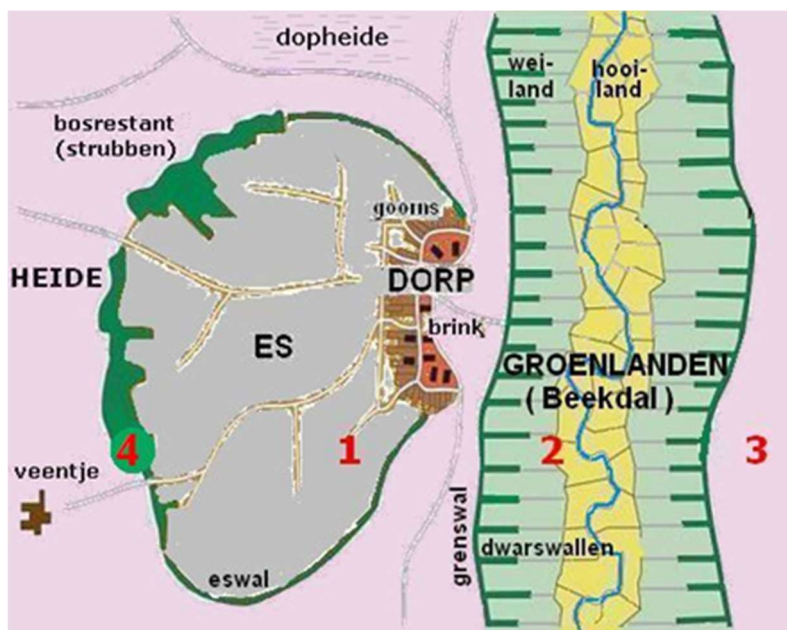
3.3.4 Bodemmicrobioom

De relatie tussen bodemgroepen en het bodemmicrobioom is tot op heden nog nooit in kaart gebracht. Dit betekent dat er nog geen referentiekader beschikbaar is, waarmee de resultaten van de Drentse bossen kunnen worden vergeleken. De resultaten van dit project zijn de eerste basis voor een microbiologisch referentiekader van Nederlandse bossen. Bodemmicrobiomen behoren tot de meest complexe en diverse microbiomen op aarde. De resultaten van de Drentse bossen bevestigen dit, er zijn in totaal iets meer dan 100.000 unieke DNA sequenties geïdentificeerd. Hiervan zijn circa 62% afkomstig van bacteriën, circa 5% van archaea en 33% van schimmels. Dankzij ontwikkelingen in de informatietechnologie is het nu mogelijk om met deze data te werken en vergelijkingen te maken tussen condities zoals bodemgroepen of om ontwikkelingen van microbiomen in de tijd te volgen. Het beschrijven van soorten per bodemgroep kan geen recht doen aan de complexiteit en bruikbaarheid van deze data. De bodemgroep rijk met keileem <40 cm (1a) bevat bijvoorbeeld gemiddeld rond de 10.000 unieke bacterie DNA sequenties, deze beschrijven in de vorm van een lijst met kenmerkende soorten zoals gebruikelijk is voor bijvoorbeeld planten is daarmee te veelomvattend voor

micro-organismen. Juist door deze complexiteit zijn er een aantal interessante en informatieve patronen in de data te identificeren aan de hand van de bodemgroepen. Bovendien kan de gehele dataset wel worden gebruikt als referentieset bij het gebruik maken van informatietechnologie zoals machine learning. In hoofdstuk 6 worden de belangrijkste resultaten over de relatie tussen het bodemmicrobioom en de bodemgroepen besproken. Een uitgebreidere rapportage inclusief statistische toetsen kan worden gevonden in bijlage 3.

3.4 Historisch bosgebruik

De relatie tussen mens en natuur verliep grillig door de tijd en de impact op het bos was daarmee ook wisselend. Wel kan in algemene zin iets worden gezegd over de belangrijke invloed van de mens op het boslandschap. Deze paragraaf gaat daarop in, aan de hand van de verschillende historisch-geografische eenheden van Drenthe. Onder andere (Spek, 2004) legde hiervoor de basis en onderscheidde de velden, beekdalen en essen binnen de zandlandschappen (Figuur 3-4). De venen kwamen voor binnen de veldgronden als lokale terreindepressies en of vormden aparte eenheden zoals de Smildervenen, Echteren venen en het Bourtangerveen. In 1832 bestond slechts 1,6% van de Provincie uit bos, een groot verschil met de 14% van tegenwoordig (Figuur 1-1).



Figuur 3-4: Historisch-geografisch overzicht van het Drents plateau (bron: Spek, 2004).

3.4.1 Essen en veldgronden

Hout-, strooisel- en loofwinning

Al in de late prehistorie raakten de lichte en daarmee goed bewerkbare zandgronden al op tal van plaatsen uitgeput door ontbossing en bodembewerking ten behoeve van de landbouw. Hierdoor verschoof het rijke Linde-ijpenbos al vanaf in de Bronstijd naar een secundair en armer Beuken-eikenbos-type. In de IJzertijd tot Vroeg-Romeinse tijd werd de menselijke invloed op de bodem nog sterker door een grotere plaatsvastheid van dit landgebruik binnen het zogenaamde Celtic Fields complex (rotatielandbouw). Desondanks zijn veel laat prehistorische bewoningsplekken wederom verlaten en raakten deze weer begroeid met bos. De zwaardere keileemgronden met hun rijke loofbossen werden pas in de historische tijd

ontgonnen, waardoor de huidige esdorpen pas vanaf de middeleeuwen op hun huidige plek kwamen te liggen (Spek, 2004). De ligging van de esdorpen valt samen met een dekzandpakket op de keileembasis, waarop de akkers zijn aangelegd. Deze esdorpen vormen de spil van de oudste bossen die holten en strubben worden genoemd. Ze gaan qua etymologie en ouderdom van de bosgroeiplaats in ieder geval terug tot in de middeleeuwen. Op tal van plekken in holten en strubben zijn op de hoogtekkaart Celtic field-structuren zichtbaar, wat betekent dat deze oude boskernen zeker geen primaire bossen zijn (Buis, 1985; Spek, 2004; Smeenge, 2005). Het zijn vooral plekken die werden gekoesterd voor hun gebruiksfuncties. Hout afkomstig uit “holt” zijn gebruikt voor diverse gebruiksdoelen zoals akkeren met varkens, maaien van varens, winning ten behoeve van houtskool, loofvoer, gebinten en molenassen (Figuur 3-5, Figuur 3-6, Figuur 3-7). Hierin vond geen typische bosbeweiding plaats. In de strubben vond wel bosbeweiding plaats en later speelde bijvoorbeeld ook het eekschillen een grotere rol. De voorkeur voor de toepassing van eiken- en beukenhout speelt waarschijnlijk zelfs een rol bij de vegetatiekundige kenmerken van deze bossen (Buis, 1985; Smeenge, 2020). Voor zowel holt- als strubbenbossen gold dat het gebruik alleen onder strenge regulatie van markeorganisaties mogelijk was. De gebruiksrechten werden vastgelegd in zogenaamde willekeuren en overtredingen in goorspraken, waardoor we vrij goed weten welke vormen van landgebruik speelden en wat de impact van historisch landgebruik op het ecosysteem kan zijn. (Elerie, 1993; Heringa 1981; Buis, 1985; Heringa, 1981; Smeenge, 2005). De meeste holten liggen op holtpodzolgronden (bodemgroep 2: Matig rijk), de meeste strubben op holtpodzolgronden en overgangen naar haarpodzolgronden (bodemgroep 3: Arm droog) of veldpodzolgronden (bodemgroep 4: Arm vochtig) (www.bodemdata.nl, sd; Bodemkaart 1:50.000, sd). Dit betekent dat bodemdegradatie in holten minder sterk was in vergelijking met de strubben. Intuïtief gezien is dit ook af te leiden uit de aard van de historische gebruiksvormen.



Figuur 3-5: Houthakkers in het Asserbos op 2 maart 1934. Opvallend is dat het opgaande bos nauwelijks struiken of hoog opgroeiende kruiden lijkt te bevatten. Drents Archief, DA9261934030209.



Figuur 3-6: Oud eikenbos bij Gasselte rond 1925. Het bos oogt begraasd of de vaak aanwezige adelaarsvaren is gemaaid. Drents Archief, DM0211011905.



Figuur 3-7: Oud boslocatie bij Gieten werd rond 1918 nog cyclisch gehakt. De eiken hebben een struikvormig karakter, zoals vermeld op oudere kadastrale kaarten (1832 en 1880). Opvallend is de schrale bosbodem langs het zandpad. Drents Archief, DM0212013311.

Plaggenwinning

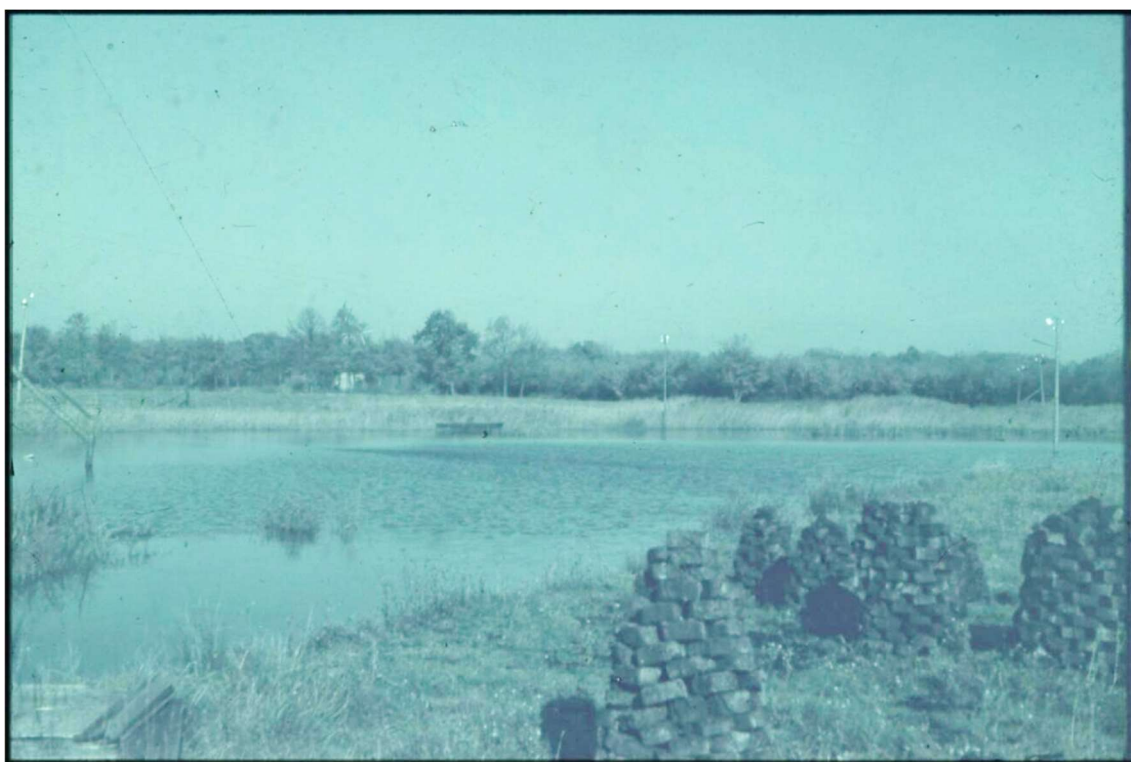
Het grootste deel van het Drents plateau bestond aan het begin van de 19^{de} eeuw uit heide. Deze werd gebruikt ten behoeve van plaggenwinning, in combinatie met begrazing van vee. Ze zijn honderden jaren geteisterd door overgebruik, waarbij de meest droge en fijnzandige terreindelen gingen verstuiven. Pas toen de kunstmest werd uitgevonden en de natuurlijke bodemvruchtbaarheid geen rol meer speelde bij de productiviteit van de gronden, verdwenen zowel de schaapskuddes als het steken van plaggen (Figuur 3–8). De bodems bestaan nu uit (gedegradeerde) haarpodzol- of duinvaaggronden (bodemgroep 3, Arm droog). De plaggen werden vervoerd naar de oude bouwlanden, gelegen rondom de esdorpen of kleinere kampongtingningen. Het doel was om de voedselarme podzolgronden te verbeteren. Via de plaggen werd het organische stofgehalte, de nutriëntenvoorziening en soms ook de zuurbuffering verbeterd (Spek, 2004; Smeenge, 2020). Bodemkundig gezien worden deze enkeerdgronden, kamppodzolgronden, laarpodzolgronden of loopodzolgronden genoemd. In sommige zeer voedselarme streken zijn deze in de 19^{de} eeuw verlaten en beplant met eiken, vanwege problemen met verzuring en slechte oogsten (destijds ziekte van de Drentse essen genoemd) (Bieleman, 1987). Deze bosgroeiplaatsen zijn beschreven in bodemgroep 6.



Figuur 3–8: Plaggenwinning gefotografeerd rondom de ruilverkaveling Hijken. Drents Archief, LG0377024.

Lokale turfwinning door de markegenoten

Op het Drents plateau gaat het meestal om uitgeveende uitblazingslaagten of pingoruïnes. Nadat het bos schaars werd gedurende de middeleeuwen was men voor de brandstofwinning steeds meer aangewezen op het steken van turf (Figuur 3-9). Dit vond plaats in zogenaamde eendagsputten, die naderhand volliepen met water. In het complex van natte veenputten en veenranden komt nu meestal een berkenbroek of wilgenbroekbosvegetatie voor. Soms zijn terreindepressies na ontwatering geheel uitgeveend of is er slechts sprake van een ven met een restveenlaag. Ontwaterde terreindepressies waar turfwinning heeft plaatsgevonden zijn meestal verbost met berk en eik en bevatten meestal een vegetatietype dat past bij het Berken-zomereiken of in enkele gevallen Berkenbroekbos. Het grootste hoogveenareaal ligt op de randen of aan de oostzijde van het Drents plateau (paragraaf 3.4.3).



Figuur 3-9: Turfwinning bij Vledderveen rond 1940-1950. De turf staat op stapels te drogen. Veel van deze veentjes zijn na de komst van aardgas verbost met berken en in enkele gevallen fraai ontwikkelt tot berkenbroekbos. Drents Archief, DA18612266.

Heidebebossing

Van grote betekenis zijn de heidebebossingen uit de 20^{ste} eeuw, die vanwege hun jonge historie, aanpassingen aan bodem en hydrologie en boomsoortkeuze heel andere kenmerken hebben dan de oude bossen in het esdorpenlandschap. Belangrijk is dat de kenmerken van deze bossen sterk door de aanlegfase en beheer door mensen is bepaald.

Na de markeverdelingen rond 1850 werden de gemeenschappelijke veldgronden verdeeld onder de boeren. Vanwege de slechte voedingstoestand en terreinomstandigheden wisten ze er geen raad mee en werden ze verkocht aan de Heidemaatschappij/Staatsbosbeheer en particuliere grootgrondbezitters (nieuwe landgoederen uit begin 20^{ste} eeuw). Ze werden ontgonnen door o.a. de aanleg van ontwatering, (diep)ploegen en bemesting met compost of kunstmest en vervolgens beplant (Blink, 1929).

Uit de artikelen van het Nederlandsch Bosbouw-Tijdschrift uit de jaren '30 van de 20^{ste} eeuw staan mooie overzichten over de heidebebossing van de boswachterijen Emmen (1918), Gieten (1922), Gees (1922), Schoonloo (1923), Smilde (1928), Grolloo (1931), Sleenerzand (1933), Borger (1935), Amen (1935) en Ruinen (1937). In deze jaren is 10.400 ha bebost met grote den op stuifzand (2.500 ha) en grove den (600 ha), lariks (4.200 ha), eik (1.600 ha), fijnspar en Douglas (samen 1.500 ha) op heidegrond. De bebossing vond plaats door werklozen.

Bijzonder is de aandacht voor de bodem en vegetatie die men bij de bebossing beschreef. Op de droge gedeelten was een *Calluna*-heide (*Calluneto-Genistetum*) en vochtige bodem een vochtige *Calluna-Erica*-heide (*Calluneto-Genistetum molinietosum*). De gebieden met meer dan 40 cm veen werden dikwijls bezand met materiaal uit sloten of uit zandruggen. Daarop groeide dan een vegetatie van buntgras aldus Jager Gerlings, 1937. Vermoedelijk gaat het dus om een typische droge heide, een natte heide met pijpenstrootje en zones met een dominantie van pijpenstrootje (buntgras is waarschijnlijk de toenmalige volksnaam voor pijpenstrootje, in Drenthe nu nog bentepollen genoemd) (Figuur 3-112). De beschreven bodemhorizonten in het artikel (Jager Gerlings, 1937) wijzen op respectievelijk haar- en veldpodzolgronden. Op rijkere plekken met een *Calluna-Erica* heide verwachtte men dat deze voortkwamen uit een oorspronkelijk Eiken-haagbeukenbos. Interessant zijn de pH-profielen van deze bodems. De A-horizont van de natte bodems had een pH van 4,5 en in de droge heide is een pH van 3,5 gemeten. Het loodzand (E-horizont) had een pH van 3,8. De moerige plaggen (brandzudden) hadden een pH van 3,5 (Jager Gerlings, 1937). Daarbij geldt de kanttekening dat de meetmethode niet bekend is (bijvoorbeeld pH-H₂O of pH-KCl).

Er werden verschillende vormen van bodembewerking uitgevoerd (Figuur 3-10):

- Ondiep, het “schillen” van de zode van de heidegrond 12–15 cm, gevolgd door bewerking met de schijfeg;
- Halfdiepe grondbewerking zoals bij de vorige, maar daarbij werd de ondergrond losgemaakt door een ondergrondsploeg;
- Diepe grondbewerking door 40–50 cm te ploegen of door te spitten, gevolgd door bewerking met de schijfeg; schijfeg, 20 cm doorploegen, vervolgens schijfeggen (Jansen, 1935).

Daarnaast werden de lager gelegen terreindelen voorzien van ontwatering om bebossing mogelijk te maken (Figuur 3-11).

Volgno.	Bosch- wachterij	Vak	Afd.	Jaar van aan- leg	Metho- de	Grondbewerking.	Hoeveelheid zaaizaad.	Aantal planten per are							
								Eur. lar.	Jap. lar.	gr. den	Oost. den	Eik Inl.	Amer.	Fijn- spar	Beuk
1	Gieten	75		1925 1927	A	3 × geschijfegd 10 cm diep 300 kg slakkenmeel	2 kg eur. lariks 2 kg grove den 3 hl eikels 1 kg eur. larix 2 kg grove den	14		244		127			
2	Schoonlo	59	a	1925	A	12 cm geploegd en geschijfegd geen bemesting	2 kg grove den 2 kg eur. lariks 3 hl inl. eikels	35		296					
3	Schoonlo	6	a	1927	A	15 cm geploegd en geschijfegd 300 kg slakkenmeel 100 kg kal. 40 %	2½ kg grove den 2 kg eur. lariks 100 kg Amer. eikels	93		478					
4	Schoonlo	42	c	1927	A	12 cm geploegd en geschijfegd 300 kg slakkenmeel 100 kg kal. 40 %	2½ kg grove den 2 kg eur. lariks 100 kg Amer. eikels	69		375			41		
5	Schoonlo	22	d	1929	A	20 cm geploegd daarna geschijfegd 300 kg slakkenmeel 100 kg kal. 40 %	2½ kg grove den 2 kg eur. lariks 3 hl inl. eikels in 1928 gezaaid	57		1096					
6	Gieten	68		1926	B	20 cm geploeg ondergr. ploeg en geschijfegd 300 kg. slakkenmeel	3 kg eur. lariks 2 kg oost. den 4 hl inland. eikels	293			366	42			
7	Gieten	76		1926	B	20 cm geploegd ondergr. ploeg en geschijfegd 300 kg slakkenmeel	3 kg eur. lariks 2 kg oost. den 4 hl inland. eikels	186			260	257			
8	Gieten	60	c	1927 1929	B	als 6 en 7	2 kg eur. lariks 2 kg oost. den 100 kg amer. eikels 2½ kg oost. den	285			198		15		

Figuur 3-10: Bosvoorbereiding in de boswachterijen Gieten en Schoonloo (Jansen, 1935).



Figuur 3-11: Ontwatering in boswachter Gieten op basis van het AHN en een foto uit de beeldbank van Staatsbosbeheer (fotonummer: 20339). Bron: Bouwmeester, 2022.

Het opgroeien van de jonge aanplant op deze heidegronden ging niet zonder slag of stoot. In boswachterij Gees werd beplant met onder ander lariks na de teelt van 1 jaar haver of lupinevoorbouw (stikstofbinder). Daarna werd per hectare 200 kg kalkmergel, 1000 kg slakkenmeel, 400 kg kalizout (40%) en 50 kg kopersulfaat uitgestrooid. Vooral de lupinevoorbouw leverde samen met deze bosbemesting een gunstige ontwikkeling voor Japanse lariks (Blokhuys, 1933). In 1942 werd voor boswachterij Sleenerzand beschreven dat de eikenbezaaiing in het eerste stadium (eerste 10 jaar) moeilijk was. Door extra 'verplegingsmaatregelen' zoals het omplaggen, soms toevoeging van slakkenmeel en compost van de Vuil Afvoer Maatschappij (V.A.M) was de verdere ontwikkeling zeer hoopvol en op de meeste plaatsen werd productie van zwaar hout verwacht (Blokhuys, 1942).

Tot op de dag van vandaag voert in deze heidebebossingen het naalddhout de boventoon, maar in de afgelopen decennia is onder invloed van het multifunctionele bosbeheer een steeds meer gemengd (soorten en leeftijd) bos ontstaan. Het zijn jonge bosgroeiplaatsen (in dit onderzoek categorie B) die hoofdzakelijk op bodemgroepen 4 (Arm vochtig) voorkomen, in mindere mate ook op Arm droog (3) en Nat regenwatergevoed (5b).



Figuur 3-12: De Emmerdennen rond 1916-1918: typische monoculturen van grove den, waarin percelen zijn kaalgekapt, de bodem met de bosploeg is bewerkt en opnieuw beplant.



Figuur 3-13: Het Valtherbos rond 1905-1920, met daarin de hunebedden D38 en D39. We zien een heel schrale groeiplaats van waarschijnlijk struikheide en borstelgras. Drents Archief DA9921142.

3.4.2 Beekdalen (smeltwaterdalen)

Potkleiwinning

In Noord-Drenthe komt zeer ondiepe homogene zware klei voor uit het Elsterien. Deze klei werd gewonnen voor de steenfabricage (omgeving Leek-Roden) of verharden van de deel om graan te kunnen dorsen (Kuiper & Spek, 2015; Berben, 2022; Smeenge, 2005; Smeenge & Berg van den, 2015). De meeste potklei is gewonnen in lage terreindelen, waar deze ondiep voorkomt: randen van beekdalvlakten, in smeltwatergeulen of dekzandlaagten. Na de winning ontstond er een voor landbouw moeilijk te bewerken terrein, waardoor er verbossing plaatsvond (Figuur 3-12). De meeste winlocaties hebben kenmerken van het Vogelkers-essenbos (soms als hakhout op ondiepe rabatten) of Eiken-haagbeukenbostype.



Figuur 3-12: Boven: Landgoed Terheijl bij Nietap op 29-06-1928, we zien een afwisseling van jong en wat ouder bos. Drents Archief, DA9261928962802. In dit bosgebied is veel klei geticheld. Linksonder: het zeventiende eeuwse tichelwerk met droogschuur en turfschuur, geschilderd door David Teniers. Op de voorgrond worden de rauwe stenen eerst te drogen gelegd (<https://www.dekleibosch.nl/fotos-en-kaarten/foxwolde-kleibosch-en-tichelwerk>). Rechtsonder: baksels uit de Kleibosch, gevonden door J. Ensing. Foto: J. Battjes.

Hakhout- en hooiwinning

De smeltwaterdalen zijn gevormd door insnijding door smeltwater tijdens de laatste ijstijd. In drogere perioden vond ook verstuiving plaats vanuit de toen aanwezige periodiek droogvallende vlechtende rivieren. Er ontstonden dekzandruggen in deze dalen. Toen het klimaat warmer werd in het Holocene vond er veengroei plaats in de verlaten geulen. De vlechtende riviertjes veranderden in meanderende beken. Door de veengroei vertraagde de afvoer en werden de dalen gaandeweg opgevuld met veen (al., 2018). Vanaf de middeleeuwen werden de beekdalen geprivatiseerd en verkaveld. Dit kwam door de behoefte aan hooiland, met als gevolg dat de waterafvoer werd vergroot (Figuur 3-13). Vermoedelijk is dat ook de tijd dat er voor het eerst een doorlopende beek in de voorheen aanwezige doorstroomvenen ontstonden. Ontwatering leidde tot dalende grondwaterstanden en klink van veen. Hierdoor kon zich er ook steeds meer bos vormen. Historische kaarten, zoals de Franse kaarten van Drenthe (1811) laten zien dat diverse perceeltjes uit bos en struwelen bestonden (Versfelt, 2010). Slechts een hand vol van deze oude bosjes behielden hun vegetatie als Elzenbroekbos, beheerd als hakhout. De meesten zijn in de loop van de tijd weer omgevormd tot cultuurgrasland 2. De bewaarde bossen zijn onderzocht en behoren tot bodemgroep 5a (Nat GW). Het hakhoutbeheer is in deze bossen weggefallen waardoor de elzen zijn doorgroeid tot volwassen bomen.



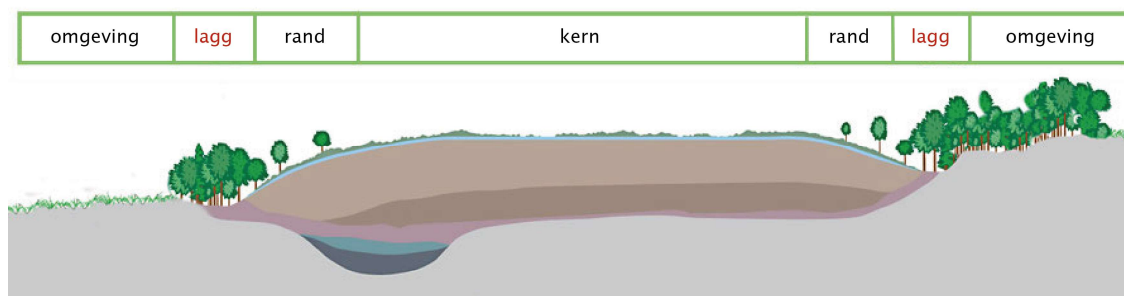
Figuur 3-13: Hooioppers in overstroomde landen van het Deurzerdiep in 1957 (Drentsche Aa), waar sommige slechte hooilanden al vroeg werden verlaten en veranderden in Elzenbroekbos. Drents Archief, LG1275702.

² www.topotijdreis.nl

3.4.3 Veenkoloniën: commerciële verveening

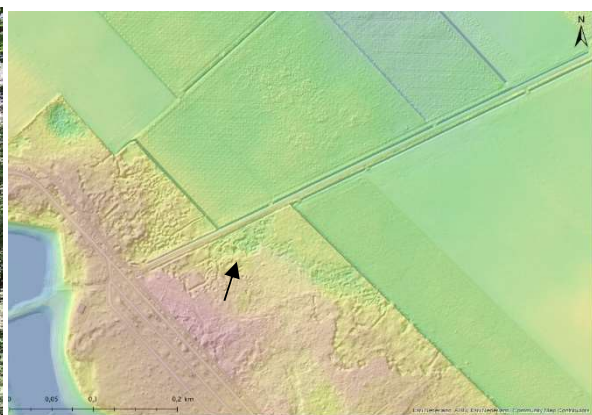
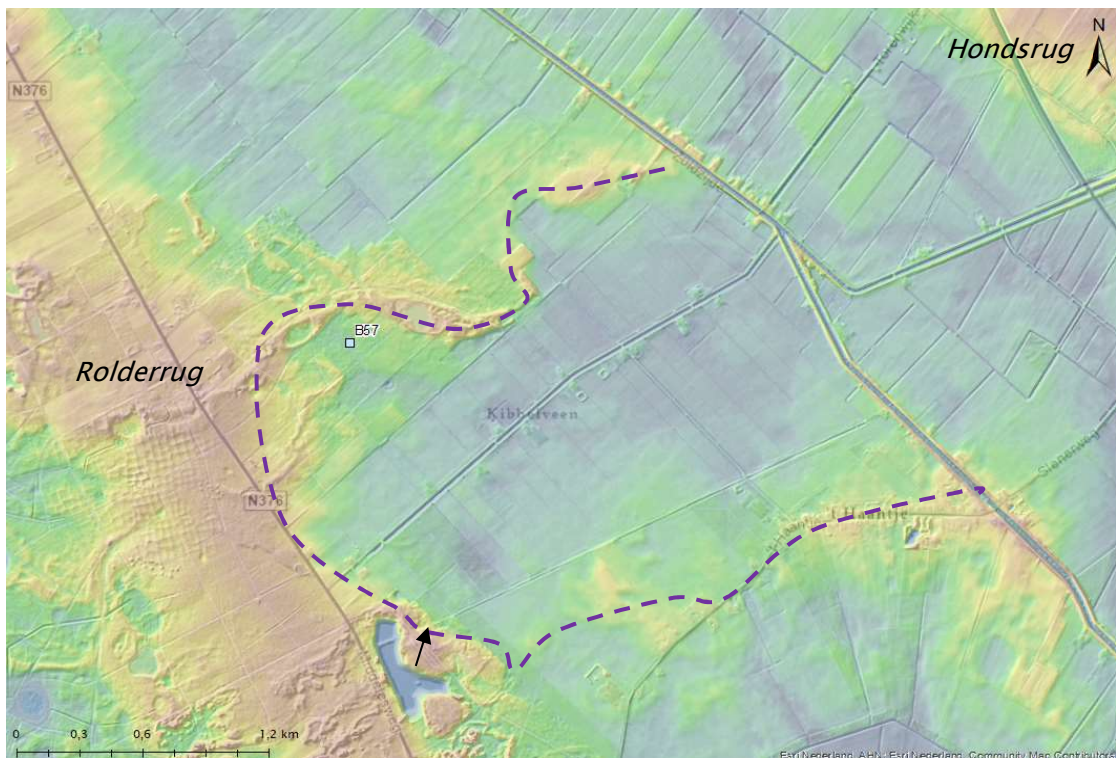
Aan de randen van het Drents plateau lagen uitgestrekte veengebieden, die commercieel zijn verveend. Na de verveening bleef een systeem van wijken (vaarten) en haaks daarop detailontwatering over. Sommige van deze gebieden bevatten tussen de detailontwatering fijnere greppels/ondiepe rabatten die zijn beplant met bos. De bodem bestaat vaak uit een podzolgrond met een gliede- en restveenlaag. Dit wijst qua historische ontwikkeling op een vernattend landschap, waarbij door zure omstandigheden ijzer uitspoelt en in diepere bodemlagen inspoelt wat leidt tot verkitting van de bodem. Op deze slecht doorlatende laag kon hoogveenontwikkeling tot stand komen. Na hoogveenontginning en ontwatering zijn de gronden beplant met naaldbos en eiken. Ecologisch gezien hebben deze bossen kenmerken van het Berken-zomereikenbos en Beuken-eikenbos.

Het gevolg van de hoogveenontginning is een sterk variabele en atypische bodemopbouw waardoor deze groep bossen niet is meegenomen in het onderzoek. Wel is ter illustratie één locatie beschreven bij het Kibbelveen, tussen de Rolderrug en Hondsrug. Hier lagen kleinere hoogveenkoepels, waarvan langs de randen turf is gestoken door de markegenoten, maar waarvan het geheel later commercieel is verveend. Toponiemen zoals het Kibbelveen en 't Haantje verwijzen naar conflicten die vermoedelijk gingen over het steken van turf. Landschapsecologisch gezien waren dit biodiversiteitshotspots door de overgang van arm-droog naar nat-rijk tot nat-arm. Deze grenszone wordt hydrologisch gezien een laggzone genoemd, de plek waar lokaal mineraalrijk grondwater vanuit de Rolderrug en afstromend humusrijk water vanaf het hoogveen samenkomt in de veenrand (Figuur 3-14-16).



Figuur 3-14: Schematische doorsnede van het hoogveenlandschap. Bron: www.natuurkennis.nl. dd. 27-09-24.

Grote hoogveenkoepels met rijkere overgangen naar het zandlandschap waren heel kenmerkend voor Drenthe, maar zijn allemaal verdwenen door turfwinning. Het Kibbelveen heeft geomorfologisch gezien grote overeenkomsten met het Nigula-veen in Estland. De veenputten direct ten oosten van de parkeerplaats van de Kibbelkoele liggen exact in deze laggzone. Qua vegetatie overheerst pijpenstrootje en wat hoger komt dalkruid voor (Figuur 3-15).



Figuur 3-15: Locatie 72 op de overgang van Rolderrug (Kibbelkoele) naar het voormalige Kibbelveen bij 't Haantje. Hoog op de flank liggen tal van veenputten (rode stippellijnen) die getuigen van zeer sterke veranderingen in bodem en hydrologie. Dit voormalige hoogveengebied ligt ingeklemd tussen Hondsrug en Rolderrug.

Rechtsonder de referentie van het Nigula veen in Estland met geomorfologische overeenkomsten.

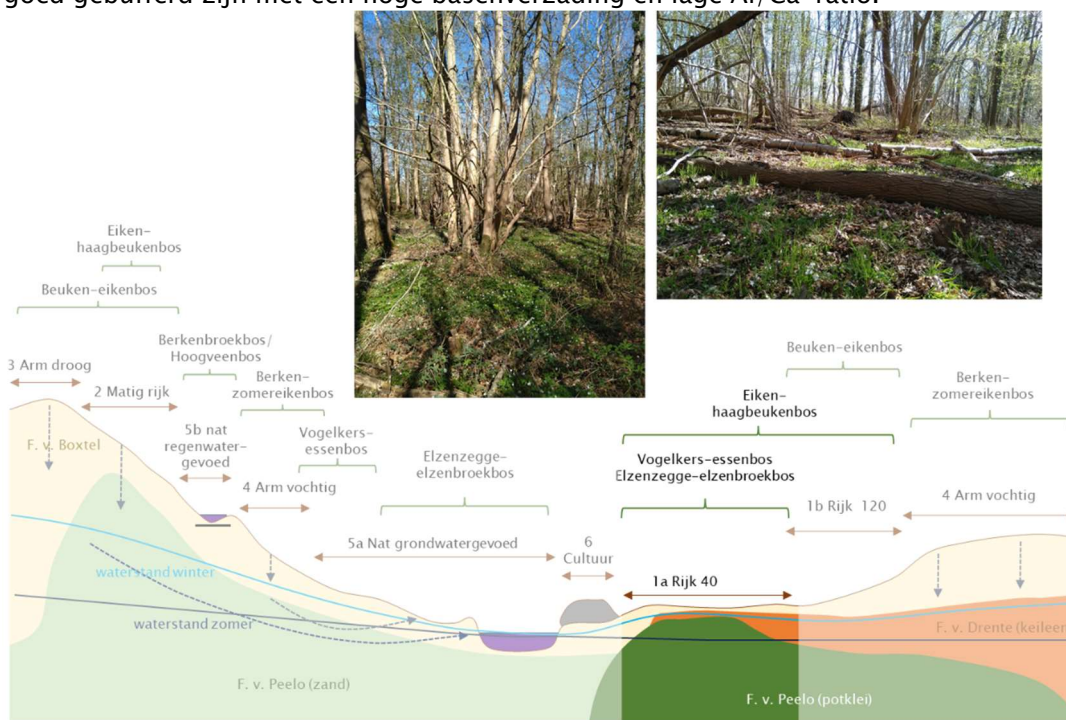
4. Categorie A: bossen met typische soorten

Het vorige hoofdstuk gaf een inleiding in de bossen van Drenthe. Drenthe is op basis van de ondergrond in acht verschillende groeiplaatstypen in te delen, in de vorm van bodemgroepen. Voorliggend hoofdstuk beschrijft elke bodemgroep aan de hand van de onderzochte locaties binnen Categorie A-bossen, waarbij de resultaten gespiegeld zijn aan het referentiekader uit hoofdstuk 3.3. De jongere Categorie B-bossen zijn beschreven in hoofdstuk 5.

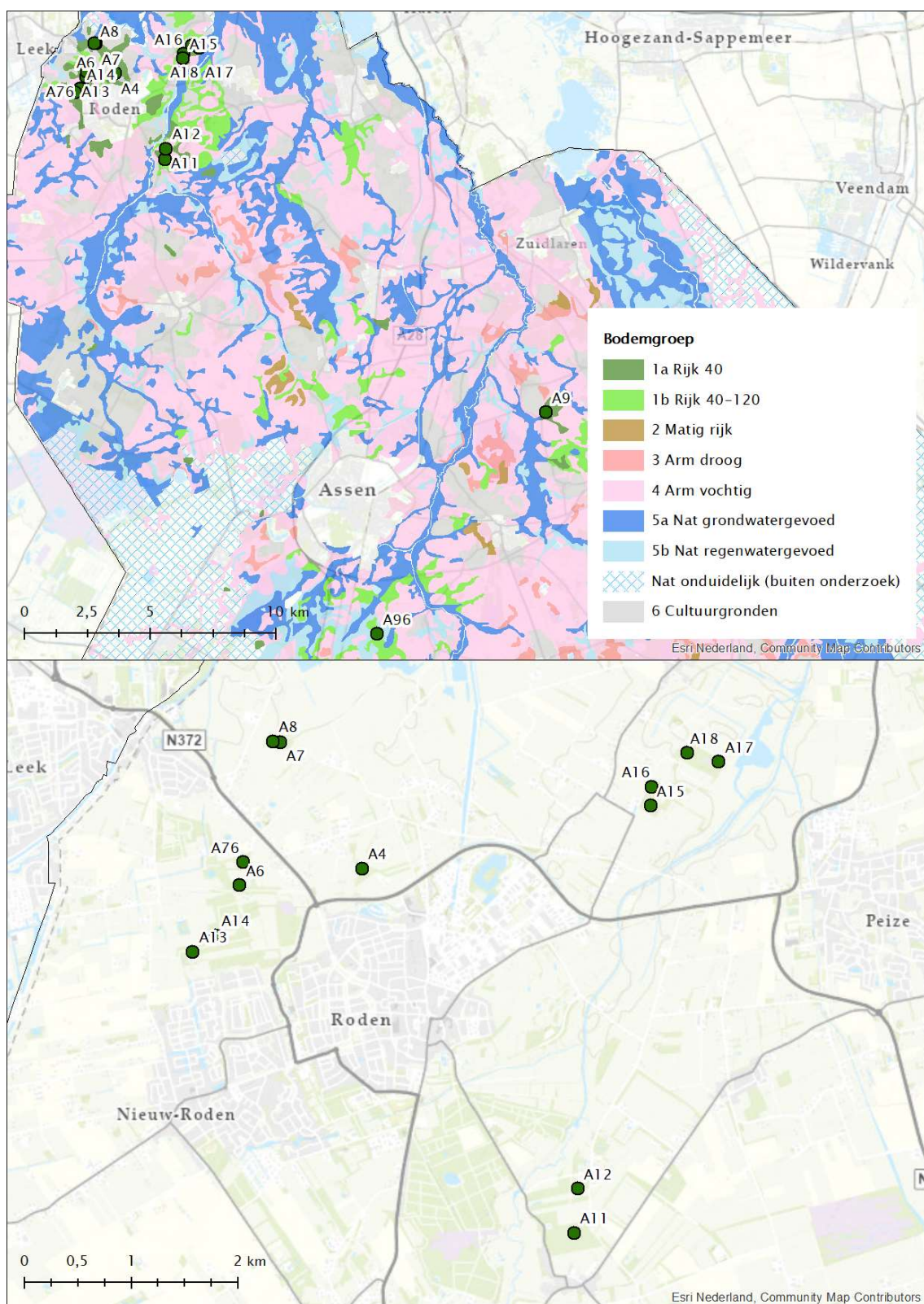
4.1 1a: Rijk40

4.1.1 Ligging

Bij deze bodemgroep bestaat de ondergrond uit keileem en soms potklei (Figuur 4-1). Daarop ligt slechts een dun (maximaal 40 cm dik) dekzandpakket. Ook kan de ondergrond van deze bodemgroep bestaan uit verspoelde keileem door smeltwaterprocessen in de laatste ijstijd. De bodemgroep heeft een zwaartepunt in Noord-Drenthe, omgeving Roden, Lieveen en Peize. Figuur 4-2 toont de 15 onderzoekslocaties op de bodemgroepenkaart. Door de ondiepe keileem en potklei is de verwachting dat dit mineralogisch gezien de rijkste bodemgroep is. Door de slecht doorlatende ondergrond zullen de bossen op deze bodemgroep wisselvochtig tot nat zijn (GHG 25 cm-mv, GLG 120 cm-mv). De hypothese is dat door de rijke ondergrond het strooisel goed is afgebroken (mull-humusvorm, mits rijkstrooiselsoorten aanwezig) wat resulteert in een rijk vegetatietype (van wisselvochtig tot nat: Eiken-haagbeukenbos, Vogelkers-essenbos of Elzenzegge-elzenbroekbos) met veel kenmerkende bosflora (Tabel 3-2). In dit type bodems met een goede strooiselafbraak is de verwachting dat er geen ophoping van strooisel plaatsvindt en er dus geen duidelijke FH-laag aanwezig is. Door de ondiepe keileem en potklei is de verwachting dat deze bodems goed gebufferd zijn met een hoge basenverzading en lage Al/Ca-ratio.



Figuur 4-1: Ligging van bodemgroep 1a: Rijk 40 in de landschapsecologische gradiënt van Drenthe



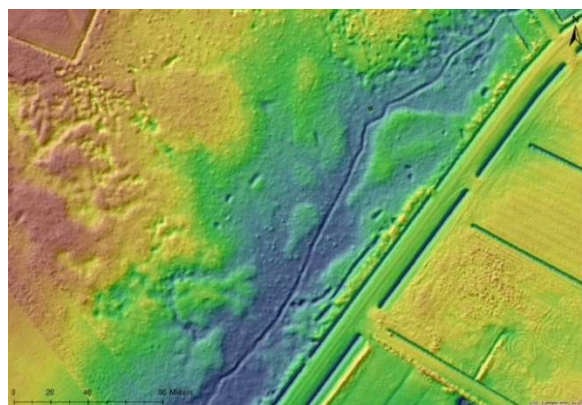
Figuur 4-2: Ligging van de 15 onderzoekslocaties op bodemgroep 1a: Rijk 40. Het onderste kaartje is ingezoomd op omgeving Roden-Peize, waar 13 van de 15 onderzoekslocaties liggen.

4.1.2 Geologie en bodem

Kenmerkend voor deze bossen is de dunne laag (verspoeld) dekzand (Formatie van Bortel). Op de onderzoekslocaties was deze laag 10–30 cm dik. Daaronder komt keileem voor (Formatie van Drenthe, tussen 30–120 cm) en veelal daaronder potklei (Formatie van Peelo, 120–200 cm). Dit betekent dat er ondiep verschillende geologische formaties met elk heel verschillende eigenschappen voorkomen. Het voorkomen van slecht doorlatende afzettingen leidt tot wisselvochtigheid. In de winter staan laagten vol water en in de nazomer zakt het grondwater soms tot meer dan 1,6 m diep uit (Figuur 4–3 en Figuur 4–4).

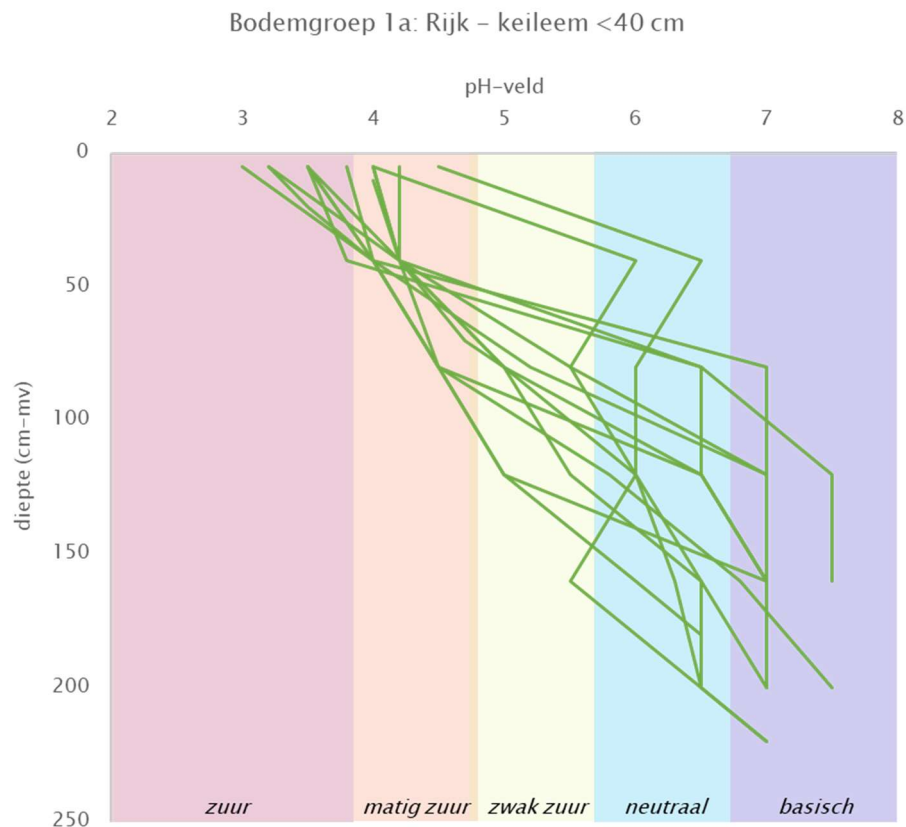


Figuur 4–3: Aardkundige kenmerken van bodemgroep 1a, als voorbeeld bij Leutingerwolde. Keileem komt binnen 40 cm diepte voor, gevolgd door potklei (vanaf 120 cm). Vooral de ondiep voorkomende potklei biedt een hoog zuurbufferend vermogen. De zwarte potklei bevat duidelijk zichtbare witte kalkconcreties.



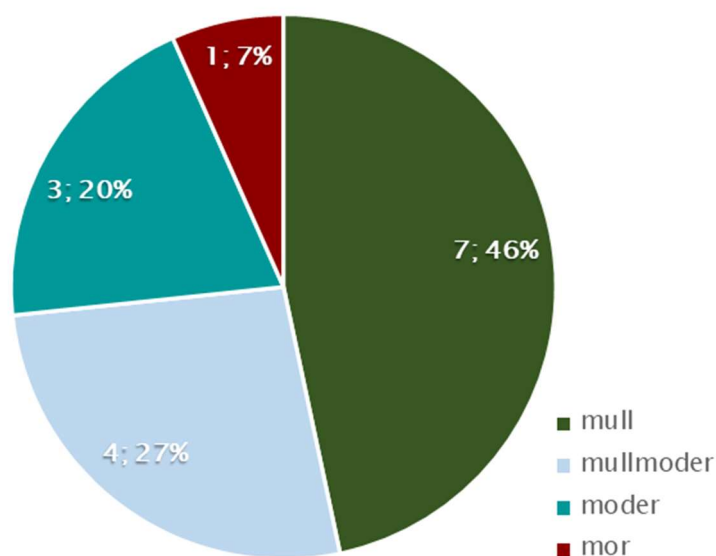
Figuur 4–4: Belangrijk is het microrelief ontstaan door Pleistocene erosie (slenk en inliggende zandruggetjes) en potkleiwinning (putjes) in het Gasterse Holt. Hierdoor is er veel ruimtelijke variatie in mineralogie, vocht en zuurbuffering.

De zuurbuffering komt in bodemgroep 1a hoofdzakelijk uit het geologisch substraat. De potklei spant de kroon met zijn vrije kalk dat soms zelfs als concreties in de klei is afgezet. De kalkgrens bevindt zich tussen 80 en 150 cm diepte (Figuur 4–5). Opvallend rijke locaties zijn locatie A76 (Terheijl) en A96 (Geelbroek) die tot 40 cm een pH van boven de 6 hebben. De bovenste 50 cm van de bodemprofielen is (veel) zuurder. Dit komt deels doordat het dekzand betreft in plaats van keileem of potklei, maar de verwachting was niet dat een groot deel van de locaties op dat rijke substraat een pH van <4 zou hebben in de toplaag.



Figuur 4-5: pH-veld-profiel van de locaties uit bodemgroep 1a. De indeling van de pH-veldmetingen in zuurklassen is gebaseerd op Van Delft et al., 2024.

Door de zeer ondiep voorkomende stugge keileem is er nauwelijks sprake van bodemvorming. Ze zijn strikt genomen te classificeren als beekvaaggrond, beekerdgrond of leekeerdgrond. Omdat deze bodems niet door grondwater zijn gevoed hebben we ze daarom als keileem betiteld. Vooral het humusprofiel is een goede graadmeter voor de bodembioologische processen. Bijna de helft van de onderzochte locaties bevat een mull-humusvorm. Dit betekent < 2 cm humus en omzetting door hoofdzakelijk grotere fauna (regenwormen) binnen één vegetatieseizoen. Bijna driekwart van de locaties bevat een goede strooiselomzetting. Wanneer het zandpakket dikker wordt of er stagnatie plaatsvindt is de bodem minder gebufferd en verloopt de afbraak van strooisel slechter. Enerzijds omdat op de drogere gronden vaak meer zuurstrooiselsoorten staan (zoals eik) en anderzijds omdat op de stagnatielocaties een geremde afbraak plaatsvindt door inundatie en anaerobie. Er komt dan een moder of mor humusvorm voor, bij de onderzochte locaties op 27% van de gevallen (Figuur 4-6).



Figuur 4-6: Verdeling van de humustypen (aantal; percentage van totaal). Rechts een foto van de mull-humusvorm.

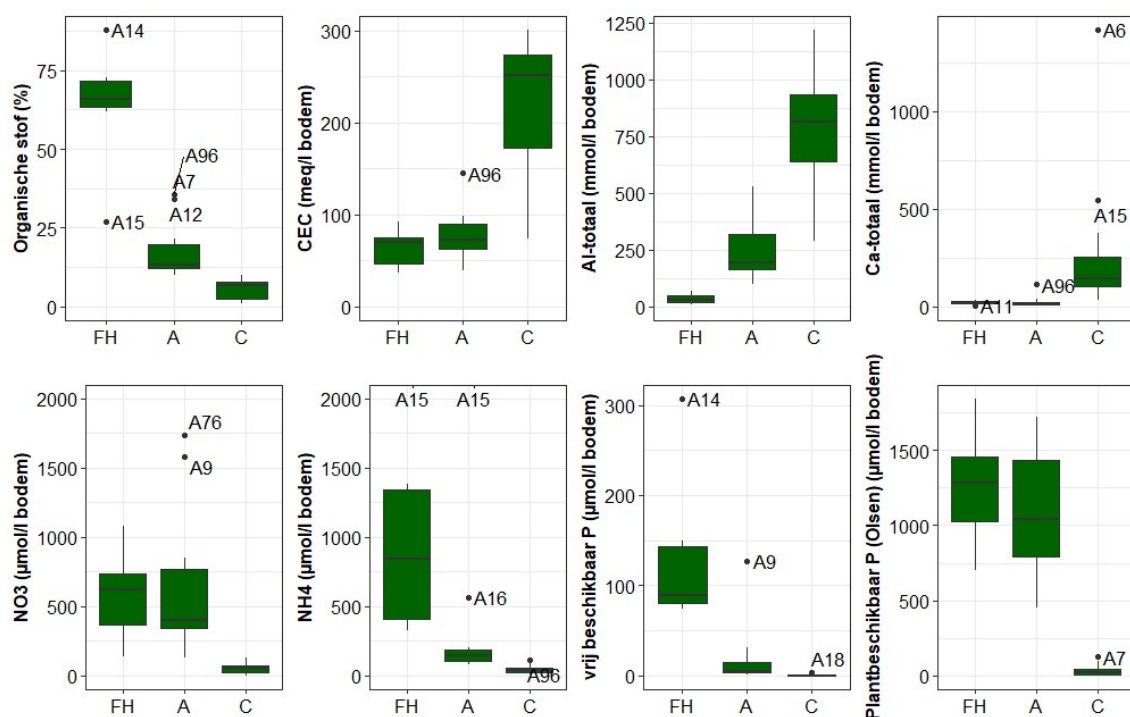
4.1.3 Hydrologie

De referentiegrondwaterstanden voor zeer ondiepe keileem of potklei bevatten een gemiddelde GHG van 25 cm onder maaiveld. De GLG-referentie ligt gemiddeld gezien op ca. 120 cm. De geschatte waarden op de onderzoekslocaties (n=15) zijn in de winter veelal hoger dan de referentiewaarden (inundatie of drassigheid door regenwater) en op zijn laagst gemiddeld 130 cm onder maaiveld. Op basis van deze schattingen lijkt er zeer beperkt sprake van verdroging van deze bodemgroep. Het is wel opvallend dat er via greppels en sloten water wordt afgevoerd, waardoor de verblijftijd van water in de wortelzone wordt verkort en verzuring van de bovengrond plaatsvindt.

4.1.4 Bodemchemie

In deze bodemgroep werd op 7 van de 15 locaties een FH-laag aangetroffen, op deze 7 locaties vindt er ophoping van strooisel plaats en komt een mor, moder of mullmoder voor (paragraaf 4.1.2). Dit komt niet overeen met de verwachte mull-humusvorm in deze bodemgroep. In bodems met een goede strooiselomzetting is het percentage organische-stof in de A-horizont hoog in vergelijking met bodems met een slechte strooiselomzetting. In deze bodemgroep werd in de A-horizont een relatief hoog organische-stofpercentage gemeten van gemiddeld 17%. Met name in locatie A7, A12 en A96 was het percentage organische-stof hoog met circa 35%, kenmerkend voor een venige bodem (Figuur 4-7).

Locaties binnen deze bodemgroep worden gekenmerkt door de aanwezigheid van (kei)leem of potklei binnen 40 cm onder maaiveld. Op de klei of leem is dus vaak een dun zandpakket aanwezig. In de A-horizont varieerde de totaal-Al concentratie (een maat voor het percentage lutum in de bodem) van ca. 100 tot 550 mmol/l bodem (Figuur 4-7). De A-horizont bestaat lokaal dus uit (licht) lemig zand (totaal-Al < 200 mmol/l bodem) of veen (locatie A7, A12 en A96) tot (kei)leem (totaal-Al > 400 mmol/l bodem). In dit figuur is ook te zien dat het totaal-Al gehalte, de CEC (een belangrijke maat voor de grootte van het bodemadsorptiecomplex) en het totaal-Ca gehalte sterk variëren in de C-horizont, van matig tot sterk lemig en matig tot sterk rijk aan totaal-Ca.

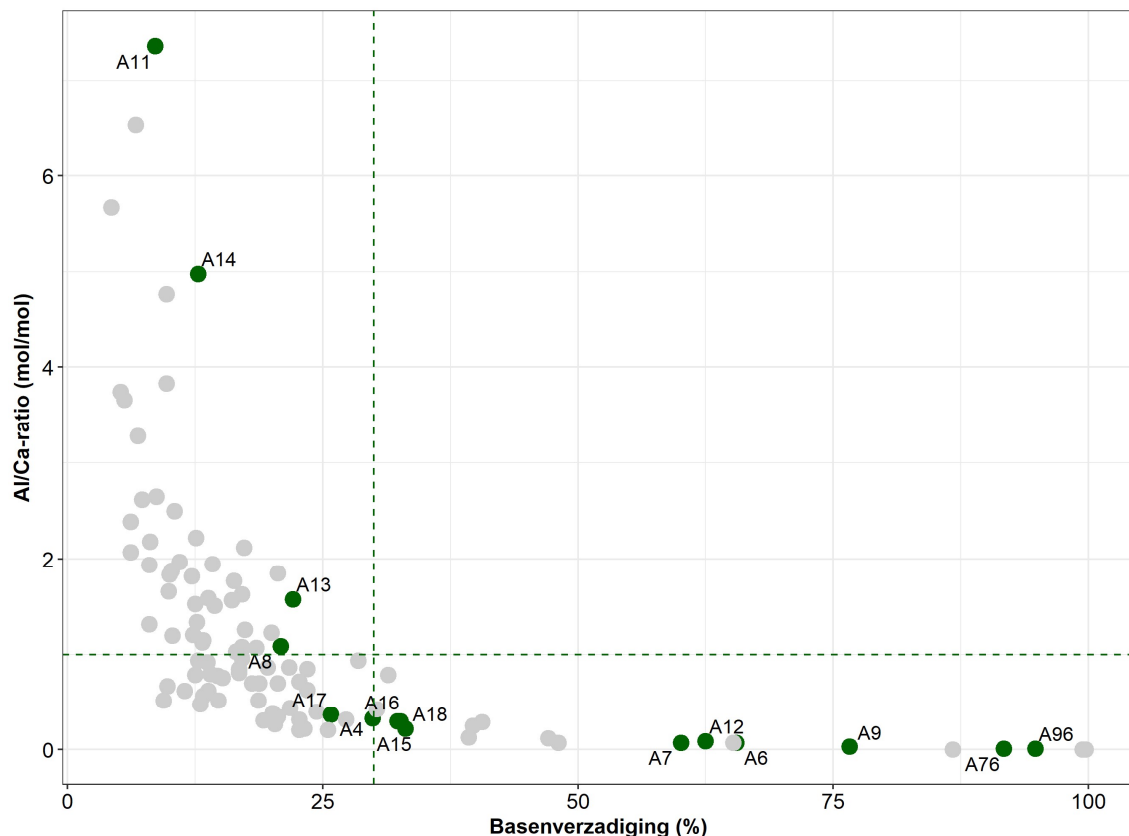


Figuur 4-7: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO₃), ammonium (NH₄), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH n=7, A n=15 en C n=15). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

In de bodembuffering van de A-horizont zijn drie clusters zichtbaar:

- Sterk gebufferde bodems met een basenverzadiging hoger dan 50% en een Al/Ca-ratio lager dan 0,1 mol/mol. Deze bodems hebben een mull-humusvorm (bijvoorbeeld locatie A76).
- Zwak tot matig gebufferde bodems met een basenverzadiging van 20 tot 35% en een Al/Ca-ratio van 0,2 tot 1,6 mol/mol.
- Zure bodems met een basenverzadiging van 9 tot 13% en een Al/Ca-ratio hoger dan 2 mol/mol (Figuur 4-8). In deze laatste groep vallen locatie A11 en A14.

Wat betreft de bodembuffering zijn er 9 locaties minder sterk gebufferd dan verwacht met een basenverzadiging lager dan 35% (Figuur 4-8). Extra variatie in de bodemchemie komt tot stand doordat er zowel natte als (wissel)vochtige locaties in de bodemgroep zitten.

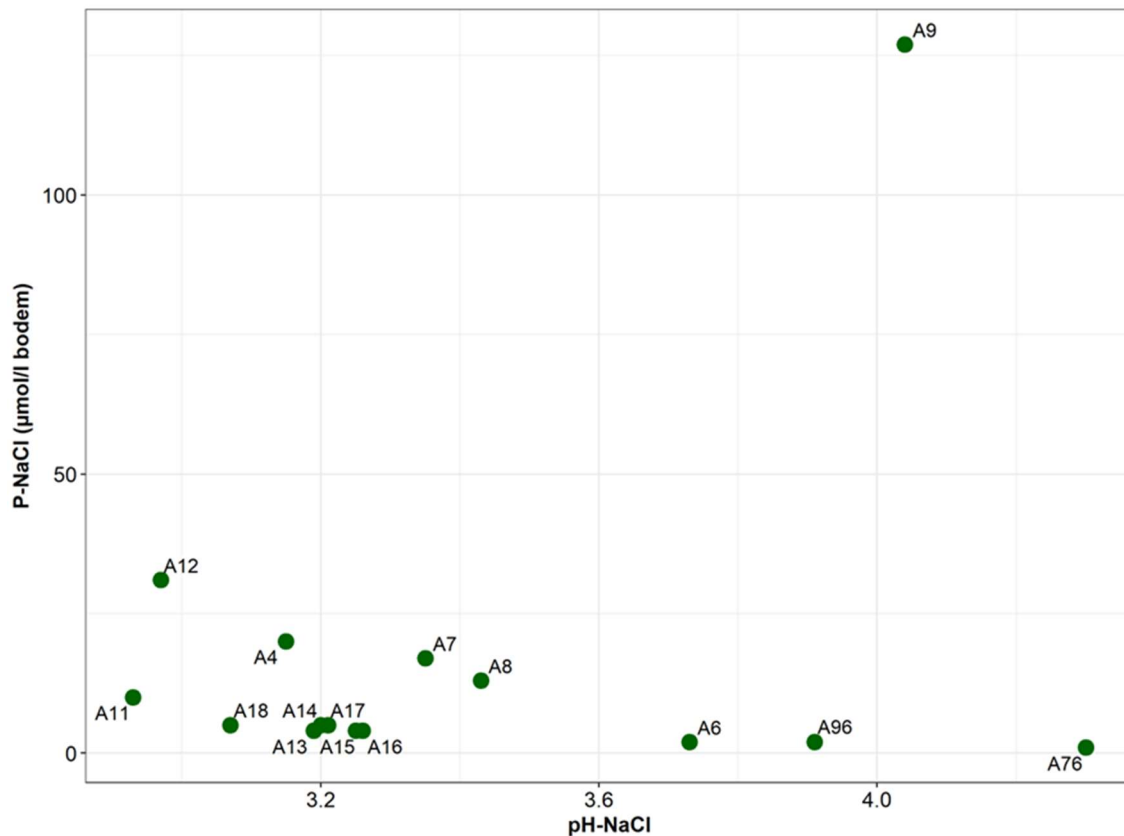


Figuur 4-8: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 1a: Rijk 40 (groene stippen) in de A-horizont. De stippellijn geeft de ondergrens van 30% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 1 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep (gebaseerd op expert judgement). De grijze stippen zijn de monsterpunten in andere bodemgroepen.

Nitraat (NO_3) was de dominante stikstofvorm in de A-horizont met uitzondering van locatie A15, waar ammonium (NH_4) de dominante stikstofvorm was (Figuur 4-7). De nitraatconcentratie was relatief hoog met 132 tot 1736 $\mu\text{mol/l}$ bodem en de ammoniumconcentratie was over het algemeen laag met 83 tot 566 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Locatie A15 viel op door een zeer hoge ammoniumconcentratie van 3435 $\mu\text{mol/l}$ bodem; de dominantie van ammonium is hier waarschijnlijk het gevolg van zuurstofgebrek in de natte bodem. In de twee locaties met de laagste bodembuffering (locatie A11 en A14) werden de laagste stikstofconcentraties gemeten in de A-horizont, waarschijnlijk omdat een groot deel van het stikstof opgeslagen zit in de bovenliggende organische FH-laag van 16, respectievelijk 8 cm dikte. In Figuur 4-7 is te zien dat stikstof in de FH-laag met name aanwezig is in de vorm van ammonium met hoge concentraties (>300 $\mu\text{mol/l}$ NH_4) ten opzichte van de A-horizont.

De voor planten beschikbare fosfaatconcentratie (P) in de A-horizont varieerde van 455 $\mu\text{mol/l}$ op locatie A96 tot 1679 $\mu\text{mol/l}$ bodem op locatie A8. De vrij beschikbare P-concentratie (uit een zoutextract) was relatief laag met concentraties van 1 tot 31 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Figuur 4-7). Locatie A9 vormt een uitzondering met een zeer hoge P-NaCl concentratie in de A-horizont van 127 $\mu\text{mol/l}$ bodem. In de FH-laag werden naar verwachting

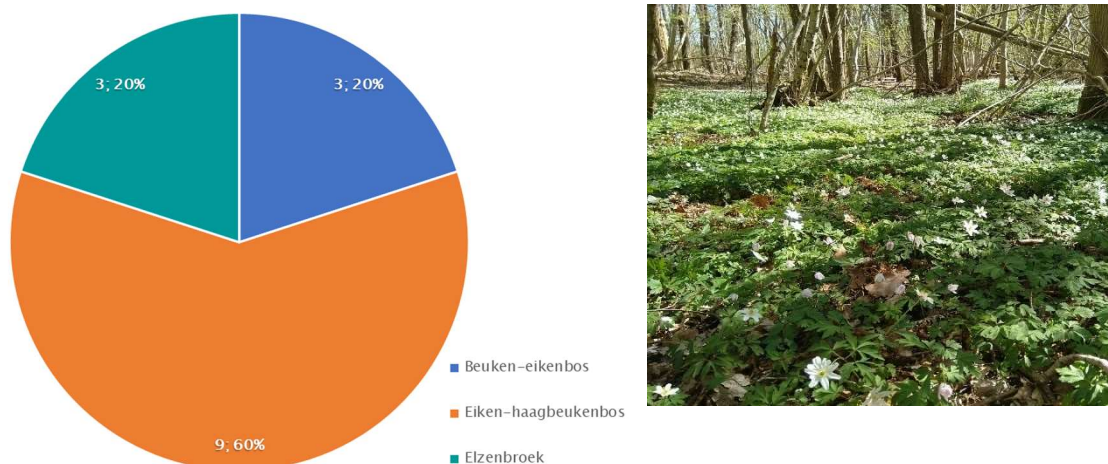
hogere vrij beschikbare P-concentraties gemeten ten opzichte van de A-horizont van 74 tot 307 $\mu\text{mol/l}$ bodem. In Figuur 4-9 is de vrij beschikbare P-concentratie uitgezet tegen de pH-NaCl in de A-horizont. In dit figuur is te zien dat in zuurdere bodems met een lagere pH de P-beschikbaarheid hoger lijkt te zijn. Bij zowel een hoge nitraat- als fosfaatbeschikbaarheid kan er verzuuring optreden.



Figuur 4-9: Relatie tussen de vrij beschikbare P-concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem en de pH gemeten in een zoutextract (NaCl) in bodemgroep Rijk 40 in de A-horizont.

4.1.5 Vegetatie en flora

Het overgrote deel van de locaties bevat een goed ontwikkeld en nauwelijks verstoord Eiken-haagbeukenbos (Figuur 4-10). Op de wat hoger gelegen terreindelen classificeert het vegetatietype als Beuken-eikenbos, op de wat lagere en meer stagnante delen als Elzenbroekbos. Ruim de helft van de locaties blijkt verzuurd (zie verderop in paragraaf 4.1.7 en 4.9). Vooral in de omgeving van ontwatering is sprake van verzuuring door braam of framboos, stekelvaren en rankende helmbloem. Braam en framboos groeien niet onder natte omstandigheden en zijn daarmee een verdrogingsindicator voor deze bodemgroep.



Figuur 4-10: Verdeling locaties over vegetatietypen (aantal; percentage van totaal). Rechts: Zeer goed ontwikkeld bos, genaamd De Kleibosch (zuidelijk deel) bij Foxwolde. Opvallend is het reliëf en uitbundige voorjaarsflora zonder verzuuring.

4.1.6 Menselijk gebruik

De potkleibossen hebben naast de leemwinning een verleden van hakhout, waarbij zeer oude stoven van gewone es, hazelaar en eik aanwezig zijn (Figuur 4-11 en Figuur 4-12). Om het hakhoutbeheer mogelijk te maken zijn deze bossen vaak voorzien van ontwatering (Figuur 4-). Hierdoor zijn weliswaar de laaggelegen en hellende terreindelen ecologisch gezien goed ontwikkeld, maar de hooggelegen terreindelen of plekken waar langdurig water stagneert, zijn verzuurd en verzuurd met braam, framboos of stekelvarens (Figuur 4-13).



Figuur 4-11: Waardevolle hakhoutstoof in het bos bij Leutingerwolde van gewone es, omringt met kenmerkende voorjaarsflora van bosanemoon.



Figuur 4-12: Diepe ontwatering op de grens van het Pleistoceen (potklei en dekzand) en Holocene (laagveen) landschap.



Figuur 4-13: Randzone van hetzelfde bos waar een diepe ontwatering en sterk verdrogena effect op deze bosgroeiplaats heeft en braam tot dominantie komt.

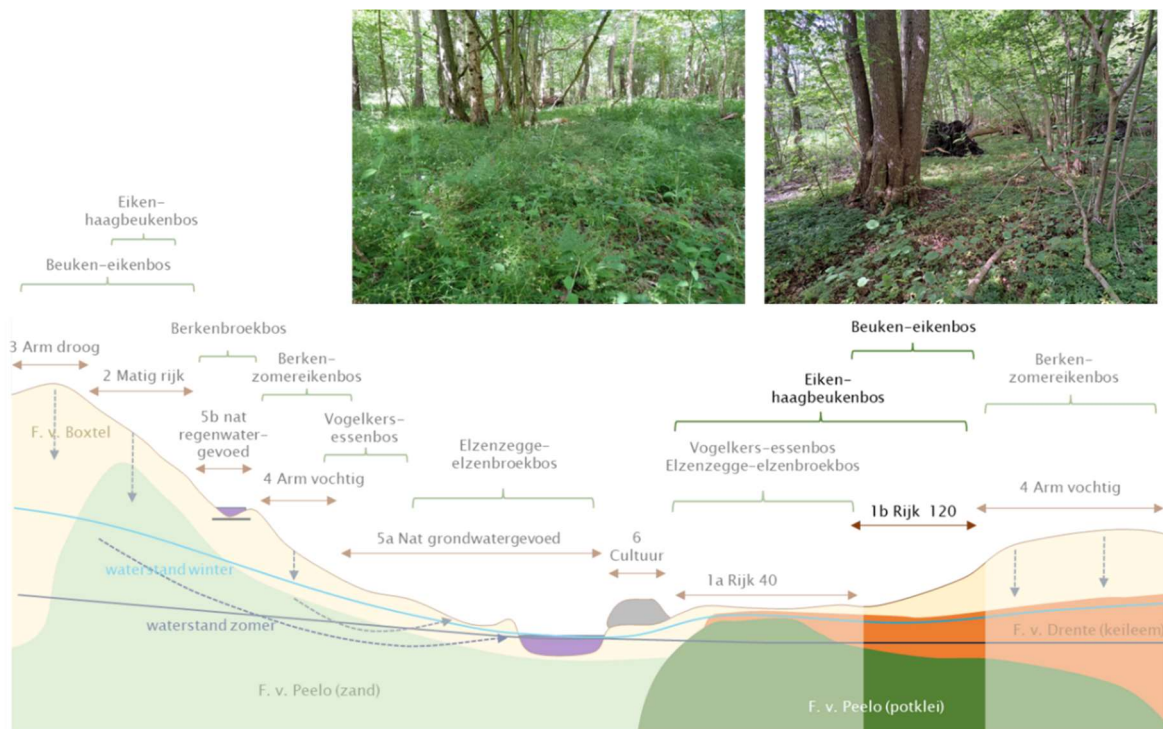
4.1.7 Conclusie bodemgroep 1a: Rijk 40

- Bijna driekwart van de locaties bevat een goede strooiselomzetting (mull-humusvorm). Er is echter ook een aantal locaties (27%) met een moder- of mor-humusvorm.
- De hydrologische omstandigheden zijn grotendeels op orde. Wel zijn er greppels en sloten die water afvoeren, waardoor de verblijftijd van water in de wortelzone wordt verkort en verzuring van de bovengrond plaatsvindt. De samenstelling van het grondwater (aanwezigheid van bufferstoffen en meststoffen) werd niet gemeten in dit onderzoek.
- Wat betreft de bodembuffering waren er negen locaties minder sterk gebufferd dan verwacht met een basenverzadiging lager dan 35%, waarvan 2 locaties zuur waren met een basenverzadiging van 9 tot 13%.
- In de over het algemeen goed gebufferde bodems was zoals verwacht nitraat de dominante stikstofvorm. In de minder sterk gebufferde en zure bodems met een FH-laag werden hoge ammoniumconcentraties gemeten in de FH-laag.
- De aanwezigheid van keileem dieper in de bodem lijkt in een deel van de locaties zowel verzuring als vermesting te voorkomen, waarschijnlijk doordat gebufferd grondwater dat in contact staat met de keileem in de winter tot in de wortelzone komt. Ook zorgen perioden van hoge grondwaterstanden met enige buffering voor stikstofafvoer (gekoppelde nitrificatie–denitrificatie).
- De helft van de locaties bevat zoals verwacht een goed ontwikkeld en nauwelijks verstoord Eiken–haagbeukenbos. Op de wat hoger gelegen terreindelen classificeert het vegetatietype als Beuken–eikenbos, op de wat lagere en meer stagnante delen als Elzenbroekbos.
- De laaggelegen en hellende terreindelen zijn ecologisch gezien goed ontwikkeld, maar de hooggelegen terreindelen of plekken waar langdurig water stagneert, zijn verzuurd. Plekken die door ontwatering lokaal verdroogt zijn of hooggelegen terreindelen zijn vaak verruigd met braam, framboos of stekelvarens.

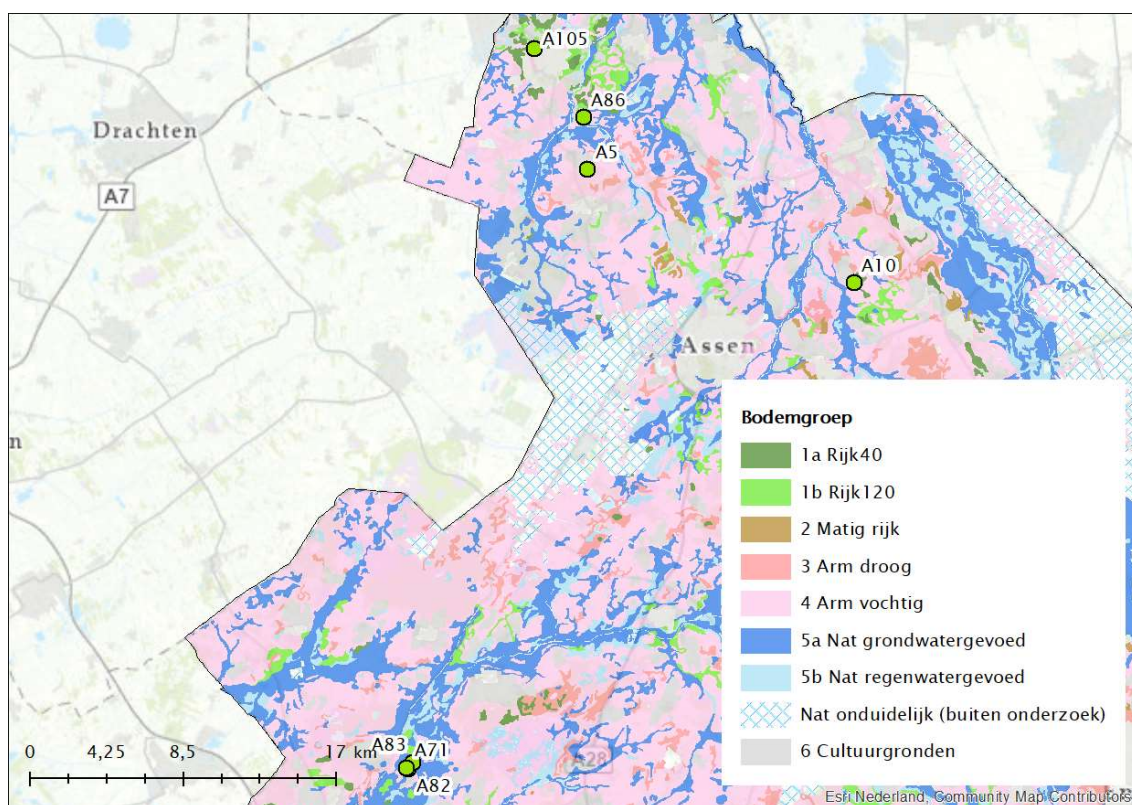
4.2 1b: Rijk120

4.2.1 Ligging

Deze bodemgroep ligt vooral langs de randen van dekzandruggen of in randen van slenken (ondiepe smeltwatergeulen uit de laatste ijstijd). Het voorkomen van deze bodemgroep is schaars doordat in de meeste smeltwaterdalen veenvorming heeft plaatsgevonden en dit soort milieus op randen van keileemplateau en beekdalen aanwezig is. De ontginning van beekdalen in de vorige eeuw heeft het areaal verder teruggedrongen tot de kop van Drenthe, het Drentse Aa-gebied en de landgoederen in Zuidwest-Drenthe (Figuur 4-14). De bodemgroep ligt in de lage delen van het landschap (Figuur 4-14), maar wel hoger dan het vorige type (1a: Rijk 40). Daardoor is de verwachting dat het een iets zuurder type bos is. De referentie-GHG is rond maaiveld (mv) en de GLG maximaal 80 cm-mv. Door de voeding van grondwater en de aanwezigheid van keileem/potklei in de ondergrond zijn relatief rijke vegetatietypen te verwachten: Eiken-haagbeukenbos en een rijke vorm van het Beuken-eikenbos. Door de aanwezigheid van keileem in de ondergrond en invloed van grondwater is de verwachting dat deze bodems goed gebufferd zijn met een basenverzadiging hoger dan 30% en een lage Al/Ca-ratio.



Figuur 4-14: Ligging van bodemgroep 1b: Rijk 120 in de landschapsecologische gradiënt van Drenthe.



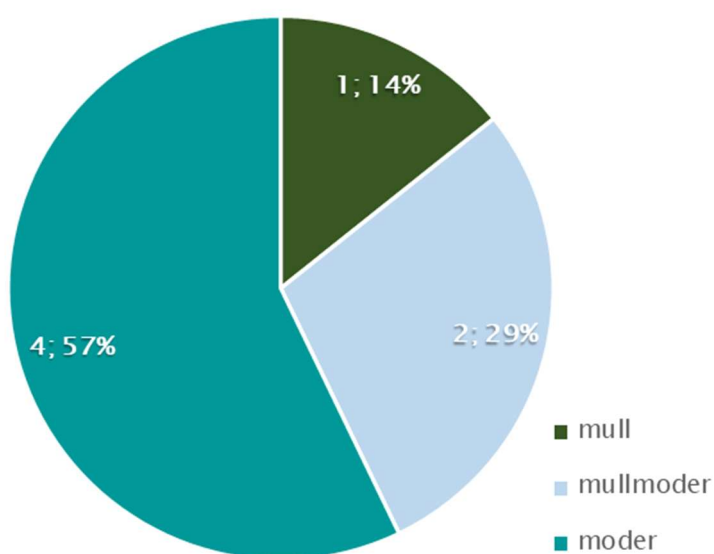
Figuur 4-15: Ligging van de 7 onderzoekslocaties binnen bodemgroep 1b (rijke, wisselvochtige bossen met keileem of potklei binnen 120 cm). Deze groep kan op basis van de bodemkaart niet onderscheiden worden van 1a en 5a, alleen op basis van veldonderzoek (grondboring).

4.2.2 Geologie en bodem

De bovengrond van deze bosgroeiplaats bestaat uit dekzand (Formatie van Bortel), waarin soms al verspoelde keileem aanwezig is. De echte keileem (Formatie van Drenthe, laagpakket van Gieten) en soms daaronder liggende potklei (Formatie van Peelo) komt binnen 120 cm diepte in de ondergrond voor. Dit betekent dat de wortels of het rijke moedermateriaal kunnen bereiken, of lateraal afstromend grondwater het bovenliggende dekzand aanrijkt met mineralen uit de keileem of potklei. De humusvorm is overwegend moder (86%) en deels mull (14%) (Figuur 16 en Figuur 4-17).



Figuur 4-16: Landgoed Rheebruggen met sterk verdroogde beekerdgronden op de rand van het keileemplateau. De gleyverschijnselen (rode vlekken tussen 10 en 50 cm) tonen een sterk fossil karakter. Het ooit geheel gereduceerde moedermateriaal bevat nu de actuele en wisselvochtige gleyzone (tussen 60 en 200 cm).

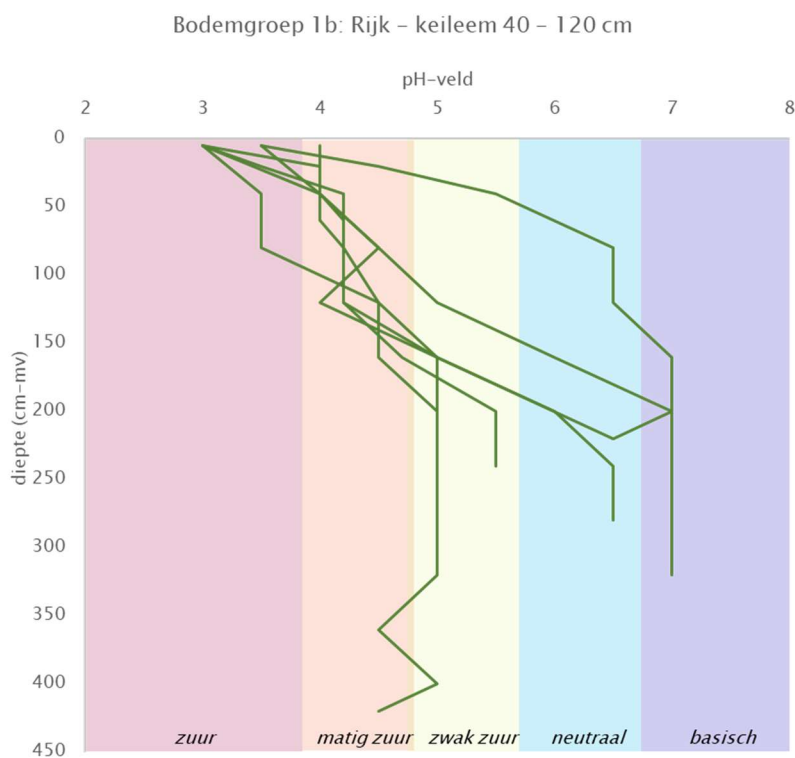


Figuur 4-17: Verdeling van de humustypen binnen deze groeiplaats (aantal; percentage van totaal). Rechts een foto van een moder.

4.2.3 Hydrologie

De slecht doorlatende onderlaag voorkomt de toestroming van grondwater uit diepere aardlagen, maar er is wel sprake van horizontaal door de bovengrond afstromend jong grondwater. In de dunne zandpakketten op de keileembodems die binnen 120 cm aanwezig zijn is een beekeerdgrond (n= 6) of gooreerdgrond (n=1). De GHG-referentie ligt gemiddeld rond maaiveld (beekeerd of gooreerd met keileem binnen 120 cm). De gemiddelde GLG-referentie ligt op respectievelijk 60 tot 80 cm onder maaiveld. De geschatte GLG's in het veld zijn gemiddeld 215 cm en wijzen daarmee op heel sterke verdroging.

Deze verdroging leidt bovendien ook tot een aanzienlijke verzuring van de bovengrond. Normaal gesproken bevatten deze bodems een vrij constant pH-profiel, omdat door het wisselvochtige karakter de zuurlast vanuit het bodemvocht wordt geneutraliseerd. De toplaag is echter zuur (pH 3-4) tot ca. 40 cm diepte (Figuur 4-18). Bij een pH van <4 is er een risico op vrijkomend aluminium (Al). De pH van de ondergrond wisselt tussen de 4,5 en ruim 7, waarschijnlijk afhankelijk van de aanwezigheid van gebufferde potklei en de hydrologische situatie.



Figuur 4-18: pH-veld-profiel van de locaties uit bodemgroep 1b. De indeling van de pH-veldmetingen in zuurklassen is gebaseerd op Van Delft et al., 2024.

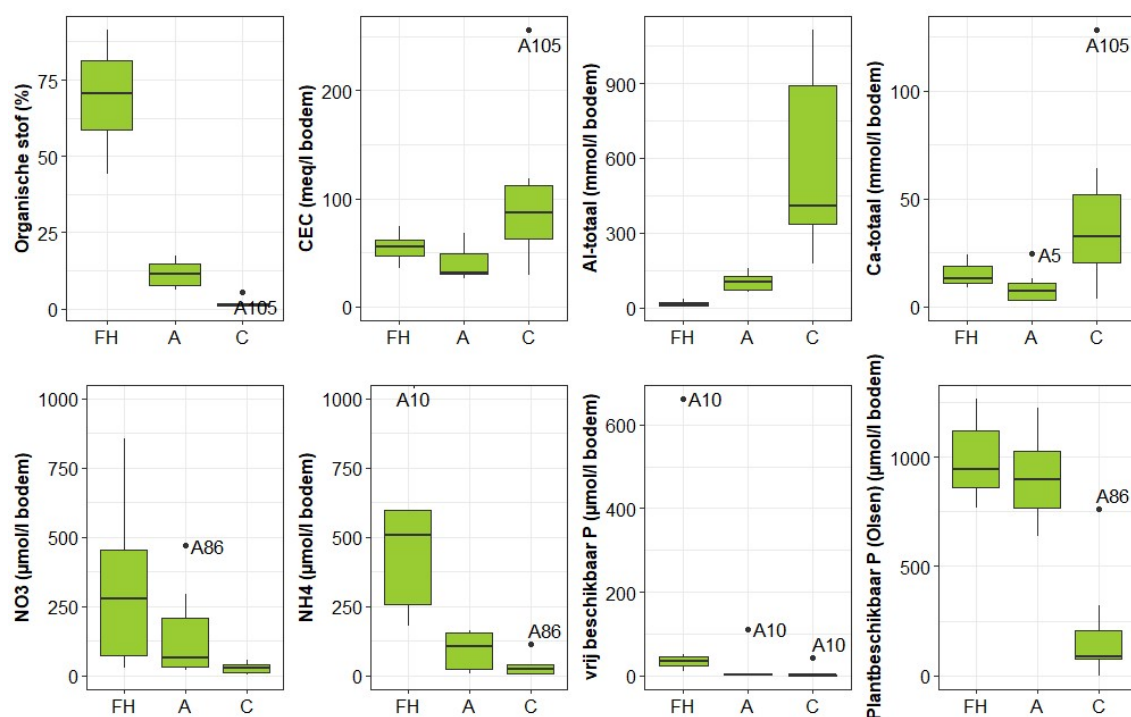
Het bovenste zandpakket wordt ontwaterd door in- en omliggende sloten, waardoor zelfs de onderliggende keileem uitdroogt. In het voorbeeld in figuur 4-19 op het landgoed Rheebruggen blijkt zelfs de ontwatering die voor de ruilverkaveling aanwezig was geen water meer te bevatten in de zomer. De diepe sloten rondom het landgoed draineren het watersysteem op het keileemplateau, waardoor er 's zomers droogtestress plaatsvindt, omdat de slechtdoorlatende keileem nauwelijks nalevering vanuit dieper grondwater doorlaat.



Figuur 4-19: Het inzetkaartje (AHN4) toont de oudere ontwatering op landgoed Rheebruggen vanuit het zuiden. Door de moderne, diepere ontwatering in het noorden is het oude watersysteem (foto) droog komen te liggen en is de omgeving sterk verdroogd en verzuurd.

4.2.4 Bodemchemie

In deze bodemgroep werd op 6 van de 7 locaties een FH-laag aangetroffen, vindt er ophoping van strooisel plaats en komt een moder of mullmoder voor (paragraaf 4.3.2). Dit is ook terug te zien in het percentage organische-stof in de A-horizont die met gemiddeld 11% overwegend lager is dan in bodems met een goede strooiselomzetting zoals in bodemgroep 1a: Rijk 40. Locaties die in bodemgroep 1b: Rijk 120 vallen worden gekenmerkt door de aanwezigheid van (kei)leem of potklei binnen 40–120 cm onder maaiveld, met daarop veelal een zandpakket. De A-horizont bestaat uit zand tot licht lemig zand met totaal-Al concentraties van 62 tot 155 mmol/l bodem. De C-horizont is zoals verwacht over het algemeen matig tot sterk leemrijk en calciumrijk met een hogere totaal-Al concentratie, hogere CEC en hogere totaal-Ca concentratie ten opzichte van de A-horizont (Figuur 4-20).

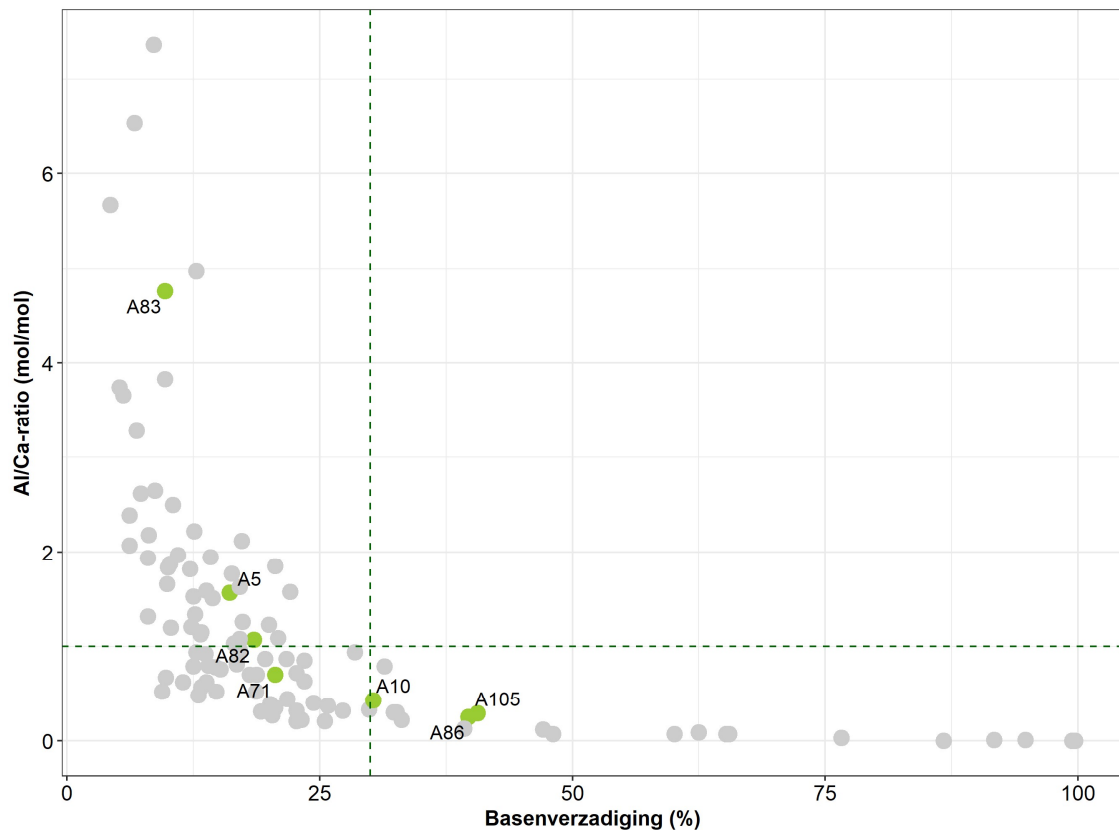


Figuur 4-20: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO₃), ammonium (NH₄), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH n=6, A n=7 en C n=7). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

In de bodem werd over het algemeen een basenverzadiging gemeten van 16 tot 41% en een lage Al/Ca-ratio van 0,3 tot 1,6 mol/mol (Figuur 4-21), waarbij de twee bossen met de hoogste basenverzadiging (A86 en A105) gekenmerkt werden door potklei als moedermateriaal. Wat betreft de bodembuffering waren 4 van de 7 locaties minder sterk gebufferd dan verwacht met een basenverzadiging lager dan 30%. Locatie A83 valt op met een zeer lage basenverzadiging van 10% en een Al/Ca-ratio hoger dan 2 mol/mol. Deze locatie kent, binnen deze groep, de bodem met het hoogste totaal aluminium gehalte (155 mmol/l).

Wat betreft stikstof werden in de bosbodems binnen deze bodemgroep relatief lage stikstofconcentraties (nitraat+ammonium) gemeten van 32 tot 204 µmol/l bodem. Op locatie A10 en A86 met relatief weinig ophoping van strooisel (een dunne FH-laag) werden hogere stikstofconcentraties gemeten in de A-horizont van 398 en 623 µmol/l bodem (ammonium+nitraat). Ook in de FH-laag werden in deze groep de laagste stikstofconcentraties gemeten. Mogelijk is hier sprake van grondwaterstanden die in natte perioden hoog in het profiel stijgen en daarbij de stikstofafvoer naar de lucht kunnen stimuleren in deze nog niet sterk verzuurde bodem.

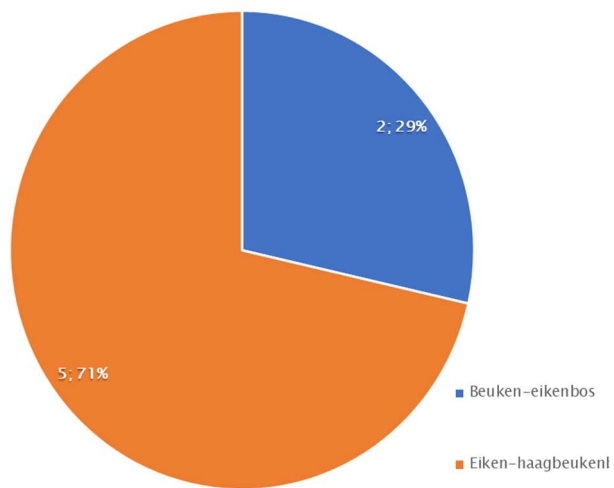
De voor planten beschikbare fosfaatconcentratie varieerde van 639 tot 1223 µmol/l bodem en was niet opvallend hoog of laag. Ook de vrij beschikbare P-concentratie was over het algemeen zeer laag (<5 µmol/l bodem) met uitzondering van locatie A10 (112 µmol/l bodem in de A-horizont en 662 µmol/l bodem in de FH-horizont).



Figuur 4-21: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 1b: Rijk 120 (groene stippen) in de A-horizont. De stippellijn geeft de ondergrens van 30% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 1 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep. De grijze stippen zijn de monsterpunten in andere bodemgroepen.

4.2.5 Vegetatie en flora

De plantengemeenschappen die hier voorkomen (Figuur 4-22), behoren tot het Eiken-haagbeukenbos (71%) en Beuken-eikenbos (29%). De diepte van de potklei en/of keileem en daarmee de dikte van het dekzandpakket verklaart de grens tussen de beide gemeenschappen: bij het Beuken-eikenbos zit de keileem/potklei dieper. Binnen het Beuken-eikenbos is de meest rijke variant, namelijk de subassociatie met lelietje-van-dalen. Binnen het Eiken-haagbeukenbos is variatie aanwezig tussen de typische subassociatie en subassociatie met dalkruid. De locaties zijn niet verruigd (zie verderop in paragraaf 4.2.7 en 4.9).



Figuur 4-22: Verdeling locaties over vegetatietypen (aantal; percentage van totaal). Rechtsboven: Gasterse Holt, met op de voorgrond boswederik. Onder: Eiken-haagbeukenbos ten zuiden van Lieveren met een tapijt van bosanemoon.

4.2.6 Menselijk gebruik

Deze bossen zijn overwegend gebruikt voor de winning van hakhout (doorgelopen hakhoutstoven), waarbij in de lagere aangrenzende delen dikwijls leemwinning heeft plaatsgevonden. Door het sterke wisselvochtige karakter zijn deze bossen vaak voorzien van greppels, lage rabatstructuren of nabijgelegen sloten of beken. Door schaalvergroting vanaf de jaren '50 in de vorige eeuw bevatten ze alleen in de winter-vroege voorjaar (regen) water.

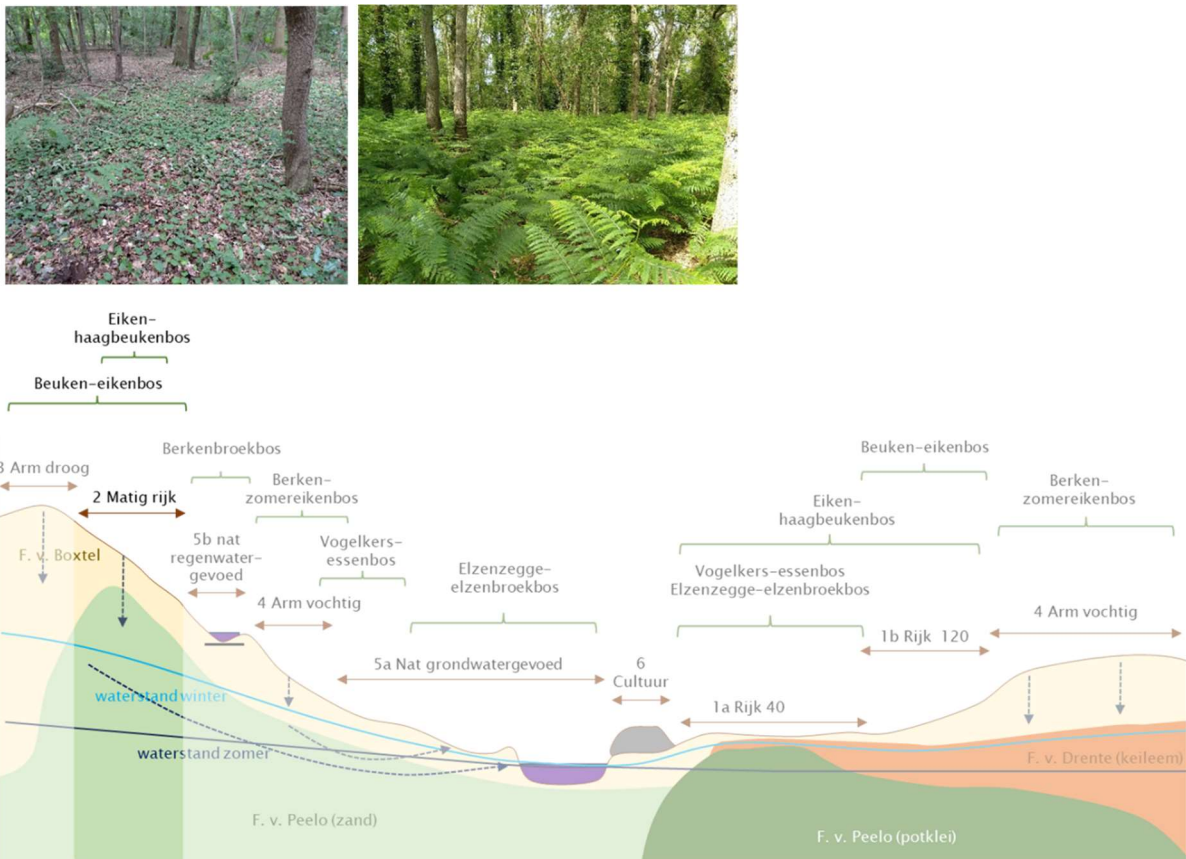
4.2.7 Conclusies bodemgroep 1b: Rijk 120

- Door het sterke wisselvochtige karakter zijn deze bossen vaak voorzien van greppels, lage rabatstructuren of nabijgelegen sloten of beken. De geschatte GLC's in het veld zijn gemiddeld 215 cm en wijzen daarmee op heel sterke verdroging.
- Wat betreft bodembuffering waren 4 van de 7 locaties minder sterk gebufferd dan verwacht met een basenverzadiging lager dan 30%. De stikstof- en fosfaatconcentraties in de bodem waren relatief laag in deze bodemgroep.
- De aanwezigheid van keileem dieper in de bodem lijkt in een deel van de locaties zowel verzuring als vermesting te voorkomen, waarschijnlijk doordat gebufferd grondwater dat in contact staat met de keileem in de winter tot in de wortelzone komt. Ook zorgen perioden van hoge grondwaterstanden met enige buffering voor stikstofafvoer (gekoppelde nitrificatie-denitrificatie).
- Het bos behoort tot het Eiken-haagbeukenbos of een rijke vorm van het Beuken-eikenbos en is niet verruigd.
- De humusvorm is veelal moder (86%) en deels mull, het strooisel is daarmee minder goed verteerd dan bij bodemgroep 1a: Rijk 40, waar de keileem ondieper aanwezig is.
- Deze bosgroeiplaats wordt sterk gedraineerd, waarbij de lage grondwaterstanden vooral zijn veroorzaakt door diepere ontwatering die vanaf de jaren '60 in de omliggende landbouwgebieden is aangelegd. De oude greppels en rabatsloten hebben hun functie grotendeels verloren, maar kunnen lokaal wel tot verdroging zorgen.

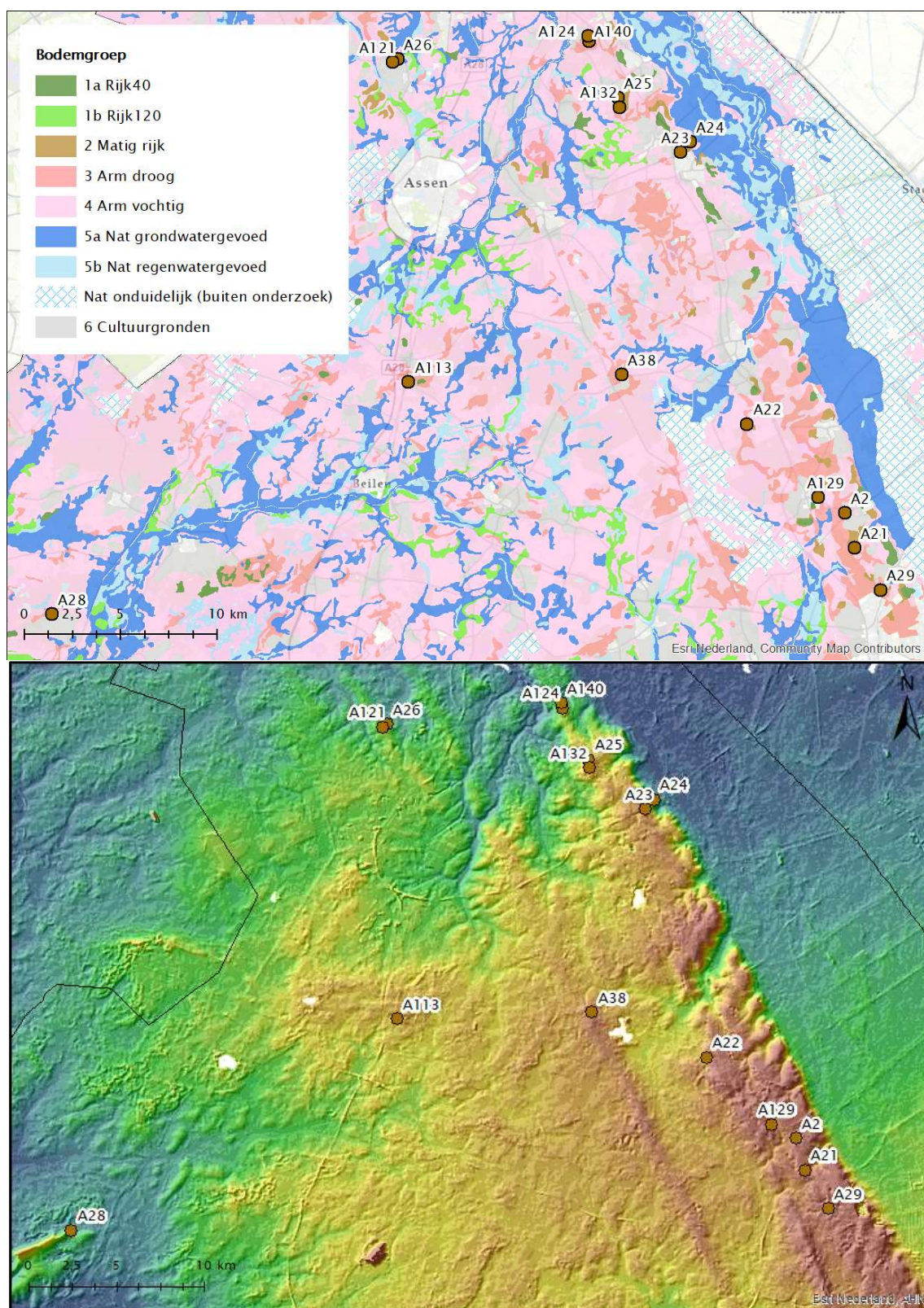
4.3 2: Matig rijk

4.3.1 Ligging

Deze bodemgroep komt voor op droge zandgronden, die relatief rijk zijn in tegenstelling tot bodemgroep 3: Arm droog (Figuur 4-23). Het voorkomen van deze bodemgroep hangt samen met de ligging van rugstructuren op het Drents plateau, vooral de Hondsrug en Rolderrug (Figuur 4-24). Deze zijn ontstaan door smeltwaterafvoer onder de ijskap tijdens het Saalien (Kuijer, 1991). Het enige bodemtype in deze bodemgroep, de holtpodzolgronden, zijn bekend als matig rijke zandgronden doordat het zand een rijke herkomst heeft en/of wat lemig is. De verwachting is dat deze bodemgroep van alle minerale zandgronden (bodemgroepen 2: Matig rijk, 3: Arm droog, 4: Arm vochtig en 6: Cultuur) het meest rijk is, waardoor de strooiselomzetting relatief goed is (moder) en er relatief soortenrijke Beuken-eikenbossen voorkomen. De verwachting is dat deze bodems met een relatief soortenrijke vegetatie ook goed gebufferd zijn met een basenverzadiging hoger dan 30% en een lage Al/Ca-ratio, maar minder sterk gebufferd zijn dan de bodems met keileem in de ondergrond.



Figuur 4-23: Ligging van bodemgroep 2: Matig rijk in de landschapsecologische gradiënt van Drenthe. Her en der komt, in tegenstelling tot wat de doorsnede laat zien, ook keileem voor. De Peelozanden overheersen echter.



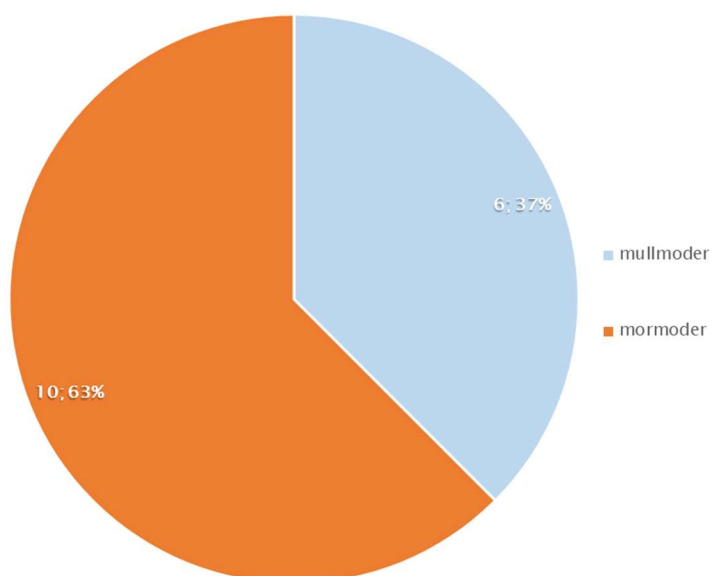
Figuur 4-24: Ligging van de 16 onderzoekslocaties binnen bodemgroep 2 Matig rijk. Het valt op dat de locaties overwegend voorkomen op de zuidoost-noordwest gerichte rugstructuren op het Drents plateau.

4.3.2 Geologie en bodem

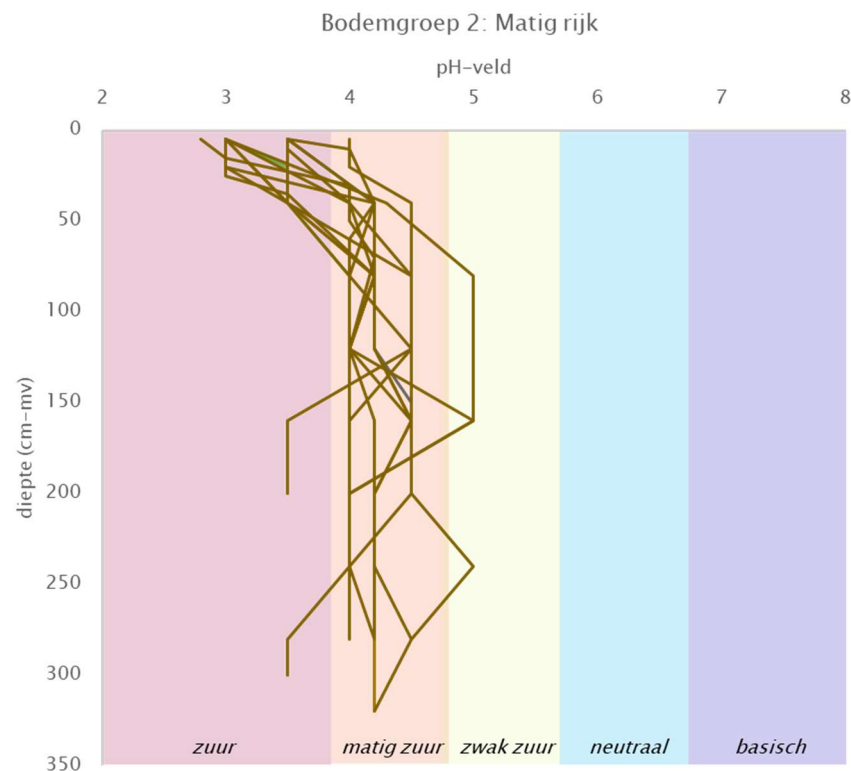
De ondergrond van deze bodemgroep bestaat uit relatief mineraalrijk zand (uit de Formatie van Peelo) waarop soms een laag keileem uit de Formatie van Drenthe is afgezet. De toplaag bestaat uit een dun zwak lemig dekzandpakket (TNO-DINO-loket), zie ook het voorbeeld in Figuur 4-25. De pH van de ondergrond is relatief stabiel, matig zuur (pH 4-4,5) (Figuur 4-26). De toplaag (0-40 cm) is zuur (pH 3-4). Bij een pH van <4 is er een risico op vrijkomend aluminium. De strooisellaag behoort voornamelijk tot de mormoder-humusvorm. Een derde van de locaties heeft echter relatief goed afgebroken strooisel (mullmoder). Het overige deel juist het slechter afgebroken strooisel van mormoder (Figuur 4-27).



Figuur 4-25: Holtpodzolprofiel bij A113 (Hooghalen), waarbij de keileem op 190 cm diepte voorkomt.



Figuur 4-2612: Verdeling van de humustypen binnen deze groeiplaats (aantal; percentage van totaal). Rechts een foto van een mullmoder.



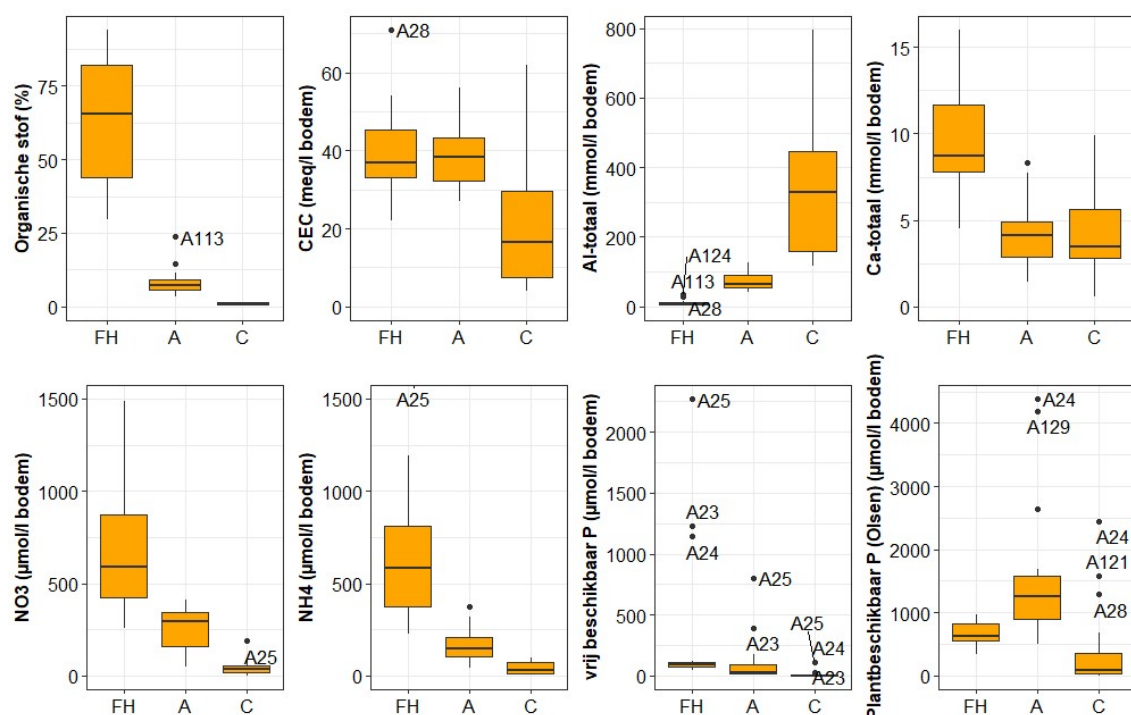
Figuur 4-27: pH-veld-profiel van de locaties uit bodemgroep 2. De indeling van de pH-veldmetingen in zuurklassen is gebaseerd op Van Delft et al., 2024.

4.3.3 Hydrologie

Deze bossen bevinden zich buiten de invloedzone van het grondwater en zijn afhankelijk van hangwater. Het geschatte leemgehalte (10–17,5%) in deze bodemgroep heeft een positieve bijdrage aan het vochtvasthoudend vermogen ten opzichte van leemarme bodems.

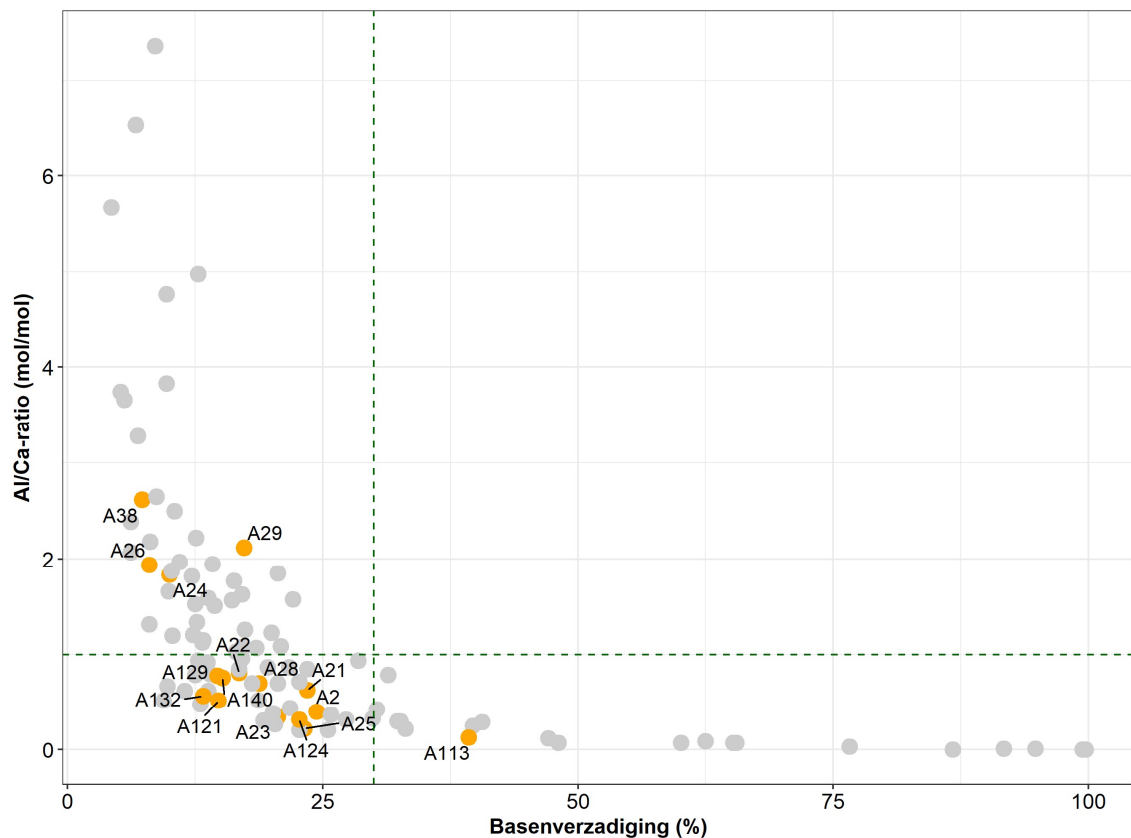
4.3.4 Bodemchemie

Op alle locaties in deze bodemgroep werd een FH-laag aangetroffen. Dit is ook terug te zien in het relatief lage percentage organische-stof in de A-horizont van gemiddeld 8% (Figuur 4-). Locatie A113 valt op door een hoger percentage organische-stof in de A-horizont van 24%, deze bodem behoort tot de mull-moder met een relatief goede strooiselafbraak (paragraaf 4.3.2). Binnen deze bodemgroep bestaat de A-horizont uit zand tot licht lemig zand met totaal-Al-concentraties van 42 tot 127 mmol/l bodem en een relatief lage CEC (gemiddeld 38 meq/l bodem) vergeleken met de voorgaande groepen (1a en 1b). De C-horizont is sterk variabel van licht lemige bodems tot sterk leemrijke bodems met eens sterk variabele totaal-Al concentratie en CEC. Het totaal-Ca gehalte in de C-horizont is vergelijkbaar met het totaal-Ca gehalte in de A-horizont en laag in vergelijking met de C-horizont van de leemrijkere bodemgroepen. Dit betekent dat er in de diepere ondergrond geen grote voorraad calcium (Ca) aanwezig is, die bijvoorbeeld door rijkstrooiselsoorten opgenomen en in het bossysteem rondgepompt kan worden. De totaal gehalten aan magnesium (Mg) en kalium (K) waren hoog in de C-horizont ten opzichte van de A-horizont, maar ook duidelijk lager in vergelijking met de C-horizont van de leemrijke bodemgroepen.



Figuur 4-28: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO₃), ammonium (NH₄), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH n=16, A n=16 en C n=16). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

De basenverzadiging in de A-horizont varieerde van 7 tot 24% (Figuur 4-29). Locatie A113, met een sterk organische bodem en goede strooiselomzetting, vormt een uitzondering met een hogere basenverzadiging van 39%. De Al/Ca-ratio varieerde van 0,1 tot 2,6 en was met uitzondering van locaties A29 en A38 overall lager dan de grens van 2 mol/mol waarboven aluminium schadelijk kan zijn voor plantwortels en ectomycorrhiza schimmels. Wat betreft de bodembuffering is de bodem minder goed gebufferd dan verwacht. Ondanks dat het hier om kalkloze zandgronden gaat, is de bodem op 6 van de 16 locaties nog redelijk gebufferd met een basenverzadiging hoger dan 20%. Dit is vermoedelijk vooral het gevolg van de lange bosgeschiedenis waardoor voldoende kationen blijven circuleren in de bodem.



Figuur 4-29: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 2: Matig Rijk (oranje stippen) in de A-horizont. De stippellijn geeft de ondergrens van 30% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 1 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep. De grijze stippen zijn de monsterpunten in andere bodemgroepen.

Wat betreft stikstof werd in deze bodemgroep gemiddeld 256 $\mu\text{mol/l}$ bodem nitraat en 163 $\mu\text{mol/l}$ ammonium gemeten in de A-horizont en was daarmee niet opvallend hoog of laag. In de FH-laag was de concentratie nitraat gemiddeld hoger ten opzichte van de A-horizont, dit is anders ten opzichte van de rijke leembodems.

De voor planten beschikbare fosfaatconcentratie varieerde in de A-horizont van 492 tot 1695 $\mu\text{mol/l}$ bodem en was niet opvallend hoog of laag (Figuur 4-28). Locaties A24, A121 en A129 vallen echter op door nog hogere fosfaatconcentraties van 2635 tot 4386 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P en 6,1 tot 10,7 mmol/l totaal-P. Mogelijk zijn deze locaties ooit bemest geweest. De vrij beschikbare P-concentraties waren over het algemeen hoog met op 10 van de 16 locaties concentraties hoger dan 20 $\mu\text{mol/l}$ bodem in de A-horizont. Ook in de FH-horizont werden over het algemeen hoge vrij beschikbare P-concentraties gemeten (Figuur 4-28). Van de 16 locaties binnen deze groep werden er 10 locaties gekenmerkt door een vegetatie met verruigingsindicatoren. Over het algemeen werden in deze 10 locaties ook hogere beschikbare fosfaatconcentraties gemeten.

4.3.5 Vegetatie en flora

De vegetatie bestaat overwegend uit Beuken-eikenbos (Figuur 4-). De meeste locaties behoren tot de rijke variant (subassociatie met lelietje-van-dalen), één locatie tot een soortenarme vorm van het Beuken-eikenbos. Drie van de onderzochte locaties behoren tot het Eiken-haagbeukenbos. Tien van de 16 locaties zijn verruigd (zie verderop in paragraaf 4.3.7 en 4.9).



Figuur 4-30: Links: Verdeling locaties over vegetatietypen (aantal; percentage van totaal). Rechts: A23 (Zwanemeerbos) op de Hondsrug bij Gieten. Kenmerkend is de dominantie van adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*).

Het is opvallend dat de kenmerkende soorten (dalkruid, bosanemoon, witte klaverzuring, gewone salomonszegel) van het Beuken-Eikenbos meestal niet in de bosvakken aanwezig zijn, maar vooral langs de randen, zoals paadjes, wallen of bosranden waar minder bladstrooisel van zomereik aanwezig is, meer verstoring en meer lichtinval is.

Ook zijn er aanwijzingen dat rijkstrooiselsoorten in deze bodemgroep een positieve bijdrage levert aan het voorkomen van oud-bossoorten, die elders in het bos ontbreken. In dit geval betroffen het volgroeide Amerikaanse vogelkersen die her en der in de boomlaag van eik gemengd staan (Figuur 4-31). Deze waarnemingen sluiten goed aan bij de uit de literatuur bekende voorbeelden dat rijkstrooiselsoorten op de wat rijkere bodems een positief effect sorteren op de bodemchemie, de bosflora en het bodemleven (Desie et al 2020, Reich et al 2005, Kooijman et al 2019).



Figuur 4-31: Langs wildwisselpaden, en plekken waar minder eikenbladstrooisel ligt komen duidelijk meer soorten voor, dan in de bosvakken zelf. Daar overheersen adelaarsvaren, stekelvarens en bramen. Op de rechter figuur een particulier eikenbos, waarin volgroeide Amerikaanse vogelkersen voorkomen. Onder het kroonoppervlak van deze bomen staan duidelijk meer kenmerkende bosplanten (dalkruid) dan onder de zomereiken buiten het kroonoppervlak van deze soort.

4.3.6 Menselijk gebruik

De bossen die op deze groeiplaatsen voorkomen zijn vanuit historisch gebruik te duiden als “holt”. Ze werden vooral gebruikt als groeiplaats voor zwaar timmerhout en het vetmesten van varkens in de herfst. Vanaf de 80-jarige oorlog zijn ze meer gebruikt als hakhout en schorswinning voor leerlooierijen (Smeenge, 2005). Door de tijd heeft een steeds verdere selectie op eik- en beuk plaatsgevonden (paragraaf 3.4.1) en dat leidde waarschijnlijk tot verzuring van de bovengrond, omdat eikenblad veel looizuur bevat en bovendien slecht wordt afgebroken. Het historisch gebruik van hakhout bracht een jaarlijkse verstoring met zich mee door paarden, karren en mensen die in het bos werkten en takkenbossen uitsleepten. Het is denkbaar dat daardoor kale plekken op de bosbodem ontstonden en daarmee veel afwisseling aan kiemmilieus en mineralenbeschikbaarheid. Na de beschikbaarheid van aardgas vanaf 1950 viel deze oude beheersvorm weg en ontstond een vrij monotoon bosbeeld van eik en een dikke strooisellaag.

De introductie van Amerikaanse vogelkers leidde door zijn aanvankelijk tot invasieve karakter waarschijnlijk tot dominantie op tal van plekken, maar in het bosje bij de Bazuineres en Hooghalen blijkt door natuurlijke concurrentie geen sprake van een invasieve dominantie van deze soort. Door zijn goede bladstrooiselkwaliteit is de biodiversiteit en aanwezigheid van oud bossoorten verbeterd door zijn goede eigenschappen van humificatie en mineralisatie (Nijssen, Koopmans, & Ouden den, 2019).



Figuur 4–32: Prachtige groeivormen van oud hakhout in oude holten van Drenthe.

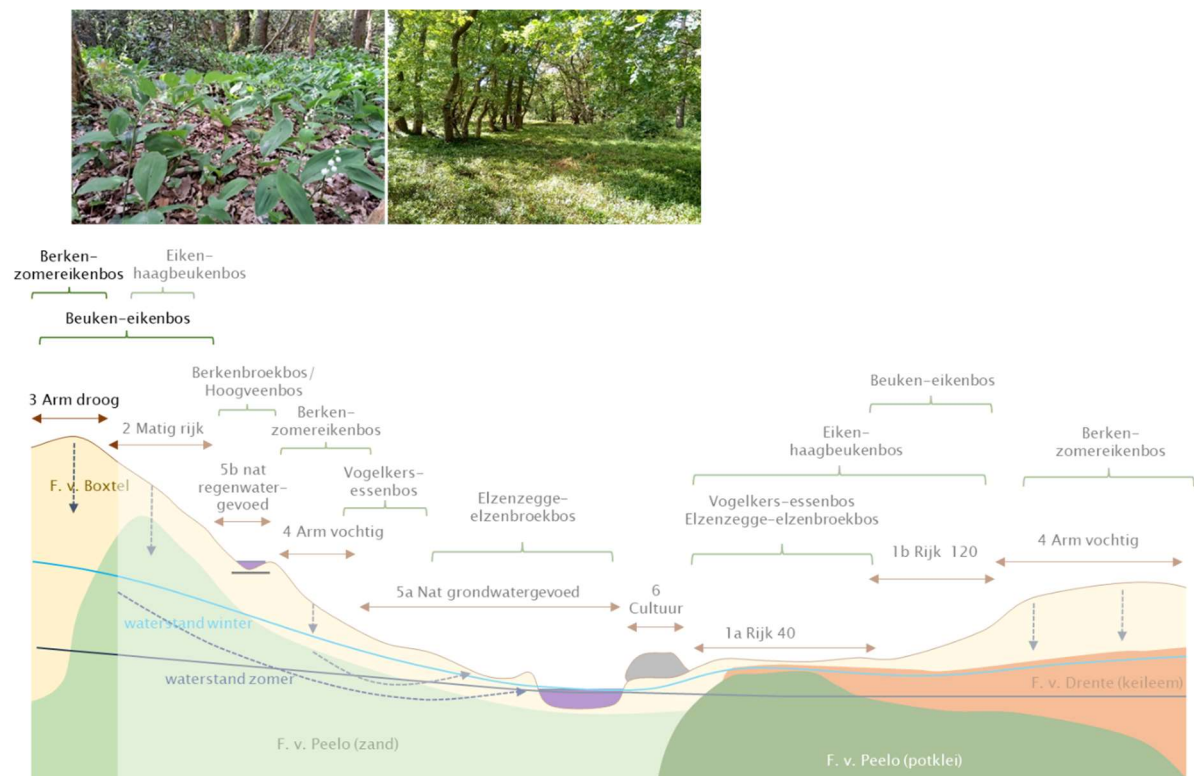
4.3.7 Conclusies bodemgroep 2: Matig rijk

- De strooisellaag behoort voornamelijk tot de mormoder-humusvorm.
- De pH van de toplaag (40 cm) is zuur ($\text{pH} < 4$), daaronder is de pH iets hoger (4,5).
- Wat betreft de bodembuffering is de bodem minder goed gebufferd dan verwacht met over het algemeen een basenverzadiging lager dan 30%. Ondanks dat het hier om kalkloze zandgronden gaat, is de bodem op 6 van de 16 locaties nog wel redelijk gebufferd met een basenverzadiging hoger dan 20%. Dit is vermoedelijk vooral het gevolg van de lange bosgeschiedenis waardoor voldoende kationen blijven circuleren in de bodem.
- Het bos classificeert als een rijke vorm van het Beuken-eikenbos of als Eiken-haagbeukenbos. Wel staan de kenmerkende soorten vooral langs de randen en paden.
- Daarnaast blijkt dat 10 van de 16 locaties verruigd zijn. Over het algemeen werden in deze 10 locaties ook hogere beschikbare fosfaatconcentraties gemeten. Waarschijnlijk bevatten deze mineraalrijkere bodems wat meer fosfor. Door de toegenomen stikstofbeschikbaarheid in de bodem (als gevolg van verhoogde stikstofdepositie) en verzuring leidt tot mobilisatie van calcium gebonden fosfaat. Het verhoogde aanbod van zowel stikstof als fosfaat leidt dan tot verruiging (met name hoge bedekkingen van klimop, stekelvarens, sporkehout en bramen).
- Na de beschikbaarheid van aardgas vanaf 1950 viel deze oude beheersvorm weg en ontstond een vrij monotoon bosbeeld van eik en een dikke strooisellaag. Het strooisel bevat veel essentiële voedingsstoffen, maar komt beperkt in de bosbodem terecht.
- Er zijn goede aanwijzingen dat rijkstrooiselsoorten een positieve bijdrage leveren aan het voorkomen van oud-bossoorten, die elders in het bos ontbreken. In dit geval betroffen het volgroeide Amerikaanse vogelkersen die her en der in de boomlaag van eik gemengd staan.

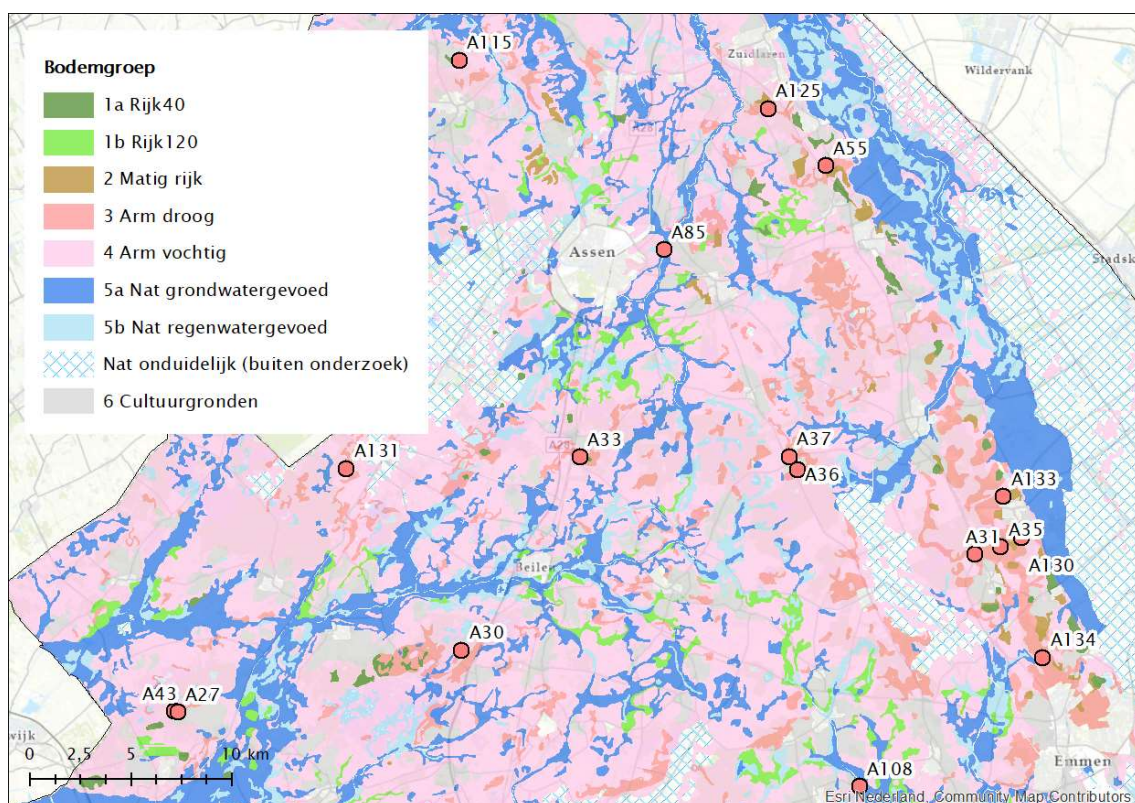
4.4 3: Arm droog

4.4.1 Ligging

Deze bodemgroep komt voor op de hoogste plekken in het landschap voor op de droge, arme zandgronden (Figuur 4–33). In Figuur 4–33 is geen keileem of potklei in de ondergrond ingetekend, in werkelijkheid kan die wel aanwezig zijn maar dan diep. De onderzoekslocaties hebben een spreiding over de provincie (Figuur 4–34). Door de droge, arme groeiplaats is een slechtere strooiselafbraak te verwachten (moder–mor) en een armer vegetatietype (Beuken–eikenbos). De verwachting is dat deze bodems van nature zuur tot zwak gebufferd zijn met een basenverzadiging tussen de 7 en 30%.



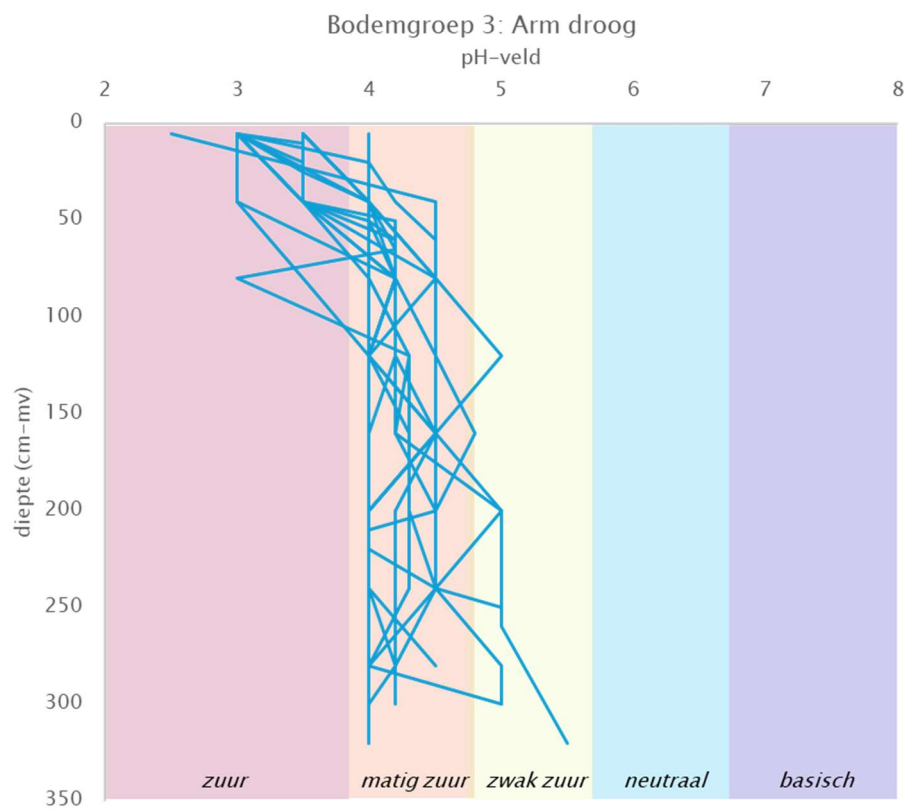
Figuur 4–33: Ligging van bodemgroep 3: Arm droog in de landschapsecologische gradiënt van Drenthe.



Figuur 4-34: Ligging van de 17 onderzoekslocaties binnen bodemgroep 3 Arm droog.

4.4.2 Geologie en bodem

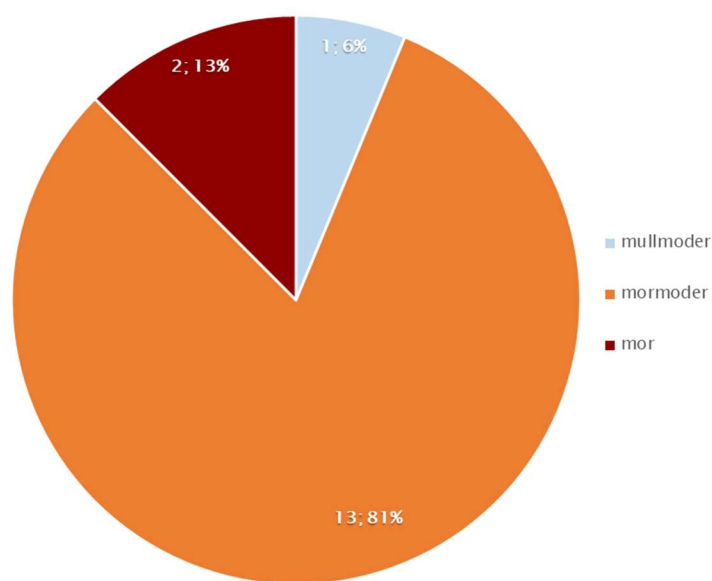
De bodemgroep bestaat veelal uit haarpodzolgronden gevormd in leemarm dekzand (Formatie van Boxtel). Op sommige plekken gaat het om verstoven zand (duinvaaggronden) dat in smalle ruggen is afgezet en dan oude haarpodzolgronden heeft overstoven (Figuur 4-34). Af en toe komen er dunne leemlagen of siltlagen voor. Er is geen grondwaterinvloed, de zuurbuffering vindt plaats vanuit het substraat. De pH van de bodem op grotere diepte is matig zuur (pH 4-4,5), net als bij bodemgroep 2: Matig rijk. De toplaag is zuur (pH <4), waardoor er een risico is op het vrijkomen van aluminium (Figuur 4-35). Het grootste deel van de humusvorm bestaat uit mormoder, wat aangeeft dat de afbraak vooral door schimmels en kleinere fauna plaatsvindt (Figuur 4-37).



Figuur 4-35: pH-veld-profiel van de locaties uit bodemgroep 3. De indeling van de pH-veldmetingen in zuurklassen is gebaseerd op Van Delft et al., 2024.



Figuur 4-36: Boven: Haarpodzolgrond bij A55 (op de Hondsrug bij Eext). Onder: Duinvaaggrond op een onthoofde en humusarme haarpodzolgrond bij A36 ten zuiden van Schoonloo.



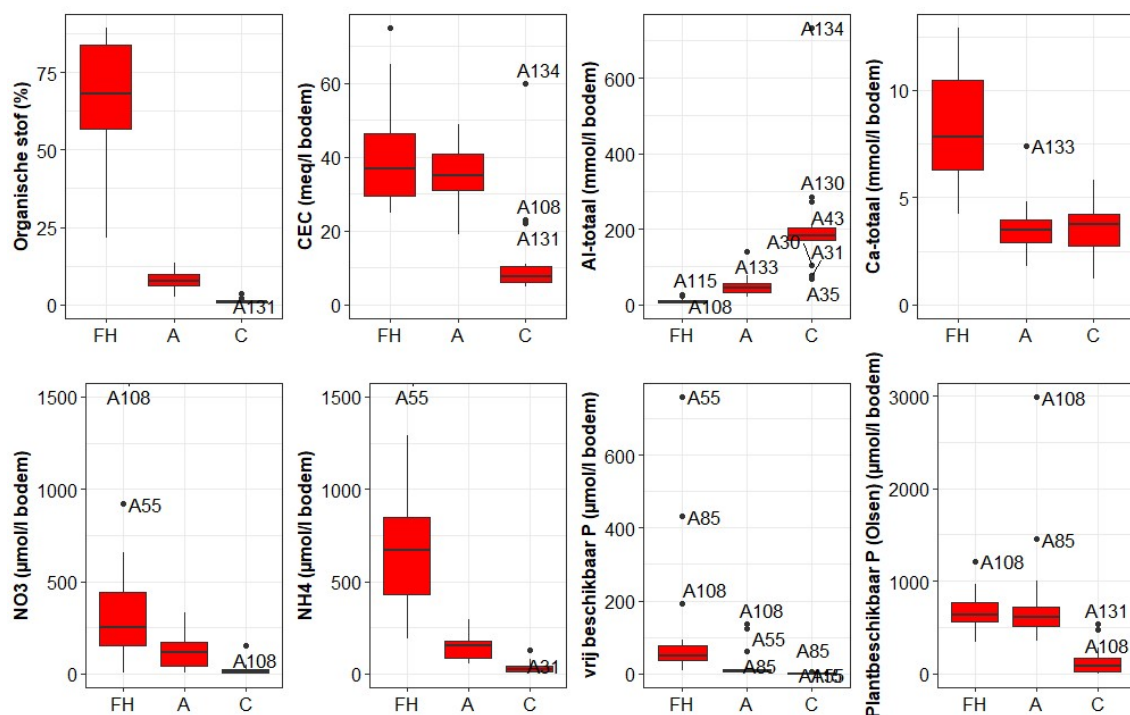
Figuur 4-37: Verdeling van de humustypen binnen deze groeiplaats (aantal; percentage van totaal). Rechts een foto van een mormoder-humusvorm.

4.4.3 Hydrologie

Deze bossen bevinden zich buiten de invloedzone van het grondwater en zijn afhankelijk van hangwater. Het geringe leemgehalte (0–10 %) in deze bodemgroep kan in droge zomers snel leiden tot droogtestress door het lage vochtleverend vermogen. De mate van organische stof (oudere bosbodems) levert een belangrijke bijdrage aan de vochtvoorziening.

4.4.4 Bodemchemie

Zoals verwacht werden in deze van nature zure tot zwakgebufferde bossen met een mormoder humusvorm op alle locaties een FH-laag aangetroffen. Het percentage organische-stof in de A-horizont was naar verwachting laag met gemiddeld 7% (Figuur 4-38). Locaties binnen de bodemgroep 3: Arm droog worden gekenmerkt door een leemarme zandbodem in de A-horizont met totaal-Al concentraties van 21 tot 79 mmol/l bodem. Op locatie A133 bestaat de bodem uit zand met een kleine leemfractie met een totaal-Al concentratie van 140 mmol/l bodem. De C-horizont is sterk variabel van zeer zwak lemige bodems tot leemrijke bodems met eens sterk variabele totaal-Al concentratie en CEC. Het totaal-Ca gehalte in de C-horizont is vergelijkbaar met het totaal-Ca gehalte in de A-horizont en zeer laag in vergelijking met de C-horizont van de voorgaande leemrijkere bodemgroepen. Dit betekent dat er in de diepere ondergrond geen calciumvoorraad aanwezig is.

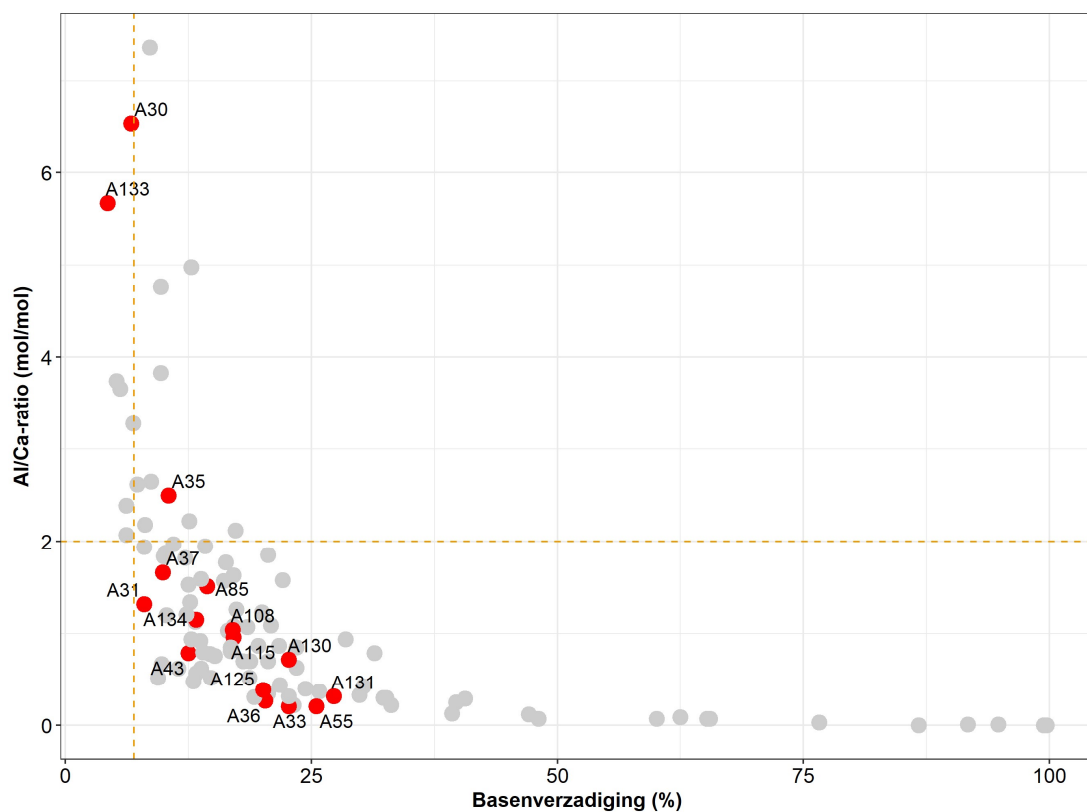


Figuur 4-38: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO₃), ammonium (NH₄), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH n=16, A n=16 en C n=16). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

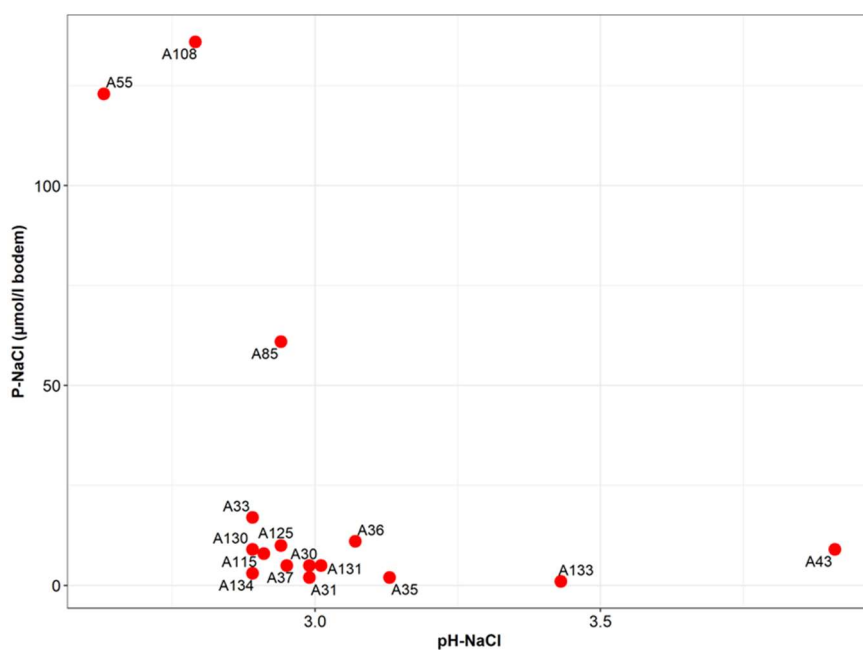
De basenverzadiging (het percentage van de CEC dat bezet is met basische kationen) in de A-horizont varieerde over het algemeen van 8 tot 27% (Figuur 4-39). Locatie A30 en A133 vallen op met een zeer lage basenverzadiging van slechts 4 en 7% en zijn daarmee ook voor zure bostypen ongunstig (<7% basenverzadiging). De Al/Ca-ratio varieerde van 0,2 tot 6,5 en was met uitzondering van locaties A30, A35 en A133 overal lager dan 2 mol/mol. Wat betreft de bodembuffering voldoet het merendeel van de locaties binnen deze bodemgroep aan de verwachting. Het is opvallend dat zowel de basenverzadiging als de Al/Ca-ratio slechts op enkele locaties echt een probleem vormen. Dit is vermoedelijk vooral het gevolg van de lange bosgeschiedenis waardoor voldoende kationen blijven circuleren in de bodem.

Wat betreft stikstof werden in de A-horizont over het algemeen geen opvallend hoge of lage stikstofconcentraties gemeten met gemiddeld 132 µmol/l bodem nitraat en 148 µmol/l ammonium (Figuur 4-). De FH-laag was over het algemeen rijker aan ammonium dan nitraat met gemiddeld 798 µmol/l ammonium tegen 392 µmol/l nitraat.

De voor planten beschikbare fosfaatconcentraties (Olsen-P) waren niet opvallend hoog of laag met concentraties van 354 tot 784 µmol/l bodem. Locatie A55, A85 en A108 vallen op door een hoge fosfaatbeschikbaarheid in de A-horizont van 999 tot 2988 µmol/l Olsen-P en 8,5 mmol/l totaal-P. In deze drie locaties met een relatief lage pH (<3,0 pH-NaCl) werden ook de hoogste vrij beschikbare P-concentraties gemeten (61 tot 136 µmol/l bodem) (Figuur 4-40).



Figuur 4-39: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 3 Arm droog (rode stippen) in de A-horizont. De stippellijn geeft de ondergrens van 7% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 2 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep (gebaseerd op expert judgement). De grijze stippen zijn de monsterpunten in andere bodemgroepen.



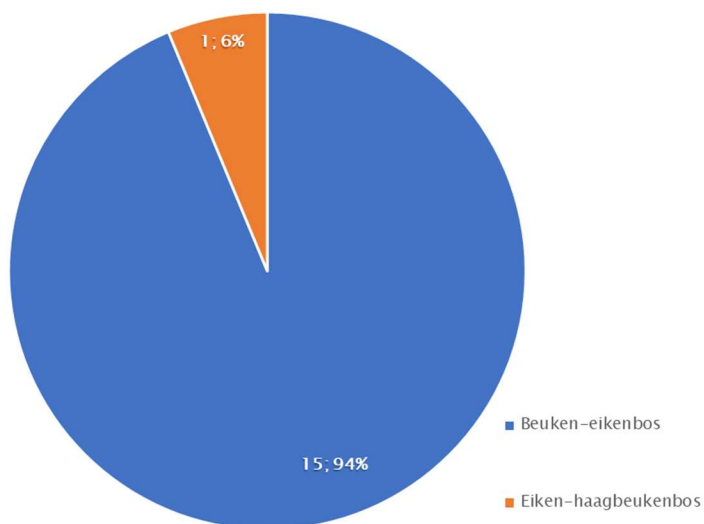
Figuur 4-40: Relatie tussen de vrij beschikbare P-concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem en de pH gemeten in een zoutextract (NaCl) in bodemgroep Arm droog in de A-horizont.

4.4.5 Vegetatie en flora

De vegetatie op deze bosgroeiplaats loopt uiteen van heidesuccessie (doorgeschoten heidestruiken) zoals we zien in de randen van de strubben bij Anloo en Schipborg en Schoonloo. Op de meeste plekken is een Beuken-eikenbos aanwezig. De subassociatie met lelietje-van-dalen is kenmerkend voor goed ontwikkelde haarpodzolgronden, deze komt ook voor, maar er zijn ook soortenarmere vormen van het Beuken-eikenbos aanwezig. Er is weinig verruiging, waarover later meer in paragraaf 4.4.7 en 4.9. Er is geen Berken-zomereikenbos aangetroffen op de onderzoekslocaties zoals wel op voorhand werd verwacht (paragraaf 4.4.1).



Figuur 4-41: Links: Strubbenbos ten zuiden van Langelo (115) met lelietje-van-dalen en gewone salomonszegel. Rechts: de Schipborgerstrubben met kenmerkende soorten zoals rode bosbes en hengel.



Figuur 4-42: Verdeling locaties over vegetatietypen (aantal; percentage van totaal).

4.4.6 Menselijk gebruik

Deze bossen liggen meestal verder weg van de cultuurgronden en maakten in de 19^{de} eeuw nog deel uit van de graas- en wingebieden voor plaggen, hout voor afrasteringen (houten hekwerken) en lagen dikwijls op de overgang van holt (zie vorige groeiplaats, 2: Matig rijk) en open veld. Er waren meer gebruiksrestricties ten opzichte van de heidegronden, waardoor er enig hout kon groeien (paragraaf 3.4.1 Nadat de kunstmest was uitgevonden, de schaapskuddes verdwenen, het plaggensteken niet meer nodig was, werden de heidegronden verlaten of ontgonnen. Het bos kreeg daardoor een steeds meer uniform en opgaand karakter en lijkt qua vegetatiesamenstelling veelal op bodemgroep 2.

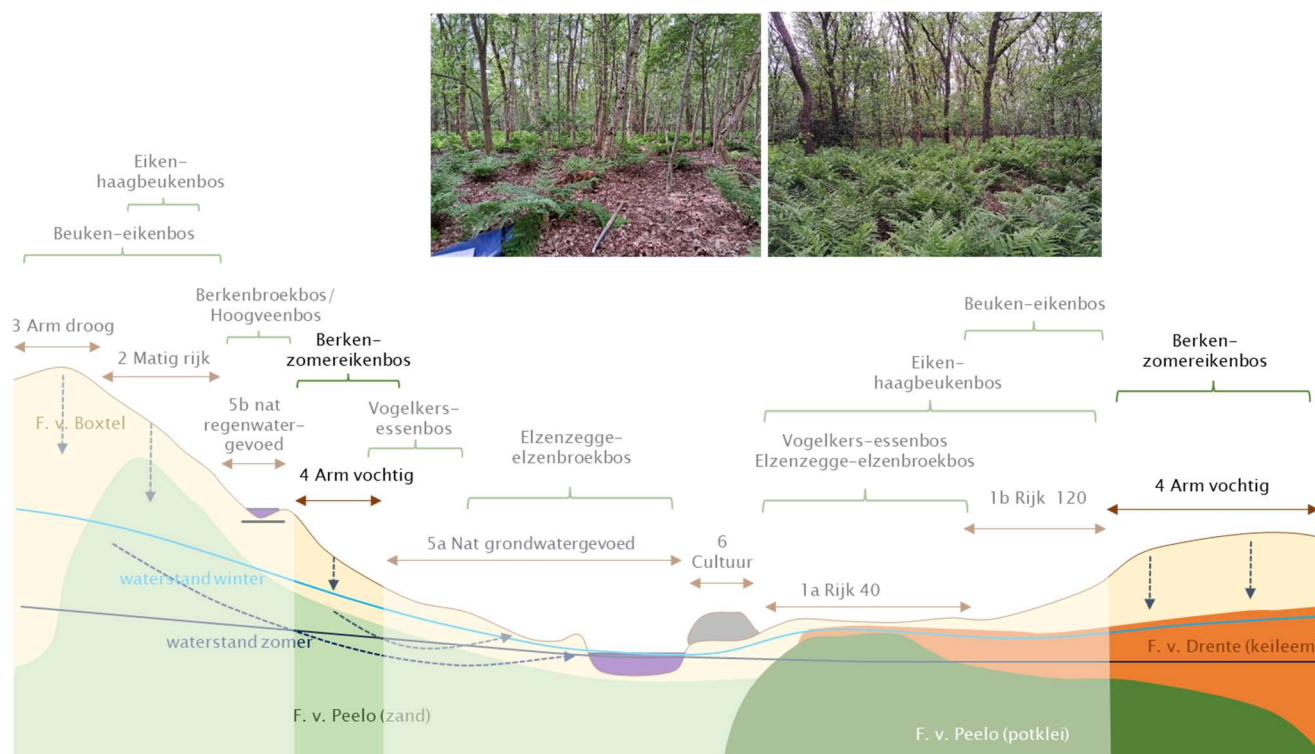
4.4.7 Conclusies bodemgroep 3: Arm droog

- De humusvorm behoort tot de mormoders, wat erop duidt dat het strooisel redelijk slecht wordt afgebroken.
- De toplaag (40 cm) is zuur met een pH van <4.
- Van de 17 locaties vallen er 14 in de zuur tot zwak gebufferde bosvegetaties met in de zure groep een lage bedekking van blauwe bosbes, bochtige smele of pijpenstrootje en in de zwak gebufferde groep met o.a. salomonszegel, dalkruid en witte klaverzuring.
- Wat betreft de bodembuffering voldoet het merendeel van de locaties binnen deze bodemgroep aan de verwachting van nature zuur tot zwak gebufferde bossen. Het is opvallend dat zowel de basenverzadiging als de Al/Ca-ratio slechts op enkele locaties echt een probleem vormen.
- Bijna de helft van de onderzochte bossen classificeren als een basale vorm van het Beuken-eikenbos. De overige bossen behoren veelal tot de rijkere variant, de subassociatie met lelietje-van-dalen. Er is weinig verruiging.
- De dynamiek van landgebruik (betreding, begrazing, insporing door karren, zandverstuiving) tijdens de 19e eeuw is geheel verdwenen. Hierdoor is het kenmerkende mozaïek van open heide, pioniervegetatie met struiken en zomen tot strubben (Berken-zomereikenbos) verdwenen en heeft zich door successie een Beuken-eikenbos gevormd.

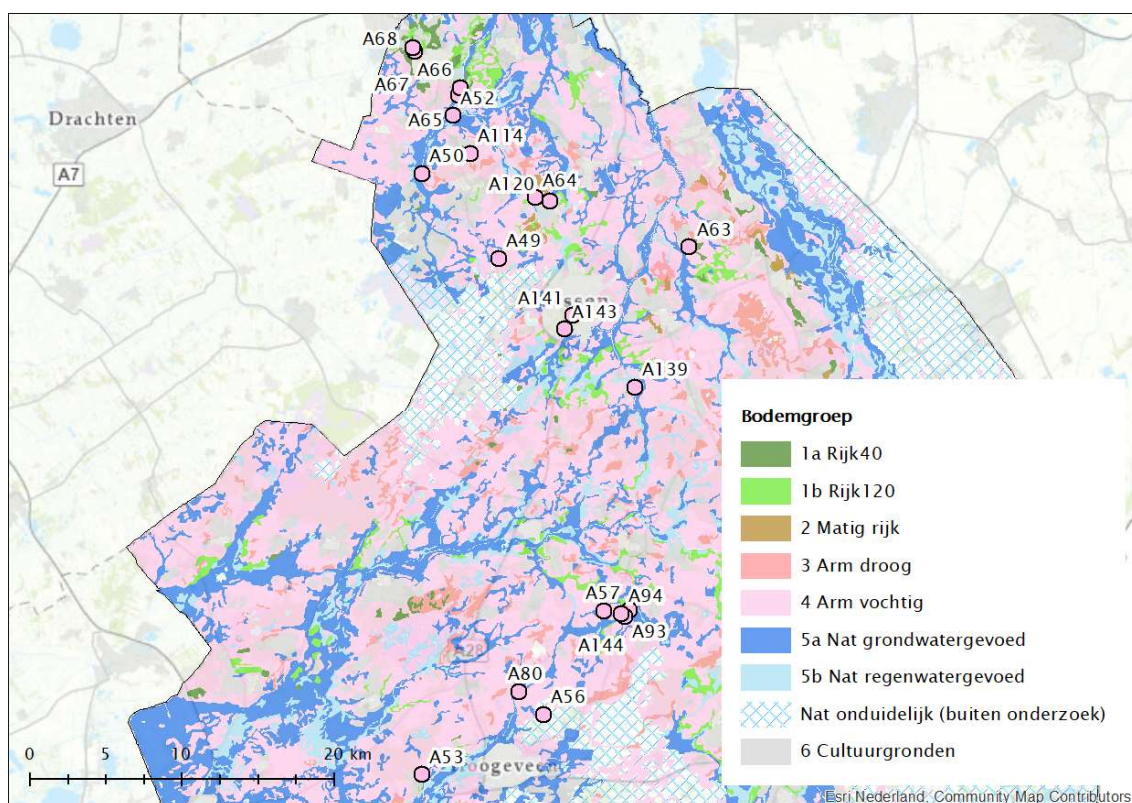
4.5 4: Arm vochtig

4.5.1 Ligging

De locaties in deze groep liggen net wat lager in het landschap dan de vorige bodemgroep (3: Arm droog), of de keileem zit ondieper, waardoor ze natter zijn (Figuur 4-43). De bodemgroep en de onderzoekslocaties liggen verspreid op het Drents plateau (Figuur 4-44). Over het algemeen waren het heidegronden, waarop in de 19^{de} eeuw nauwelijks bos aanwezig was. Alleen in de nabijheid van nederzettingen kon vanwege gebruiksrestricties door de lokale markegemeenschappen bos blijven bestaan. Door de ligging op arme gronden met invloed van arm regenwater is een wisselvochtig Berken-zomereikenbos te verwachten. De referentie-GHG is enkele decimeters onder maaiveld en de GLG 120 cm onder maaiveld. De verwachting is dat deze bodems vanwege het wisselvochtige karakter en mogelijk dieper gelegen keileem sterker gebufferd zijn dan de droge bossen op arme gronden met een basenverzadiging hoger dan 30% en een lage Al/Ca-ratio.



Figuur 4-43: Ligging van bodemgroep 4: Arm vochtig in de landschapsecologische gradiënt van Drenthe.



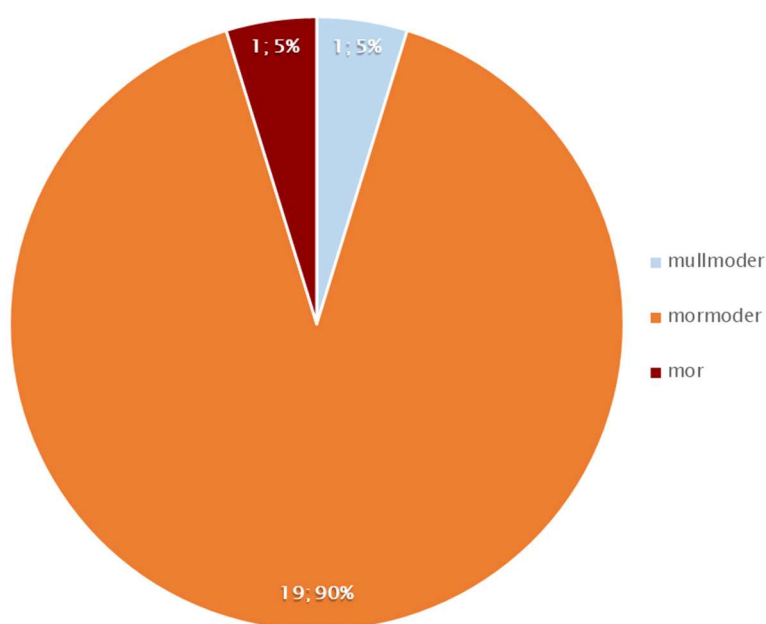
Figuur 4-44: Ligging van de 21 onderzoekslocaties binnen de bodemgroep 4: Arm vochtig.

4.5.2 Geologie en bodem

De bodemgroep ligt relatief hoog in het landschap op dekzandruggen (Formatie van Bortel) en zijn gevormd door infiltrerend regenwater. Bodemkundig gezien zijn het allemaal veldpodzolgronden, wat betekent dat ze weliswaar door infiltrerend regenwater zijn gevormd (A-E-B- horizonten), maar dat in de winter opbollend freatisch grondwater tot in de wortelzone kan reiken. Dit opbollen komt door capillaire opstijging, waardoor het freatisch grondwater meestal erg weinig ionen bevat. Het heeft daarmee een regenwaterkarakter. De ondergrond is overwegend zwak zuur, maar de toplaag tot pakweg 80 cm-mv is zuur (pH 2,5-4). De keileem of potklei die op grote delen van het Drents plateau voorkomt is leidend voor deze 's winters natte omstandigheden, terwijl deze in de zomer sterk kunnen uitdrogen door verdamping van de vegetatie (in combinatie met ontwatering). Op een aantal locaties (A53, 57, 63, 68, 93, 143, 144 = 38% van de steekproef) heeft door inspoeling van ijzer en humus een sterke verkitting plaatsgevonden (Figuur 4-45). Hierdoor is er nauwelijks uitwisseling van mineralen vanuit de ondergrond mogelijk. Op negen locaties is binnen 2,2 m keileem aangetroffen en op één locatie potklei. Deze substraten zijn sterker gebufferd, wat zich uit in hogere pH-waarden op grotere diepten (Figuur 4-47). De pH-waarden boven de 4,5 in de diepere ondergrond (A66, A67, A94, A141) zijn allemaal gerelateerd aan het voorkomen van verspoelde leem, glaciaal veen, keileem of potklei in de ondergrond.

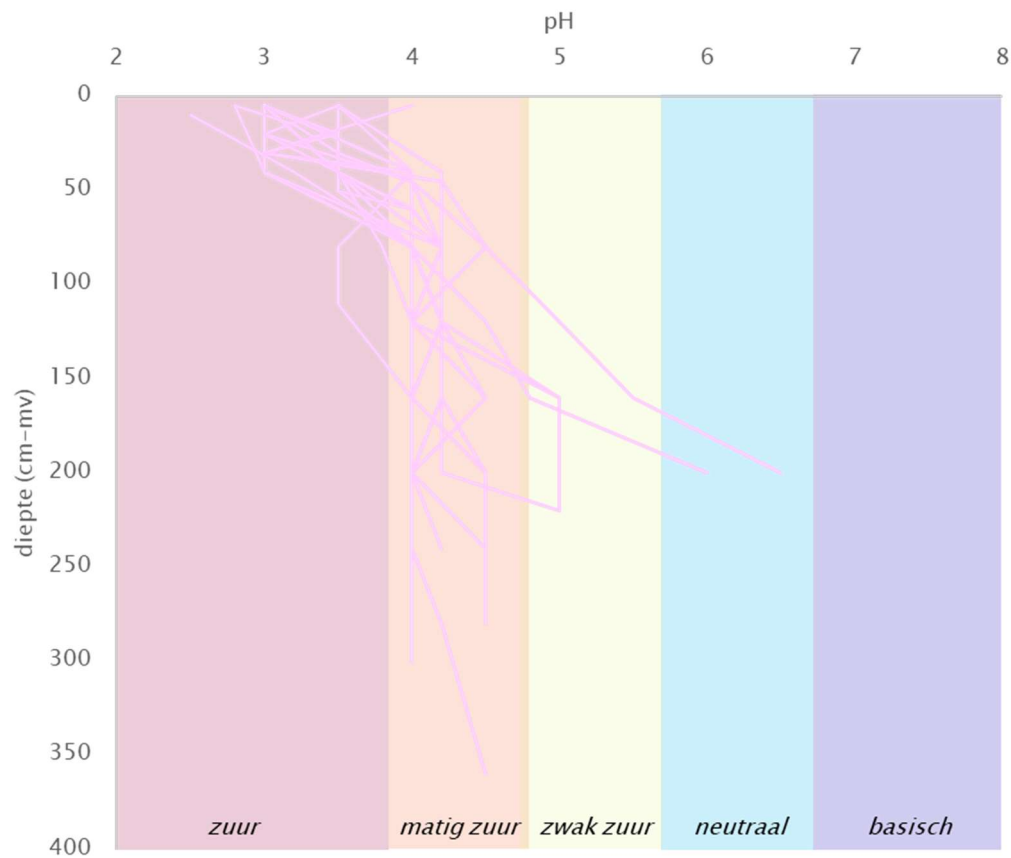


Figuur 4-45: Veldpodzolgrond, gevormd in dekzand in het bosje in Siberië bij Hoogeveen (links A56) en in een dekzandrug op potklei in het Lieve Noordbos (rechts A66). Door sterke ijzerverkitting tussen de 60 en 155 cm op locatie A66 is het vrijwel uitgesloten dat de bovengrondse vegetatie wat aan deze dieper liggende mineralenrijkdom heeft.



Figuur 4-46: Verdeling van de humustypen binnen deze groeiplaats (aantal; percentage van totaal). Rechts een foto van mormoder humusvorm.

Bodemgroep 4: Arm vochtig



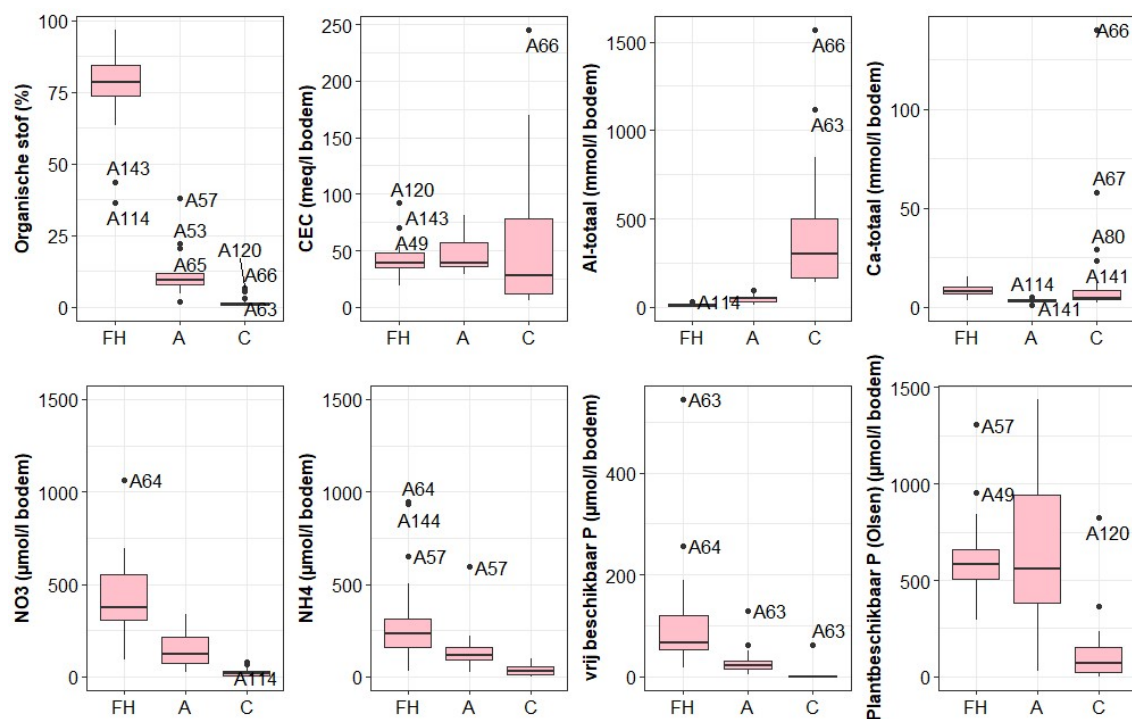
Figuur 4-47: pH-veld-profiel van de locaties uit bodemgroep 4. De indeling van de pH-veldmetingen in zuurklassen is gebaseerd op Van Delft et al., 2024. De pH van de ondergrond is overwegend zuur tot matig zuur, sommige locaties hebben een hogere pH in de ondergrond door rijk geologisch substraat.

4.5.3 Hydrologie

De gemeten waterstanden van gemiddeld 160 cm-mv zitten allemaal ruim onder de referentiewaarde voor de GLG van 120 cm-mv. Hetzelfde geldt voor de geschatte GLG op basis van reductiekenmerken in het bodemprofiel, die is namelijk gemiddeld 200 cm-mv. Op één locatie na, zijn alle onderzochte locaties verdroogd.

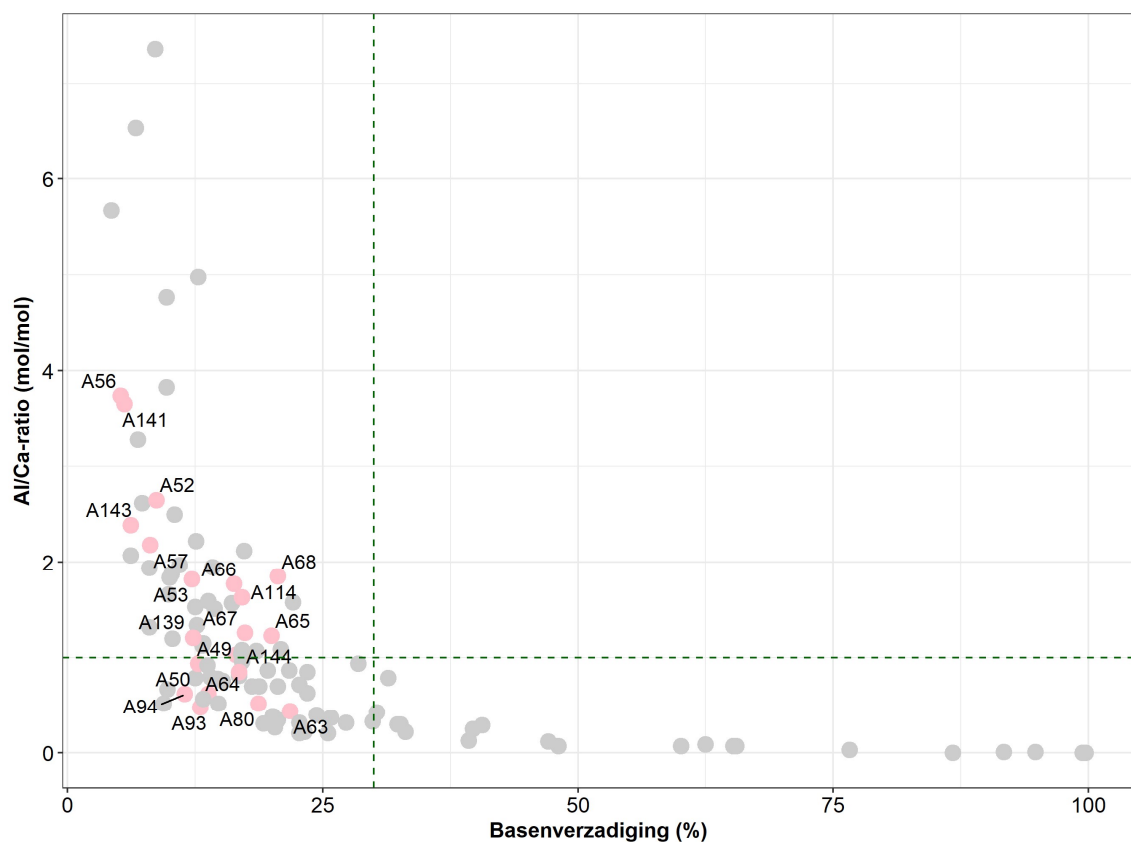
4.5.4 Bodemchemie

Op alle locaties in deze bodemgroep werd zoals verwacht een FH-laag aangetroffen. Het organische-stofpercentage in de A-horizont was relatief laag met gemiddeld 12%. Op locatie A57 (Tijnsbosje bij Mantinge) was de A-horizont sterk organisch met 38% organische-stof (Figuur 4-). Locaties binnen bodemgroep 4: Arm vochtig hebben een toplaag (A-horizont) van leemarm zand (totaal-Al concentraties van 13 tot 97 mmol/l bodem). De C-horizont is duidelijk leemrijker dan de A-horizont en lokaal zelfs sterk leemrijk met hoge totaal-Al concentraties en een hoge CEC zoals op locatie A63 en A66. Het totaal-Ca gehalte in de C-horizont was over het algemeen vergelijkbaar met het totaal-Ca gehalte in de A-horizont. Op locatie A66, A67, A80 en A141 werd een duidelijk hoger totaal-Ca gehalte gemeten in de C-horizont ten opzichte van de A-horizont en betekent dat er dus lokaal in de diepere



Figuur 4-48: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO_3), ammonium (NH_4), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH $n=21$, A $n=21$ en C $n=21$). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

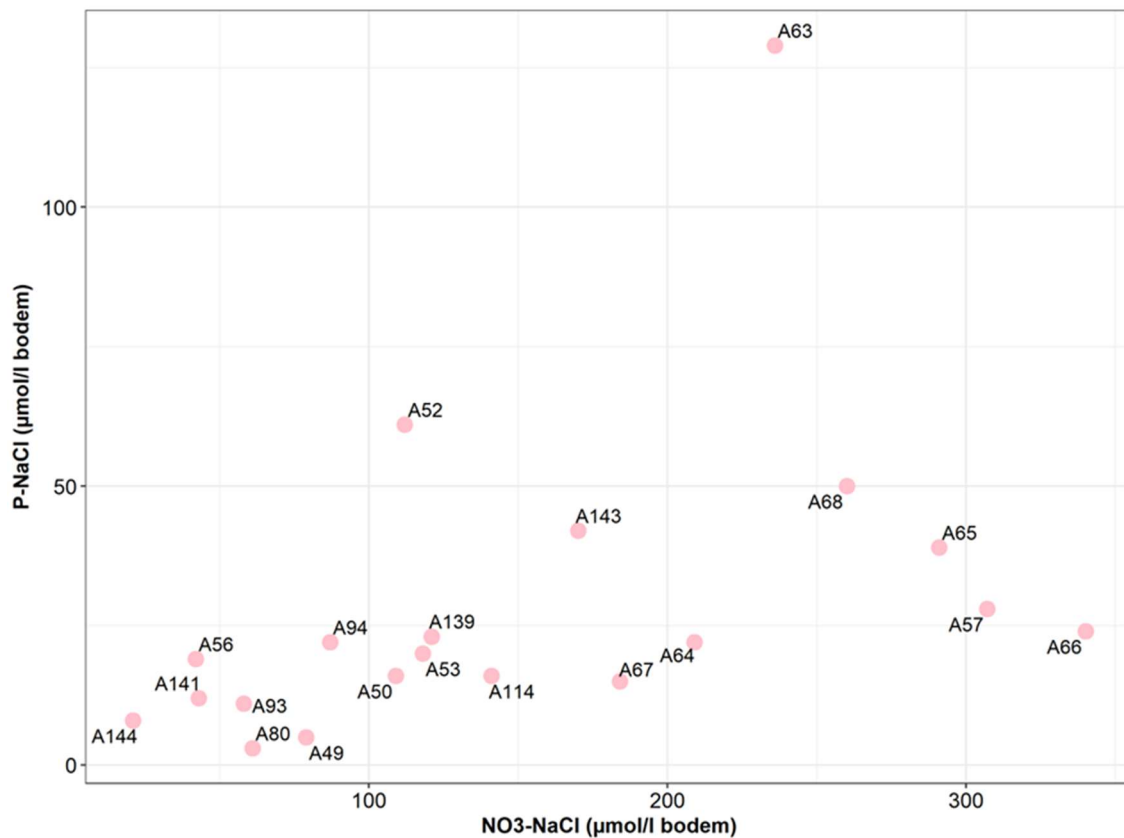
Wat betreft de bodembuffering werd in de A-horizont een relatief lage basenverzadiging gemeten van 5 tot 22% (Figuur 4-49). Met name op locatie A56, A141 en A143 was de basenverzadiging ook voor zure bostypen te laag met slechts 5 en 6%. De Al/Ca-ratio varieerde van 0,4 tot 3,7 en was op 5 van de 21 locaties hoger dan 2 mol/mol. Op deze vijf locaties kan de hoge beschikbaarheid van aluminium ten opzichte van calcium schadelijk zijn voor plantwortels en ectomycorrhiza schimmels. Wat betreft de bodembuffering waren alle locaties duidelijk minder sterk gebufferd dan verwacht. Niettemin geldt ook voor deze van oorsprong vochtige kalkloze zandgronden dat de buffertoestand gemiddeld gunstiger is dan in jonge aanplanten op voormalige heidebodem. De gemiddeld iets slechter gebufferde condities dan in oude bossen op droog zand zijn wellicht het gevolg van verdroging, en de hiermee gepaard gaande verzuring als gevolg van oxidatieprocessen.



Figuur 4-49: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 4: Arm vochtig (roze stippen) in de A-horizont. De stippellijn geeft de ondergrens van 30% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 1 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep (gebaseerd op expert judgement). De grijze stippen zijn de monsterpunten in andere bodemgroepen.

Wat stikstof betreft werden in de A-horizont over het algemeen niet opvallend hoge of lage stikstofconcentraties gemeten met gemiddeld circa 150 $\mu\text{mol/l}$ bodem nitraat en ammonium (Figuur 4-48). Locatie A57 valt op vanwege een relatief hoge ammoniumconcentratie in de A-horizont van 593 $\mu\text{mol/l}$ bodem, mogelijk is dit een gevolg van mineralisatie van de moerige toplaag. De voor planten beschikbare fosfaatconcentratie (Olsen-P) was niet opvallend hoog of laag met concentraties van 322 tot 1438 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Locatie A93 en A94 vallen op door een zeer lage fosfaatbeschikbaarheid en zeer laag fosfaatgehalte (<150 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P en <1 mmol/l totaal-P). Deze twee locaties worden gekenmerkt door grof, humusarm zand in de A-horizont met zeer lage totaal-concentraties aluminium, ijzer, fosfor en magnesium.

In Figuur 4-50 is de concentratie nitraat (NO_3) uitgezet tegen de concentratie vrij beschikbaar fosfaat (uit het zoutextract). In dit figuur is te zien dat in bosbodems met een nitraatconcentratie hoger dan 100 $\mu\text{mol/l}$ bodem ook de vrij beschikbare fosfaatconcentratie toeneemt. Een teken dat in deze bosbodems dus geen limitatie is van stikstof en fosfaat en er risico is op verzuuring.



Figuur 4–50: Relatie tussen de vrij beschikbare P-concentratie en de concentratie anorganisch nitraat in $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten in een zoutextract (NaCl) in bodemgroep Arm vochtig in de A-horizont.

4.5.5 Vegetatie en flora

Alle bostypen zijn te classificeren als Beuken–eikenbos, er is geen Berken–zomereikenbos aanwezig. Dit is vermoedelijk deels een gevolg van successie. Onder het Beuken–eikenbos is bijna de helft van de locaties geclassificeerd als de relatief rijke subassociatie met Ielietje–van–dalen, de rest van de locaties betreft een soortenarme vorm van het Beuken–eikenbos.



Figuur 4-51: Verschillende gedaantes van het Beuken-eikenbossen op bodemgroep 4. Linksboven een relatief jong bos met stekelvarens bij Echten, rechtsboven een oud eikenbos met stekelvaren tussen Langeloo en Lieveren, linksonder: een soortenrijke variant bij Roden en rechtsonder een dominantie van braam.

4.5.6 Menselijk gebruik

Net als in eerdere groeiplaatsen zijn deze bossen gebruikt als hakhout. Verder ogen ze vrij natuurlijk door het ontbreken van delfstofwinning. Elders in Nederland zijn op dergelijke groeiplaatsen rabattenbossen aangelegd, door grootgrondbezitters. In Drenthe komen ze minder voor, omdat deze veldgronden altijd in collectief bezit van de markegenoten waren en grootgrondbezit nauwelijks een rol speelde in Drenthe.

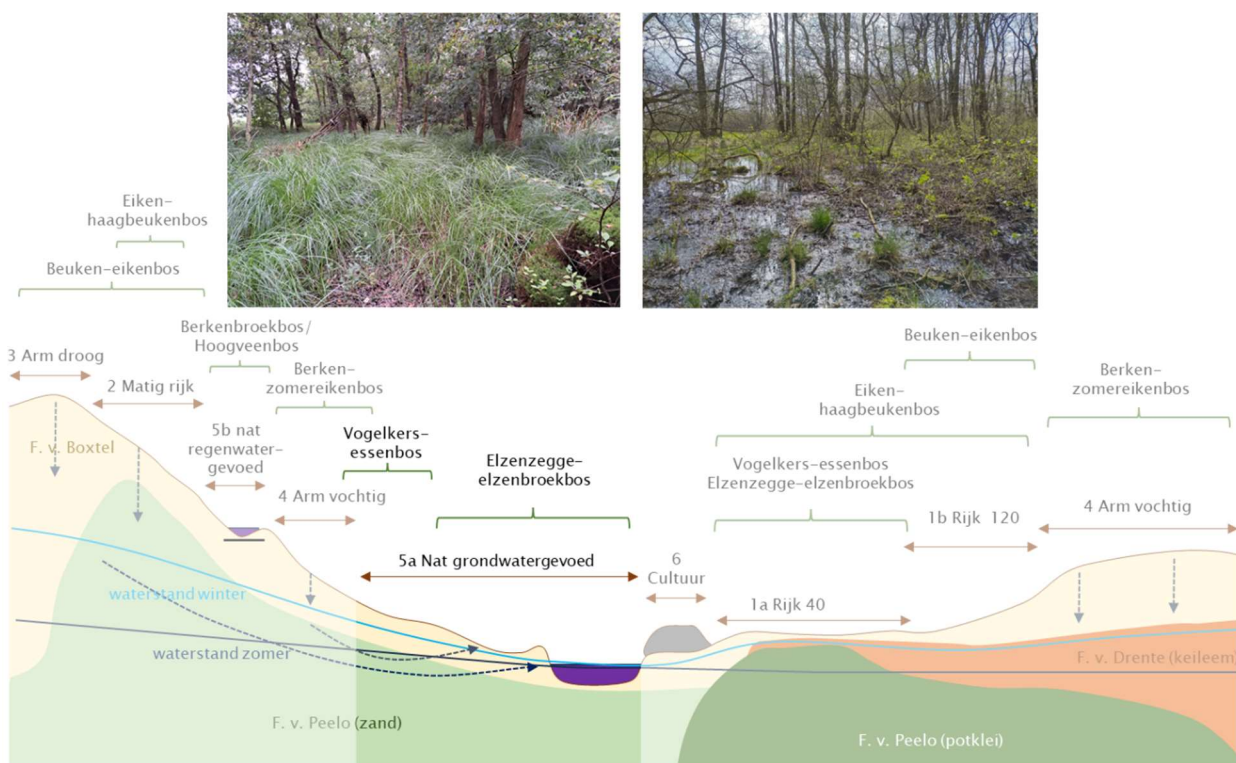
4.5.7 Conclusies bodemgroep 4: Arm vochtig

- De humusvorm behoort tot de mormoders, wat erop duidt dat het strooisel redelijk slecht wordt afgebroken.
- De bovengrond is tot op relatief grote diepte (80 cm) zuur ($\text{pH} < 4$).
- De waterstanden zijn te laag voor deze bodemgroep, op één locatie na zijn alle locaties verdroogd.
- Wat betreft de bodembuffering waren alle locaties duidelijk minder sterk gebufferd dan verwacht. De gemiddeld iets slechter gebufferde condities dan in oude bossen op droog zand zijn wellicht het gevolg van verdroging, en de hiermee gepaard gaande verzuring als gevolg van oxidatieprocessen.
- In een groot deel van deze bosbodems lijkt er geen limitatie van stikstof en fosfaat te zijn en is er risico op verzuuring van de vegetatie.
- Er is geen Berken–zomereikenbos aanwezig, alle bossen classificeren als (soms wel een rijkere variant van) het Beuken–eikenbos. De helft van de bossen is verzuurd.
- Er zijn geen rabatten aangelegd en dat is gunstig voor de hydrologie van de groeiplaats, maar het traditionele hakhoutbeheer is ook hier gestaakt.

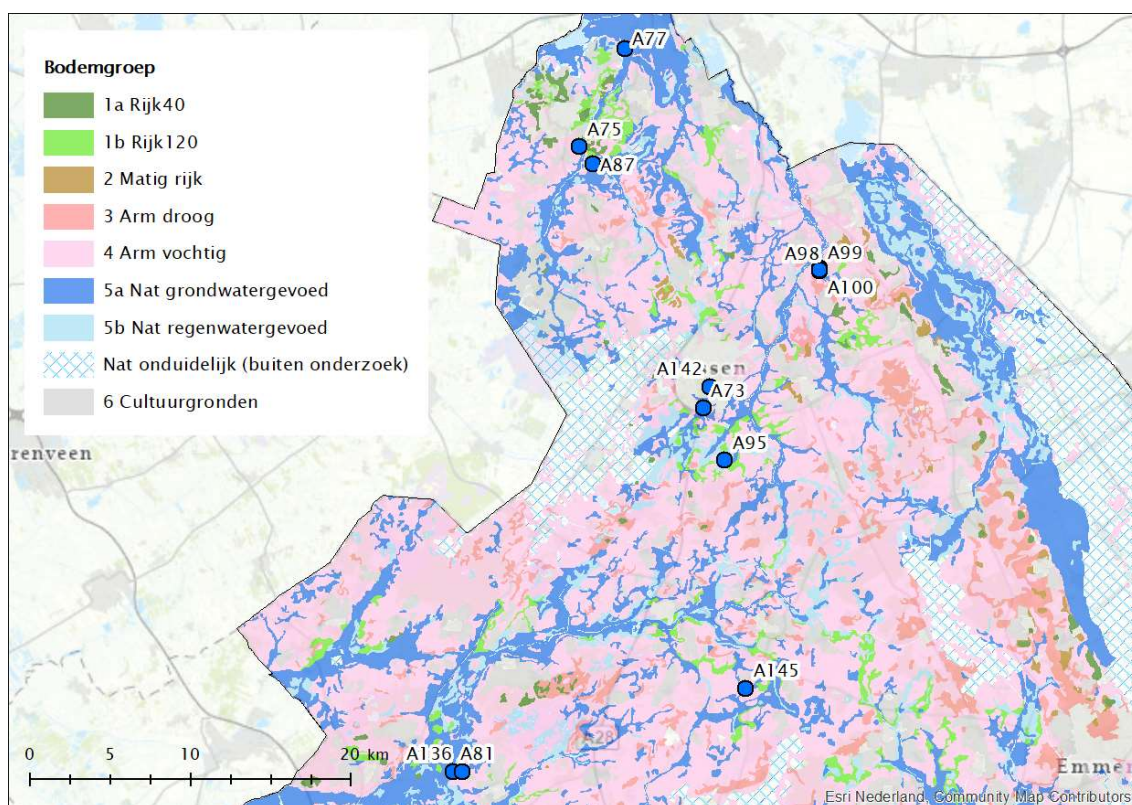
4.6 5a: Nat grondwatergevoed

4.6.1 Ligging

Bodemgroep 5a Nat grondwatergevoed (Nat GW) komt voor in de smeltwaterdalen, waarin grondwatervoeding plaatsvindt (Figuur 4–52). Door stagnatie van water komt dikwijls door grondwatergevoed veen in deze dalen voor. De onderzoekslocaties liggen redelijk verspreid door Drenthe (Figuur 4–53). Oude dekzandruggen of Pleistocene rivierduintjes (zuidwest–Drenthe) die in deze dalen voorkomen vormen mineraaleilanden in het veen. Ook in bovenloopjes (stroeten genoemd), ontbreekt het veen, maar is wel sprake van grondwatervoeding in het zandpakket. In principe is deze bodemgroep over grote oppervlakten vertegenwoordigd, maar zijn er op slechts enkele plekken oude bossen aanwezig. Door (permanente) voeding met grondwater, is te verwachten dat deze bodemgroep sterk afwijkt van de andere. Onder permanent natte omstandigheden heeft zich een veenpakket gevormd en is het bostype Elzenzegge–elzenbroekbos te verwachten. Op het veenpakket is geen strooisellaag aanwezig. Op de periodiek droogvallende, minerale gronden is Vogelkers–essenbos te verwachten. Door de invloed van (gebufferd) grondwater is de verwachting dat deze bodems goed gebufferd zijn met een hoge basenverzading en lage Al/Ca–ratio.



Figuur 4-52: Ligging van bodemgroep 5a: Nat GW in de landschapsecologische gradiënt van Drenthe.



Figuur 4-53: Ligging van de 12 onderzoekslocaties binnen bodemgroep 5a: Nat GW.

4.6.2 Geologie en bodem

Geologisch gezien vallen de groeiplaatsen onder de Formatie van Bortel, laagpakket van Singraven. Dit laagpakket bestaat uit dalopvullingen, gevormd door smeltwatersmeltwater en opvullingsprocessen. Tijdens het veldonderzoek zijn gyttja-, silt-, zand- en veenlagen aangetroffen. Bodemkundig gezien is er een onderscheid te maken tussen zand- en veengronden. Binnen de zandgronden liggen de gooreerdgronden het hoogst in het landschap, gevolgd door beekerdgronden. Op de overgang van zand- naar veengronden zijn moerige eerdgronden gevormd (veenlaag is dunner dan 40 cm). De dunne veenlaag kan echter ook een gevolg zijn ontvening en oxidatie door verdroging. De veengronden hebben allemaal een gemineraliseerde toplaag en zijn daardoor geclassificeerd als madeveengrond (Figuur 4-54). Op één locatie is het veenprofiel tot meer dan 50 cm geheel veraard en is daarom als boveengrond geclassificeerd.

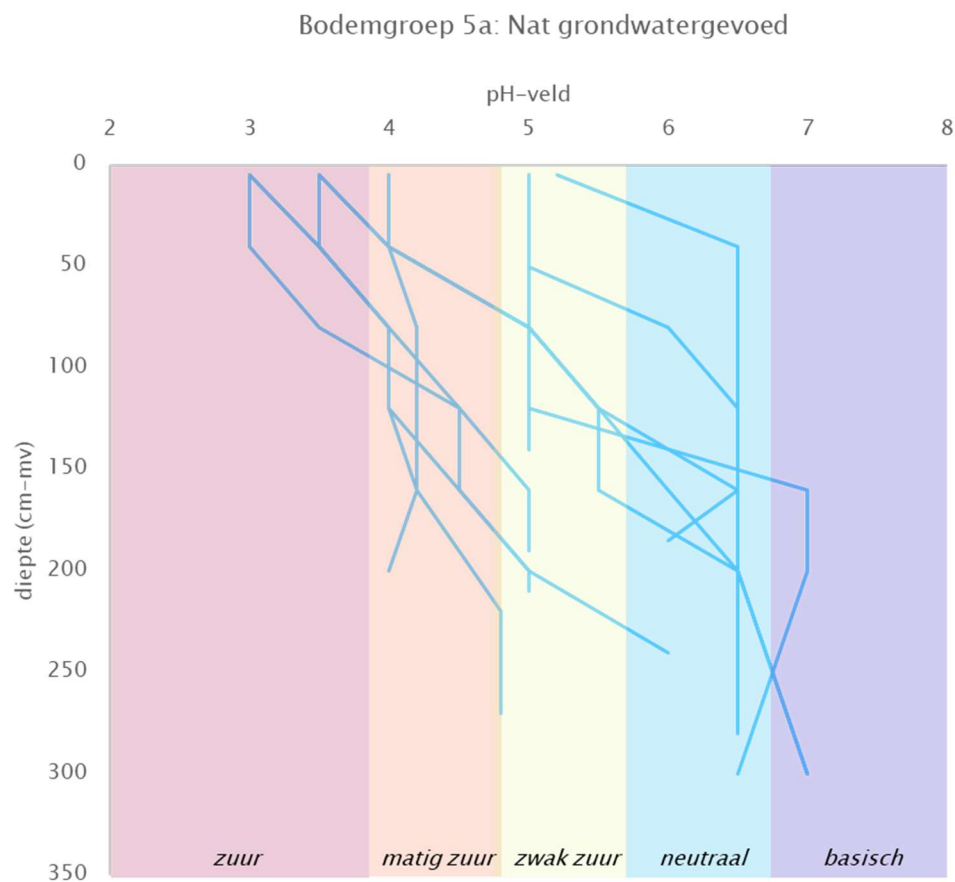


Figuur 4-54: Madeveengrond op ijzerhoudend zand en daaronder een siltlaag, gevormd in een Pleistocene geul van het Oostervoortse diepsysteem bij Lieveren. Gedurende het Weichseliën is de geul dichtgestoven met dekzand en is door isolatie van het huidige beekdal veen gaan groeien in de afgesnoerde terreindepressie.

4.6.3 Hydrologie

Op basis van de waterstand, verruiging van het bos en staat van het veen (intact of veraard) is van de locaties beoordeeld of ze hydrologisch op orde lijken of verdroogd zijn. Van de 12 locaties lijkt 75% hydrologisch gezien op orde. Op de veengronden is geen strooisel (FH-laag) aanwezig op het veenpakket, op één locatie na: A142 (Asserbos), waar een strooisellaag van 3 cm aanwezig is doordat deze locatie sterk verdroogd is.

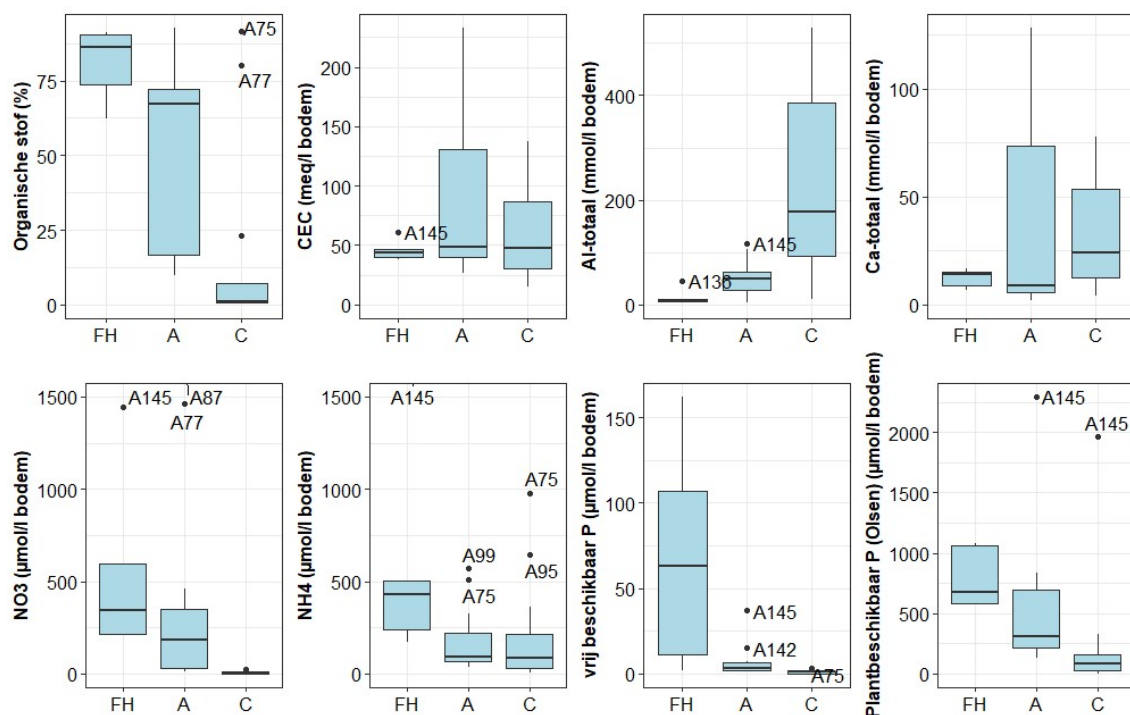
In Figuur 4-55 zijn de pH-profielen weergegeven. In grondwatergevoede bodems zou het pH-profiel een constant verloop moeten hebben, omdat zuur door mineraalrijk grondwater wordt gebufferd. De profielen boven de pH 4,5 hebben een duidelijk mineraalrijk karakter. Een aantal locaties (A100, 136, 142 en 145) heeft een zure bovengrond. Dit komt door ontwatering en daarmee het voorkomen van een diepe neerslaglens, omdat de grondwaterdruk in de toplaag van het profiel is weggevallen.



Figuur 4-55: pH-veld-profiel van de locaties uit bodemgroep 5a. De indeling van de pH-veldmetingen in zuurklassen is gebaseerd op Van Delft et al., 2024. pH-profielen in bodems onder invloed van grondwater zouden min of meer constant moeten zijn (rechterdeel grafiek). Echter door verdroging en daardoor stagnatie van regenwater is de toplaag van een aantal locaties verzuurd.

4.6.4 Bodemchemie

Naar verwachting bestaat de A-horizont veelal uit veen met hoge organische-stofpercentages van 65 tot 93% (Figuur 4-56). Op locatie A73, A98, A100 en A145, gelegen op gooreerd- en beekeerdgronden, bestaat de bodem uit (zwak leemhoudend) zand (totaal-Al concentraties van 56 tot 117 mmol/l bodem). De C-horizont is sterk variabel en varieert van een (bijna) intacte veenbodem tot een leemrijke laag, dit is ook terug te zien in het percentage organische-stof, de CEC en het totaal-Al gehalte in de C-horizont. De C-horizont en A-horizont zijn vergelijkbaar in totaal-Ca gehalte. Niet geheel volgens verwachting werd op 5 van de 12 locaties een FH-laag aangetroffen en vindt er dus ophoping van strooisel plaats. Op deze locaties komt een mor, mormoder of moder profiel voor. Dit waren de vier zandige bodems en de sterk verdroogde locatie A142.



Figuur 4-56: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO_3), ammonium (NH_4), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH $n=5$, A $n=11$ en C $n=12$). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

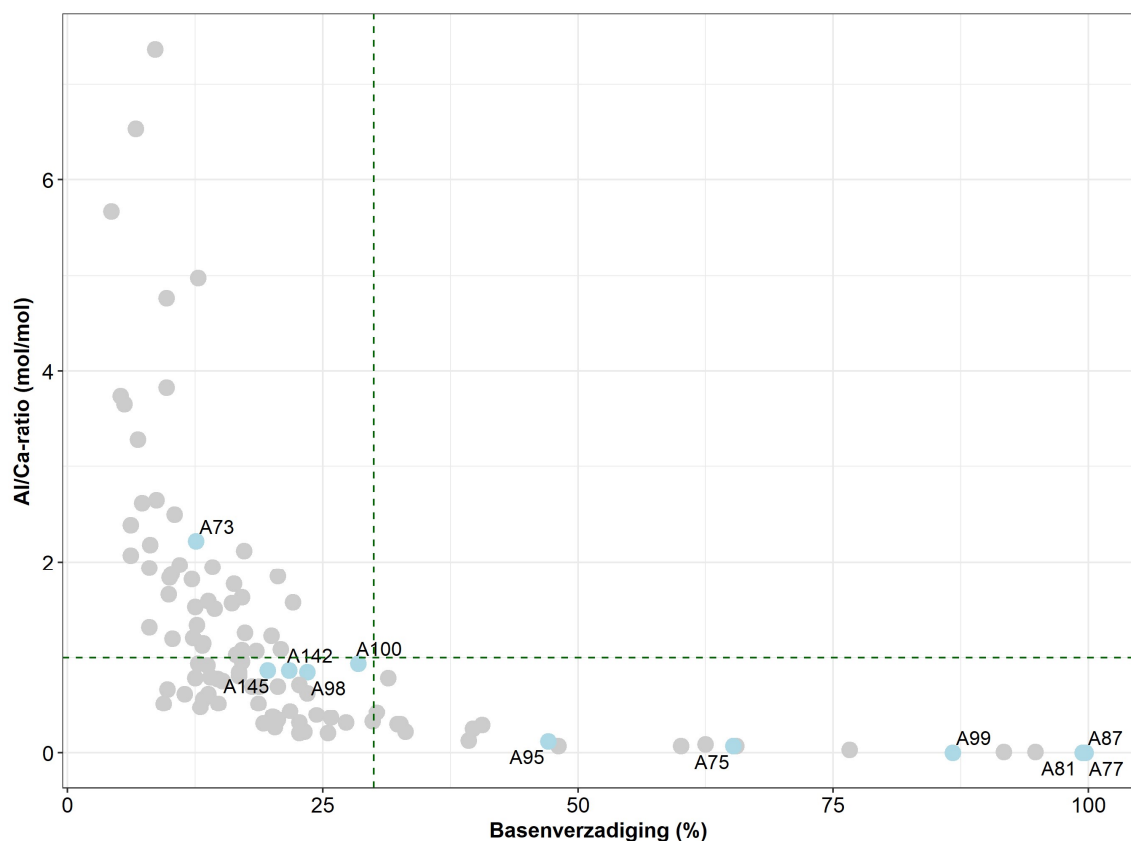
Wat betreft bodembuffering in de A-horizont zijn twee clusters zichtbaar:

- sterk gebufferde bodems met een basenverzadiging hoger dan 47% en een Al/Ca-ratio lager dan 0,2 mol/mol en
- zwak tot matig gebufferde bodems met een basenverzadiging van 13 tot 29% en een Al/Ca-ratio van 0,9 tot 2,2 mol/mol (Figuur 4-).

De sterk gebufferde bodems zijn allemaal weinig, terwijl de zwak tot matig gebufferde bodems de vier zandige bodems zijn. Locatie A142 vormt de uitzondering met een venige matig gebufferde bodem. Mogelijk wordt dit verschil in bodembuffering veroorzaakt door een verschil in hydrologische omstandigheden (stijghoogte en kwaliteit van het grondwater). Wat betreft de bodembuffering was de helft van de locaties in deze bodemgroep zoals verwacht sterk gebufferd. Op de andere helft van de locaties was de bodem minder sterk gebufferd dan verwacht.

Wat betreft stikstof varieerden de stikstofconcentraties van 11 tot 1852 $\mu\text{mol/l}$ bodem nitraat en 37 tot 508 $\mu\text{mol/l}$ bodem ammonium (Figuur 4-57). In de zwak tot matig gebufferde zandbodems werden lagere stikstofconcentraties gemeten (126 tot 327 $\mu\text{mol/l}$ ammonium+nitraat) ten opzichte van de goed gebufferde veenbodems (334 tot 1907 $\mu\text{mol/l}$ ammonium+nitraat). De natte bodems hebben vermoedelijk een flinke stikstofafvoer (als N_2) naar de atmosfeer maar de hoge concentraties in de veenbodems doet vermoeden dat het beschikbare stikstof ondanks de periodieke afvoer weer aangevuld wordt uit veenafbraak tijdens verdroging. In voldoende natte situaties (jaarrond) zou er alleen verdere veenvorming plaatsvinden en is er geen netto veenafbraak.

Wat betreft beschikbaar fosfaat werden daarentegen juist in de goed gebufferde bodems lagere plant-beschikbare fosfaatconcentraties gemeten van 129 tot 308 $\mu\text{mol/l}$ tegen 551 tot 2295 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P in de zwak tot matig gebufferde bodems. Ook de vrij beschikbare P-concentratie was laag in de goed gebufferde bodems ($<5 \mu\text{mol/l}$ bodem). In goed gebufferde bodems is fosfaat gebonden aan calcium, in zuurdere bodems kan deze aan calcium gebonden fosfaatfractie vrijkomen.

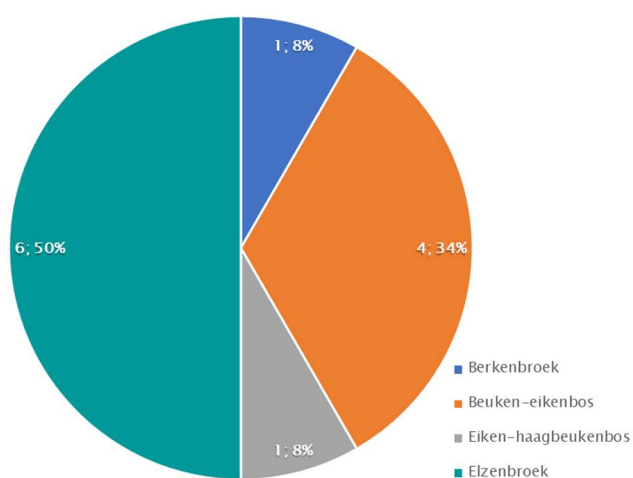


Figuur 4-57: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 5a: Nat GW (lichtblauwe stippen) in de A-horizont. De stippellijn geeft de ondergrens van 30% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 1 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep (gebaseerd op expert judgement). De grijze stippen zijn de monsterpunten in andere bodemgroepen.

4.6.5 Vegetatie en flora

De onderzoekslocaties laten een breed scala aan vegetatietypen zien (Figuur4-58). Het meest kenmerkend is het Elzenbroekbos op de veengronden, de overige vegetaties zijn ontstaan door sterke ontwatering van de bosgroeiplaats. Locatie A95 (Geelbroek) en A99 (Burgvollen, Anloo) zijn vernat na het nemen van hydrologische maatregelen. Dit leidt bij Geelbroek tot herstel van een zeggevegetatie en in de Burgvollen tot een afname van braam. Het Asserbos (locatie A145) staat bekend om het zeer oude Beuken-eikenbossen, maar is hier geclassificeerd als Eiken-haagbeukenbos. Opvallend is het voorkomen op een zeer sterk verdroogde madeveengrond. Vanuit de bosgroeiplaats zou hier een Elzenbroekbos thuishoren, maar door de diep ingesneden Witterloop konden er eiken en beuken worden aangeplant en zijn door vergaande verdroging zelfs de wortels van de eiken bloot komen

liggen (zie foto in Figuur 4-58). Dit is het meest extreme voorbeeld van veranderende groeiplaatsomstandigheden. In mindere mate zien we dit ook terug in het oude hakhoutbos bij Bruntinge (A145), waar in de vorige eeuw een diepe ontwatering is aangelegd. Naast een verschuiving vanuit het Elzenbroekbos richting drogere bostypen, is een derde van de locaties verruigd (zie analyse verderop in paragraaf 4.8.7 en 4.9).



Figuur 4-58: Verdeling locaties over vegetatietypen (aantal; percentage van totaal). Onder: kenmerkende bosbeelden van groeiplaats 5a, v.l.n.r.: locatie 81 (Ansen), 87 (Lieveren), 95 (Geelbroek), 99 (Burgvullen, Anloo), 142 (Asserbos) en 145 (Bruntinge).

4.6.6 Menselijk gebruik

Alle onderzoeksobjecten zijn in het verleden gebruikt als hakhout, behalve het Asserbos, waar zwaar opgaand hout werd geteeld (paragraaf 3.3). In dat bos staan hoog opgaande zeer oude eiken met een dominante struiklaag van hulst. Dit is ook het enige object, waarbij de verdroging door ontwatering al veel ouder is dan bij de overige objecten, die indirect zijn aangetast door schaalvergroting/ruilverkaveling in de vorige eeuw. Bijzonder is dat bij een aantal objecten zoals bij Geelbroek en Anloo in deze eeuw hydrologische maatregelen zijn getroffen om de verdroging te verminderen.

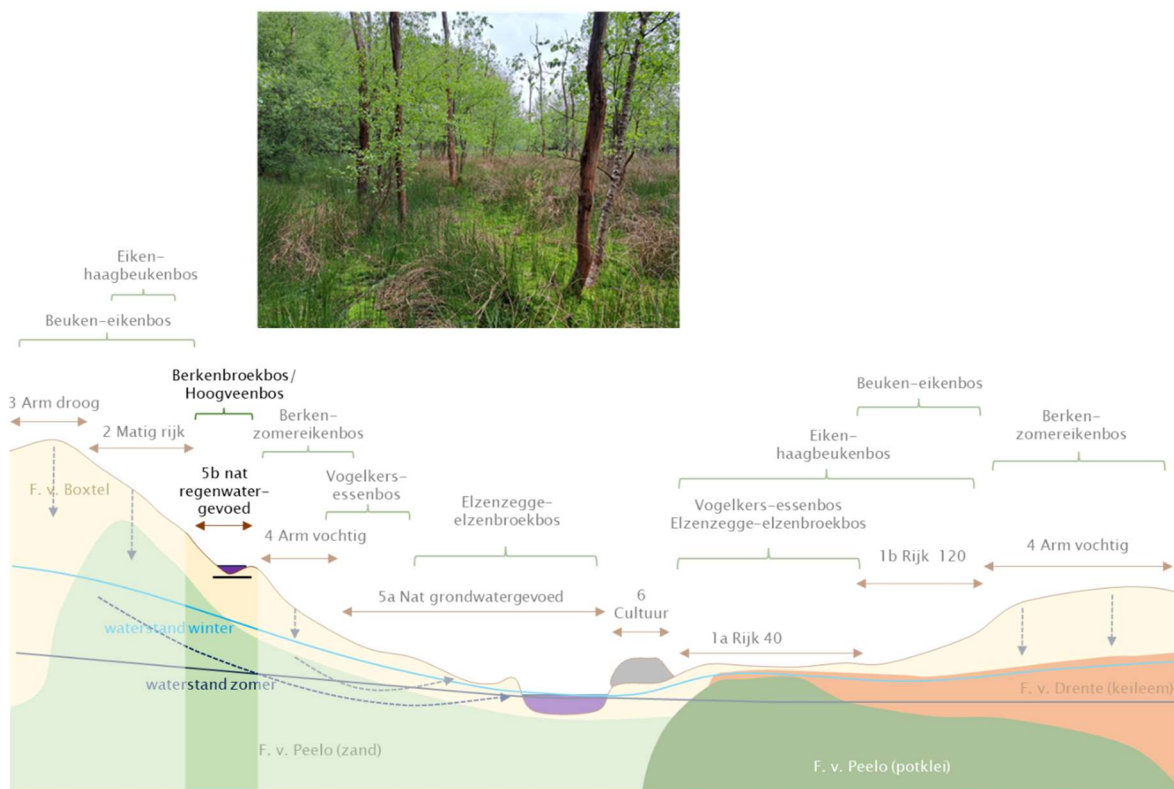
4.6.7 Conclusies bodemgroep 5a: Nat GW

- Op intacte veengronden is veelal geen strooisel aanwezig zoals verwacht. Een kwart van de locaties is verdroogd en hier heeft zich wel een humuspakket gevormd.
- Op een aantal locaties is de toplaag verzuurd door verminderde grondwaterinvloed.
- Wat betreft bodembuffering is de helft van de locaties in deze bodemgroep zoals verwacht sterk gebufferd. Op de andere helft van de locaties was de bodem minder sterk gebufferd dan verwacht, dit waren met name de zandbodems.
- In de gebufferde veenbodems werd meer stikstof gemeten ten opzichte van de zandbodems. De natte bodems kennen vermoedelijk een flinke stikstofafvoer naar de atmosfeer in natte perioden, wat in de veenbodems weer aangevuld wordt uit veenaafbraak tijdens verdroging. Dit wijst wel op enige verdroging: in voldoende natte situaties vindt juist verdere veenvorming plaats en dus geen netto veenaafbraak.
- De locaties die hydrologisch op orde zijn, classificeren als Elzenbroekbos. Echter komt op een aantal veengronden ook Beuken-eikenbos voor, als gevolg van verdroging. Een derde van de locaties is verruigd.
- Het traditionele hakhoutbeheer dat waarschijnlijk op het merendeel van de locaties werd uitgevoerd is gestaakt. Recentelijk zijn vernattingsmaatregelen uitgevoerd in een deel van de locaties en blijkt de vegetatie zich te herstellen.

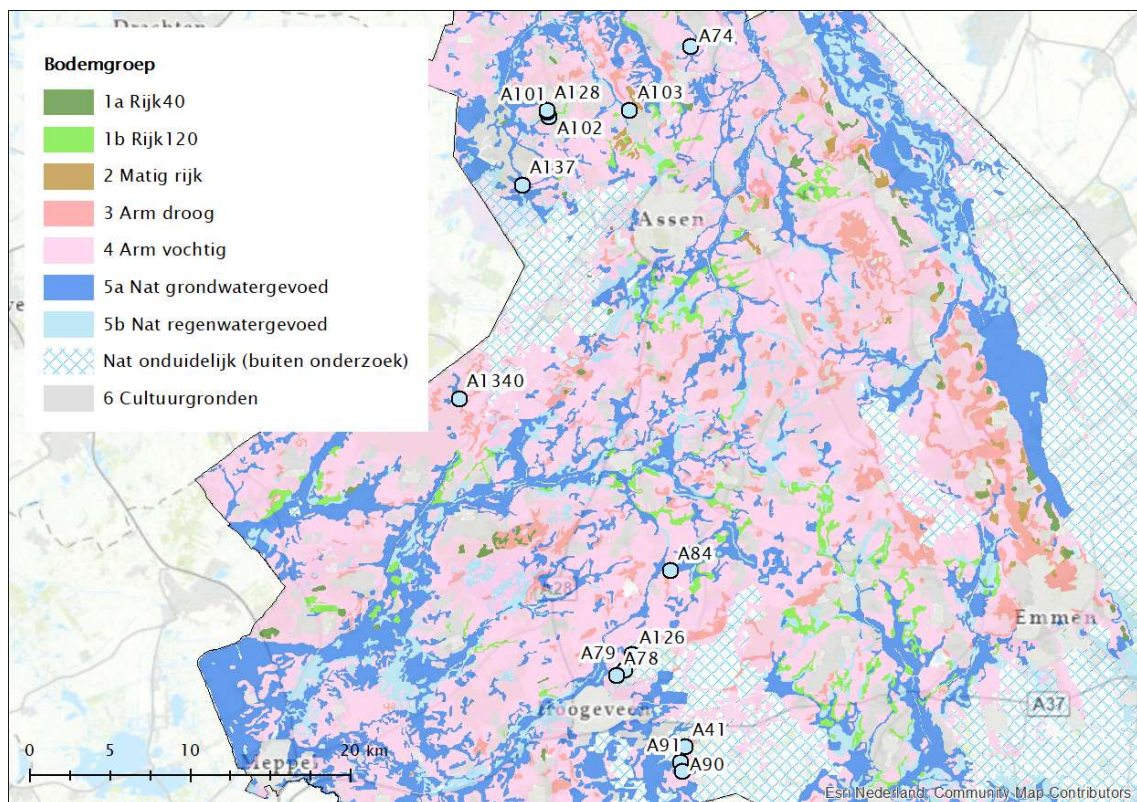
4.7 5b: Nat regenwatergevoed

4.7.1 Ligging

Bodemgroep 5b Nat regenwatergevoed (Nat RW) komt voor in kleine uitblazingslaagtes uit de laatste ijstijd, pingoruïnes en als later stadium in beekdalen of op beekdalflanken (Figuur 4–59). Veengroei kon plaatsvinden omdat het neerslagoverschot niet kon afstromen naar elders. Het zijn voedselarme en zure groeiplaatsen die van oudsher bestonden uit open hoogveen. Onder deze zure en permanent natte omstandigheden is Berkenbroekbos te verwachten. De ligging van de 14 onderzoekslocaties is weergegeven in Figuur 4–60. Wat betreft de bodembuffering is de verwachting een van nature zuur bostype (Dophei-berkenbroek) met een basenverzadiging tussen de 7 en 30% of een sterker gebufferd bostype (Zompzegge-berkenbroek) met een basenverzadiging hoger dan 30%.



Figuur 4-59: Ligging van bodemgroep 5b: Nat RW in de landschapsecologische gradiënt van Drenthe.



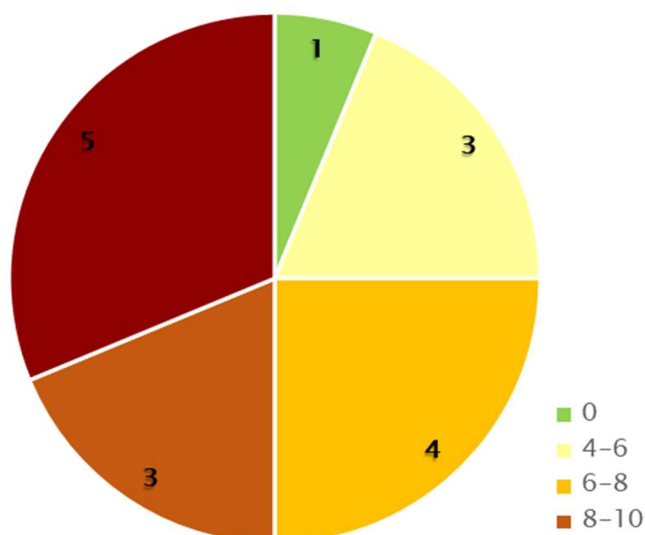
Figuur 4-60: Ligging van de 14 onderzoekslocaties binnen bodemgroep 5b Nat RW.

4.7.2 Geologie en bodem

Geologisch gezien vallen de meeste onderzoekslocaties onder de Formatie van Nieuwkoop (veen). Ze zijn ontstaan uit “vermorsing”, want onder deze veengronden liggen veldpodzolgronden die een verkitte, slecht doorlatende laag hebben gekregen ontstaan door langdurige inspoeling van o.a. humus en ijzerdeeltjes. Bodemkundig gezien zijn het hoofdzakelijk moerpodzolgronden, meerveengronden (bezande veengronden) of boveengronden (diep veraarde veengronden) Figuur 4-61. Door de ontwatering van het veen of bezanding heeft zich op sommige bodems een humuslaag ontwikkeld van 4 tot 10 cm, wat normaal gesproken alleen voorkomt op minerale bodems (Figuur 4-62).



Figuur 4-61: Links – Bezande veengrond op een begraven moerpodzolgrond bij Hollandsche veld. Rechts – komveentje bij Yde waarin een diep veraarde veengrond (Boveengrond) aanwezig is. Tussen 80 –120 cm zijn vezels van eenarig wollegras zichtbaar.

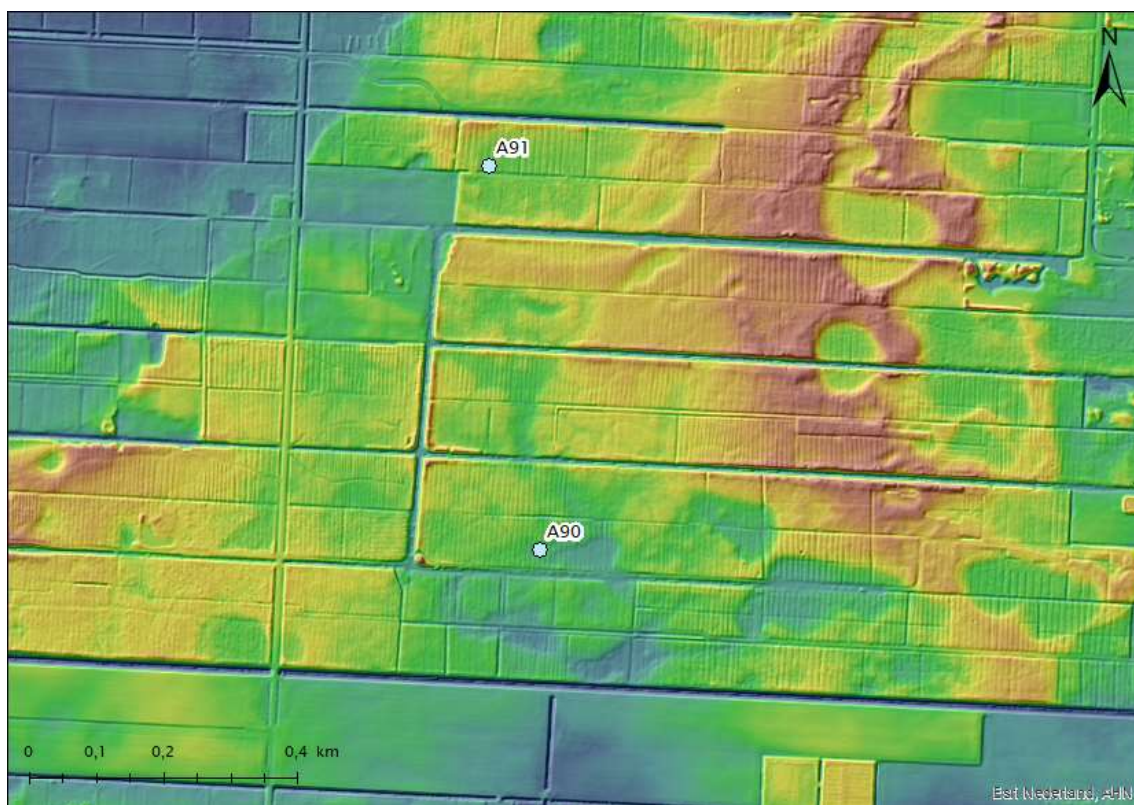


Figuur 4-62: Links – Dikte van de humuslaag (cm) bovenop het veenpakket (label is aantal). Rechts – een foto van een mor, ontstaan op de bezande toplaag van het veen.

4.7.3 Hydrologie

In deze groeiplaats zijn 90% van alle onderzochte locaties verdroogd. Dit komt hoofdzakelijk doordat laagten waarin deze veentjes liggen zijn doorgraven met sloten of greppels (Figuur 4-63). In de winter staan deze sloten vol met regenwater, maar in het vroege voorjaar is het water snel verdwenen en staan de sloten zelfs droog. Door verdroging vergaat het veen, waardoor de toplaag instabiel wordt en bomen omvallen (Figuur 4-64). De hoofdontwateringen zijn door de verkitte lagen gegraven met sterke verdroging als gevolg, regenwater kan nu immers in de bodem infiltreren in plaats van dat het stagneert. Door ontwatering is van veengroei geen sprake meer.

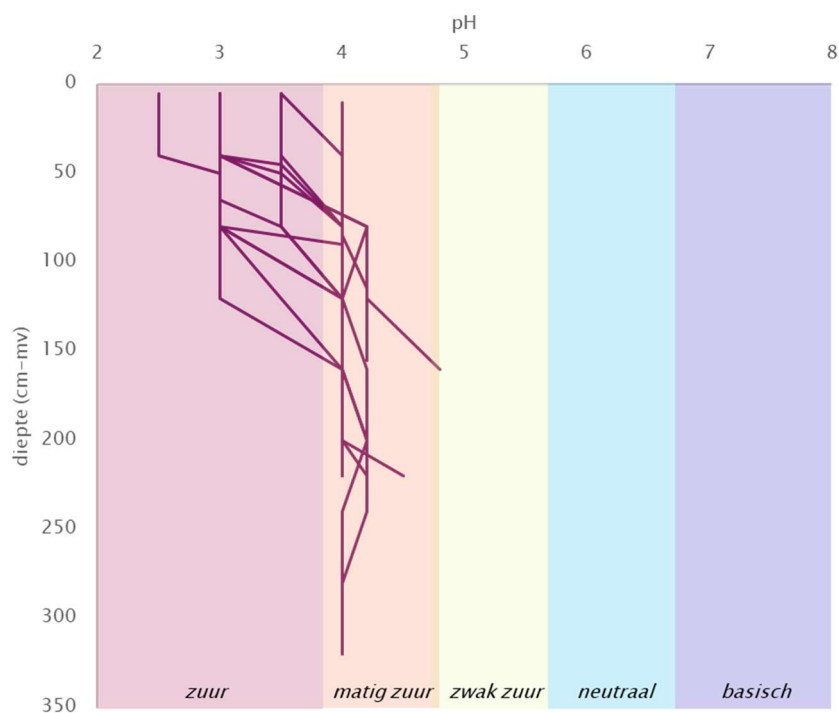
Doordat deze bossen in komachtige laagtes liggen, veelal met een verkitte inspoelingshorizont, is er van nature geen mineralenbuffering vanuit de ondergrond. Dit resulteert in zure pH-profielen. De toplaag is zuurder dan de ondergrond (Figuur 4-65).



Figuur 4-63: Reliëf, detail- en hoofdontwatering bij A90 en A91 (Hollandsche veld). Ooit was dit hele gebied overveend met hoogveen. Nadat de turf was afgegraven bleven alleen op de laagste terreindelen restveengronden over.



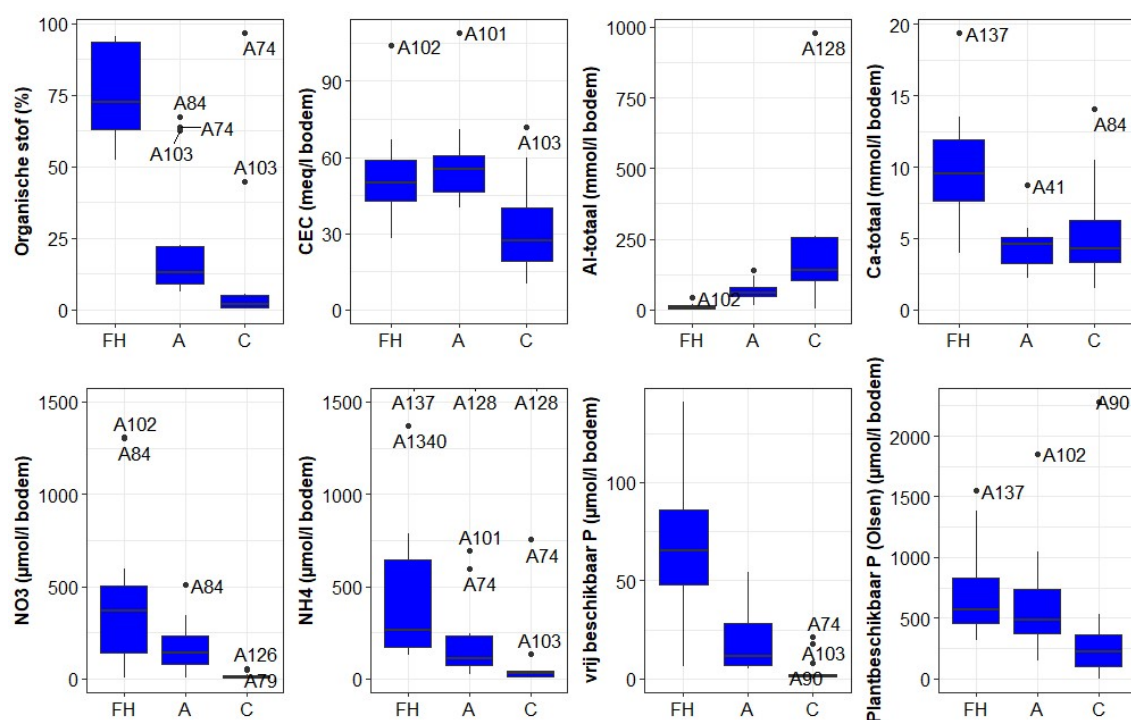
Figuur 4-64: Links- en rechtsboven: Systeem van wijken en greppels in het boscomplex bij Hollandsche veld. Vanaf april is het meeste water verdwenen door verdamping en afvoer via de wijken. Linksonder: Door ontwatering breekt het veen af, waardoor de bodemstructuur verdwijnt en bomen zelfs omvallen.



Figuur 4-65: pH-veld-profiel van de locaties uit bodemgroep 5b. De indeling van de pH-veldmetingen in zuurklassen is gebaseerd op Van Delft et al., 2024. Opvallend is de soms zeer zure toplaag tot zelfs een pH van 2,5.

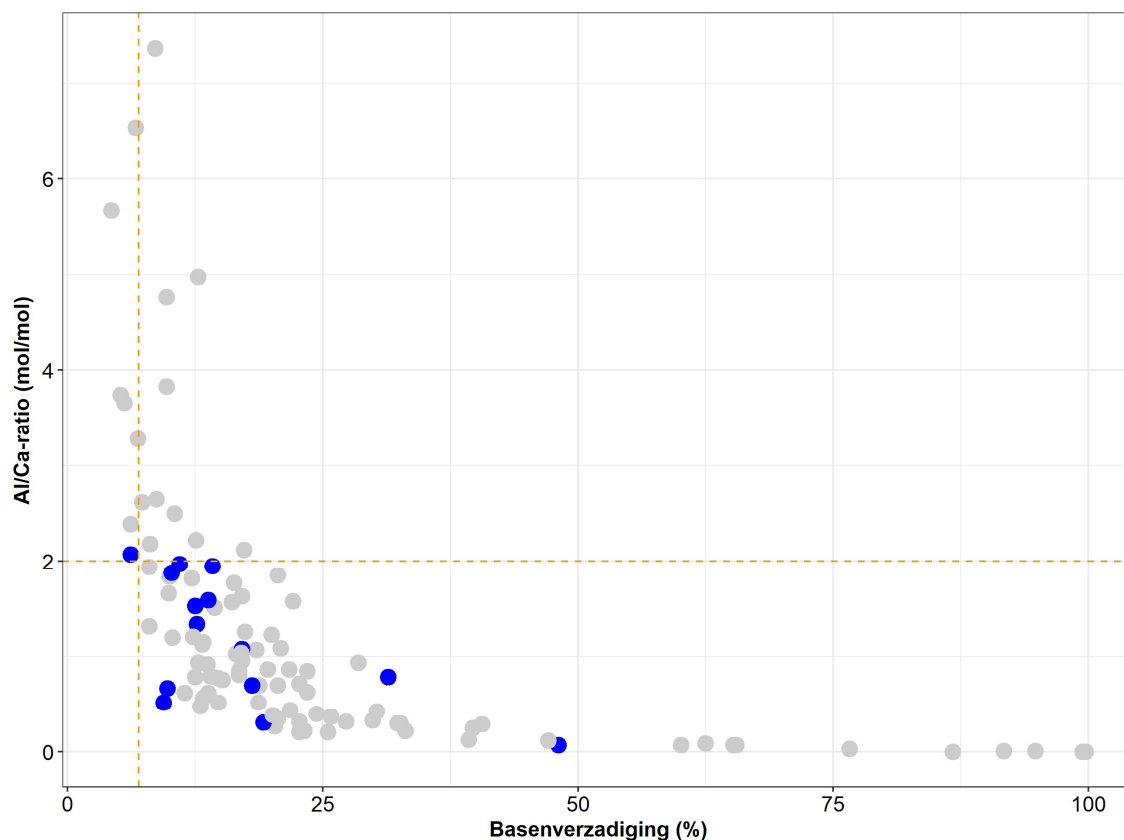
4.7.4 Bodemchemie

Niet volgens verwachting werd op 11 van de 12 locaties een FH-laag aangetroffen en vindt er dus ophoping van strooisel plaats. De bemonsterde A-horizont van deze bodemgroep bestaat in 8 van de 14 gevallen uit zand dat op het veen is aangebracht met lage organische-stofpercentages (<25%) en totaal-Al concentraties van 15 tot 138 mmol/l bodem. Op zes locaties bestaat de toplaag wel uit veen, maar daarvan zijn slechts drie plekken nog weinig te noemen op basis van de hoge organische-stofpercentages van 63 tot 68% (A74, A84 en A103; Figuur 4-66. De C-horizont bestaat over het algemeen uit zand, lokaal werd een (bijna) intacte veenbodem bemonsterd (locatie A74) of leem (locatie A128, A1340, A137). Ook op locatie A103 was de C-horizont weinig met een organische-stofpercentage van bijna 50%. De C-horizont en A-horizont zijn min of meer vergelijkbaar in totaal-Ca gehalte. Lokaal is een calciumvoorraad aanwezig in de diepere ondergrond zoals op locatie A84. De diepere keileembodem op locatie A128 is dus niet rijker aan calcium.



Figuur 4-66: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO₃), ammonium (NH₄), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH n=13, A n=14 en C n=14). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

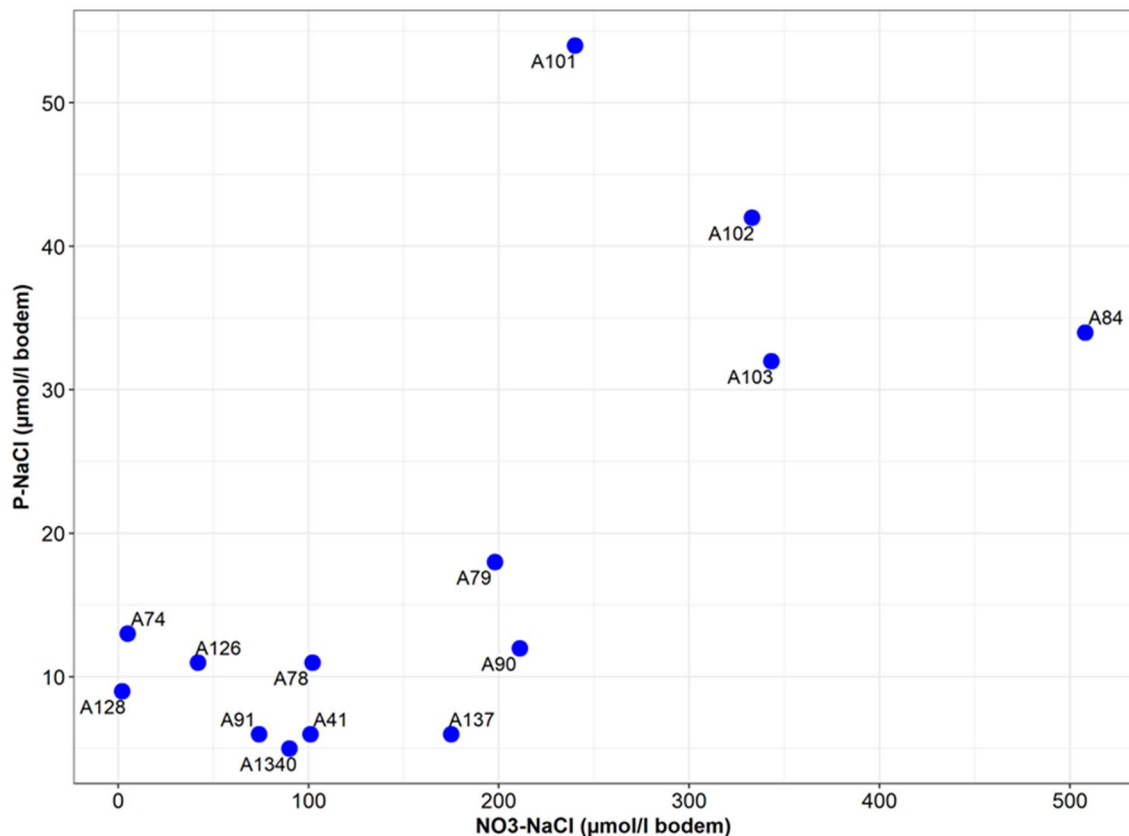
De basenverzadiging in de A-horizont was relatief laag met 6 tot 19% en was met name op locatie A101 zeer laag met slechts 6% (Figuur 4-67). Locatie A128 en A41 vallen juist op door een relatief hoge basenverzadiging van 31 en 48%. Op deze twee locaties is er duidelijk sprake van verstoreng (A128 verstoorde veraarde veenbodem en A41 opgebrachte zandlaag) waardoor deze niet geheel representatief zijn voor deze groep. De Al/Ca-ratio was over het algemeen lager dan 2 mol/mol. Wat betreft de bodembuffering voldoet het merendeel van de locaties binnen deze bodemgroep aan de verwachting met een basenverzadiging tussen de 7 en 30%.



Figuur 4-67: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 5b Nat regenwater (blauwe stippen) in de A-horizont. Figuur 4-13: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 5b Nat RW (blauwe stippen) in de A-horizont. De stippellijn geeft de ondergrens van 7% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 2 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep (gebaseerd op expert judgement). De grijze stippen zijn de monsterpunten in andere bodemgroepen.

De stikstofconcentraties in de A-horizont waren niet zeer hoog of laag in vergelijking met andere bodemgroepen, met gemiddeld 173 $\mu\text{mol/l}$ bodem nitraat en 391 $\mu\text{mol/l}$ bodem ammonium (. Locatie A128 met de verstoorde veraarde veenbodem vormt een uitzondering met een zeer hoge ammoniumconcentratie van 3067 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Ook op locatie A74 en A101 met een veraarde veenbodem werden hoge ammoniumconcentraties in de A-horizont gemeten (> 500 $\mu\text{mol/l}$ bodem) en duidt op afbraak van het veen. De afvoer van stikstof naar de lucht is laag, waarschijnlijk wordt deze geremd door de zure omstandigheden.

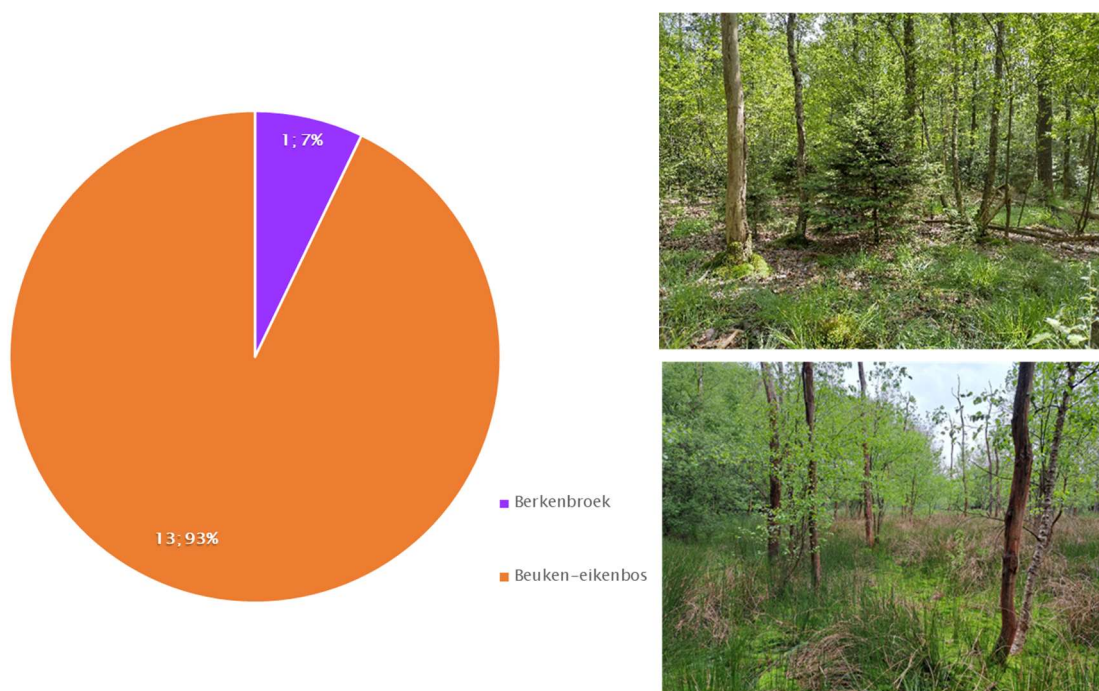
De voor planten beschikbare fosfaatconcentratie varieerde van 168 tot 1045 $\mu\text{mol/l}$ bodem en was daarmee niet zeer hoog of laag. Locatie A102 valt op door een relatief hoge P-beschikbaarheid in de bodem van 1853 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P, 42 $\mu\text{mol/l}$ vrij beschikbaar P en 9 mmol/l totaal-P. Ook in deze bodems is een duidelijke correlatie zichtbaar tussen de concentratie nitraat en vrij beschikbaar P (Figuur 4-68). Doordat zowel de beschikbaarheid van stikstof als fosfaat vrij hoog is, hebben de meeste locaties een vrij ruige ondergroei met o.a. stekelvarens, braam en pijpenstrootje.



Figuur 4-68: Relatie tussen de vrij beschikbare P-concentratie en de concentratie anorgaanisch nitraat in $\mu\text{mol/l}$ bodem gemeten in een zoutextract (NaCl) in bodemgroep Nat Regenwater in de A-horizont.

4.7.5 Vegetatie en flora

Hoewel voor deze bodemgroep Berkenbroekbos passend zou zijn, classificeren 13 locaties als Beuken-eikenbos en slechts één locatie als Berkenbroekbos (Figuur 4-69). Een derde van de locaties is verruigd (zie verderop in paragraaf 4.7.7. en 4.94.8.7). Kenmerkend binnen het Beuken-eikenbos zijn de subassociatie met pijpenstrootje of lelietje-van-dalen. De bossen zijn daarmee gaan lijken op die van bodemgroep 4: Arm vochtig. Alleen locatie Norgerholt classificeert nog wel als een Berkenbroekbos, hetgeen thuishoort op deze standplaats. De dode eiken en pitrus tonen aan dat het hier om een verstoorde groeiplaats gaat. Nadat hydrologische maatregelen zijn genomen is er een dominantie veenmoslaag van gewimperd veenmos en kenmerkende soorten zoals snavelzegge en zompzegge aanwezig. Pitrus en pijpenstrootje leggen het af tegen de veenmosontwikkeling.



Figuur 4-69: Verdeling locaties over vegetatietypen (aantal; percentage van totaal). Rechts: het meest kenmerkende Beuken-Eikenbos (A1340, Hoogersmilde) en linksonder herstellend Berkenbroek in een voormalig Beuken-Eikenbos door het vasthoudend van water (A128, Norgerholt).

4.7.6 Menselijk gebruik

Nadat de turf grotendeels was afgegraven en afgevoerd via een stelsel van vaarten (wijken genoemd), konden de restveengronden worden ontgonnen. Door ontginning en ontwatering konden ze geschikt worden gemaakt voor de bosbouw. De dalgronden bij Hollandse veld zijn wel rationeel verkaveld, maar al heel vroeg (voor 1850) beplant met bos. Waarschijnlijk waren deze bodems toen al zo zuur dat ze weinig geschikt waren voor de landbouw. In deze grotere boscomplexen blijken allerlei kleinere laagten te liggen die kleine hydrologische systemen vormen door hun slecht doorlatende bodems. Alleen de diepere wijken zijn door deze verkitte bodems gegraven. Dit betekent dat er wel kansen zijn om binnen deze laagtes de groeiplaats te verbeteren.

4.7.7 Conclusies bodemgroep 5b: Nat RW

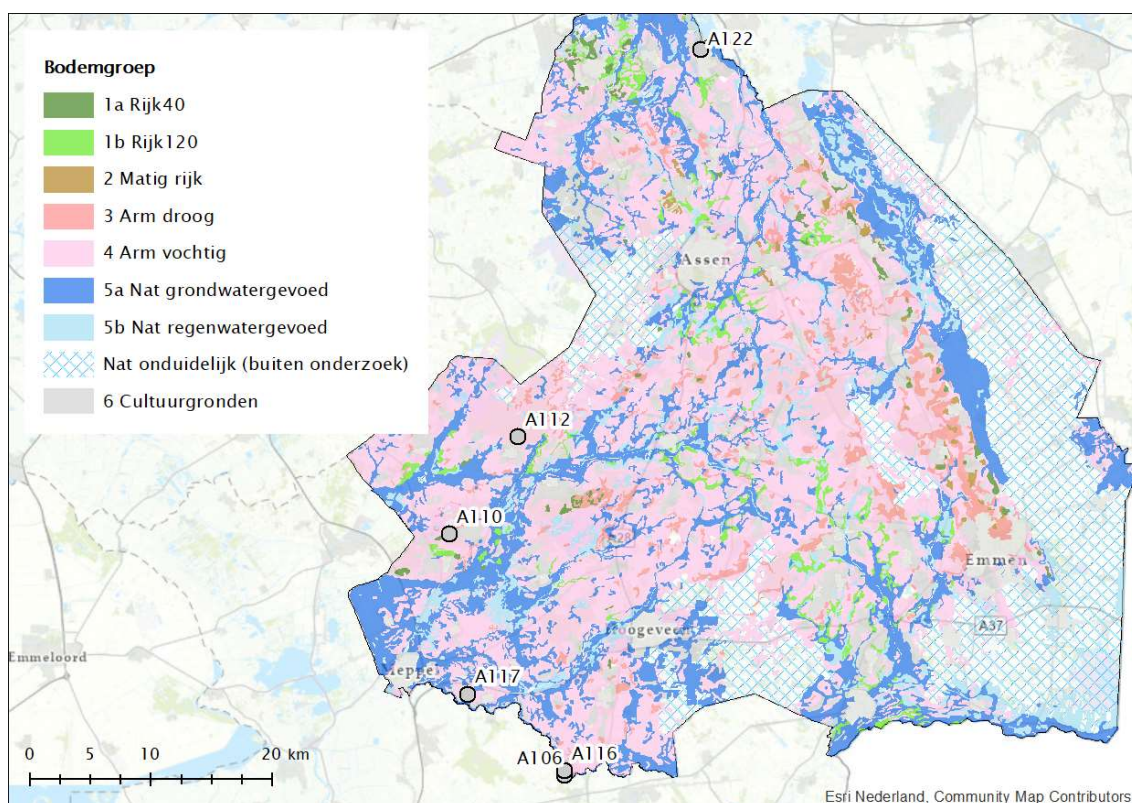
- Op 8 van de 14 locaties bestond de A-horizont uit opgebracht zand.
- Op één locatie na, zijn alle locaties verdroogd.
- Door verdroging (en verzuring) heeft zich een humuslaag gevormd van 4 tot 10 cm dikte.
- De bodemgroep is van nature zuur, maar de toplaag is zuurder dan de ondergrond.
- Wat betreft de bodembuffering voldoet het merendeel van de locaties binnen deze bodemgroep aan de verwachting met een basenverzadiging tussen de 7 en 30%.
- De ammoniumconcentraties zijn lokaal zeer hoog in de A-horizont en duiden op mineralisatie van het veen door verdroging.
- Op één locatie is Berkenbroekbos aanwezig, de rest classificeert als Beuken-eikenbos.

- In de grotere boscomplexen blijken allerlei kleinere laagten te liggen die kleine hydrologische systemen vormen door hun slecht doorlatende bodems. Alleen de diepere wijken zijn door deze verkitte bodems gegraven. Dit betekent dat er wel kansen zijn om binnen deze laagtes de groeiplaats te verbeteren.

4.8 6: Cultuur

4.8.1 Ligging

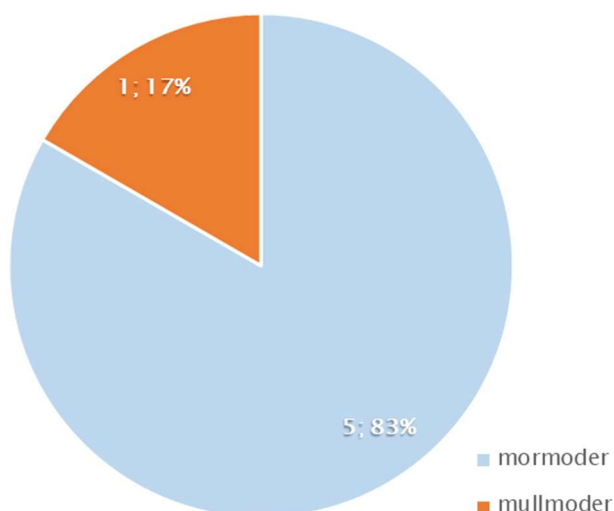
Deze bodemgroep betreft geen natuurlijke groeiplaats, maar is een verzameling van gronden met een plaggendek. De ligging van de onderzoekslocaties is weergegeven in Figuur 4-70). Plaggenbodems zijn aangelegd op de hogere delen van het landschap (dekzandruggen), nabij de oude bewoningsplaatsen. Feitelijk gezien is dit al een eerste vorm van substraatlandbouw. De bebossing van oude landbouwgronden heeft vooral plaatsgevonden op landgoederen en marginale gebieden (ver afgelegen en klein qua omvang). Veelal gebeurde dit in de 19e eeuw vanwege problemen met verzuring en slechte oogsten (destijds ziekte van de Drentse essen genoemd) (Bieleman, 1987; zie 3.4.1). De verwachting is dat deze bodemgroep daarom arm en zuur is, en bovendien droog omdat de meeste plaggendekken op hoge delen zijn aangelegd. Qua vegetatietype is er een soortenarme variant van het Beuken-eikenbos te verwachten. Dit is uiteraard sterk afhankelijk van de oorspronkelijke aanplantstrategie. Wat betreft de bodembuffering is de verwachting dat de bodems in deze bodemgroep zuur tot zwak gebufferd. Vanwege het landbouwkundig gebruik is de verwachting dat deze bodems relatief voedselrijker zullen zijn dan de andere bodemgroepen.



Figuur 4-70: Ligging van de zes onderzoekslocaties op bodemgroep 6: Cultuur (plaggenbodems).

4.8.2 Geologie en bodem

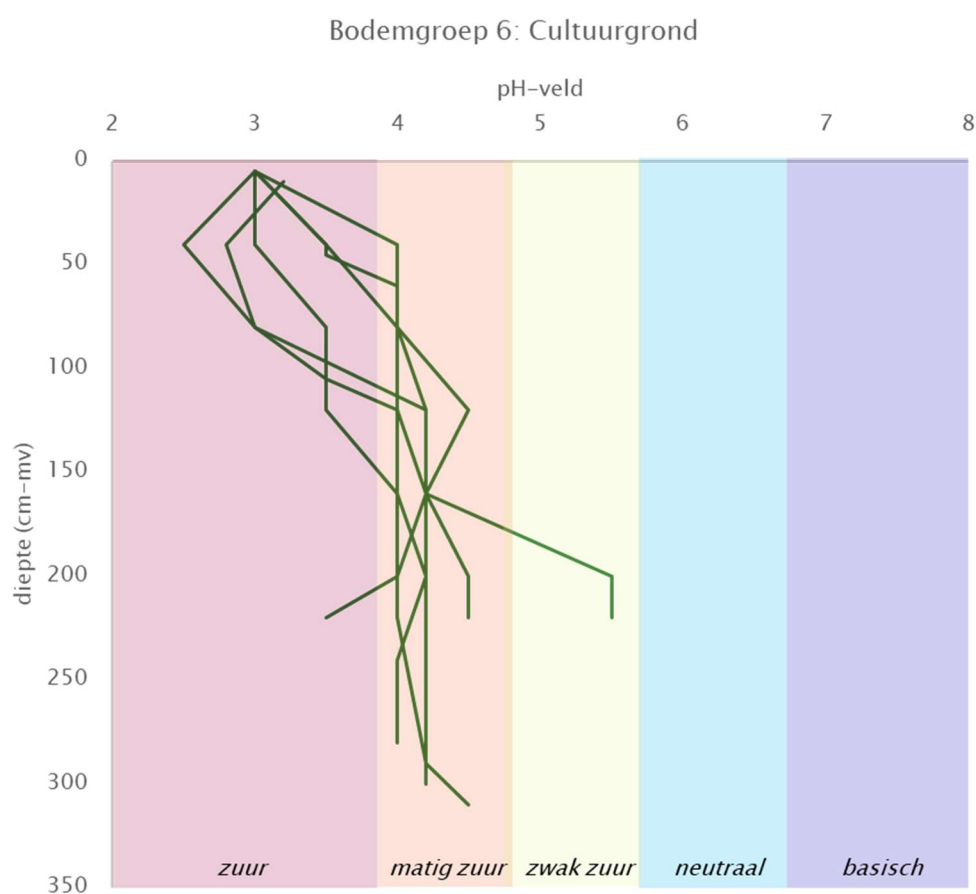
Alle locaties liggen in dekzandafzettingen. Bij 3 van de 6 locaties bestaat de bodem onder het plaggendeck uit een haarpodzolgrond (bodemgroep 3: Arm droog), bij 2 een holtpodzolgrond (bodemgroep 2: Matig rijk) en bij 1 een beekeerdgrond (bodemgroep 5a: Nat GW). De keileem op 85 cm diepte verklaart de wat rijkere humusvorm (mullmoder). De overige bosgroeiplaatsen bevatten allemaal mormoder-humusvormen, kenmerkend voor zuurdere omstandigheden (Figuur 4-71).



Figuur 4-71: Verdeling van de humustypen binnen deze groeiplaats (aantal; percentage van totaal). Rechts een foto van een zwarte enkeerdgrond, ooit aangelegd op een holtpodzolgrond.

4.8.3 Hydrologie

Behalve locatie A122 zijn alle locaties gevormd door inzijgend regenwater. De pH-profielen laten dan ook matig zure bodems zien, waarbij de plaggenlaag (tot 80 cm diepte) zeer zuur is (pH 2,5–4, veelal 3) (Figuur 4–72). Locatie A122 bevat een beekeerdgrond, gevormd door grondwater. Omdat er vanaf 120 cm lichte keileem in de ondergrond voorkomt zal de GLG-referentiegrondwaterstand ergens tussen de 60 en 120 cm diepte behoren te liggen. In dit geval is de GLG geschat tussen de 140 en 175 cm, waaruit een sterke verdroging blijkt.³ Pas vanaf 160 cm diepte is er sprake van zuurbuffering vanuit het grondwater.



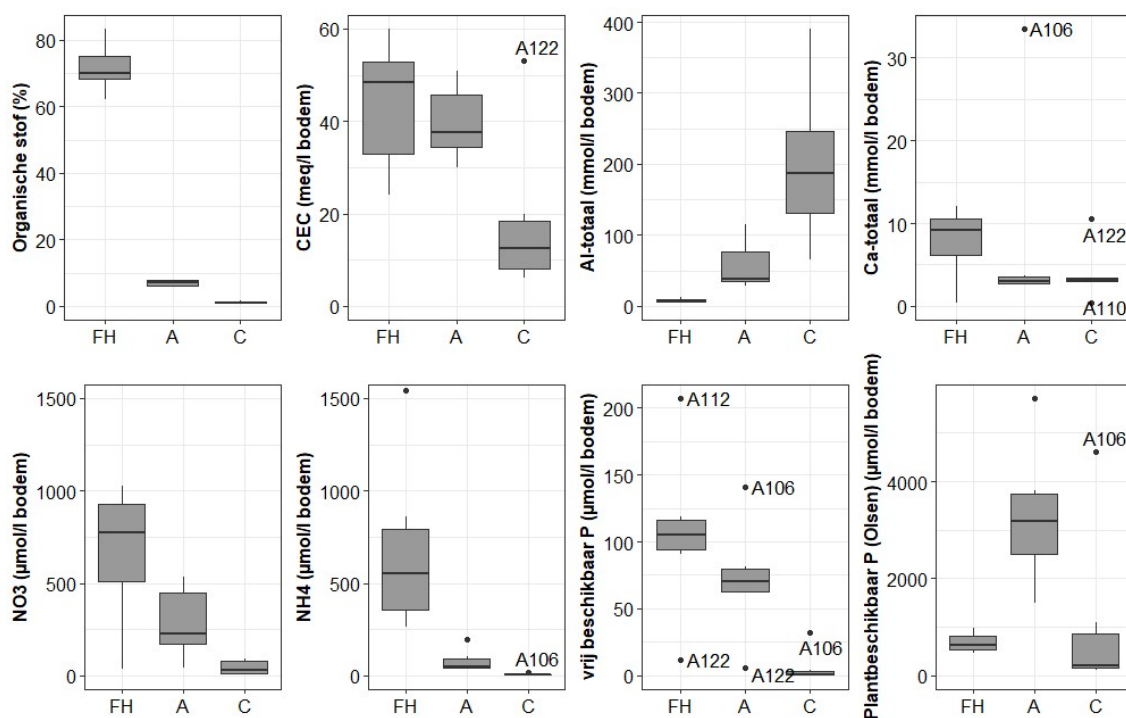
Figuur 4–72: pH-veld-profiel van de locaties uit bodemgroep 6. De indeling van de pH-veldmetingen in zuurklassen is gebaseerd op Van Delft et al., 2024.

4.8.4 Bodemchemie

Op alle locaties in deze bodemgroep werd een FH-laag aangetroffen en vindt er dus ophoping van strooisel plaats. Dit is ook terug te zien in het relatief lage percentage organische-stof in de A-horizont van slechts 7% (Figuur 4–73). Locaties die binnen bodemgroep “Cultuur” vallen waren over het algemeen gelegen op enkeerdgronden. De A-horizont bestaat uit (hooguit zeer licht lemig) zand met totaal-Al concentraties van 29 tot 116 mmol/l bodem. De C-horizont varieert van een licht lemige zandbodem tot een lichte keileem bodem op locatie A122 met een sterk variabele totaal-Al concentratie en een hogere CEC in de

³ Waternood terrestrisch, versie 3.0.4.

keileembodem. Zowel de A-horizont als C-horizont zijn arm aan totaal-Ca met uitzondering van locatie A122 met een wat calciumrijkere keileembodem. Daarnaast valt locatie A106 op door een hoog totaal-Ca gehalte in de A-horizont van 33 mmol/l bodem. Ook het totaal-zwavel gehalte was opvallend hoog op deze locatie.

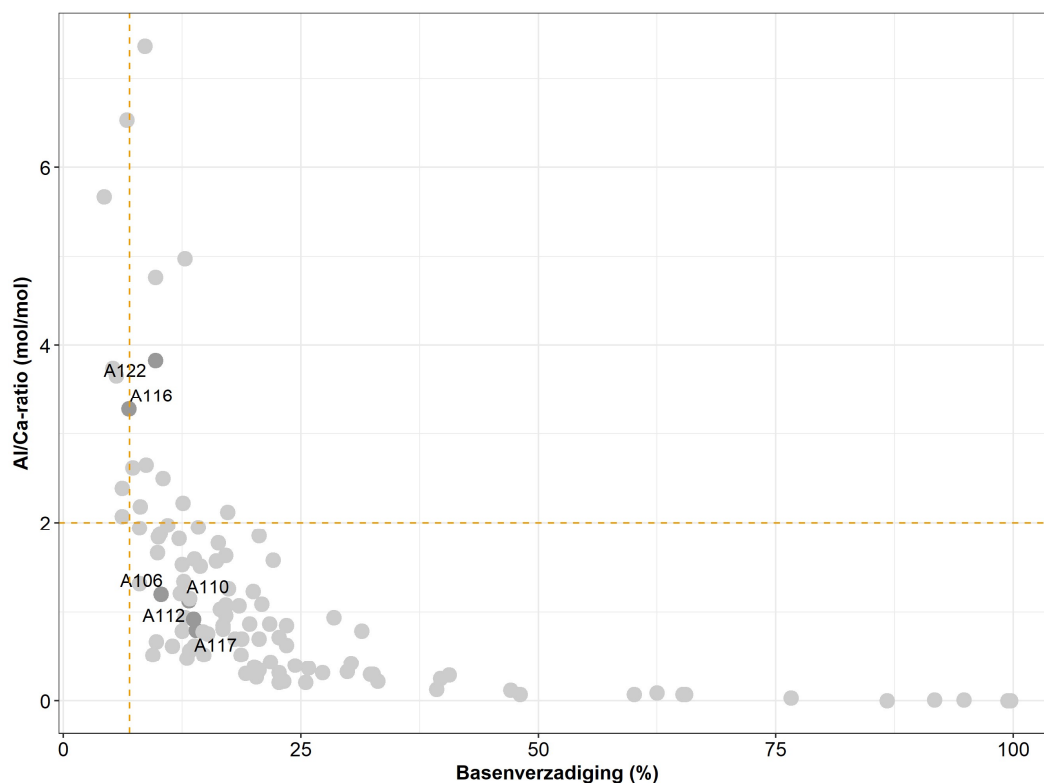


Figuur 4-73: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO₃), ammonium (NH₄), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH n=6, A n=6 en C n=6). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

In tegenstelling tot de huidige cultuurgronden is de bodembuffering in deze oude cultuurgronden laag met een lage basenverzadiging in de A-horizont van 7 tot 14% (Figuur 4-74). De Al/Ca-ratio was met 0,8 tot 3,8 mol/mol lokaal aan de hoge kant (A116 en A122). Een lage bodembuffering in bosbodems op oude cultuurgronden werd ook gevonden in bossen op oude cultuurgronden in Noord-Brabant (Verbaarschot et al., 2024).

Wat betreft stikstof waren de concentraties vergelijkbaar met die van andere bodemgroepen met concentraties van gemiddeld 284 µmol/l bodem nitraat en 80 µmol/l bodem ammonium. Ook in deze bodemgroep is met name de FH-laag rijk aan ammonium met gemiddeld 670 µmol/l bodem. Wat betreft beschikbaar fosfaat werden in de A-horizont hoge plant beschikbare fosfaatconcentraties gemeten van 1488 tot 5710 µmol/l Olsen-P en totaal-P concentraties van 6 tot 18 mmol/l bodem. Deze oude cultuurgronden zijn dus nog steeds relatief fosfaatrijk. Het is zelfs waarschijnlijk dat sommige van deze locaties nauwelijks fosfaat verloren hebben in de inmiddels lange periode van bosgroei; in 1978 waren al volgroeide bossen met typische soorten aanwezig dus moet de landbouw bedreven zijn in een periode dat mest (en dus fosfaat) slechts mondjesmaat werd aangevoerd (Smeenge,

2020, hoofdstuk 6). De bevindingen komen overeen met gegevens uit de literatuur waaruit blijkt dat fosforconcentraties en fosforbeschikbaarheid in oude landbouwbodems lang hoog/verhoogd blijven ondanks geringe bemesting (van den Berg et al 2022).



Figuur 4–74: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 6 Cultuur (donkergrijze stippen) in de A-horizont. De stippellijn geeft de ondergrens van 7% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 2 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep (gebaseerd op expert judgement).

4.8.5 Vegetatie en flora

Alle bossen binnen deze groeiplaats vallen onder het Beuken-eikenbos (Figuur 4–75). Twee van de zes locaties behoren tot de relatief rijke subassociatie met lelietje-van-dalen, de overige locaties betreffen een soortenarme versie van het Beuken-eikenbos. Twee van de zes locaties zijn verruigd (zie verderop in paragraaf 4.8.7 en 4.9).



Figuur 4-75: Impressie van het Beuken-eikenbos dat kenmerkend is voor deze bosgroeiplaats (links A106 en, rechts A112). Opvallend is het vlakke maaiveld (ontbreken van microreliëf) dat door het voormalig landgebruik als bouwland is ontstaan en de aanwezigheid van brede stekelvaren en hulst.

4.8.6 Menselijk gebruik

Na het gebruik als bouwland zijn deze bossen beplant met eik, veelal als hakhout benut (spartelgen). Sinds de 'jaren 50 zijn deze bossen onbeheerd gebleven.

4.8.7 Conclusies bodemgroep Cultuurgronden

- Deze bodemgroep wordt gekenmerkt door een plaggendek. Het oorspronkelijke bodemprofiel was veelal een podzolgrond, op één locatie een beekerdgrond.
- Deze bodemgroep is zuur tot op grote diepte.
- De bodems zijn zuur met een lage basenverzadiging. De voormalige cultuurgronden zijn zuurder dan de oude bossen op mineraalarme, droge bodems.
- Deze oude cultuurgronden zijn nog steeds relatief fosfaatrijk, ondanks dat de landbouw bedreven moet zijn in een periode dat mest (en dus fosfaat) slechts mondjesmaat werd toegepast.
- Het Beuken-eikenbos is op vier locaties een basale vorm, op twee locaties is een rijkere variant aanwezig (subassociatie met lelietje van dalen).
- Het traditionele hakhoutbeheer is sinds de jaren '50 van de vorige eeuw gestaakt.

4.9 Synthese Categorie A

Voorgaande paragrafen gaven per bodemgroep de resultaten weer in vergelijking met de referentiekaders uit paragraaf 3.3. Tabel 4-1 geeft een samenvatting per bodemgroep voor verschillende parameters. Veel bodemgroepen hebben last van verdroging. In bodemgroep 5a: Nat GW en 5b: Nat RW is daardoor een strooisellaag gevormd op het (veraarde) veen. De bodem is veelal minder gebufferd dan werd verwacht (59 van de 108 locaties). De pH-profielen laten verzuring van de toplaag zien. De bodemgroepen zijn bovendien veelal rijk aan N en soms P. De vegetatie die is aangetroffen, past maar tot bepaalde hoogte bij wat er werd verwacht bij de verschillende bodemgroepen.

Tabel 4-1: Samenvatting resultaten per bodemgroep. In rood zijn de resultaten weergegeven die niet corresponderen met de referentie (paragraaf 3.3 en zuurklassen 4.1.2).

Bodemgroep	Hydrologie	Humus	Bodemchemie			Vegetatie
			pH-profiel	Buffering	Voedselrijkdom	
1a: Rijk 40 (n=15)	Wisselvochtig tot nat, op orde	Mull In 27% mor of moder	Ondergrond neutraal-basisch, bovenste 40 cm zuur-matig zuur	Zes locaties sterk gebufferd, negen locaties minder sterk gebufferd dan verwacht	Rijk aan nitraat	Eiken-haagbeukenbos, helft van de locaties verruigd
1b: Rijk 120 (n=7)	Wisselvochtig, alle locaties verdroogd	Mull tot moder	Ondergrond zwak zuur-basisch, bovenste 120 cm zuur-matig zuur	Drie locaties sterk gebufferd, vier locaties minder sterk gebufferd dan verwacht	Relatief laag in stikstof ten opzichte van andere bodemgroepen	Eiken-haagbeukenbos, geen verruiging
2: Matig rijk (n=16)	Niet van toepassing	Mormoder	Ondergrond matig zuur, bovenste 40 cm zuur	Minder goed gebufferd dan verwacht	Relatief P-rijk, met name in verruigde locaties	Beuken-eikenbos, Eiken-haagbeukenbos, Tien van de zestien locaties verruigd
3: Arm droog (n=17)	Niet van toepassing	Mormoder	Ondergrond matig zuur, bovenste 40 cm zuur	Zuur tot zwak gebufferd	N of P niet opvallend hoog of laag, ophoping N in FH	Beuken-eikenbos (geen Berken-zomereikenbos), weinig verruiging
4: Arm vochtig (n=21)	Alle locaties (sterk) verdroogd	Mormoder	Ondergrond matig zuur, bovenste 40 cm zuur	Duidelijk minder sterk gebufferd dan verwacht	Groot deel locaties geen N- of P-limitatie meer	Beuken-eikenbos (geen Berken-zomereikenbos), helft locaties verruigd
5a: Nat GW (n=12)	In 75% hydrologie op orde, 25% verdroogd	Bij intact veen geen strooisel aanwezig, op verdroogde zand en veenbodems wel strooisellaag	Ondergrond matig zuur-basisch, bovenste 80 cm zuur-zwak zuur	Intacte veenbodems sterk gebufferd, helft locaties minder sterk gebufferd dan verwacht	Meer N in veenbodems, duidt op veenafbraak	Elzenbroekbos, deels Beuken-eikenbos. Een derde van de locaties verruigd.
5b: Nat RW (n=14)	Vrijwel alle locaties (sterk) verdroogd	Verdroogd veen, daardoor strooisellaag in vorm van mor	Ondergrond matig zuur, bovenste 80 cm zuur	Zuur tot zwak gebufferd	Groot deel locaties geen N- of P-limitatie meer, hoog N in veenbodems (duidt op veenafbraak)	Beuken-eikenbos (geen Berkenbroekbos)
6: Cultuur (n=6)	Niet van toepassing, regenwater-gevoed	Moder en mormoder	Ondergrond matig zuur, bovenste 80 cm zuur	Zure bodems	P-rijk	Beuken-eikenbos

5. Categorie B: bossen zonder typische soorten

In dit hoofdstuk worden de categorie B-bossen beschreven. In tegenstelling tot de categorie A-bossen, waren hier volgens de milieukartering in 1974–1978 geen typische soorten aanwezig. Het zijn jongere bossen, veelal de heidebebossingen, die met 13.562 ha een veel groter deel van het bosareaal beslaan dan de categorie A-bossen. Ze liggen hoofdzakelijk in bodemgroep 3, 4 en 5b. De bossen in deze categorie zijn minder uitgebreid onderzocht dan categorie A (zie 2.3.1). Voorliggend hoofdstuk beschrijft elke bodemgroep aan de hand van de onderzochte locaties.

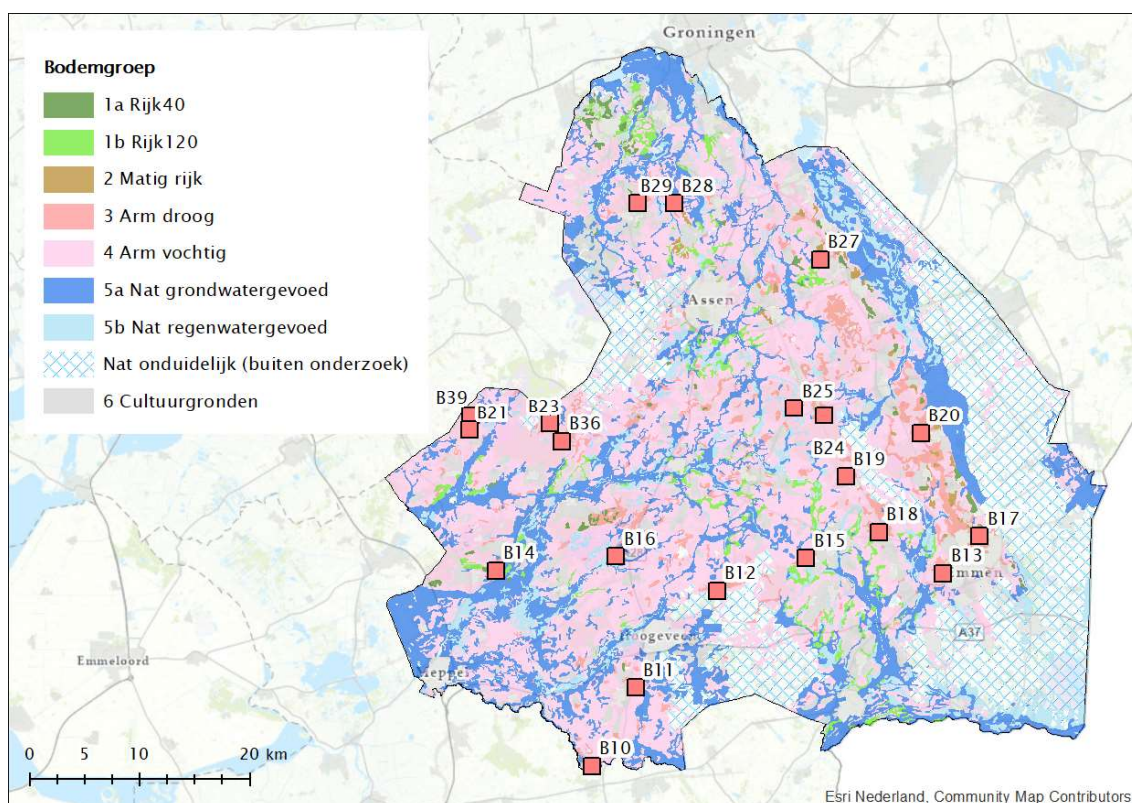
5.1 3: Arm droog

5.1.1 Ligging

Deze groeiplaats komt op hoge gelegen gebieden, waaronder (verstoven) zandruggen voor. Figuur 5–2 toont de ligging van de 20 onderzoekslocaties verspreid door Drenthe, Figuur 5–1 geeft een impressie van het bos op deze bodemgroep. De hypothese is dat door de combinatie van hoogteligging, het ontbreken van grondwaterinvloed en eeuwenlange intensieve overgebruik tot het begin van de 20^{ste} eeuw een soort “sahel-landschap” was ontstaan, waarop bos is aangelegd (zie paragraaf 3.4). Dit leidde vermoedelijk tot een droogtegevoelige, voedselarme, zure en daarmee kwetsbare groeiplaats.



Figuur 5–1: Impressie van de categorie B-bossen op bodemgroep 3: Arm droog.



Figuur 5-2: Ligging van de 20 onderzoekslocaties van de categorie B-bossen op bodemgroep 3 Arm droog. Voor de ligging van de bodemgroep in de landschappelijke gradiënt van Drenthe, zie paragraaf 4.4.

5.1.2 Geologie en bodem

Ondanks dat op de B-locaties naar minder variabelen is gekeken dan bij de A-locaties is toch wel wat te zeggen over de groeiplaats. Het zijn over het algemeen (60% van de locaties) verstoven bodems (duinvaaggronden), waarin soms het oude bodemprofiel nog in overstoven vorm aanwezig is (Figuur 5-3). Ze zijn gevormd in de Formatie van Boxtel, laagpakket van Kootwijk. Deze voormalige zandverstuivingen zijn door bebossing vastgelegd. De rest van de bodems zijn haarpodzolgronden, gevormd in de Formatie van Peelo of Boxtel, laagpakket van Wierden. Op 4 locaties (20% van het totaal) is binnen 2,2 meter diepte keileem aangetroffen, waardoor er in potentie wat rijkere omstandigheden kunnen voorkomen.



Figuur 5-3: Voorbeeldbodemprofiel van een duinvaaggrond, in dit geval een overstoven haarpodzolgrond.

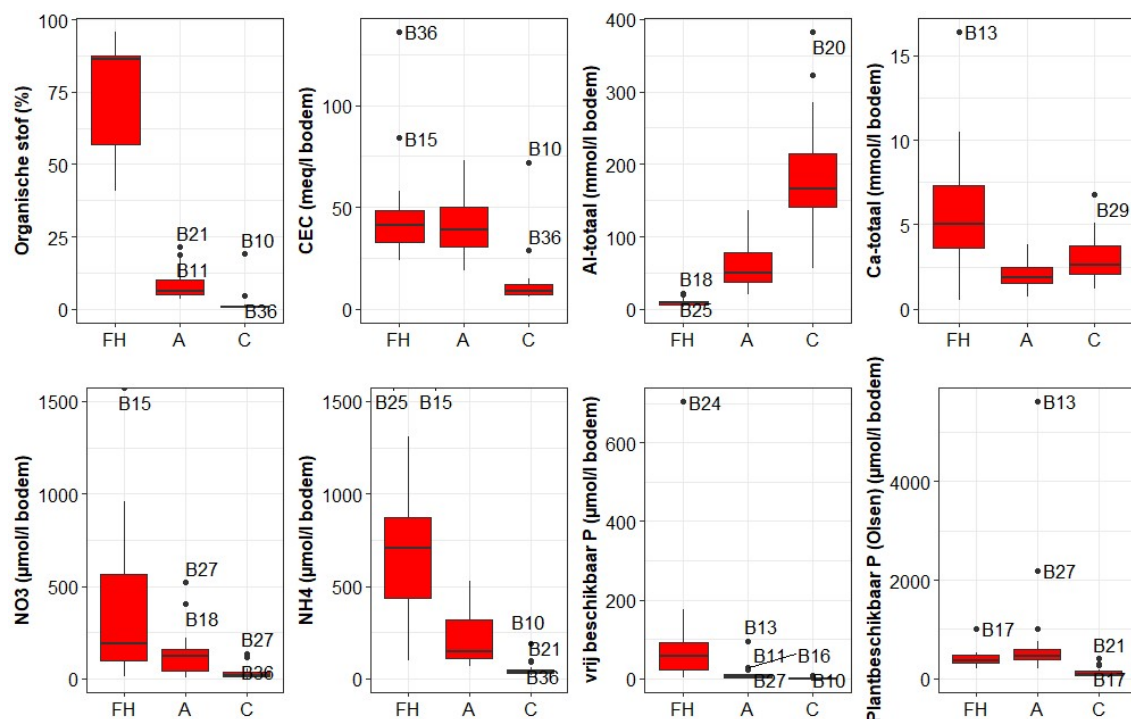
5.1.3 Hydrologie

Deze bossen bevinden zich buiten de invloedzone van het grondwater en zijn afhankelijk van hangwater. Het geringe leemgehalte (0-10 %) in deze bodemgroep kan in droge zomers snel

leiden tot droogtestress door het lage vochtleverend vermogen. De mate van organische stof (oudere bosbodems) levert een belangrijke bijdrage aan de vochtvoorziening.

5.1.4 Bodemchemie

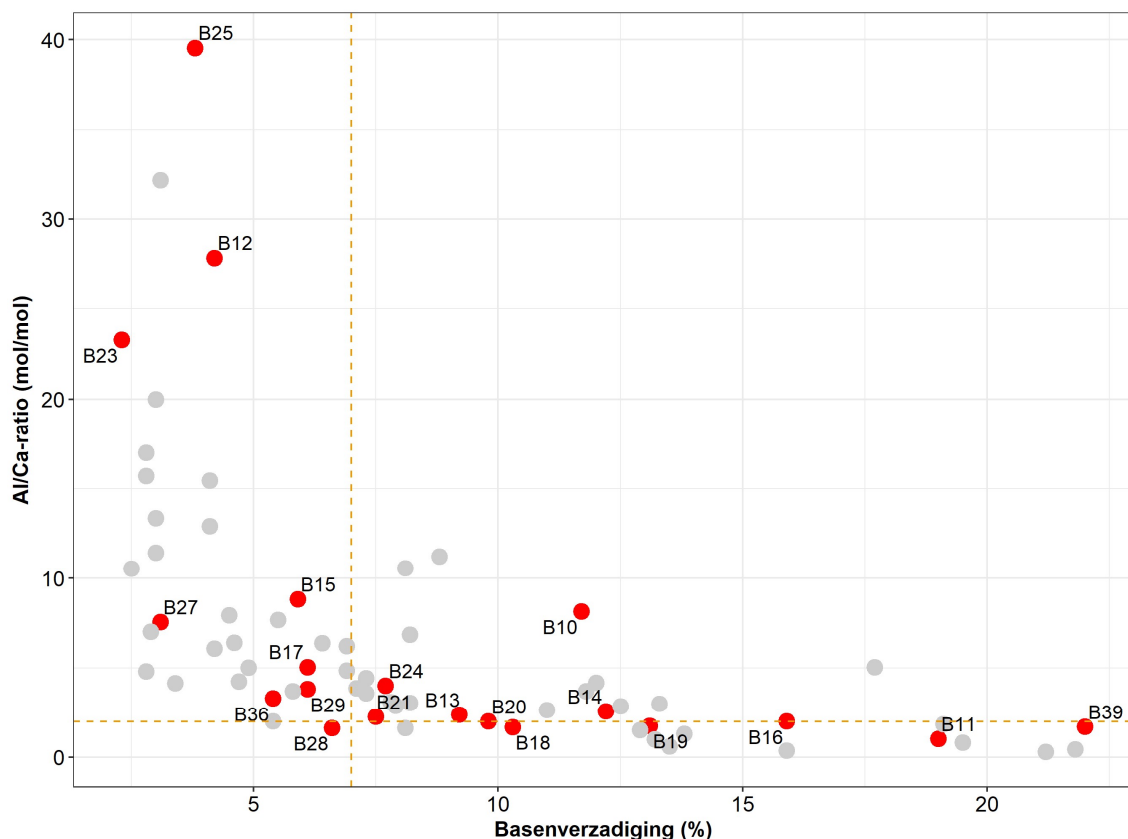
In deze droge arme bodemgroep vindt er ophoping van strooisel plaats en werd op 19 van de 20 locaties een FH-laag aangetroffen van circa 4 tot 10 cm dikte. In bodems met een slechte strooiselomzetting is het percentage organische-stof in de A-horizont overwegend laag zoals ook in deze bodemgroep het geval is met gemiddeld 8% organische-stof in de A-horizont (Figuur 5-4). Het totaal-aluminium gehalte in de bodem is met 20 tot 137 mmol/l bodem laag, kenmerkend voor arme zandgronden. In dit type bodems is de CEC, een belangrijke maat voor de grootte van het adsorptiecomplex, vaak laag, zoals in deze bodems met een CEC van gemiddeld 40 meq/l bodem. De C-horizont is over het algemeen leemrijker dan de A-horizont met een hoger totaal-Al gehalte in de bodem. Het totaal-Ca gehalte in de C-horizont is gemiddeld wat hoger dan het totaal-Ca gehalte in de A-horizont, maar zo minimaal dat er geen sprake is van een calciumvoorraad in de diepere ondergrond.



Figuur 5-4: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO₃), ammonium (NH₄), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH n=19, A n=20 en C n=20). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

De basenverzadiging (het percentage van de CEC dat bezet is met basische kationen) in de A-horizont varieerde van slechts 2 tot 22% en was op 9 van de 20 locaties ook voor zure bostypen te laag (<7%). Ook de Al/Ca-ratio was lokaal zeer hoog tot maar liefst 40 mol/mol (Figuur 5-5). Wat betreft de bodembuffering was de bodem in ongeveer de helft van de locaties zuurder dan verwacht op basis van de bodemgroep.

Wat stikstof betreft werden in de A-horizont geen opvallend hoge of lage stikstofconcentraties gemeten met gemiddeld 134 $\mu\text{mol/l}$ nitraat en 202 $\mu\text{mol/l}$ ammonium. De FH-laag was over het algemeen rijker aan ammonium dan nitraat met gemiddeld 780 $\mu\text{mol/l}$ ammonium tegen 357 $\mu\text{mol/l}$ nitraat. De voor planten beschikbare fosfaatconcentraties (Olsen-P) varieerden van 198 tot 1015 $\mu\text{mol/l}$ bodem en waren niet opvallend hoog of laag. Locatie B13 en B27 vallen op door een hoge fosfaatbeschikbaarheid in de A-horizont van 5622 en 2192 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P en totaal-P concentraties van 14 en 8 mmol/l bodem.



Figuur 5-5: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 3: Arm droog (rode stippen) in de A-horizont. De stippellijn geeft de ondergrens van 7% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 2 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep. De grijze stippen zijn de monsterpunten in andere bodemgroepen in de B-bossen.

5.1.5 Vegetatie

De dominante boomsoort binnen deze bodemgroep bestaat uit Amerikaanse eik, douglas, fijnspar, grove den, ruwe berk, sitkaspar, tamme kastanje of zomereik. Overige gegevens die zijn verzameld gaan over soortenaantallen van planten, mossen en stuks dood hout in het proefvlak.

Tabel 5-1: Aantal planten- en mossoorten en dood hout, gemiddelde van 20 locaties.

Kenmerk	Aantal
Plantensoorten kruidlaag	4
Mossoorten	2
Stuks dood hout 10-30 cm	4
Stuks dood hout > 30 cm	1

5.1.6 Conclusies bodemgroep 3: Arm droog

- Wat betreft de bodembuffering was de bodem in ongeveer de helft van de locaties zuurder dan verwacht.
- Stikstof en fosfaat in de bodem is niet opvallend hoog of laag, er is wel sprake van ophoping van stikstof in de FH-laag.

5.2 4: Arm vochtig

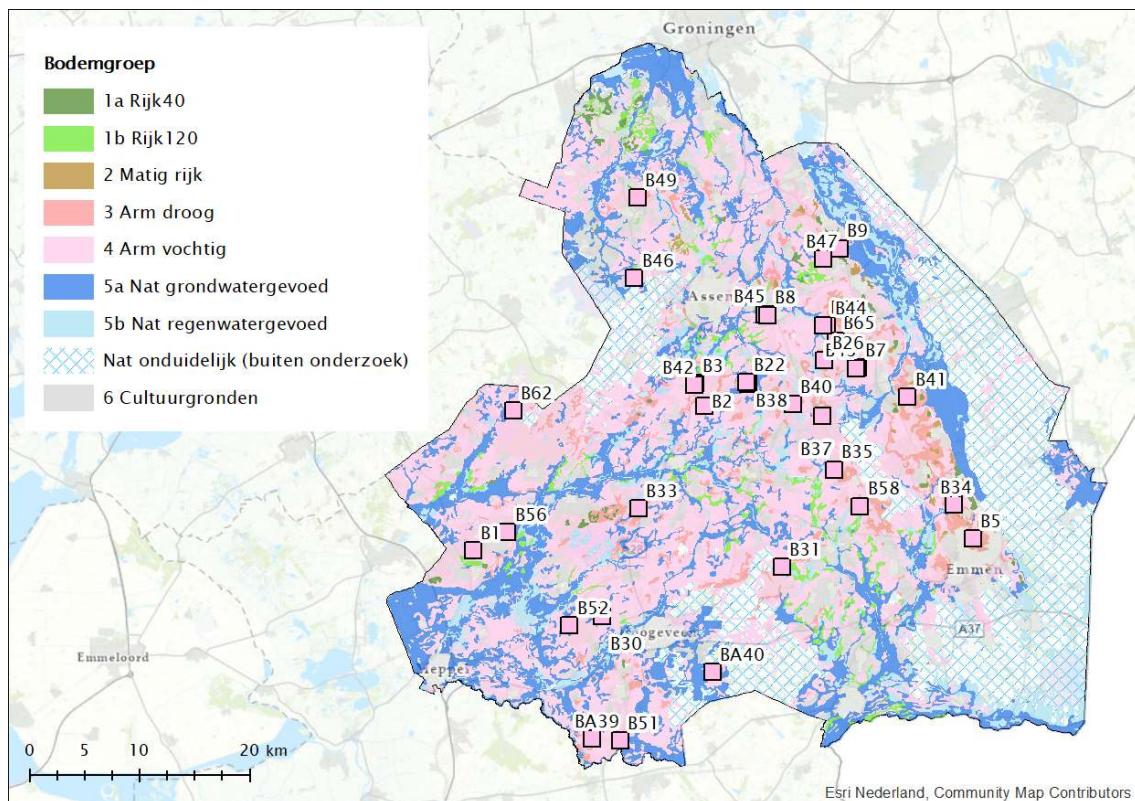
5.2.1 Ligging

Deze bodemgroep ligt veelal op de vlakkere delen van het Drents plateau of in relatief hooggelegen laagten (slenken). De onderzoekslocaties clusteren vooral in het centrale deel van Drenthe, waar voorheen grootschalige heidegebieden lagen (Figuur 5–7). Figuur 5–6 geeft een impressie van het bos. De hypothese is dat ze weliswaar vochtig zijn, vanwege



dieper liggende keileem, maar door het ontbreken van grondwater zijn ze zuur en voedselarm. Door het eeuwenlange intensieve landgebruik (plaggen, begrazen, branden etc.) en latere milieuproblematiek (verdroging, stikstofdepositie) zijn dit kwetsbare groeiplaatsen geworden.

Figuur 5–6: Impressie van het bos op bodemgroep 4 Arm vochtig.



Figuur 5–7: Ligging van de 34 onderzoekslocaties van de categorie B-bossen op bodemgroep 4: Arm vochtig. Voor de ligging van de bodemgroep in de landschappelijke gradiënt van Drenthe, zie 4.5 .

5.2.2 Geologie en bodem

Op 41% van de locaties kwam binnen 2,2m diepte keileem in de ondergrond voor. Het waren in hoofdzaak veldpodzolgronden (Figuur 5–8). Deze ontstaan door infiltratie van regenwater, waarbij 's winters de waterstanden relatief hoog staan. Door sterk schommelende grondwaterstanden kan ook een sterke uitloging hebben plaatsgevonden.



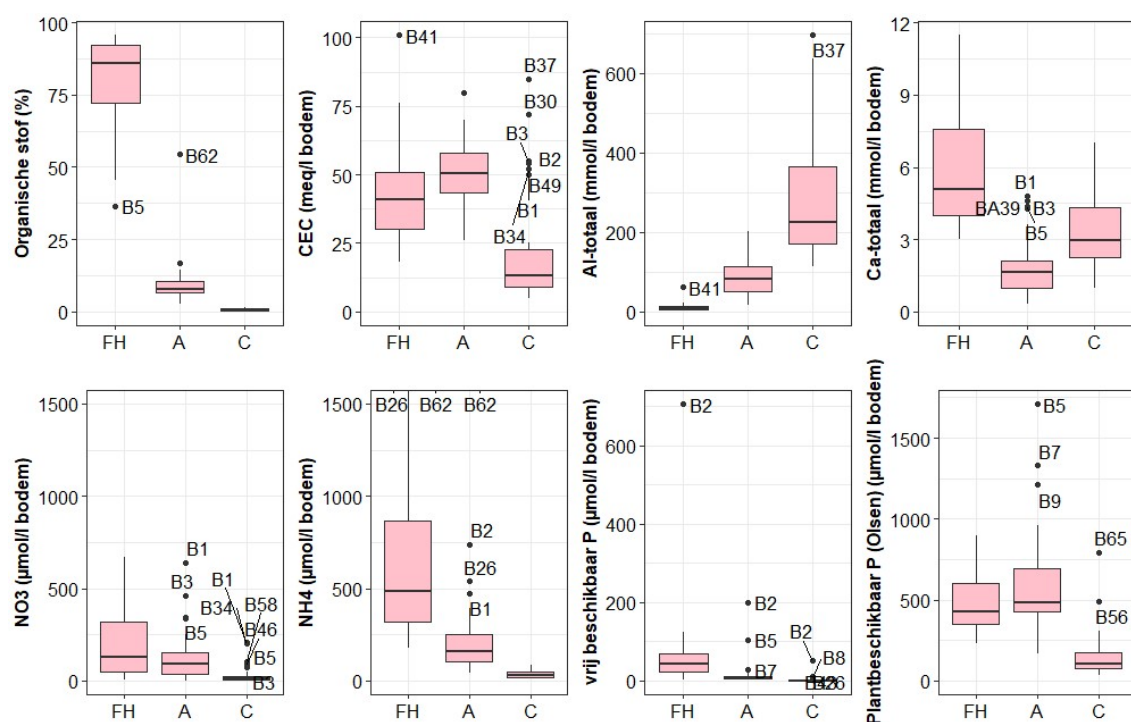
Figuur 5–8: Bodemprofiel van een veldpodzolgrond

5.2.3 Hydrologie

Alle 34 onderzochte locaties zijn verdroogd: de gemeten waterstanden zijn lager dan de referentie-GLG van 120 cm onder maaiveld. Bij 25 locaties kon zelfs geen waterstand worden gemeten omdat het boorgat van 220 cm diepte droog stond.

5.2.4 Bodemchemie

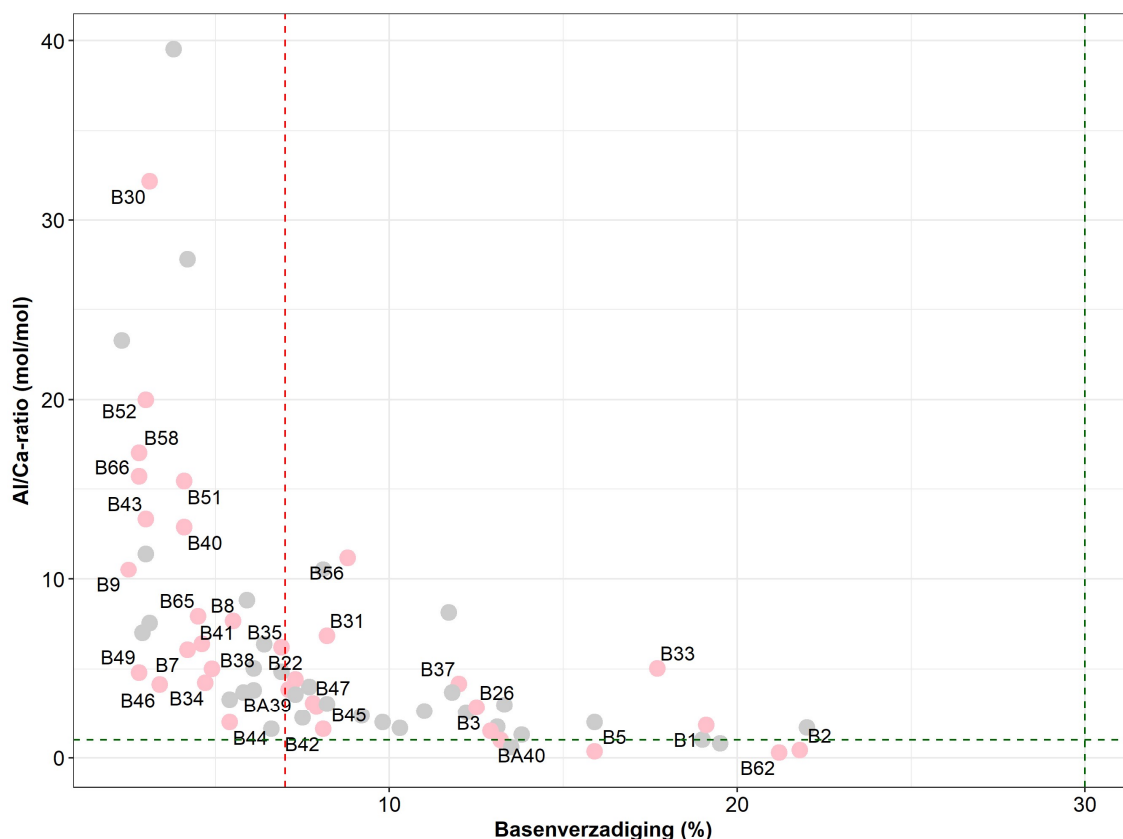
Op bijna alle locaties in deze bodemgroep werd zoals verwacht een FH-laag aangetroffen. Het organische-stofpercentage in de A-horizont was laag met gemiddeld 10% (Figuur 5–9). Op locatie B62 bestond de A-horizont uit veen met een hoog organische-stofpercentage van 54%. Op de andere 33 locaties bestond de A-horizont uit leemarm tot (zeer) zwak leemhoudend zand met totaal-Al concentraties van 30 tot 203 mmol/l bodem. De C-horizont is duidelijk leemrijker dan de A-horizont en lokaal zelfs sterk leemrijk met hoge totaal-Al concentraties en een hoge CEC zoals op locatie B30 en B37. Het totaal-Ca gehalte in de C-horizont was over het algemeen hoger ten opzichte van het totaal-Ca gehalte in de A-horizont, maar zo minimaal dat er geen sprake is van een duidelijke calciumvoorraad in de diepere ondergrond.



Figuur 5-9: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO₃), ammonium (NH₄), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH n=33, A n=34 en C n=34). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

Wat betreft de bodembuffering werd in de A-horizont een lage basenverzadiging gemeten van slechts 3 tot 22% (Figuur 5-10), veel lager dan op basis van de bodemgroep verwacht wordt. Op maar liefst 18 van de 34 locaties werd een basenverzadiging in de A-horizont gemeten die ook voor zure bostypen te laag was (<7%). Ook de Al/Ca-ratio in de A-horizont was over het algemeen hoog met 0,3 tot 32,2 mol/mol.

De nitraat- en ammoniumconcentraties in de A-horizont waren niet opvallend hoog of laag met gemiddeld 130 µmol/l nitraat en 260 µmol/l ammonium. Locatie B62 valt op vanwege een zeer hoge ammoniumconcentratie in de A-horizont van 2192 µmol/l bodem, mogelijk is dit een gevolg van mineralisatie van de venige toplaag. De FH-laag was over het algemeen rijker aan ammonium dan nitraat met gemiddeld 658 µmol/l ammonium tegen 203 µmol/l nitraat. De voor planten beschikbare fosfaatconcentratie varieerde van 168 tot 768 µmol/l Olsen-P in de A-horizont en was hoog op locatie B5, B7 en B9 met Olsen-P concentraties van 1210 tot 1711 µmol/l bodem.



Figuur 5-10: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 4: Arm vochtig (roze stippen) in de A-horizont. De groene stippellijn geeft de ondergrens van 30% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 1 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep. De rode stippellijn geeft de basenverzadigingsgrens weer van 7% waaronder het ook voor van nature zure bostypen te zuur is. De grijze stippen zijn de monsterpunten in andere bodemgroepen in de B-bossen.

5.2.5 Vegetatie

De dominante boomsoort binnen deze bodemgroep bestaat uit: Amerikaanse eik, douglas, fijnspar, grove den, ruwe berk, beuk, Japanse lariks, sitkaspar, tamme kastanje of zomereik en winteriek. Overige gegevens die zijn verzameld gaan over soortenaantallen van planten, mossen en stuks doodhout in het proefvlak (Tabel 5-2).

Tabel 5-2: Aantal planten- en mossoorten en dood hout, gemiddelde van 34 locaties.

Overige kenmerken	Aantal
Plantensoorten kruidlaag	4
Mossoorten	2
Stuks dood hout 10-30 cm	4
Stuks dood hout > 30 cm	1

5.2.6 Conclusies bodemgroep 4: Arm vochtig

- De bodembuffering was over het algemeen laag en op de helft van de locaties zelfs te laag voor zure bostypen. De A-horizont was duidelijk minder gebufferd dan verwacht op basis van de bodemgroep.

- Stikstof en fosfaat in de bodem is niet opvallend hoog of laag, er is wel sprake van ophoping van stikstof in de FH-laag.

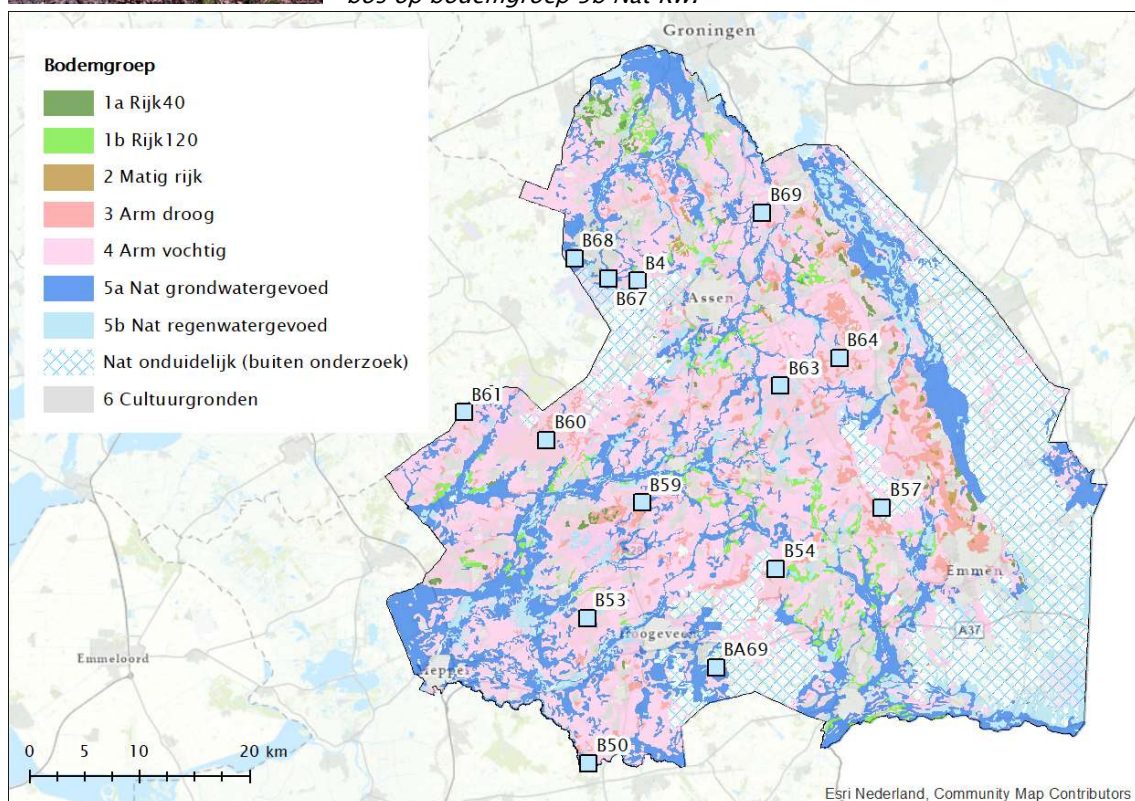
5.3 5b: Nat RW

5.3.1 Ligging

Deze groeiplaats komt voor in geïsoleerde terreindepressies, vaak op een slechtdoorlatende ondergrond (verkitte B-horizont door inspoeling van ijzer en humus). Figuur 5-12 toont de ligging van de onderzoekslocaties verspreid over Drenthe. De hypothese is dat dit de meest voedselarme en zure groeiplaatsen zijn, omdat er nauwelijks mineralen beschikbaar zijn vanuit de ondergrond (Figuur 5-11).



Figuur 5-11: Impressie van het categorie-B-bos op bodemgroep 5b Nat RW.



Figuur 5-12: Ligging van de 14 onderzoekslocaties van de categorie B-bossen op bodemgroep 5b: Nat RW. Voor de ligging van de bodemgroep in de landschappelijke gradiënt van Drenthe, zie 4.7 .

5.3.2 Geologie en bodem

De locaties liggen allemaal in terreindepressies, waarin in het verleden veenvorming heeft plaatsgevonden. Door het graven naar turf en latere ontwatering is het veenpakket in dikte afgenomen. Bodemkundig gezien zijn het daarom geen veengronden meer, maar worden ze moerpodzolgrond genoemd (Figuur 5-13). De bovengrond is zover gemineraliseerd dat er geen veenresten meer herkenbaar zijn. Ze zijn gevormd op een podzol, ontstaan door infiltratie van regenwater. De bodems waren voorafgaand aan de veenvorming al zo zuur dat inspoeling van amorf humus en onder andere ijzer en aluminium heeft geleid tot verkitting. Ze zijn daarmee slechtdoorlatend en zorgen voor stagnatie van regenwater. Op bijna de helft van de locaties zit keileem in de ondiepe ondergrond, wat het vernattingsproces ongetwijfeld heeft bevorderd. Toen deze plekken werden bebost, zijn er daarom sloten of greppels gegraven om het regenwater te kunnen afvoeren en daarmee bosaanleg mogelijk te maken.



Figuur 5-13: Bodemprofiel van een moerpodzolgrond: een dunne (<40 cm) veenbodem. In het geval van de categorie B-bossen is deze (rest)veenlaag sterk geoxideerd door verdroging als gevolg van ontwatering. Het veenpakket was voorafgaand aan oxidatie (en vermoedelijk turfsteken) dikker waardoor de bodems behoorden tot 'echte' veengronden (veenpakket >40 cm).

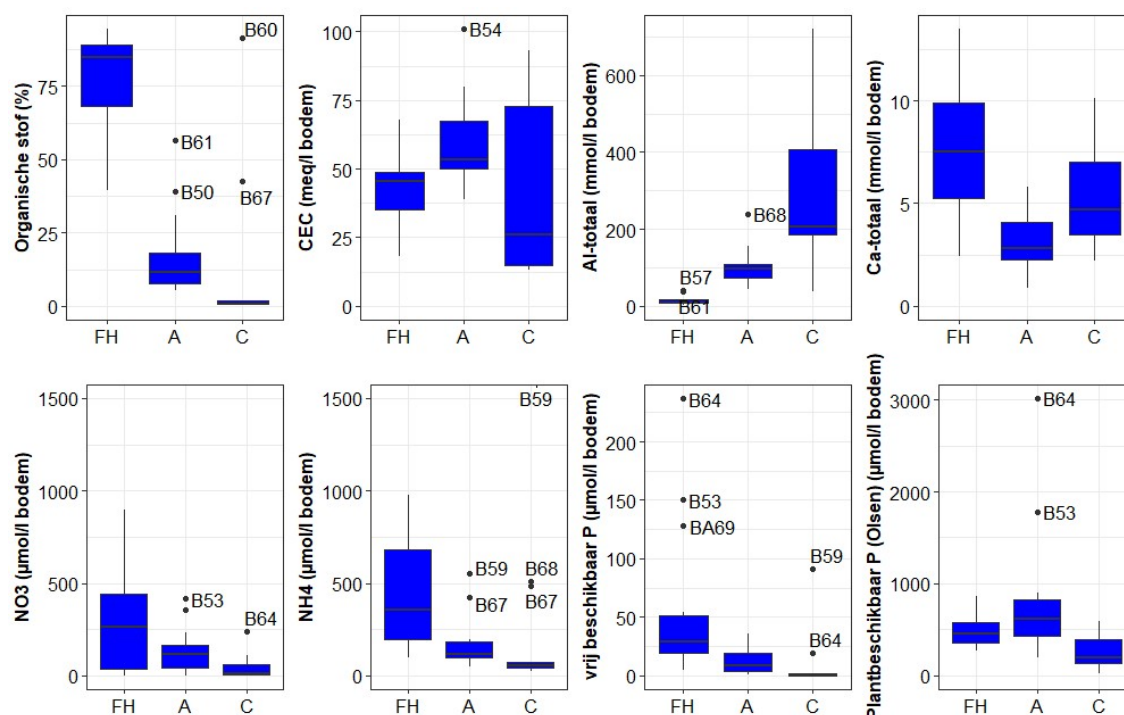
5.3.3 Hydrologie

Van de 14 onderzochte locaties lijkt er één hydrologisch op orde, hier was de waterstand ten tijde van het veldonderzoek aan maaiveld (mei 2022). Kanttekening is dat niet bekend is wat de waterstand ten tijde van de GLG-periode is of wat de samenstelling van het water is. De overige locaties zijn sowieso verdroogd met gemeten waterstanden van 55 cm-mv tot zelfs dieper dan 220 cm-mv. De referentie-GLG voor veengronden is 30 cm-mv.

5.3.4 Bodemchemie

Uit bovenstaande paragraaf is gebleken dat van echt venig bodems geen sprake meer is. In deze bodemgroep werd op alle locaties een FH-laag aangetroffen en vindt er dus ophoping van strooisel plaats. De A-horizont is op drie locaties nog venig op basis van hoge organische-stofpercentages van 31 tot 57% (B50, B54 en B61; Figuur 5-14). Op de andere 11 locaties bestaat de bodem uit zand of sterk veraard veen met organische-stofpercentages van 5 tot 20% en relatief lage totaal-Al concentraties van 43 tot 240 mmol/l bodem. De C-horizont is over het algemeen zwak tot sterk lemig met totaal-Al concentraties van 93 tot

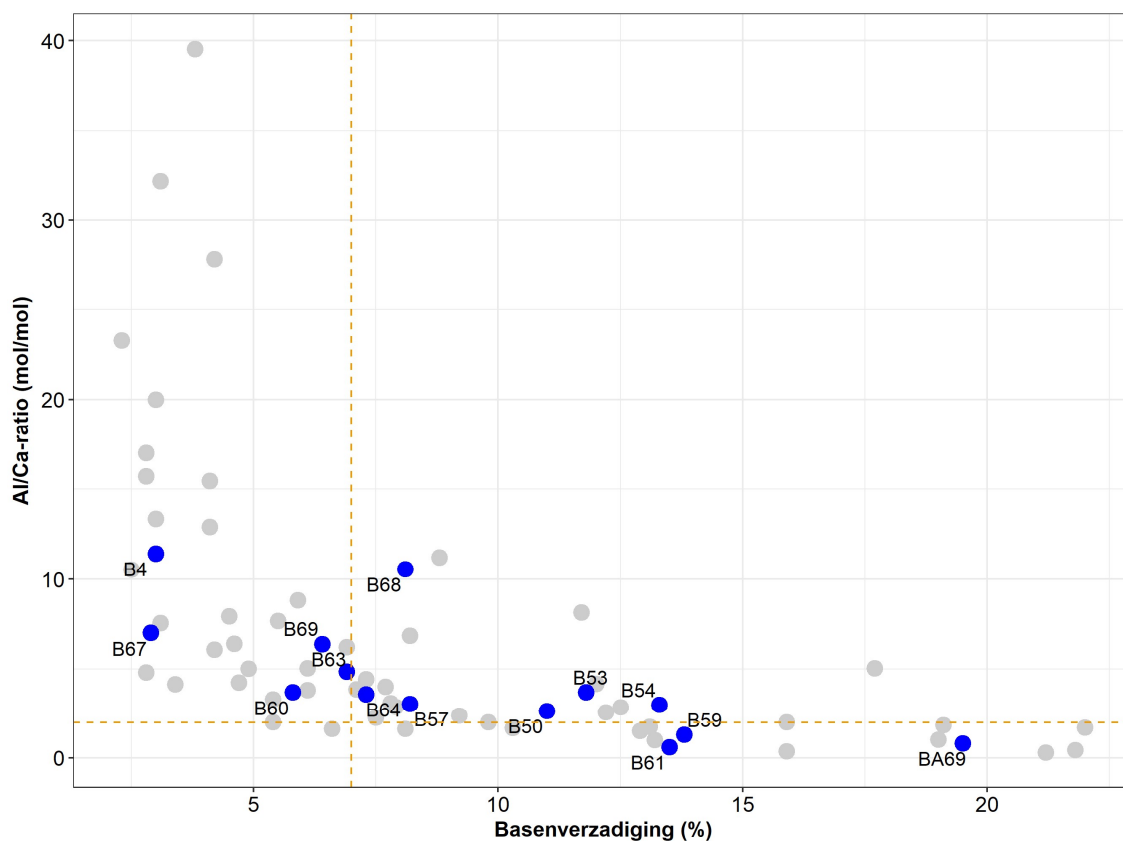
721 mmol/l bodem. Op locatie B60 en B67 was de C-horizont venig met 42 en 91% organische-stof. Het totaal-Ca gehalte in de C-horizont was over het algemeen hoger ten opzichte van het totaal-Ca gehalte in de A-horizont, maar zo minimaal dat er geen sprake is van een duidelijke calciumvoorraad in de diepere ondergrond.



Figuur 5-14: Boxplots van het organische-stofpercentage, de CEC, de totaal-Al, totaal-Ca, nitraat (NO₃), ammonium (NH₄), vrij beschikbaar P en plantbeschikbaar P (Olsen) concentraties per bodemlaag (FH n=14, A n=14 en C n=13). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

De A-horizont was zuur tot zwak gebufferd met een basenverzadiging van 7 tot 20% (Figuur 5-14). Op 5 van de 14 locaties werd een basenverzadiging in de A-horizont gemeten die ook voor zure bostypen te laag was (<7%). De Al/Ca-ratio in de A-horizont varieerde van 0,6 tot 11,4 mol/mol en was op 11 van de 14 locaties hoger dan 2 mol/mol. Wat betreft de bodembuffering voldoet het merendeel van de locaties binnen deze bodemgroep aan de verwachting met een basenverzadiging tussen de 7 en 30%, maar was de Al/Ca-ratio over het algemeen aan de hoge kant.

De nitraat- en ammoniumconcentraties in de A-horizont waren niet opvallend hoog of laag met gemiddeld 139 µmol/l nitraat en 172 µmol/l ammonium (Figuur 5-14). De FH-laag was over het algemeen rijker aan ammonium dan nitraat met gemiddeld 454 µmol/l ammonium tegen 298 µmol/l nitraat. De voor planten beschikbare fosfaatconcentratie varieerde van 213 tot 896 µmol/l Olsen-P in de A-horizont en was hoog op locatie B53 en B64 met Olsen-P concentraties van 1778 en 3014 µmol/l bodem. Ook de totaal-P concentratie was relatief hoog op deze twee locaties met 8 en 12 mmol/l bodem in de A-horizont.



Figuur 5-14: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in bodemgroep 5b: Nat RW (blauwe stippen) in de A-horizont. De stippellijn geeft de ondergrens van 7% basenverzadiging weer en de Al/Ca-ratio van 2 mol/mol die verwacht wordt in deze bodemgroep. De grijze stippen zijn de monsterpunten in andere bodemgroepen in de B-bossen.

5.3.5 Vegetatie

De volgende hoofdboomsoorten zijn in de vakken aangetroffen: fijnspar, grove den, ruwe berk, zachte berk, beuk, Japanse lariks, reuzenzilverspar, sitkaspar en zwarte els. Het is opvallend dat de eiken het vaak zwaar hebben op deze groeiplaatsen. Overige gegevens die zijn verzameld gaan over soortenaantallen van planten, mossen en stuks doodhout in het proefvlak. Ze zijn per bodemgroep gemiddeld (Tabel 5-3).

Tabel 5-3: Aantal planten- en mossoorten en dood hout, gemiddelde van 14 locaties.

Overige kenmerken	Aantal
Plantensoorten kruidlaag	4
Mossoorten	2
Stuks dood hout 10–30 cm	4
Stuks dood hout > 30 cm	1

5.3.6 Conclusies bodemgroep 5b: Nat RW

- Bodemkundig gezien bevatten de onderzoekslocaties geen veengronden meer, maar moerpodzolgronden. De bovengrond is zover gemineraliseerd dat er vrijwel geen veenresten meer herkenbaar zijn.
- Wat betreft de bodembuffering voldoet het merendeel van de locaties binnen deze bodemgroep aan de verwachting met een basenverzadiging tussen de 7 en 30%, maar was de Al/Ca-ratio over het algemeen aan de hoge kant.
- Stikstof en fosfaat in de bodem is niet opvallend hoog of laag, er is wel sprake van ophoping van stikstof in de FH-laag.

5.4 Synthese categorie B

In Tabel 5-4 is een samenvatting van de resultaten per bodemgroep weergegeven, waarbij een vergelijking is gemaakt met het referentiekader uit hoofdstuk 3. De bodemgroepen die van vocht afhankelijk zijn (3 en 4) zijn (sterk) verdroogd. De helft van de locaties van bodemgroep 3: Arm droog en 4: Arm vochtig zijn te zuur. Bij 5b: Nat RW is de Al/Ca-ratio te hoog. De concentraties stikstof en fosfor zijn redelijk volgens verwachting, maar er is wel ophoping in de strooisellaag. Deze aangeplante heidebebossingen bestaan overwegend uit (uitheemse) naaldbomen, waardoor het vegetatiebeeld divers is.

In alle bodemgroepen is de Al/Ca-ratio te hoog en de basenverzadiging zeer laag. Op diverse locaties is een verassend hoog aandeel fosfor gemeten. Fosfor komt nauwelijks via depositie binnen en is waarschijnlijk op de droge en vochtige gronden een gevolg van bosbemesting. In de archiefstukken is frequent melding gemaakt van bemesting, waaronder compost van de Vuil Afvoer Maatschappij in Wijster (V.A.M). Voor de natte gronden kan dit ook een gevolg zijn van verdroging, dat zich uit in veenmineralisatie. Hierbij komt organisch fosfor vrij.

Tabel 5-4 Samenvatting per bodemgroep. In rood zijn de resultaten weergegeven die niet corresponderen met de referentiekaders uit hoofdstuk 3.

		Bodemchemie		
Bodemgroep	Hydrologie	Buffering	Voedselrijkdom	Hoofdboomsoort
3: Arm droog	n.v.t.	Zuur tot zwak gebufferd, helft locaties te zuur voor zure bostypen	N of P niet opvallend hoog of laag, ophoping N in FH	Overwegend (uitheemse) naaldbomen
4: Arm vochtig	Alle locaties verdroogd	Zuur tot zwak gebufferd, helft locaties te zuur voor zure bostypen	N of P niet opvallend hoog of laag, ophoping N in FH	
5b: Nat RW	1 locatie op orde, rest verdroogd	Zuur tot zwak gebufferd, Al/Ca-ratio te hoog	N of P niet opvallend hoog of laag, ophoping N in FH	

6. Overkoepelend beeld bodemgroepen

Hoofdstuk 4 en 5 gaven een beschrijving per bodemgroep per categorie. Voorliggend hoofdstuk gaat in op een aantal bodemgroep-overkoepelende analyses. Enerzijds zijn hierbij de bodemgroepen met elkaar vergeleken, maar ook is de indeling van de bodemgroepen losgelaten. Dit biedt de kans om te zien welke relaties er verder zichtbaar zijn tussen de bodem, chemie, vegetatie en microbiom.

6.1 Categorie A

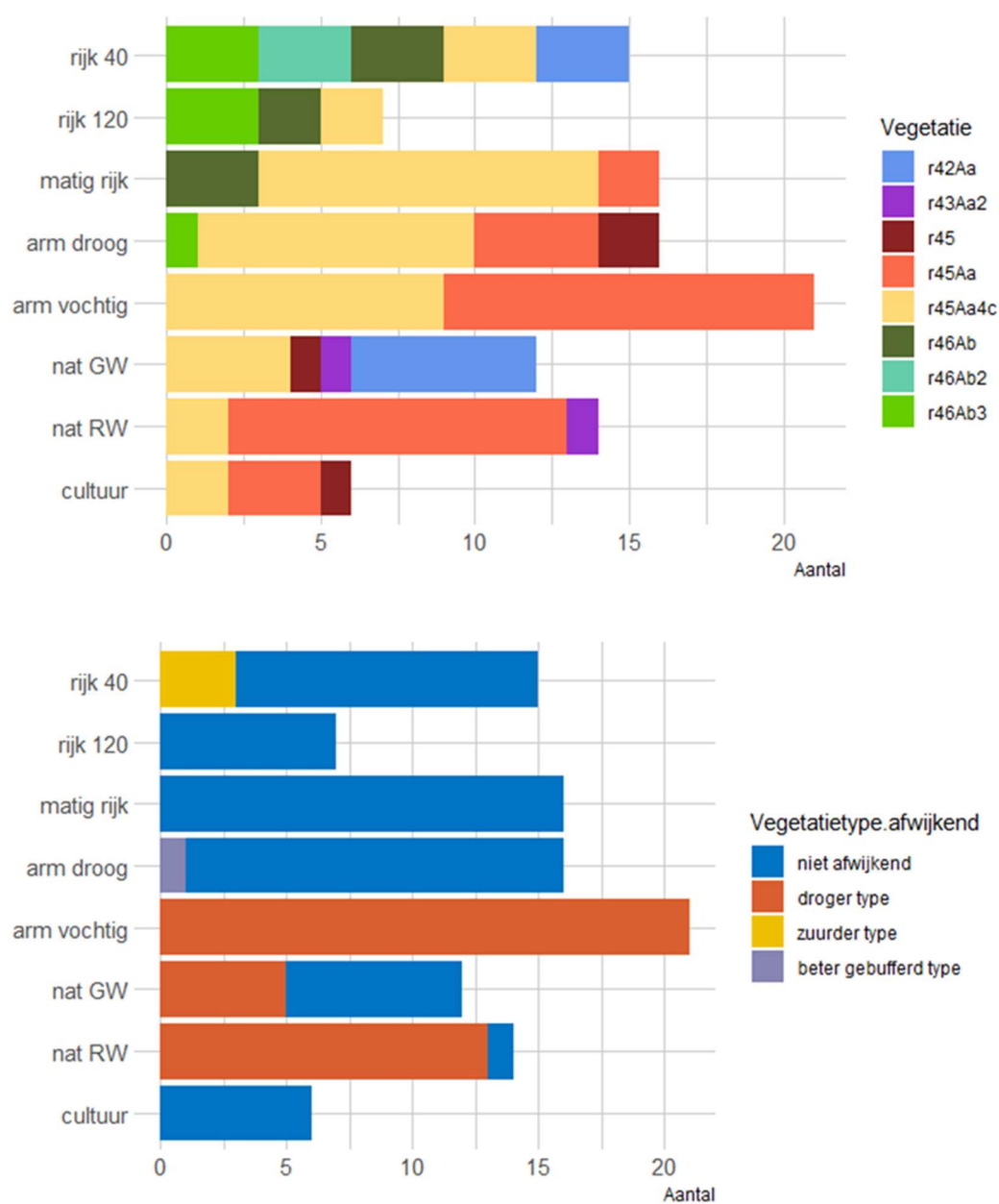
6.1.1 Vegetatie

Vegetatietypen en mate van verzuuring

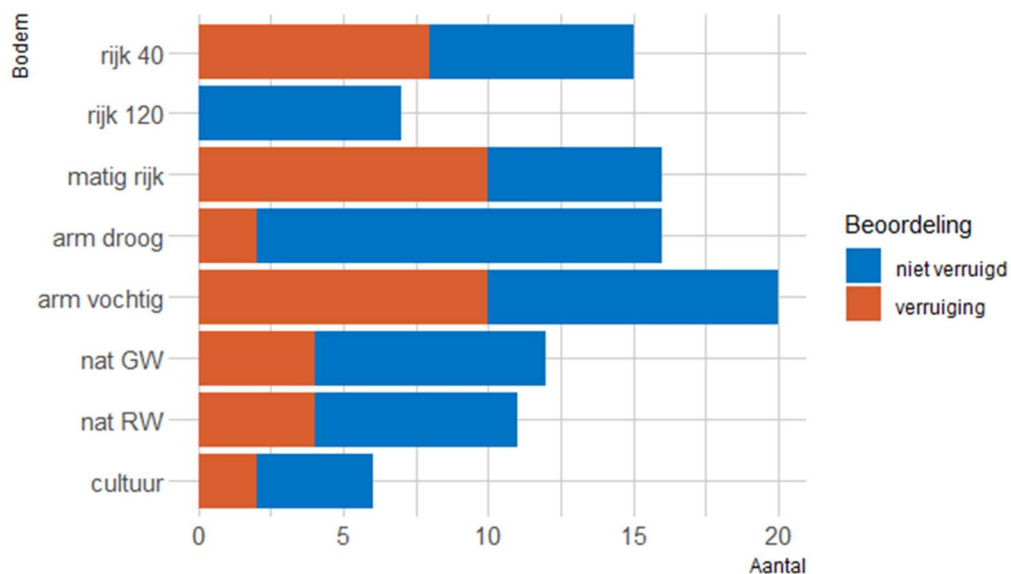
Hoofdstuk 4 beschreef per bodemgroep welke vegetatietypen er zijn waargenomen op de onderzoekslocaties. Figuur 6-1 geeft een overkoepelend overzicht van de voorkomende vegetatietypen bij alle bodemgroepen. Daarnaast is in de onderste figuur in Figuur 6-1 weergegeven in hoeverre die typen overeenkomen met de verwachting. Er is te zien dat bij bodemgroep 4: Arm vochtig en bij de natte bodemgroepen (5, zowel regenwater- als grondwatergevoed) veel vegetatieopnamen (bij bodemgroep 4 zelfs alle opnamen) wijzen op drogere vegetatietypen dan verwacht zou worden. Dit wijst op verdroging van de bodemgroepen. In bodemgroep 1a: Rijk 40 is ook een aantal zuurdere vegetatietypen aanwezig dan van nature verwacht.

De indeling in vegetatietypen zegt nog niets over de mate van vegetatieverzuuring. De bossen uit categorie A werden daarom ook ingedeeld in verzuurde en niet-verzuurde bostypen (voor de methode zie Bijlage 1). Hierbij werden het voorkomen van doelsoorten en het voorkomen van verzuuringsindicatoren als criteria gebruikt. Figuur 6-1 toont het voorkomen van verzuurde bossen op de verschillende bodemgroepen. Voor drie bodemgroepen (1a: Rijk 40, 2: Matig rijk en 4: Arm vochtig) is de helft van de onderzochte locaties verzuurd. Ook bij de overige bodemgroepen, behalve 1b: Rijk 120, is een deel van de locaties verzuurd. De verzuuring heeft in een deel van de gevallen geleid tot een verschuiving naar een ander, vaak droger en/of zuurder vegetatietype (zie Figuur 6-1). In een aantal gevallen heeft het (nog) niet geleid tot een ander vegetatietype maar simpelweg tot een soortenarm type met verzuuring.

Ook blijkt uit Figuur 6-2 dat juist de wat rijkere gronden gevoelig zijn voor verzuuring. Waarschijnlijk bevatten de mineraalrijke bodems wat meer fosfor (P). Zonder stikstofdepositie is stikstof (mede) groei limiterend en werkt dit niet verzuurend. Maar door stikstofdepositie neemt de stikstofbeschikbaarheid toe en door verzuring wordt calcium gebonden fosfaat gemobiliseerd. Het verhoogde aanbod van zowel stikstof als fosfaat leidt dan tot verzuuring.



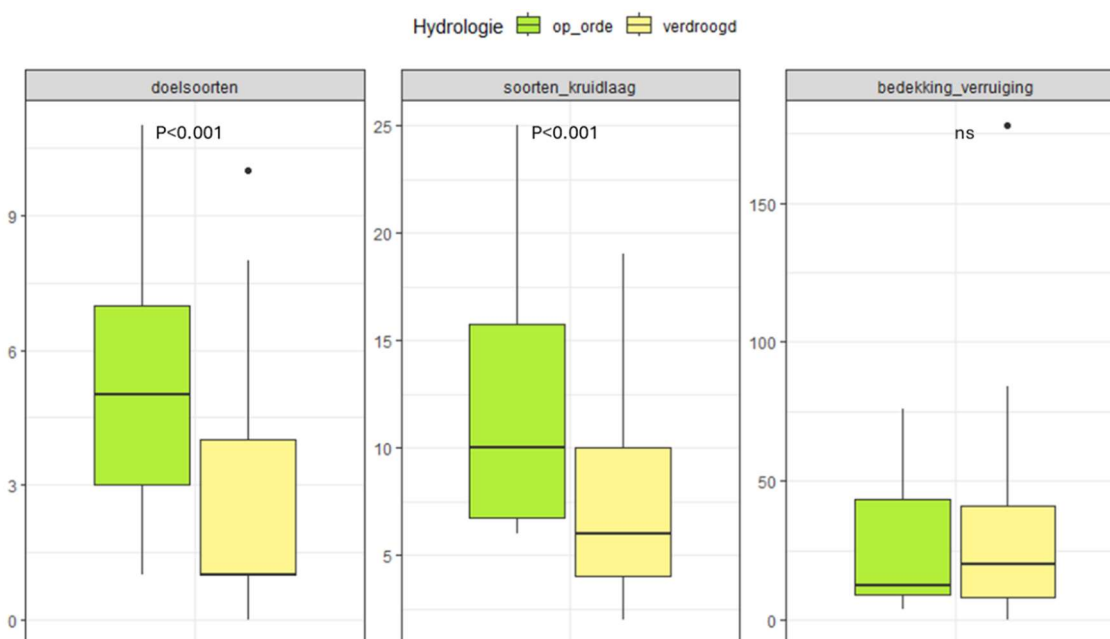
Figuur 6-1: Boven: verdeling van vegetatietypen bij de diverse bodemgroepen (r42Aa = Elzenzegge-elzenbroekbos, r43Aa2 = Berkenbroekbos, r45 en r45Aa = Eikenbos, r45Aa4c = Beuken-eikenbos, r46Ab1 en r46Ab2 en r46Ab3 zijn Eiken-haagbeukenbossen). Onder: voor elk van de vegetatietypen is aangegeven op welke manier deze vegetatietypen afwijkend zijn ten opzichte van wat werd verwacht.



Figuur 6-2: Indeling van verruigde en niet verruigde vegetatieopnamen in categorie A bossen verdeeld over de bodemtypen.

Vegetatie in relatie tot verdroging

Bovenstaande figuren impliceren dat verdroging een belangrijke rol speelt. Voor de (wissel)vochtige en natte bossen (bodemgroepen 4: Arm vochtig, 5a: Nat GW en 5b: Nat RW) werd daarom ingeschat of deze hydrologisch op orde waren of niet, en dus of de grondwaterstanden in winter en zomer voldoende hoog waren voor de ontwikkeling van het bij de standplaats behorende bostype. Het aantal doelsoorten en het totaal aantal soorten in de bossen die hydrologisch op orde zijn blijkt inderdaad significant hoger te zijn dan in de bossen die niet hydrologisch op orde zijn (Figuur 6-3).



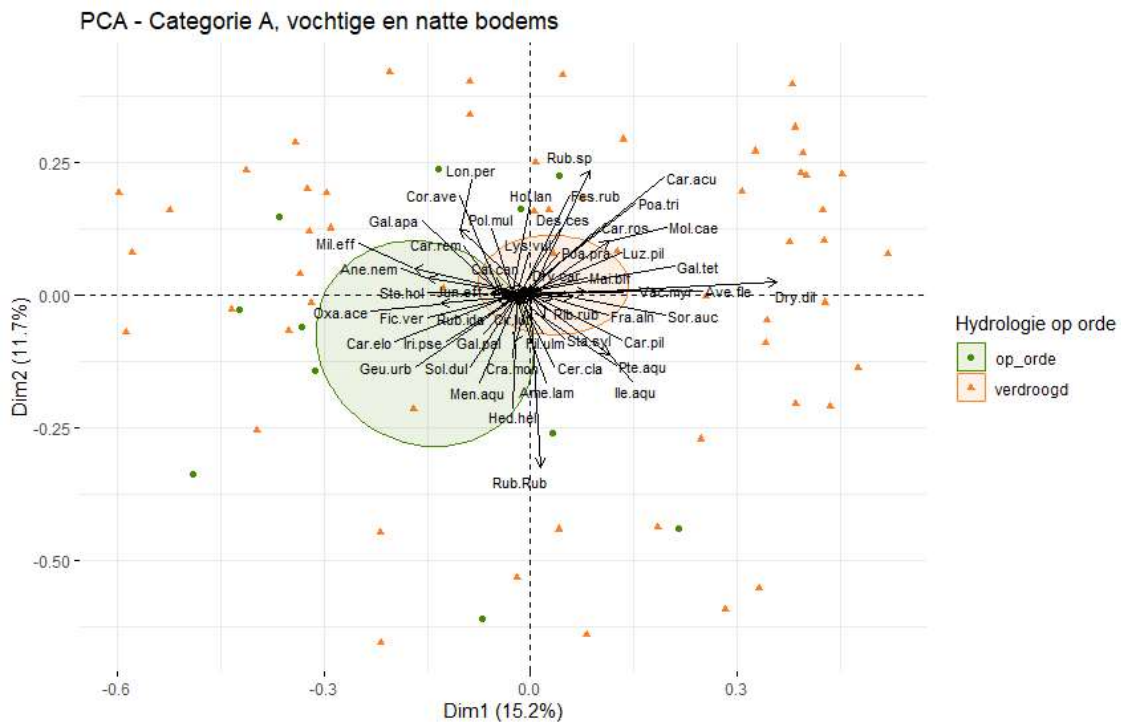
Figuur 6-3: Het aantal doelsoorten, soorten in de kruidlaag en de mate van verruiging (in percentage bedekking) in de bossen die hydrologisch op orde zijn en in de bossen die hydrologische niet op orde zijn voor de (wissel)vochtige en natte bodemgroepen (4, 5a en 5b).

De mate van verruiging in de vochtige bossen werd berekend op basis van bedekking van verruigende soorten zoals braam, brandnetel en stekelvaren. Het lijkt erop dat bossen door verdroging niet meteen verruigen (daar is namelijk ook licht voor nodig) maar vooral soortenarm worden. Dit zien we ook in de figuren: het aantal doelsoorten bij verdroogde bossen is significant lager. De bedekking verruiging is hier niet significant hoger dan in bossen waar de hydrologie op orde is. Van de vochtige bossen waarin de hydrologie op orde is werd 33% beoordeeld als verruigd. Van de bossen waar de hydrologie niet op orde is (verdroogd) wordt 37% beoordeeld als verruigd. Deze percentages zijn niet significant verschillend. Deze laatste beoordelingen zijn alleen in de vochtige en natte bossen gedaan waarvoor hydrologische status is bepaald, ze zeggen niets over de drogere bossen.

De verdroging lijkt dus vooral te resulteren in een afname van soorten. De mate van verruiging wordt voor een deel veroorzaakt door verdroging maar kennelijk is ook een andere variabele sturend. De combinatie van verdroging en hogere lichtbeschikbaarheid kan in deze dataset niet worden onderzocht. Verderop wordt duidelijk dat er wel een sterke relatie met voedselrijkdom is.

Verruiging in relatie tot verzuring en vermisting

Naast verdroging speelt de verzuring en vermisting ook een rol waarbij de verdroging ook kan resulteren in een extra verzuring en verruiging van de vegetatie. Het belang van buffering tegen verzuring blijkt ook uit de positieve relatie die gevonden is tussen het aantal doelsoorten en aantal soorten in de kruidlaag en het voorkomen van kalk in de bodem (zie). Vermisting wordt met name veroorzaakt door de input van extra stikstof en in sommige gevallen door interne eutrofiering (afbraak van organisch materiaal bijvoorbeeld). Het effect van stikstofdepositie kon worden getoetst in deze bossen. Uit deze analyse blijkt dat het

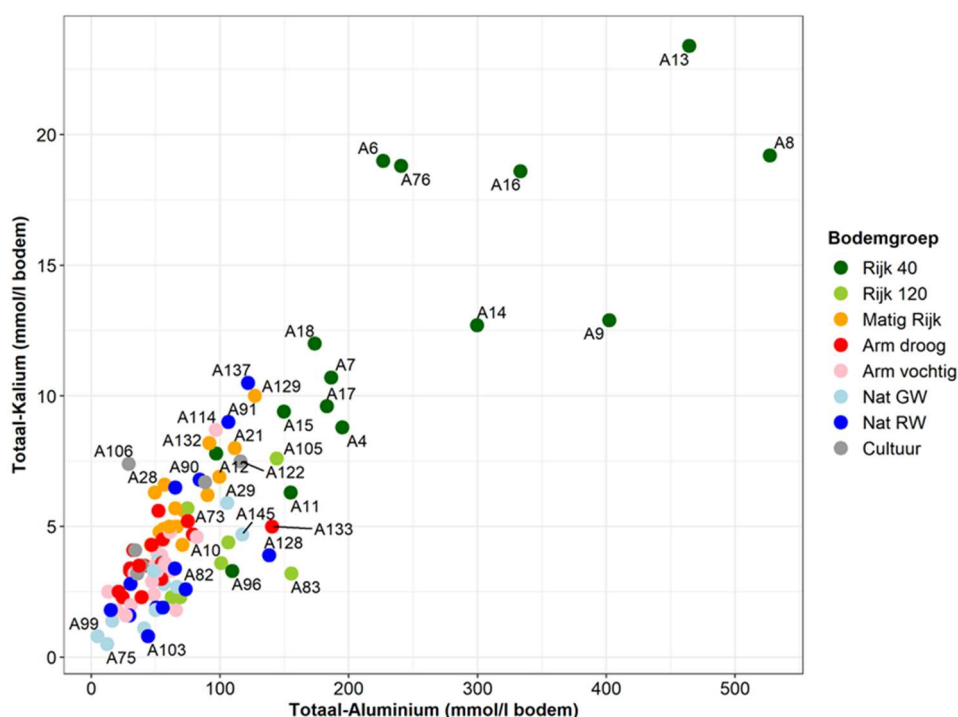


Figuur 6-5: PCA na transformatie van de vegetatiedata (Hellinger) voor de oude bossen in categorie A op vochtige en natte bodems. De locaties zijn gegroepeerd op het hydrologisch oordeel (expert judgement). Cultuurgronden zijn wederom niet meegenomen in deze PCA. Deze classificering is significant verschillend ($p=0.003$, permanova test). Dim1 = eerste as, Dim2 = tweede as.

6.1.2 Bodemchemie

Leemfractie, organische stof en CEC

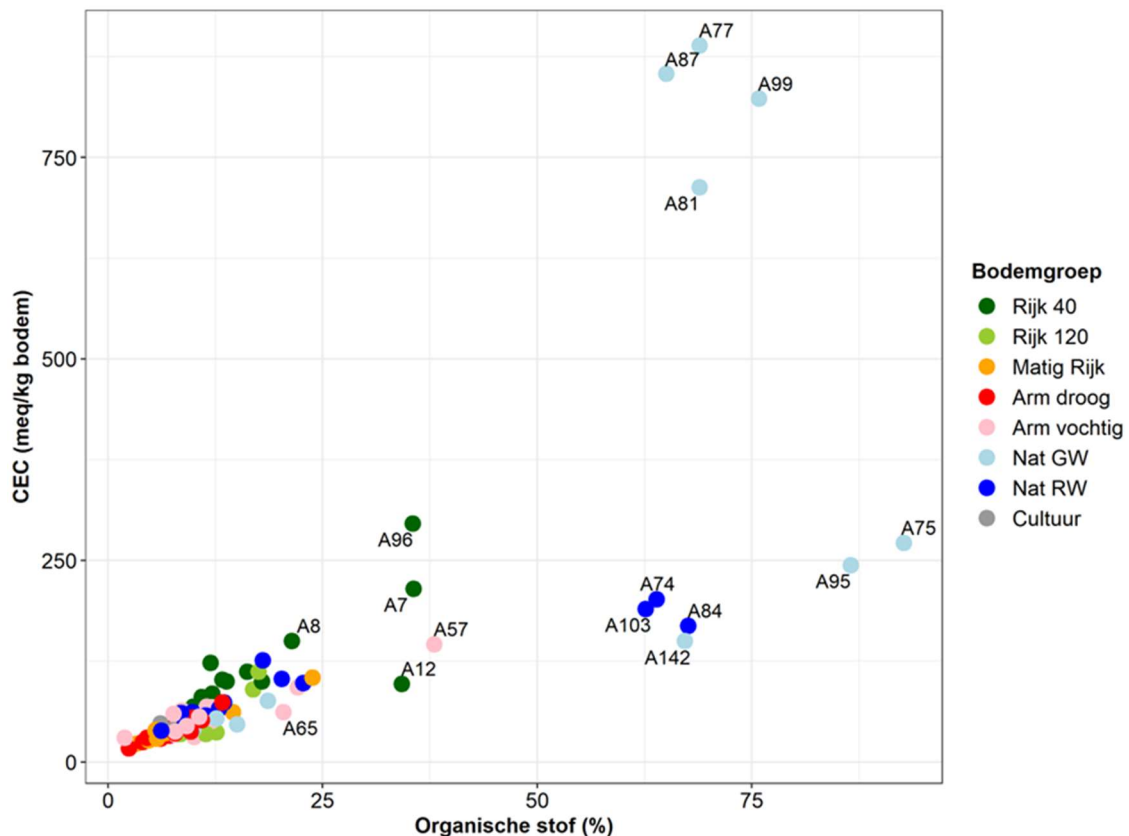
Op basis van de verschillende bodemgroepen wordt een duidelijke variatie in bodemopbouw en bodembuffering verwacht. In de A-horizonten is een duidelijke variatie zichtbaar in bodemopbouw (venig/organisch, leemhoudend, zeer zandig). Hoe hoger de totaal kalium- en aluminiumconcentraties, hoe leemhoudender een bodem over het algemeen is (Figuur 6-6). Met name binnen de bodemgroep 1a: Rijk 40 werd zoals verwacht een duidelijke leemfractie gemeten (> 200 mmol totaal Al/l bodem). De bodemgroepen 2: Matig rijk, 3: Arm droog en 4: Arm vochtig hebben lage totaal-Al concentraties variërend van 13 tot 140 mmol/l bodem en behoren daarmee tot de (licht lemige) zandbodems. Bodemgroep 1b: Rijk 120 zit wat leemfractie betreft, zoals verwacht, tussen de zandige en de leemhoudende bodems in.



Figuur 6-6: Concentratie totaal aluminium uitgezet tegen de concentratie totaal kalium in mmol/l bodem gemeten door middel van een destructie in de A-horizont per bodemgroep.

In Figuur 6-7 is het percentage organische stof uitgezet tegen de Cation Exchange Capacity (CEC). De veenbodems (binnen bodemgroepen 5a: Nat GW en 5b: Nat RW) hebben zoals verwacht meer dan 50% organische stof in de A-horizont. Binnen deze twee groepen is ook een aantal locaties met een duidelijk lager organische stofpercentage van minder dan 25%. Uit bovenstaande paragrafen is gebleken dat een groot deel van deze locaties verdroogd zijn en de toplaag bestaat uit een (sterk) veraarde veenlaag of opgebracht zand. Verder valt op dat ook binnen de bodemgroep 1a: Rijk 40 en 4: Arm vochtig enkele locaties in de toplaag ook wat weinig zijn met organische stofpercentages tussen de 25 en 40%.

De CEC is een belangrijke maat voor de grootte van het bodemadsorptiecomplex, en daarmee voor de verzuringsgevoeligheid van een bodem. Bodems met een grote CEC kunnen veel inkomend zuur bufferen, maar zijn bij verzuring ook moeilijker weer te herstellen. Bodems met een lage CEC zijn gevoelig voor verzuring maar vaak ook makkelijker weer op te laden met basen. Een lage CEC is vaak gekoppeld aan arme zandgronden, en een hoge CEC aan leemhoudende of organische bodems. Ook hier zijn de relaties tussen de bodemgroepen duidelijk zichtbaar. De zandbodems hebben een lage CEC (<70 meq/kg bodem). De leemhoudende en organische bodems hebben een hogere CEC (respectievelijk 80-300 meq/kg bodem) (Figuur 6-7). De verwachting was dat bodemgroep 2: Matig rijk een grotere CEC zou hebben dan bodemgroep 3: Arm droog en 4: Arm vochtig, dat verschil is echter niet te zien in de gegevens. Het gaat hier echter wel om de A-horizont, in de C-horizont zijn deze verschillen nog wel (deels) zichtbaar met een wat hogere CEC in groep 2: Matig rijk (tussen de 10 en 30 meq/kg bodem) en totaal-Al-concentraties tussen de 200 en 400 mmol/l bodem; vergeleken met 3: Arm droog met een CEC rond de 10 meq/kg bodem in de C-horizont en totaal Al-concentraties rond de 200 mmol/l bodem.

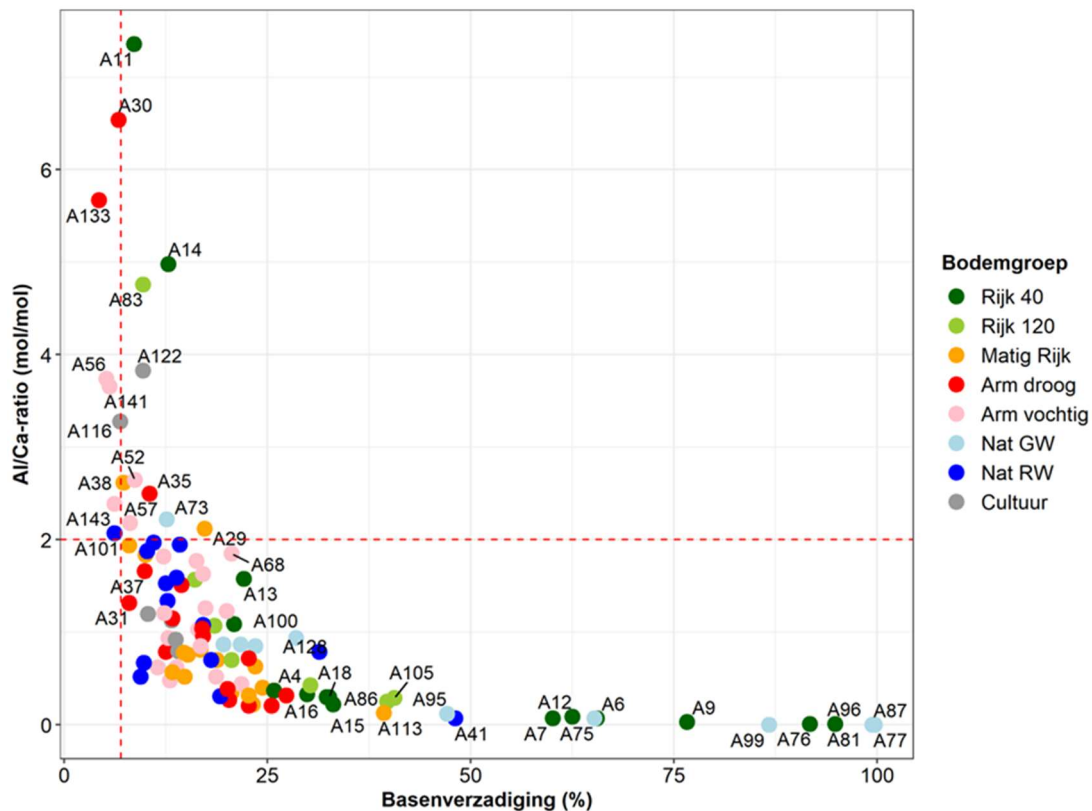


Figuur 6-7: Percentage organische stof (gemeten via gloeiverlies) uitgezet tegen de Cation Exchange Capacity (CEC) in meq/kg bodem, bepaald door middel van een strontiumextractie, in de A-horizont per bodemgroep.

Bodembuffering

De basenverzadiging is het percentage van de CEC dat bezet is met basische kationen, die inkomende zuren kunnen bufferen. In 11 van de 105 bemonsterde bossen is de A-horizont duidelijk sterk gebufferd, met een hoge basenverzadiging (>50%) en zeer lage Al/Ca-ratio (<0,1 mol/mol) (Figuur 6-8). Dit zijn zoals verwacht met name locaties die vallen binnen de bodemgroepen 1a: Rijk 40 en 5a: Nat GW met een hoog aandeel leem in de bodem en/of invloed van (gebufferd) grondwater. Op het merendeel van de boslocaties (77 van de 105) varieerde de basenverzadiging in de minerale toplaag van 10 tot 30%, deze boslocaties vallen daarmee binnen de zuur tot zwak gebufferde bostypen. In slechts zeven van de bemonsterde bossen is de bodembuffering ook voor zure bostypen te laag met een basenverzadiging lager dan 7%. De bodemgroepen 2: Matig rijk, 3: Arm droog, 4: Arm vochtig en 5b: Nat RW vallen wat betreft basenverzadiging en Al/Ca-ratio binnen dezelfde ranges en zijn dus niet sterk onderscheidend van elkaar in de A-horizont. In andere woorden: de oorspronkelijke verschillen tussen basenarme en zeer basenarme bodems zijn sterk uitgevlakt door de verzuring; al deze bodems zijn nu vrijwel even verzuurd. Met name van bodemgroep 2: Matig rijk werd een hogere buffering verwacht. Wel werd in de ondergrond een hoger aandeel aan basische kationen van kalium (K) en magnesium (Mg) gemeten. Voor droge bossen geldt dat de aanvoer van basen vooral via bomen verloopt (wortelopname, bladgroei, bladval), en de afvoer vooral via uitspoeling plaatsvindt. De verhouding tussen beide zal op elke plek

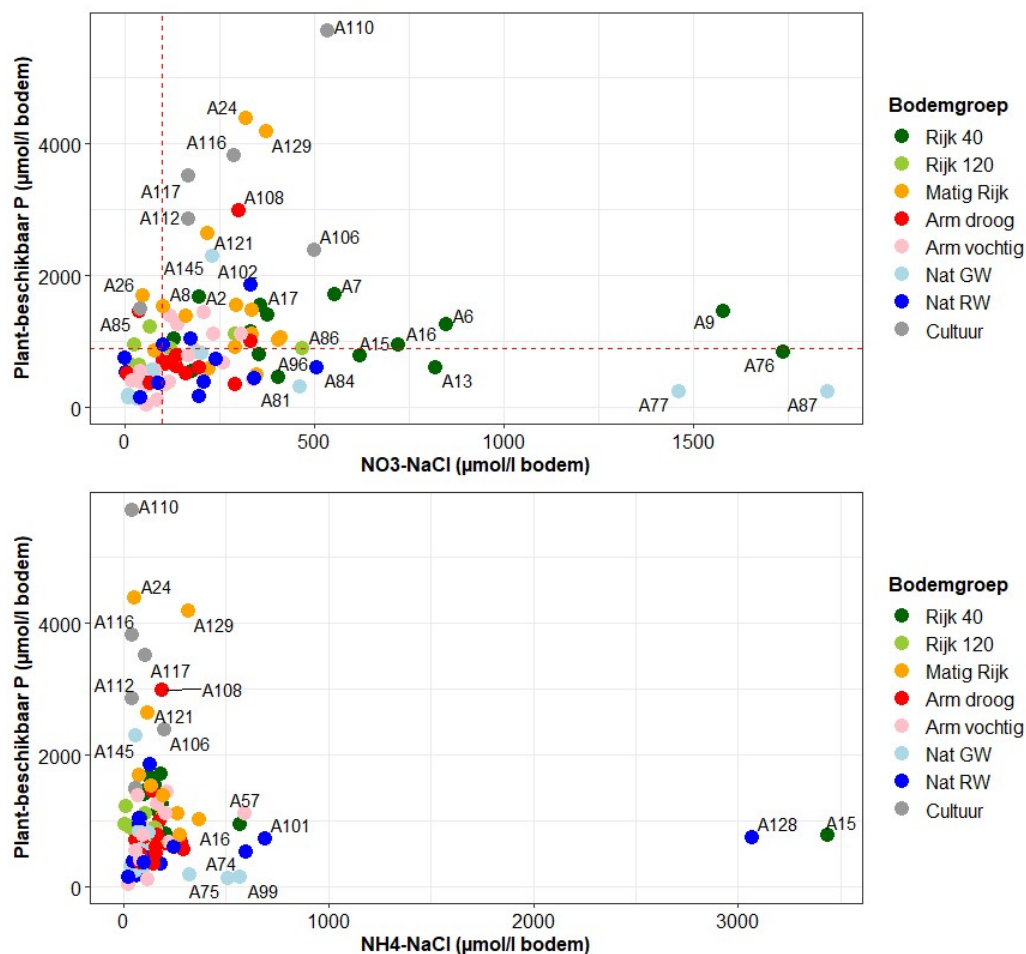
anders zijn en onder meer afhankelijk zijn van de basenvoorraad in de ondergrond, de boomsoort, de humusafbraak en het neerslagoverschot onder het kronendak.



Figuur 6-8: Relatie tussen de basenverzadiging (%) en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol per bodemgroep in de A-horizont. De rode stippellijnen geven de 7% basenverzadigingsgrens weer en de Al/Ca-ratio van 2 mol/mol.

Voedselrijkdom

In de A-horizont zijn over het algemeen stikstofconcentraties gemeten tot 500 $\mu\text{mol/l}$ nitraat (NO_3) en 300 $\mu\text{mol/l}$ ammonium (NH_4) (Figuur 6-9). Op zes van de 105 locaties waren de concentraties zelfs zeer hoog (1.500 tot 2.000 $\mu\text{mol/l}$ nitraat en 2.500 tot 3.500 $\mu\text{mol/l}$ ammonium). Met name in de meer gebufferde bodems binnen de bodemgroepen 1a: Rijk 40 en 5a: Nat GW werden hogere nitraatconcentraties gemeten. Op 36 van de 105 locaties was ammonium (NH_4) de dominante stikstofvorm. In principe zou er in (natte) goed gebufferde systemen minder ophoping van stikstof moeten plaatsvinden. Echter is dat nu alleen te zien in bodemgroep 1b: Rijk 120. Voor bodemgroep 1a: Rijk 40 en 5a: Nat GW is er ook die verwachting, maar dat wordt niet gemeten. Dat er in meerdere seizoenen en meerdere jaren is gemeten, speelt daarin mogelijk een rol.



Figuur 6-9: Relatie tussen de concentraties $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ gemeten in het zoutextract (NaCl) en de concentratie plant-beschikbaar P gemeten in het Olsen-extract in $\mu\text{mol/l}$ bodem per bodemgroep in de A-horizont. De rode stippellijnen geven de nitraatgrens weer van $100 \mu\text{mol/l}$ bodem en de fosfaatgrens van $900 \mu\text{mol/l}$ bodem Olsen-P.

Door het verliezen van deze stikstoflimitatie is fosfaatlimitatie een grotere rol gaan spelen in de verzuiging van bossen. Deze kan gemeten worden als plant beschikbaar fosfaat (Olsen-P), of beter nog als vrij beschikbaar fosfaat (P-NaCl). In het geval van fosfaatlimitatie is de plant-beschikbare P-concentratie in bossen onder de $800\text{--}900 \mu\text{mol}$ Olsen-P/l en de vrij beschikbare P-concentratie onder de $5\text{--}10 \mu\text{mol/l}$.

In van oorsprong zeer zure bodems met een zeer laag totaal P gehalte ($< 3 \text{ mmol/l}$) is er sprake van een duidelijke fosfaatlimitatie, doordat het vrij beschikbaar fosfaat hier aan aluminium gebonden wordt. Echter, veel bosbodems zijn recent verzuurd of nog volop aan het verzuren. Tijdens dit proces wordt juist fosfaat gemobiliseerd (o.a. aan Ca-gebonden P komt in oplossing). Dergelijke verzurende bodems kennen dus momenteel zowel geen fosforlimitatie als stikstoflimitatie. Dit maakt de weg vrij voor verzuiging met soorten als stekelvarens, bramen, bochtige smele en in mindere mate ook kamperfoelie, vuilboom en pijpenstrootje. Ook gaat dit gepaard met een sterke reductie van het aantal mycorrhizapaddenstoelen en ook satijnzwammen (waarneming E. Brouwer). In de Drentse drogere bossen vindt voldoende fosforlimitatie vooral nog plaats op de bodems met het laagste totaal fosforgehalte (bodemgroep 3: Arm droog) en op lemige/kleiige bodems die

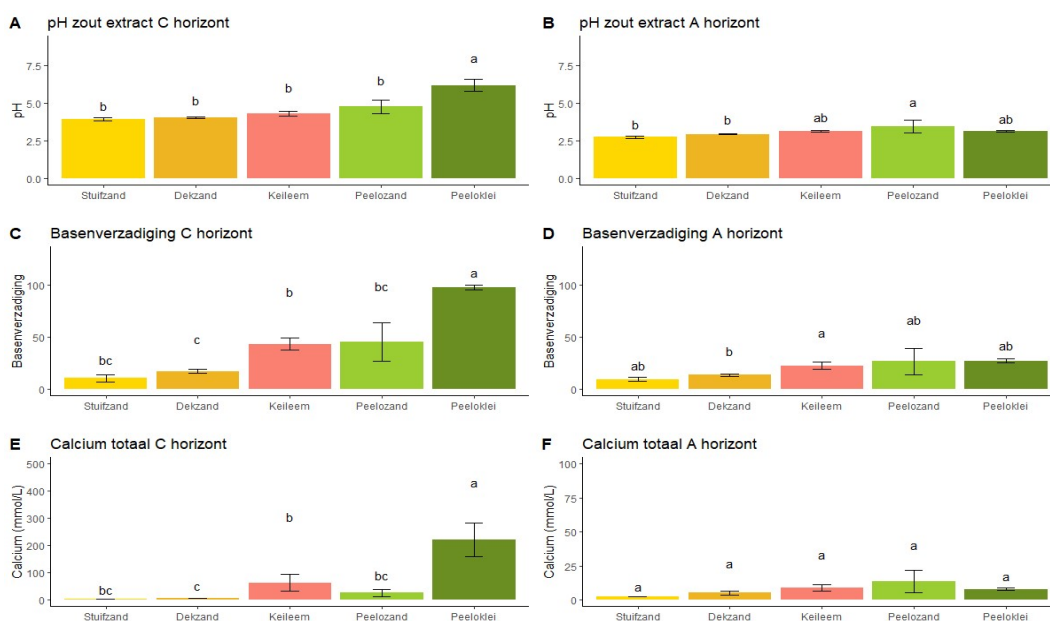
veel calcium en ijzer bevatten die fosfaat kunnen binden (met name in bodemgroep 1a: Rijk 40 en 1b: Rijk 120).

Er werden in de A-horizont Olsen-P-waarden gemeten van 30 tot 5710 $\mu\text{mol/l}$ bodem met een gemiddelde van 1049 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Figuur 6–9). Op tien van de 105 locaties werden zeer hoge Olsen-P concentraties gemeten van 2295 tot 5710 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Dit waren met name locaties in bodemgroep 6: Cultuur met een landbouwkundig verleden en de bodemgroep 2: Matig rijk. Verder zijn geen duidelijke verschillen gemeten tussen de bodemgroepen.

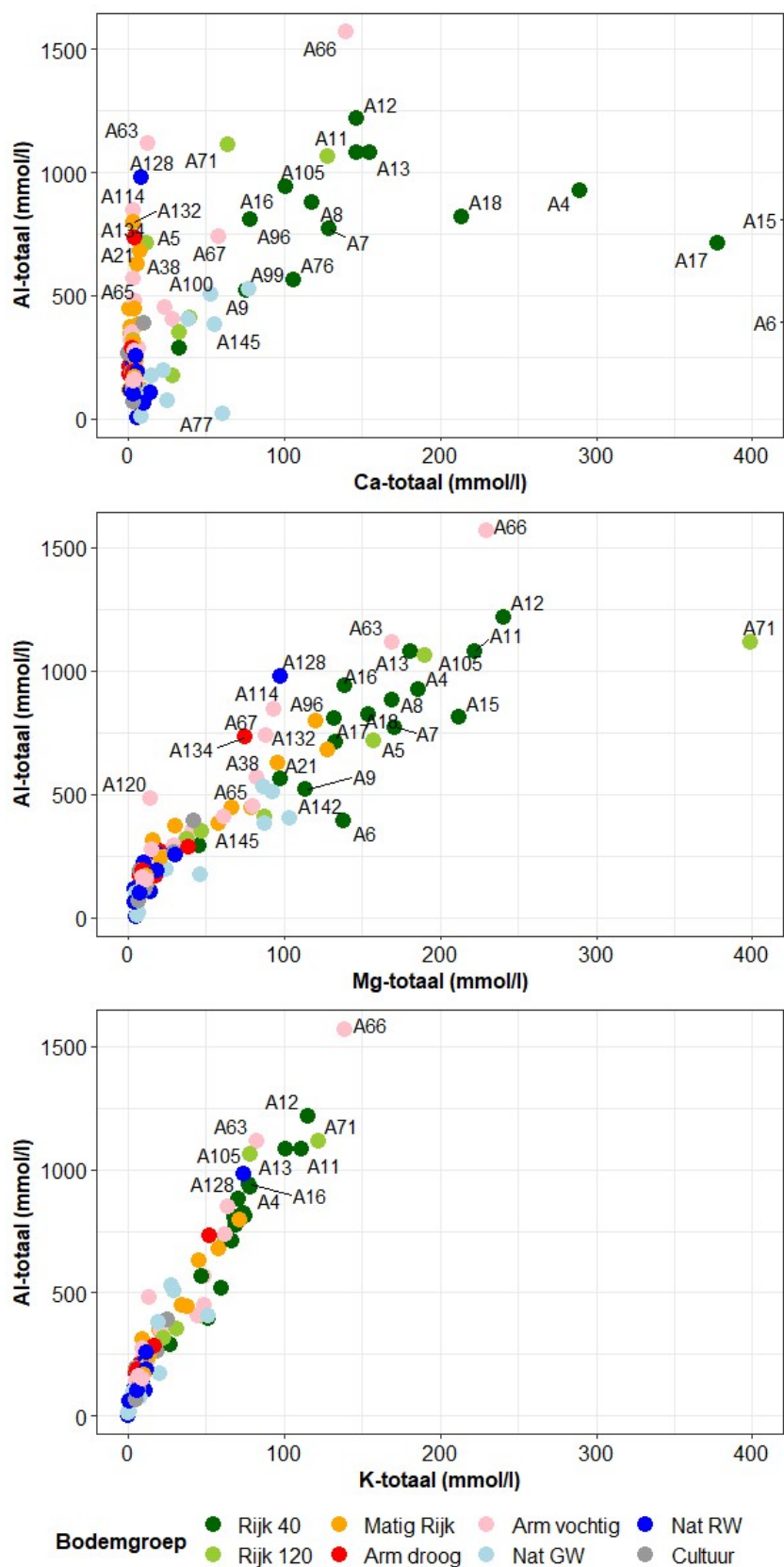
C-horizont (moedermateriaal)

In Figuur 6–10 zijn de C-horizonten ingedeeld op basis van de verschillende bemonsterde afzettingen. In dit figuur is te zien dat met name klei uit de Formatie van Peelo ('potklei') rijker is dan de overige substraten in de C-horizont met een hogere pH-NaCl, basenverzadiging en totaal Ca-concentratie. Keileem (Formatie van Drenthe) onderscheidt zich niet van dekzand en stuifzand (Formatie van Bختel) en zand uit de Formatie van Peelo, qua pH-NaCl. Keileem heeft wel een hogere basenverzadiging en totaal Ca-concentratie dan dekzand. In Figuur 6–10 is ook te zien dat de verschillen in afzettingen op basis van de C-horizont niet terug te zien zijn in de A-horizont. De grondsoort van de A-horizont is veelal afwijkend van het moedermateriaal (C-horizont), de toplaag boven Peeloklei is bijvoorbeeld vaak dekzand of keileem.

In Figuur 6–11 zijn de C-horizonten ingedeeld op basis van de bodemgroepen. In dit figuur is te zien dat zoals verwacht met name in de bodemgroepen met keileem (1a: Rijk 40, 1b: Rijk 120, 2: Matig rijk) de C-horizont rijk is aan magnesium, kalium en met name in bodemgroep 1a: Rijk 40 ook calcium. Lokaal werd binnen bodemgroep 4: Arm vochtig en 3: Arm droog ook een rijkere C-horizont aangetroffen.



Figuur 6–10: Links: pH(NaCl), basenverzadiging en totaal calciumgehalte van het moedermateriaal (C-horizont). Rechts: dezelfde parameters voor de toplaag boven het desbetreffende moedermateriaal (A-horizont).



Figuur 6-11: Concentratie totaal aluminium (Al) uitgezet tegen de concentratie totaal calcium (Ca), totaal magnesium (Mg) en totaal kalium (K) in mmol/l bodem gemeten door middel van een destructie in de C-horizont per bodemgroep.

6.1.3 Bodemmicrobioom

Dankzij de grote hoeveelheid aan data die zijn verzameld binnen dit project worden verbanden zichtbaar tussen de samenstelling van het microbioom, de bovengrondse vegetatie en de bodemchemie. Om de verbanden te ontrafelen zijn verschillende casussen gemaakt met onderzoeksvragen zoals: is er een verband tussen functionele groepen micro-organismen en de aanwezigheid van doelsoorten? De volledige rapportage van de uitkomsten van deze casussen zijn te vinden in bijlage 7. Hieronder volgen de meest opvallende resultaten.

Ondergrondse diversiteit van de Drentse bossen

Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat de bossen van Drenthe een grote diversiteit aan microbiologie bevatten, met de hoogste gevonden diversiteit in de rijke groeiplaatsen. In totaal zijn iets meer dan 100.000 unieke DNA sequenties geïdentificeerd. Hiervan zijn circa 62% afkomstig van bacteriën, circa 5% van archaea en 33% van schimmels. Bacteriën maken daarmee het grootste deel uit van de ondergrondse biodiversiteit.

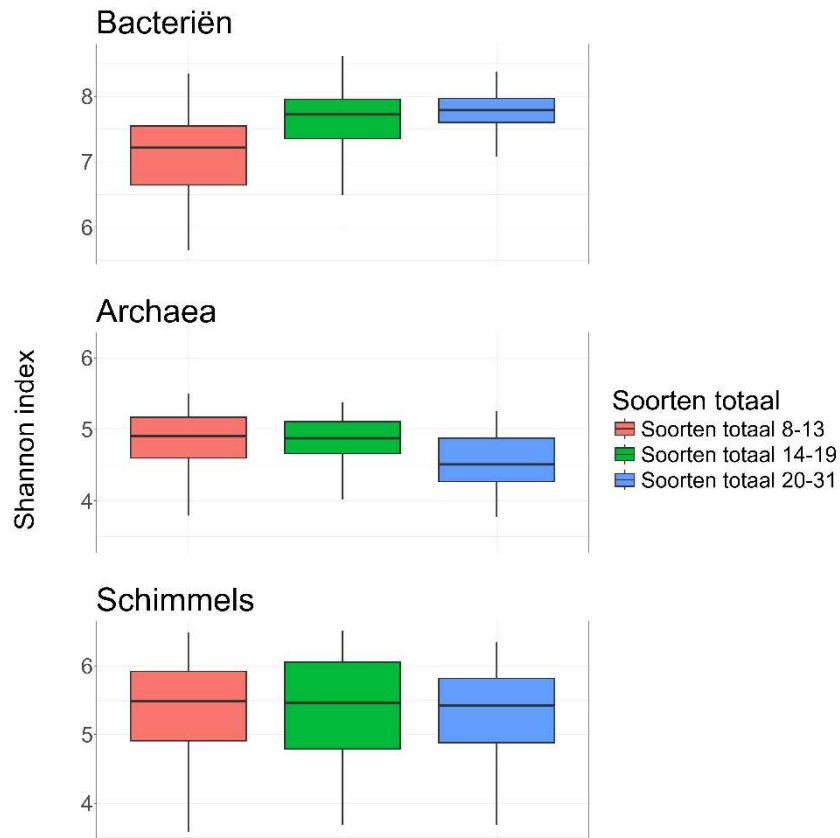
Schimmels en paddenstoelen

Voor het functioneren van bomen is bekend dat ectomycorrhiza schimmels een belangrijke rol vervullen. In de totale dataset worden maar liefst meer dan 60 geslachten aan ectomycorrhiza schimmels gevonden. Recente schattingen gaan er vanuit dat wereldwijd zo'n 250 geslachten van deze schimmels bestaan. In de onderzochte locaties worden 182 unieke soorten paddenstoelen aangetroffen. Verscheidene aangetroffen soorten zijn aangemerkt als zeer zeldzaam zijn of hebben de status ernstig bedreigd. Er zijn twee paddenstoelen met behulp van DNA opgespoord, waarvan werd aangenomen dat deze verdwenen waren uit Nederland. Het aantal paddenstoelensorten ligt in werkelijkheid nog hoger, maar nog niet alle gevonden soorten kunnen op dit moment met volledige zekerheid op naam worden gebracht. Van nog eens 100 schimmels uit de resultaten is de verwachting dat dit ook paddenstoelen zijn. Dit laat zien dat de Drentse bossen, zowel naald als loof, waardevolle habitatten zijn voor in Nederland voorkomende paddenstoelen.

De link tussen leven boven en onder de grond

De bovengrondse vegetatie heeft een duidelijk verband met de samenstelling van het bodemmicrobioom. Zo blijkt het totaal aantal gevonden plantensoorten en het aantal doelsoorten gelinkt aan de totale diversiteit van bacteriën en aan de groep denitrificerende bacteriën. Het is opvallend dat juist denitrificerende bacteriën, die stikstof uit de bodem verwijderen en afvoeren naar de lucht, positief correleren met het voorkomen van plantensoorten en in het bijzonder positief correleren aan doelsoorten. Daarnaast valt op dat het aandeel schimmels dat gespecialiseerd is in het afbreken van de strooisellaag hoger is in bodems met meer bovengrondse diversiteit en meer doelsoorten. De resultaten laten ook zien dat tussen verruigde en niet verruigde bossen verschillen in het microbioom te vinden zijn, vooral in bacteriële diversiteit en het aandeel denitrificerende bacteriën. Tezamen duidt dit erop dat de diversiteit van bacteriën en de aanwezigheid van denitrificerende bacteriën als indicator kunnen dienen voor de ecologische kwaliteit van bossen. Met name denitrificerende bacteriën lijken gecorreleerd aan belangrijke waarden zoals diversiteit van

de bovengrondse vegetatie (positieve correlatie) en de verruiging (negatieve correlatie) van bossen.

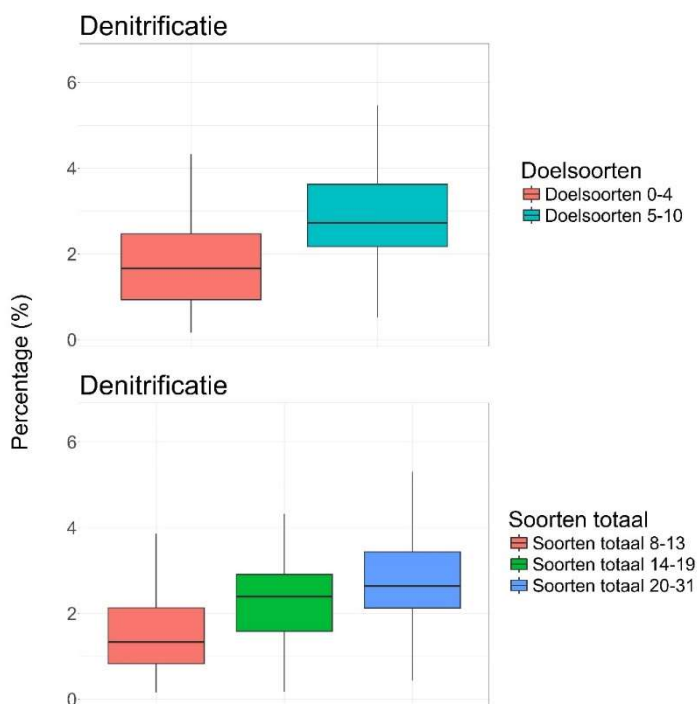


Figuur 6-12: De diversiteit van bacteriën, archaea en schimmels ingedeeld op basis van bovengrondse diversiteit van de vegetatie. Hierbij valt op dat een hogere diversiteit aan bacteriën wordt gevonden bij een hogere diversiteit van de vegetatie.

De link tussen vertering van de strooisellaag en bodemmicrobiologie

De vertering van strooisel is een complex samenspel van organismen, waarbij micro-organismen belangrijke rollen spelen. Schimmels zijn bijvoorbeeld in staat de recalcitrante structuren, zoals lignine van bladeren en dood hout, af te breken met een scala aan enzymen en de productie van krachtige radicalen. Ook bacteriën produceren enzymen, zoals cellulases om cellulose af te breken, dit is een van de hoofdbestanddelen van plantmateriaal. Uit de resultaten blijkt dat de beter verteerde humuslagen (mull) gemiddeld meer soorten bacteriën die lignine en cellulose af kunnen breken bevatten. Opvallend is dat de spreiding in aanwezigheid van deze bacteriën binnen de verschillende humuscategorieën groot is, met name een aantal locaties in de mormoder categorie bevatten hoge aandelen lignine afbrekende soorten. Deze locaties hebben mogelijk de potentie om een beter verteerde humuslaag te krijgen. Daarnaast zijn er locaties met weinig lignine afbrekende soorten, maar waar de humuslaag nog wel goed verteerd is. Mogelijk loopt de verteringscapaciteit hier achteruit. Zowel locaties met hoge aanwezigheid van verteerders, maar momenteel slecht

verteerde humus, als locaties met weinig verteerders, maar momenteel wel een goed verteerde humuslaag zijn interessant om te monitoren om te zien waarnaartoe de locatie zich ontwikkelt en of de aanwezigheid van micro-organismen van voorspellende waarde is voor deze ontwikkeling.



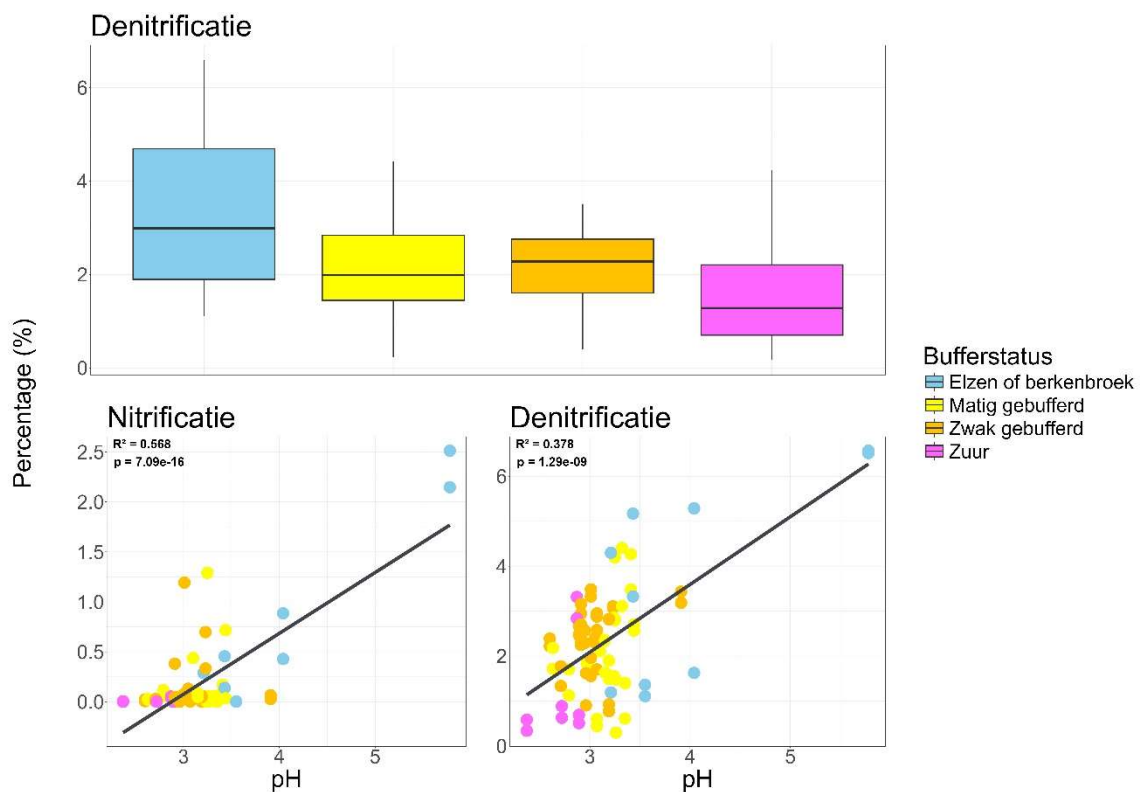
Figuur 6-13: Het aantal doelsoorten en totaal aantal gevonden plantensoorten uitgezet tegen de aanwezigheid van denitrificerende bacteriën. Bij een hoger aantal gevonden plantensoorten en doelsoorten, worden meer denitrificerende bacteriën aangetroffen.

Binnen het project zijn ook een heel aantal locaties met veenbodems. Veenbodems waar hoge aandelen afbrekende soorten worden gevonden zijn mogelijk onderhevig aan veenafbraak. Het is daarom positief dat de veenbodems gemiddeld de minste soorten bevatten die af kunnen breken. Desondanks lijkt afbraak van het veen bij een aantal locaties een risico, met name locatie A99 (Anloërdiep) en A77 (Het Waal) vallen op omdat deze zowel meer lignine afbrekende soorten als saprotrofe schimmels bevatten.

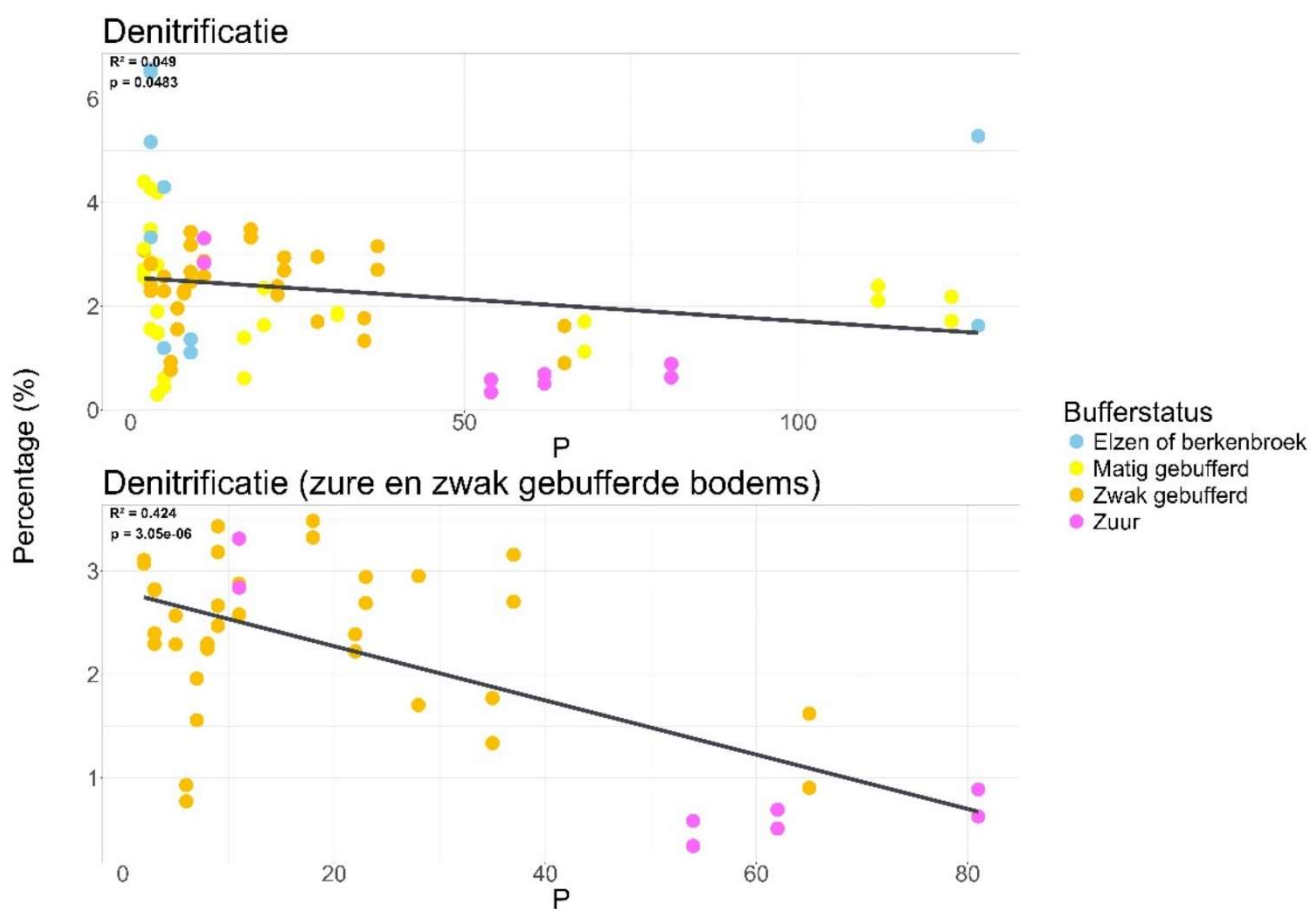
De link tussen bodemchemie en bodemmicrobiologie

Door de uitgebreide bodemchemische analyses is het mogelijk om te identificeren welke bodemchemische parameters correleren met de samenstelling van het microbioom. In het bijzonder is het nuttig om de bodemchemie te onderzoeken in relatie tot functionele groepen micro-organismen waarvan bleek dat ze correleren met de bovengrondse diversiteit. Op deze manier is het mogelijk om bodemchemische parameters te vinden waarvan te verwachten is dat ze nuttige bodemmicrobiologie kunnen beïnvloeden. Hieronder worden een aantal van de meest opvallende resultaten beschreven. In bijlage 7 wordt dieper ingegaan op de relatie tussen de bodemchemie en het bodemmicrobiom.

Er zijn duidelijke verbanden in dit onderzoek gevonden tussen de bufferstatus van de bodem en de samenstelling van het bodemmicrobioom. Zo bevatten de matig en zwak gebufferde bodems meer nitrificerende en denitrificerende bacteriën dan de zure bodems (Figuur 6-14). Dit wijst erop dat deze bodems een hogere capaciteit hebben om stikstof om te zetten en te verwijderen uit het ecosysteem. Naast deze groepen werden er in de matig gebufferde bodems ook meer plantgroeibevorderende bacteriën gevonden. Deze groep bacteriën staat bekend om de positieve eigenschappen die ze hebben op planten, zoals het produceren van groeihormonen of het onderdrukken van plantenziektes. Uit deze resultaten blijkt dat de bufferstatus zowel gecorreleerd is aan de samenstelling van het bodemmicrobioom, als ook duidelijk aan soorten met aantoonbare ecologische relevante eigenschappen zoals stikstofomzettingen en plantgroeibevordering.



Figuur 6-14: Boven: De aanwezigheid van denitrificerende bacteriën in de bosbodems ingedeeld naar bufferstatus. Onder: het aandeel nitrificerende en denitrificerende bacteriën uitgezet tegen de pH. Beide functies komen meer voor bij een hogere pH.



Figuur 6-15: Denitrificatie uitgezet tegen de beschikbare P gehalten (P-NaCl). In zure en zwak gebufferde bodems is een duidelijke trend te zien, waarbij hogere beschikbare P gehalten correleren met een lagere aanwezigheid van denitrificerende bacteriën.

Naast de bufferstatus zijn verbanden gevonden tussen de microbiologie en de pH, de microbiologie en het gehalte aan beschikbaar fosfor (P-NaCl) en de microbiologie en de beschikbare kationen in de bodem. De denitrificerende bacteriën blijken bijvoorbeeld in de zure en zwakgebufferde bodems negatief gecorreleerd aan het beschikbare P gehalte. Hieruit blijkt dat naast de pH en bufferstatus ook nutriënten van invloed zijn op de aanwezigheid van soorten die bijdragen aan het functioneren van het bosecosysteem. Daarnaast blijken ook kationen en denitrificeerders gecorreleerd. Een hogere concentratie van deze ionen is gelinkt aan een hogere aanwezigheid van deze bacteriën. Het is met name opvallend dat denitrificerende soorten, die stikstof uit het systeem kunnen verwijderen, aan verschillende bodemchemische parameters zijn gecorreleerd. Dit biedt het interessante perspectief dat herstelmaatregelen die ingrijpen op deze parameters ook van invloed zijn op bodembioologie die een direct verband heeft met de bovengrondse vegetatie. Dit kan in de praktijk worden gemonitord.

De link tussen microbiologie, chemie en bovengrondse diversiteit

Op basis van de huidige resultaten is de hypothese dat met name de zure bossen die zowel weinig nitrificerende bacteriën, archaea als denitrificerende bacteriën bevatten het hoogste risico hebben op verdere verzuring en vermesting met bovengronds diversiteitsverlies tot gevolg. Deze bossen hebben beperkte biologische capaciteit om stikstof die in het systeem

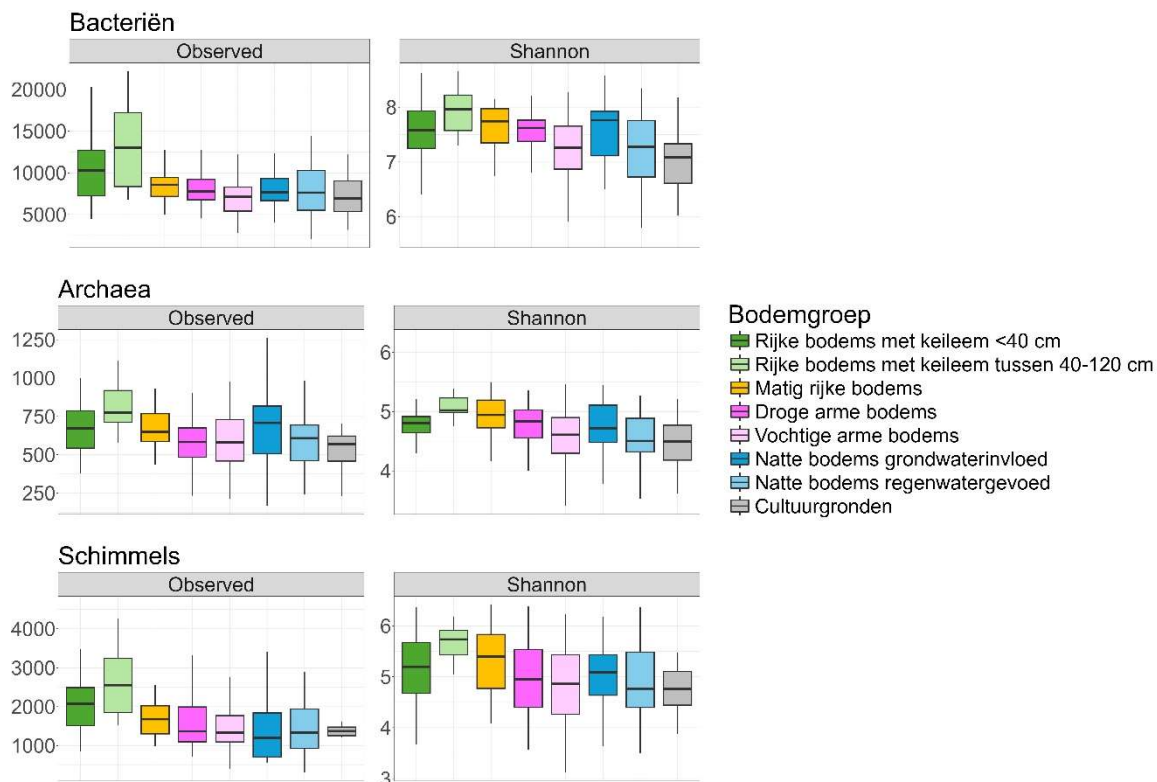
komt om te zetten. Voorbeelden van dit soort bossen zijn het Norgerholt (A101, A102) en Bruntinger binnenveld (A144). Voorbeelden van bossen waar deze biologische parameters juist op orde zijn op basis van het in dit onderzoek verworven referentiekader zijn Het Waal (77) en het Gasterse Holt (A10, A63, A9). De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat de samenstelling van het microbioom de potentie heeft om als aanvullende indicator voor natuurkwaliteit gebruikt te worden. De huidige dataset heeft voldoende omvang om hier een goede basis voor te leggen. Om voor alle bodemgroepen en combinaties met hoofdboomsoorten indicatoren te ontwikkelen, is het nodig om aanvullende data te verzamelen.

Microbiologische diversiteit

Om te onderzoeken of en in welke mate de microbiologie is gecorreleerd aan de bodemgroep is allereerst een statistische toets uitgevoerd. Uit deze toets (Permanova) blijkt dat ongeveer 6% van de bacteriën, archaea en schimmels toegeschreven kan worden aan de bodemgroep. Dit betekent dat behalve de bodemgroep ook nog andere factoren een rol spelen die de overige 94% van de samenstelling verklaren, zoals boomsoort, buffering, de gebruiksgeschiedenis van het landschap, de hydrologische status, enzovoorts. Dit verklaart waarom binnen de bodemgroepen grote variaties in microbiële biodiversiteit en ecologische functies worden waargenomen. Opvallend is dat de factor die veruit de meeste variatie kan verklaren de locatiennaam is, oftewel de individuele natuurgebieden. Hieruit blijkt dat elk natuurgebied zijn eigen microbiologische handtekening heeft. De geschiedenis van een landschap lijkt daarmee ook duidelijk haar sporen na te laten in de ontwikkeling van het bodemmicrobiom.

In Figuur 6–16 is de diversiteit van de bacteriën per bodemgroep weergegeven, zowel het totaal aan geobserveerde soorten (unieke DNA sequenties) en in de vorm van de ecologische index Shannon. Deze index houdt ook rekening met hoe vaak een soort gevonden wordt, naast het totaal aan soorten.

Uit de resultaten blijkt dat in de rijke bodemgroepen de hoogste diversiteit wordt gevonden voor zowel bacteriën, archaea als schimmels. Wanneer wordt gekeken binnen de rijke bodemgroepen, scoren matige rijke bodem en rijke bodems met keileem tussen 40 en 120 cm hoger dan de rijke bodems met keileem <40 cm. De laagste diversiteit wordt meestal gevonden in de vochtige arme bodems. Deze verschillen in diversiteit bevestigen dat de groeiplaats niet alleen van invloed is op de bovengrondse vegetatie, maar ook op het bodemleven. Verder valt op dat de locaties behorend tot dezelfde bodemgroep, wel sterk uiteen kunnen lopen in diversiteit. Dit betekent dat er naast het type groeiplaats andere factoren sturend zijn voor de diversiteit in overeenstemming met de uitkomsten van de Permanovatoets.

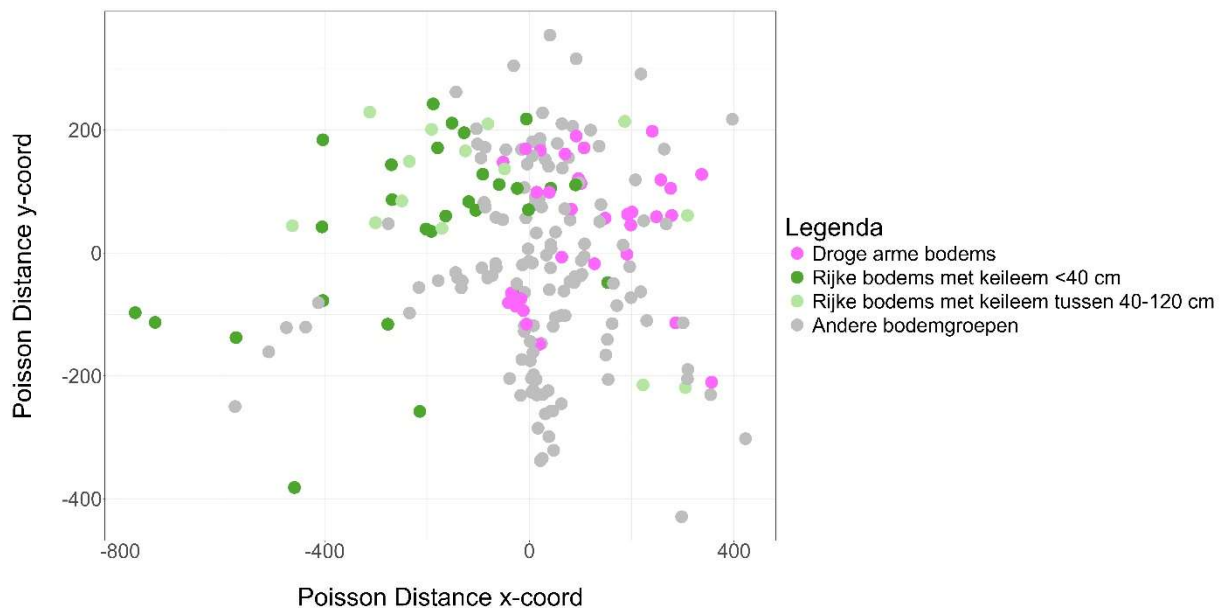


Figuur 6-16: De diversiteit van de bacteriën, archaea en schimmels per bodemgroep. De diversiteit is weergegeven in het aantal unieke gevonden DNA sequenties (observed) en in de ecologische index Shannon.

Samenstelling van het microbioom

Uit de resultaten blijkt dat er bodemgroepen zijn zonder duidelijke signatuur in de samenstelling van het bodemmicrobioom, deze populaties vertonen geen overduidelijke overeenkomsten met elkaar op basis van de bodemgroep. Om dit te onderzoeken zijn multi-dimensional scalings (MDS) van de bacterie, schimmels en archaea populaties gemaakt. Deze analyse bepaalt in welke mate populaties op elkaar lijken, hoe dichter de stippen in het figuur bij elkaar staan hoe meer de populaties op elkaar lijken (Figuur 6-17 en Figuur 6-18).

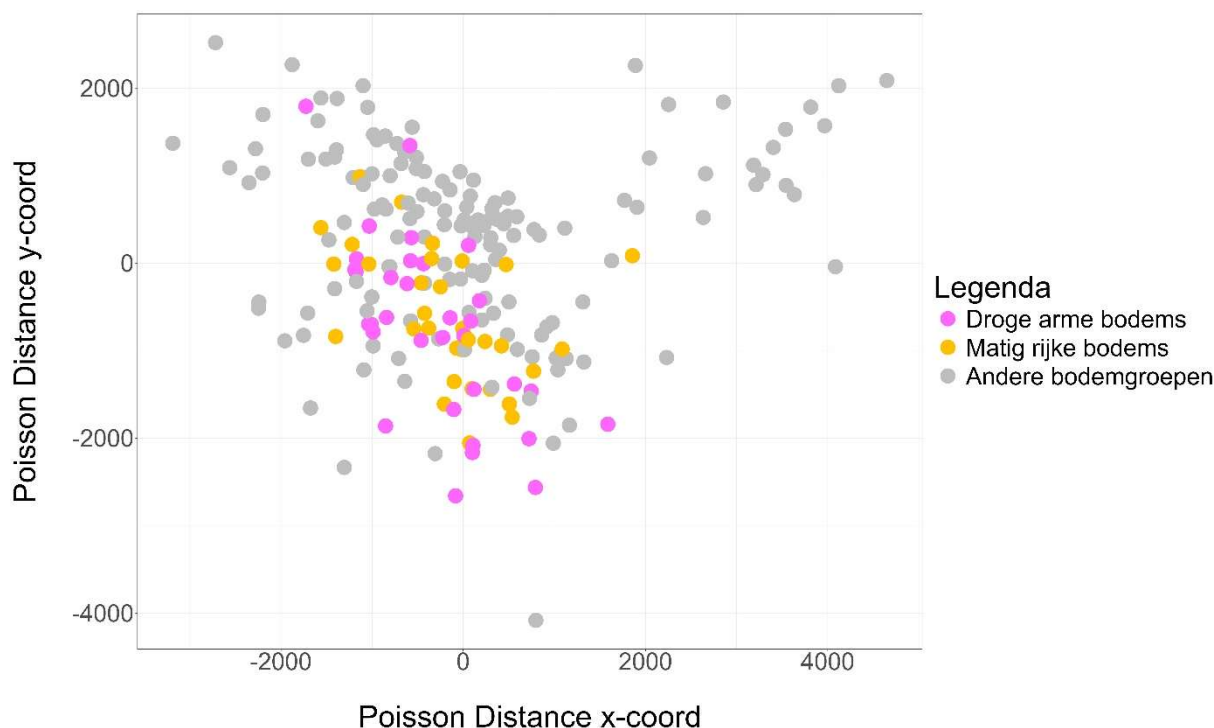
Opvallend is dat er een paar bodemgroepen zijn die wel duidelijk van elkaar zijn te onderscheiden. Rijke bodems zijn bijvoorbeeld wel goed te onderscheiden van de droge arme bodems, maar alleen op basis van schimmels, de bacteriepopulaties vormen geen duidelijke subgroepen (Figuur 6-18). Ook de verschillende type natte bodems (grondwater versus regenwater gevoed) zijn van elkaar te onderscheiden, wederom blijkt dat dit verschil duidelijker zichtbaar is bij de schimmels.



Figuur 6-17: MDS van de schimmelpopulaties. In het figuur is te zien dat de droge arme bodems zich meer bevinden aan de rechterkant en de rijke bodems meer aan de linkerkant van het figuur. Deze populaties zijn daarmee van elkaar te onderscheiden op basis van hun bodemgroep. Echter valt ook op dat de andere bodemgroepen (weergegeven in grijs) zich overal in het figuur bevinden en daarmee niet zijn niet onderscheiden op basis van hun bodemgroep.

Hieruit blijkt dat bodemgroepen waarvan wordt verwacht dat deze ook het sterkst van elkaar verschillen in nutriëntensamenstelling of vochthuishouding ook microbiologisch het meest van elkaar verschillen. Deze verschillen zijn met name terug te zien in de samenstelling van schimmelsoorten. Daarentegen geldt dat niet voor de bodemgroepen die hier tussenin worden verwacht, deze variëren in samenstelling gelijkend aan rijk tot droog en arm, maar vormen geen duidelijk cluster. En ook bij de uiterste groepen zoals droog en arm of rijk zijn locaties die wel op elkaar lijken. Dit betekent dat microbiologisch gezien op grote schaal tussen de bodemgroepen wel trends te zien zijn, maar op lokale schaal (tussen locaties) deze verschillen minimaal of zelfs afwezig kunnen zijn. Het kan interessant zijn om steekproefsgewijs te volgen of dit onderscheid tussen de groeiplaatsen kleiner wordt met de tijd of juist kan worden vergroot met beheer.

Eerder bleek dat de verwachte verschillen tussen bodemgroep 2: Matig rijk en 3: Arm droog niet meer duidelijk terug te vinden zijn in de vegetatie en bodemchemie. Dit blijkt in overeenstemming met het beeld wat ontstaat vanuit de microbiologie, ook hier blijkt dat matig rijke bodems (2) en droge arme bodems (3) geen duidelijke microbiologische kenmerken hebben. Alleen voor de schimmelpopulaties kunnen nog enige subclusters ontdekt worden.



Figuur 6-18: MDS van de bacteriepopulaties. In het figuur is duidelijk zichtbaar dat de groepen droog en arm niet zijn te onderscheiden van matig rijk op basis van de samenstelling van de bacteriepopulaties.

Ecologische rollen

Naast het vergelijken van de gehele samenstelling van het microbiom is het functioneel om de gevonden micro-organismen in te delen op basis van ecologische functies, zoals het omzetten van ammonium (NH_4) naar nitraat (NO_3). Uit de resultaten blijkt dat er een aantal verschillen in de aanwezigheid van functies (uitgedrukt als het % van het geheel aan soorten die deze functie kan uitvoeren) zijn op basis van de bodemgroepen.

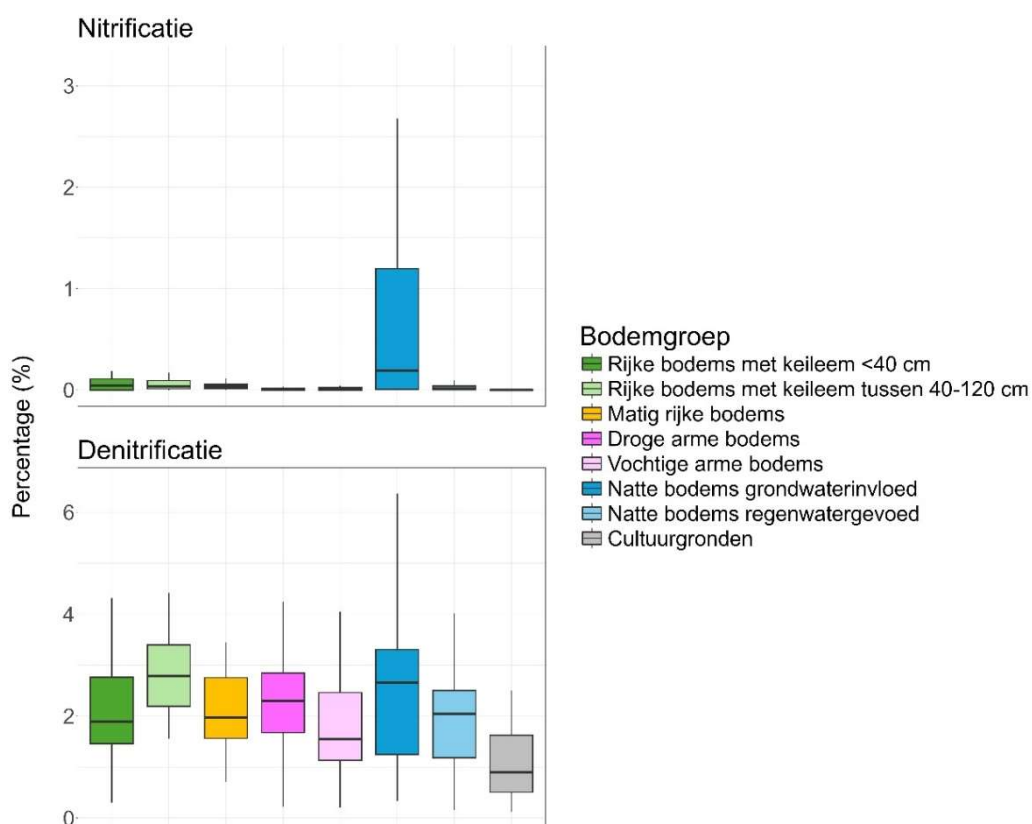
Meeste nitrificerende bacteriën in grondwatergevoede bodems met elzen

Nitrificerende bacteriën (nitraatvormers) worden weinig tot niet aangetroffen in de meeste onderzochte locaties. Dit is in lijn met de verwachting, het is bekend dat beneden een pH van 4, waar de meeste bossen in Drenthe onder zitten, deze groep nog amper actief is. Nitrificatie in bossen wordt daarom voornamelijk uitgevoerd door schimmels en archaea, die aangepast zijn aan deze zure condities. Opvallend is dat op sommige locaties wel relatief veel nitrificerende bacteriën gevonden worden, dit zijn hoofdzakelijk bossen die grondwatergevoed zijn. Met name locaties die grondwatergevoed zijn met els als hoofdboomsoort bevatten veel nitrificerende bacteriën. De els is in staat om stikstof uit de lucht vast te leggen en zo stikstof aan de bodem toe te voegen. Mogelijk creëert dit een unieke niche waarbij in deze bossen bacteriën wel een grote rol spelen in de omzetting naar nitraat. De omzetting naar nitraat door bacteriën is over het algemeen sneller dan door archaea, die in de andere groeiplaatsen deze ecologische rol vervult. Ook speelt de pH van deze bosbodems een rol, de Elzen- en berkenbroekbossen hebben gemiddeld een hogere pH dan de andere bossen (voor meer informatie hierover, zie bijlage 3).

Meeste potentie om stikstof uit de bodem te verwijderen (denitrificatie) in de rijke bodems en broekbossen

Denitrificerende bacteriën worden gemiddeld het meest gevonden in de rijke bodems met keileem tussen de 40 en 120 cm en de natte, grondwater gevoede bodems (Figuur 6-19). Deze bacteriën zijn belangrijk voor de verwijdering van stikstof uit de bodem en zorgen ervoor dat het als stikstofgas (N_2) wordt afgevoerd naar de atmosfeer. Aangezien veel natuurgebieden onder druk staan, omdat er teveel stikstof in het ecosysteem komt, is de verwachting dat deze groep essentieel is voor het behoud van de kwaliteit van een natuurgebied. Het is opvallend dat met name veel locaties die behoren tot de vochtige arme bodems en de cultuurbodems, minder denitrificerende bacteriën bevatten.

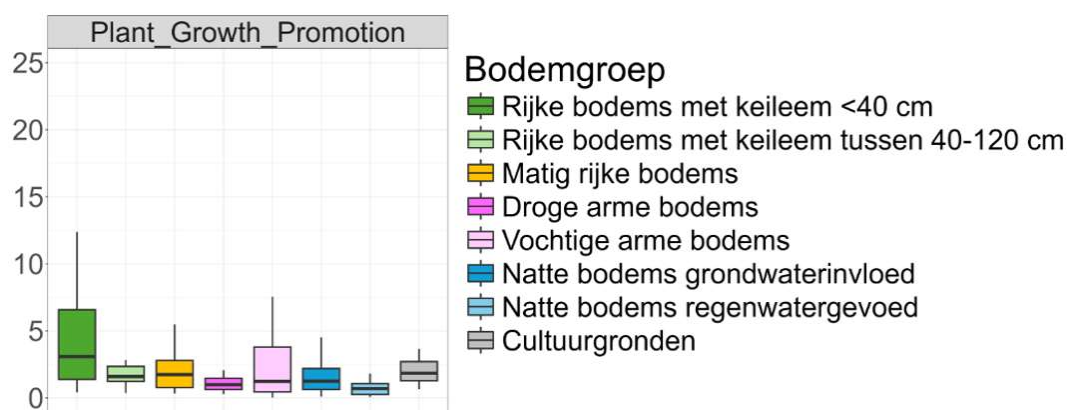
In de natte, grondwater gevoede bodems wordt ten opzichte van de andere bodemgroepen een grote spreiding in het aandeel van denitrificerende bacteriën aangetroffen. Dit betekent dat er ook grondwater gevoede locaties zijn waar weinig denitrificerende bacteriën zijn. Tevens bevat deze bodemgroep gemiddeld de hoogste aandelen denitrificerende bacteriën. De bodems die hoog scoren op denitrificatie in de grondwater gevoede bodems behoren veelal tot de Elzen- en berkenbroekbossen. Deze bosbodems hebben een hogere pH dan de matig en zwak gebufferde bodems en de zure bodems. Deze resultaten benadrukken dat het noodzakelijk is om behalve bosgroeiplaats ook de andere variabelen mee te nemen bij het beoordelen van een bosbodem.



Figuur 6-19 Nitrificerende bacteriën en denitrificerende bacteriën per bodemgroep. Nitrificatie is om de omzetting van ammonium naar nitraat. Denitrificatie is de omzetting van nitraat naar N_2 , dit gas wordt weer vrijgelaten aan de atmosfeer.

Deze resultaten tonen aan dat de organismen verantwoordelijk voor belangrijke processen zoals de stikstofkringloop, sterk verschillen in aanwezigheid per bos. Deze verschillen kunnen deels verklaard worden door de verschillen in groeiplaatsen. Op basis van de resultaten lijken met name in de vochtig arme bodems en cultuurgronden minder organismen aanwezig te zijn die stikstofverbindingen kunnen omzetten.

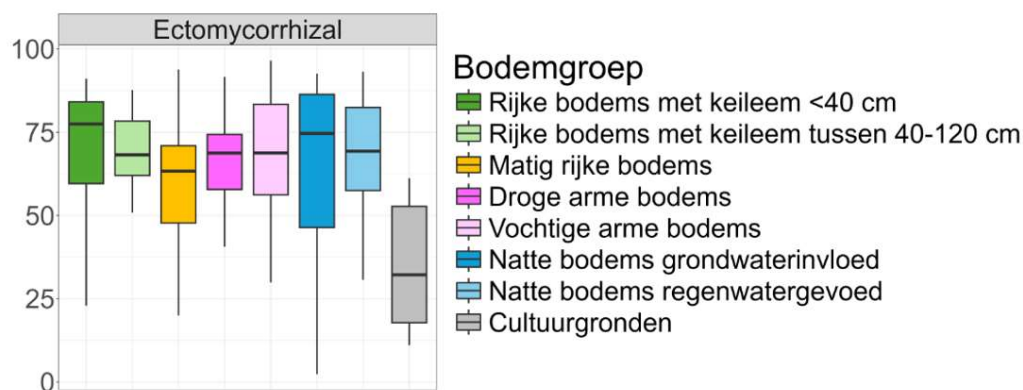
Rijke bodems met keileem <40 cm bevatten de meeste soorten met eigenschappen om een bodem weerbaar te maken. De rijke bodems met keileem op minder dan 40 cm bevatten gemiddeld het hoogste aandeel bacteriën die plantgroei bevorderende eigenschappen hebben (Figuur 6-20). Deze bacteriën kunnen onder andere fosfaat beschikbaar maken, antibiotica tegen ziekteverwekkers produceren of planten bestendiger maken tegen droogte. De natte regenwater gevoede bodems en droge arme bodems scoren het minst hoog op de aandelen van deze soorten.



Figuur 6-20: Het aandeel (%) plantgroeibevorderende bacteriën

Ectomycorrhiza

Ectomycorrhiza (ECM) zijn schimmels die in en om de boomwortels groeien en in samenwerking met bomen leven. Gezien hun belangrijke rol voor de groei en gezondheid van bomen, wordt verwacht dat aanwezigheid van ECM gecorreleerd is aan de gezondheid van het boscysteem. Het is daarom interessant om te achterhalen of er duidelijke patronen zijn in de aanwezigheid van deze schimmels aan de hand van de bodemgroepen. Indien deze patronen overduidelijk blijken, kan per bodemgroep worden vastgesteld wat de verwachte aanwezigheid is van ECM schimmels. Uit de resultaten blijkt echter dat er binnen de groeiplaatsen een grote spreiding te zien is in het aandeel ECM (Figuur 6-21), hieruit blijkt dat andere factoren dan de bodemgroep een rol spelen in de aanwezigheid van deze schimmels. Er kunnen wel een paar trends gevonden worden. De minste ECM komen voor in cultuurgronden en de matig rijke bodems, met als kanttekening dat er een grote spreiding te zien is bij de matig rijke bodems. De bossen met rijke bodems en de natte bodems met grondwaterinvloed bevatten de hoogste aandelen ECM.

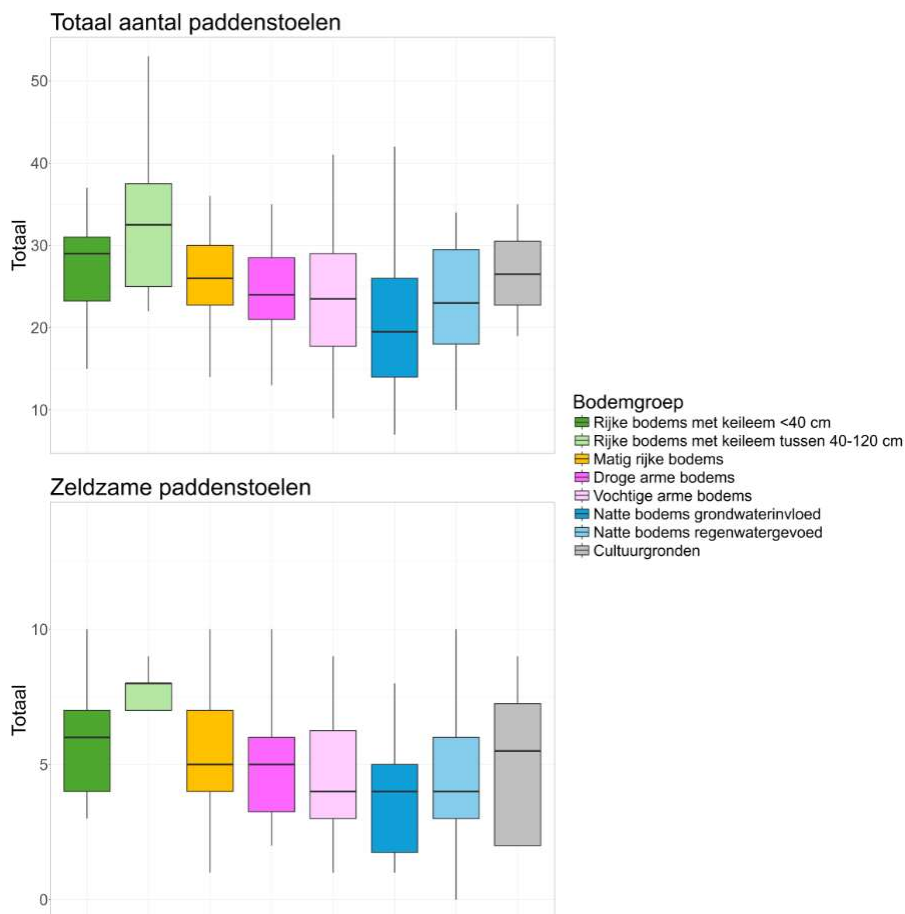


Figuur 6-21: Het aandeel (%) ectomycorrhizaschimmels in de bodem van verschillende groeiplaatsen

Paddenstoelen als indicatoren

Nederland telt meer dan vijfduizend soorten paddenstoelen. Uit mycologische studies blijkt dat paddenstoelen kunnen dienen als indicatoren voor milieuomstandigheden. Zo zijn er soorten die gevoelig zijn voor stikstof en afnemen bij hogere stikstofconcentraties in de bodem, maar ook juist soorten die goed gedijen bij hoge stikstofconcentraties. Dankzij deze verschillende groeivoorkeuren is de verwachting dat paddenstoelen ingezet kunnen worden als indicator voor de ecologische kwaliteit van bossen. Om te onderzoeken of er patronen zijn in het voorkomen van paddenstoelen tussen de bodemgroepen zijn de gevonden schimmels gekoppeld aan de paddenstoelendatabase van de NDFF-verspreidingsatlas.

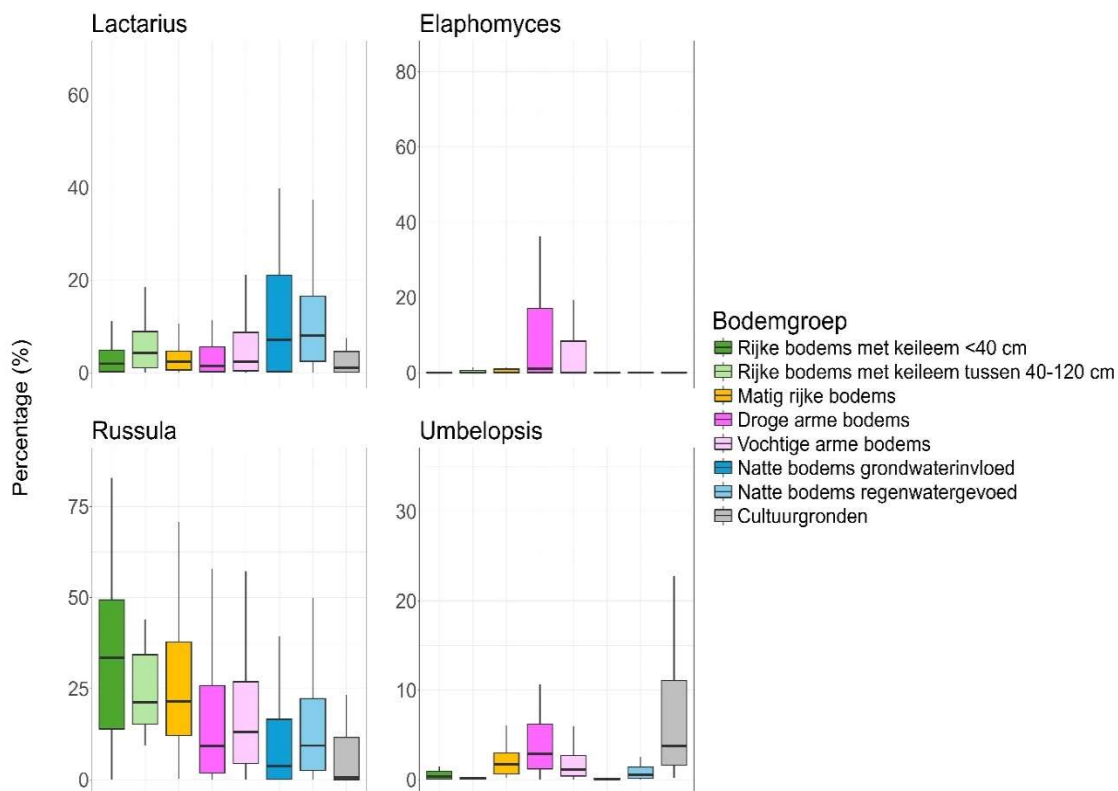
Binnen de verschillende groeiplaatsen is een grote spreiding in het totaal aantal paddenstoelen dat wordt aangetroffen (Figuur 6-22). In de natte bodems met grondwaterinvloed worden bijvoorbeeld tussen de 7 en 42 unieke soorten paddenstoelen gevonden. Gemiddeld ligt het aantal paddenstoelen in dit bodemtype het laagst, terwijl een aantal van de locaties binnen deze bodemgroep behoren tot de locaties met de hoogste aantallen unieke paddenstoelsoorten van alle bemonsterde bossen. Kortom er kan niet gesteld worden dat er per bodemgroep een verwachting gesteld kan worden van het aantal paddenstoelensoorten of het aantal zeldzame paddenstoelensoorten. Er zijn binnen de bodemgroepen andere variabelen die zorgen voor grote variatie in het aantal gevonden soorten. De meest in het oog springende trend is dat de rijke bodems met keileem tussen de 40 en 120 cm gemiddeld het hoogst scoren op zowel het totaal aantal gevonden paddenstoel soorten als het aantal zeldzame. De locaties binnen deze groep kunnen daarmee worden aangemerkt als waardevol voor de diversiteit van paddenstoelen.



Figuur 6-22: Het aantal unieke soorten paddenstoelen en zeldzame paddenstoelen per bosgroeiplaats.

Aangezien de analyses waarin de gehele samenstelling van het microbiom met elkaar werden vergeleken op basis van bodemgroep lieten zien dat de meest eenduidige trends vooral bij schimmels voorkomen is de verwachting dat er soorten schimmels zijn die significant verschillen in hun voorkomen op basis van de bodemgroepen.

De bodemgroep blijkt inderdaad gelinkt te zijn aan het voorkomen van een aantal type paddenstoelen, zo komen melkzwammen gemiddeld meer voor op de natte en vochtige groeiplaatsen (Figuur 6-23). Het afnemen van deze groep in natte/vochtige groeiplaatsen kan daarom mogelijk worden gebruikt als indicator voor verdroging. Een groot deel paddenstoelvormende schimmels in Nederland behoort tot de *Russula*. Uit de resultaten blijkt dat de *Russula* als genus een voorkeur lijkt te hebben voor de rijkere bodems met keileem <40 cm. Daarentegen komen op de armere bodems meer soorten behorend tot de *Elaphomyces* voor. Deze schimmels worden ook wel valse truffels genoemd. Deze schimmels zijn net als *Russula ectomycorrhiza* vormend en worden gezien als indicatoren voor een gezond boscysteem. Een andere schimmel die voorkeur lijkt te hebben voor de armere groeiplaatsen is de *Umbelopsis*. De ecologische rol van deze schimmels is nog niet goed ontrafeld, wel is duidelijk dat ze interacties aangaan met wortels van planten en bomen.



Figuur 6-23: Overzicht met voorbeelden van schimmels die meer voorkomen op specifieke groeiplaatsen. De Elaphomyces wordt bijvoorbeeld alleen gevonden in arme bodemgroepen

De hypothese volgende uit het onderzoek naar het bodemmicrobioom is dat het mogelijk is om deze soorten (of genera) te gebruiken als indicatoren als onderdeel van een ecologische kwaliteitsscore. Uit de resultaten blijkt dat voor een aantal schimmelsoorten geldt dat ze een voorkeur hebben voor bepaalde groeiplaatsen. Een voorbeeld van zo'n indicator zou *Lactarius* voor vochtige groeiplaatsen kunnen zijn en *Elaphomyces* voor droge arme groeiplaatsen.

6.2 Categorie B

6.2.1 Vegetatie

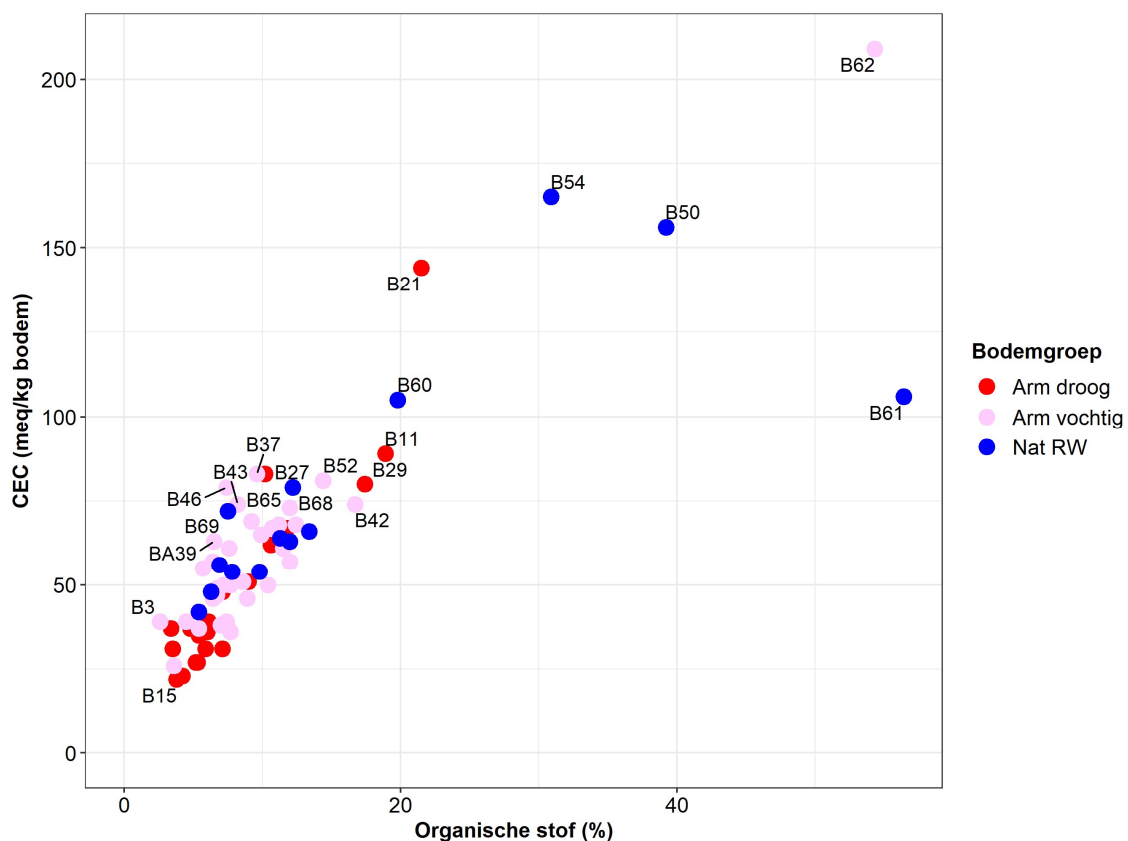
Het aantal soorten in de kruidlaag en in de moslaag in de categorie B bossen blijkt niet verschillend te zijn tussen de drie bodemgroepen. Ook het aandeel dood hout is niet verschillend tussen deze drie bodemgroepen (Bijlage 3).

6.2.2 Bodemchemie

Leemfractie, organische stof en CEC

Op basis van de drie verschillende bodemgroepen (3: Arm droog, 4: Arm vochtig en 5b: Nat RW) wordt een duidelijke variatie in bodemopbouw en bodembuffering verwacht. In de A-horizonten is echter geen duidelijke variatie zichtbaar in bodemopbouw (venig/organisch, zeer zandig). De bemonsterde heidebebossingen zijn voornamelijk gelegen op zandgronden

met een totaal-aluminium gehalte in de bodem van 15 tot 240 mmol/l bodem, kenmerkend voor zeer arme zandgronden tot licht lemige zandbodems. In dit type bodems is de CEC, een belangrijke maat voor de grootte van het bodemadsorptiecomplex, vaak laag. Bodems met een lage CEC zijn gevoelig voor verzuring, maar vaak ook makkelijker weer op te laden met basen. De CEC wordt in hoge mate bepaald door het lutum- en organisch-stofgehalte van een bodem. In zandbodems met een zeer lage lutumfractie is de CEC dus vaak gekoppeld aan het percentage organische stof. Dit geldt ook voor de bemonsterde categorie B-bossen (Figuur 6-24). Op vier van de 68 locaties bestond de A-horizont uit veen met hoge organische stofpercentages van 31 tot 56% en een hogere CEC van 106 tot 209 meq/kg bodem. Deze vier locaties behoren zoals verwacht tot de bodemgroepen 4: Arm vochtig en 5b: Nat RW. Binnen de bodemgroep 5b: Nat RW zijn echter ook een groot aantal locaties met een duidelijk lager organische-stofpercentage van minder dan 25%. Uit bovenstaande paragrafen is gebleken dat op een groot deel van deze locaties de toplaag bestaat uit een (sterk) veraarde veenlaag of zand door verdroging of verwijdering van het veen.

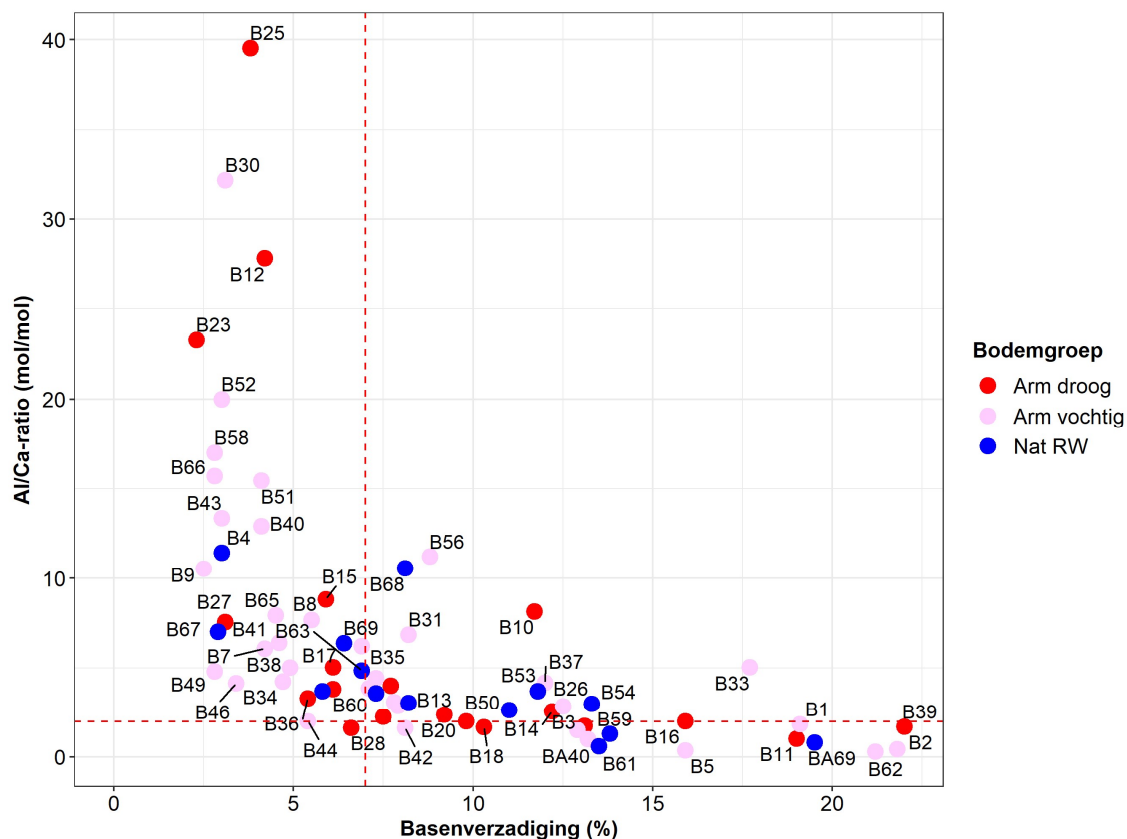


Figuur 6-24: Percentage organische-stof (gemeten via gloeiverlies) uitgezet tegen de Cation Exchange Capacity (CEC) in meq/kg bodem, bepaald door middel van een strontiumextractie, in de A-horizont per bodemgroep.

Bodembuffering

De A-horizont is op bijna de helft van de locaties zuur met een basenverzadiging lager dan 7% (Figuur 6-25). Zelfs voor zure bostypen is dit laag. Op de overige locaties varieerde de basenverzadiging in de A-horizont van 7 tot 22% en valt daarmee binnen de zuur tot zwak gebufferde bossen. De Al/Ca-ratio is over het algemeen hoog (>2 mol/mol; Figuur 6-25). Er

zijn geen duidelijke verschillen gevonden tussen de bodemgroepen. Ook is er geen verschil gemeten tussen locaties met loofbomen of naaldbomen als hoofdboomsoort (Bijlage 3). In de categorie B-bossen heeft de heidegeschiedenis er waarschijnlijk voor gezorgd dat de bodemgroepen op elkaar zijn gaan lijken door drooglegging en uitloging. De bodemgroep en hoofdboomsoort hebben daar tot dusver geen invloed op.



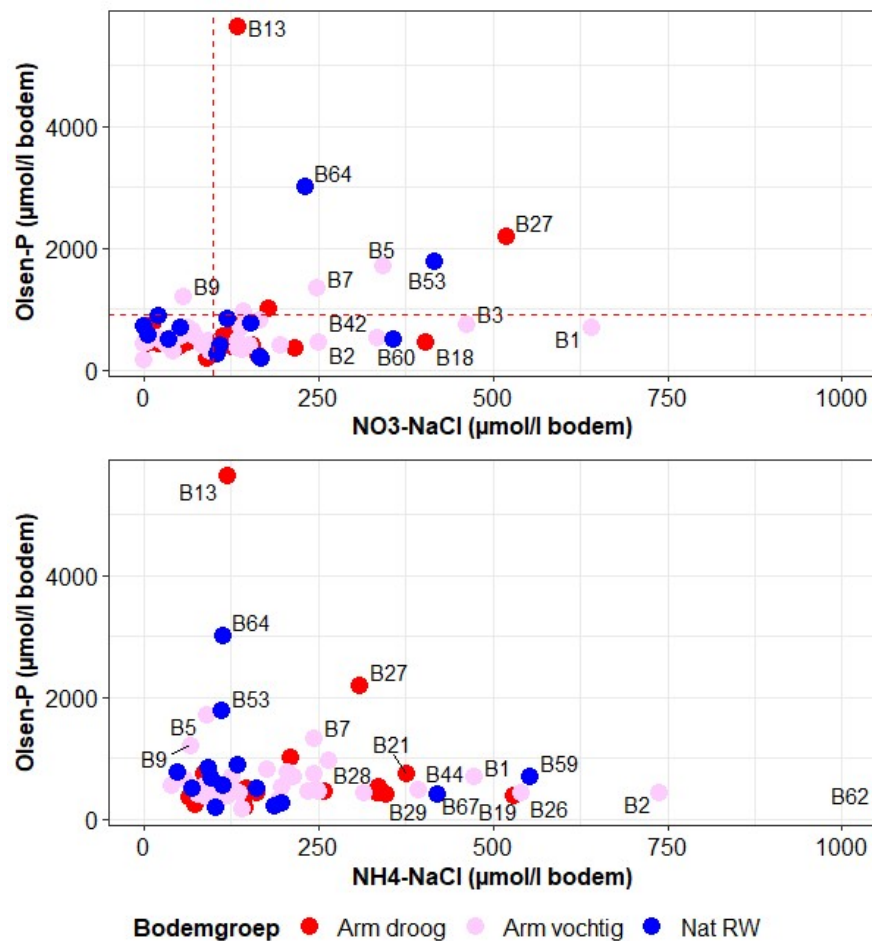
Figuur 6-25: Relatie tussen de basenverzadiging (%) gemeten in een strontiumextract en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in de A-horizont voor de heidebebouwingen (categorie B) ingedeeld per bodemgroep. De rode stippellijnen geven de 7% basenverzadigingsgrens weer en de Al/Ca ratio van 2 mol/mol.

Voedselrijkdom

In de A-horizont zijn over het algemeen stikstofconcentraties gemeten tot 500 $\mu\text{mol/l}$ NO_3 en 750 $\mu\text{mol/l}$ NH_4 . Locatie B62 valt op door een zeer hoge ammoniumconcentratie van 2192 $\mu\text{mol/l}$ bodem, waarschijnlijk het gevolg van mineralisatie van deze venige toplaag. Er zijn geen duidelijke verschillen gemeten tussen de bodemgroepen. De plant-beschikbare P-concentratie (Olsen-P) gemeten in de A-horizont varieerde van 192 tot 5622 $\mu\text{mol/l}$ bodem met een gemiddelde van 705 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Figuur 6-26). Op 9 van de 68 locaties werden hoge tot zeer hoge Olsen-P concentraties gemeten van 952 tot 5622 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Ook betreft fosfaat werden er verder geen duidelijke verschillen gemeten tussen de bodemgroepen.

Op ruim de helft van de locaties is de nitraatconcentratie hoger dan 100 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Op een deel van deze locaties is ook de Olsen-P concentratie hoog (>900 $\mu\text{mol/l}$ bodem).

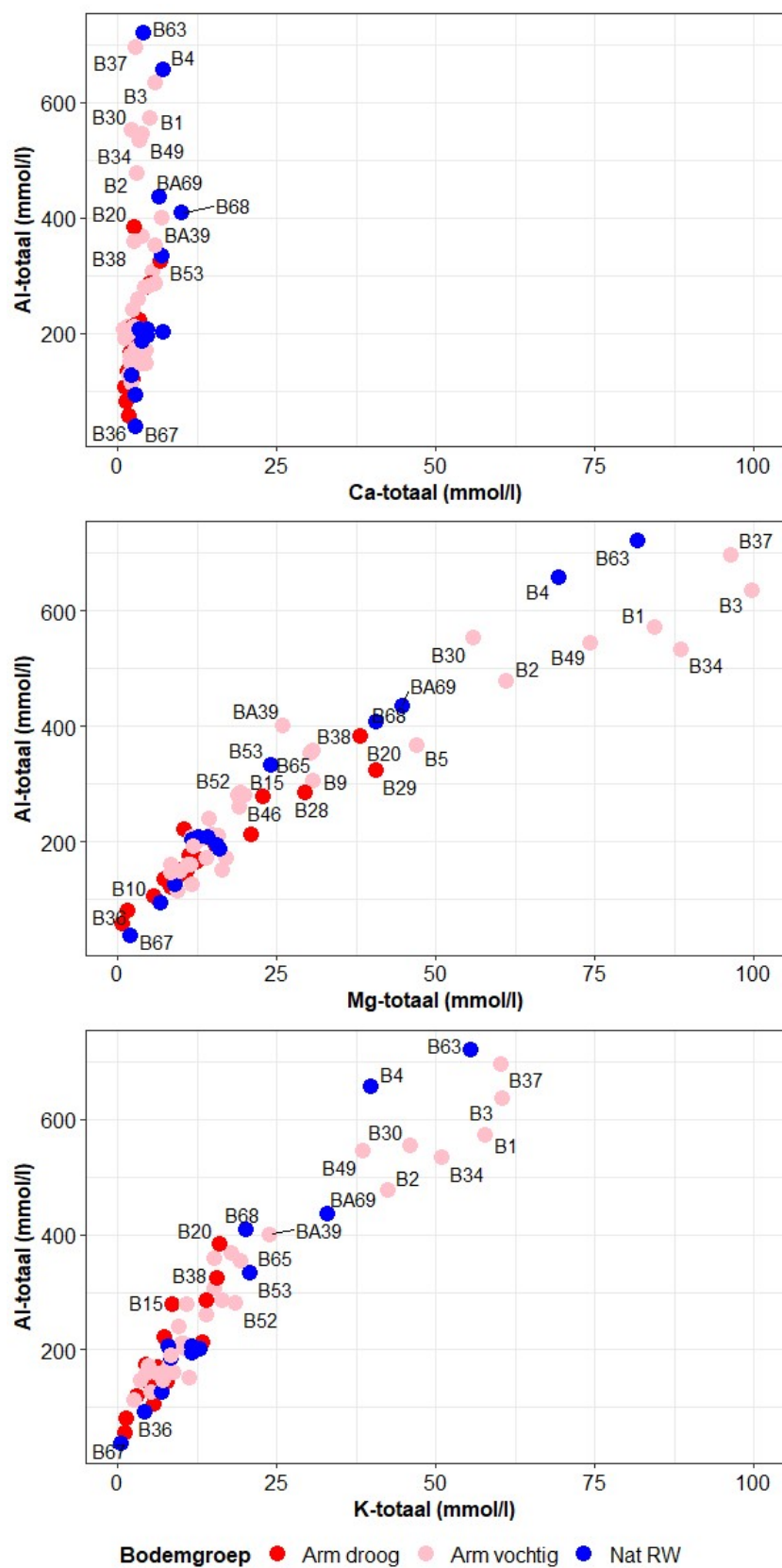
Dergelijke hoge stikstof- en fosfaatconcentraties geven een risico op vervuiling van de vegetatie.



Figuur 6-26: Relatie tussen de concentraties $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ gemeten in het zoutextract (NaCl) en de concentratie plantbeschikbaar P gemeten in het Olsen-extract in $\mu\text{mol/l}$ bodem per bodemgroep in de A-horizont. De rode stippellijnen geven de nitraatgrens weer van $100 \mu\text{mol/l}$ bodem en de fosfaatgrens van $900 \mu\text{mol/l}$ bodem Olsen-P.

C-horizont (moedermateriaal)

In Figuur 6-27 zijn de C-horizonten ingedeeld op basis van de bodemgroepen. In dit figuur is te zien dat met name in de bodemgroep 4: arm vochtig de C-horizont rijker is aan magnesium (Mg) en kalium (K) in vergelijking met de andere twee bodemgroepen. De C-horizont is over het algemeen arm aan calcium (Ca) in alle bodemgroepen.



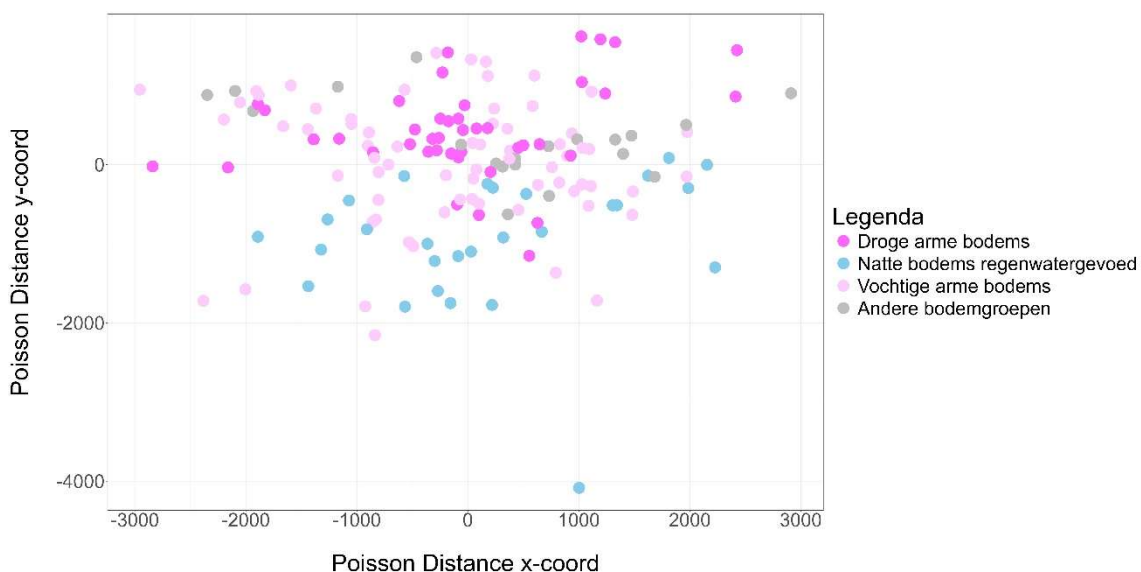
Figuur 6-27: Concentratie totaal-aluminium uitgezet tegen de concentratie totaal-calcium, totaal-magnesium en totaal-kalium in mmol/l bodem gemeten door middel van een destructie in de C-horizont per bodemgroep.

Samenvattend

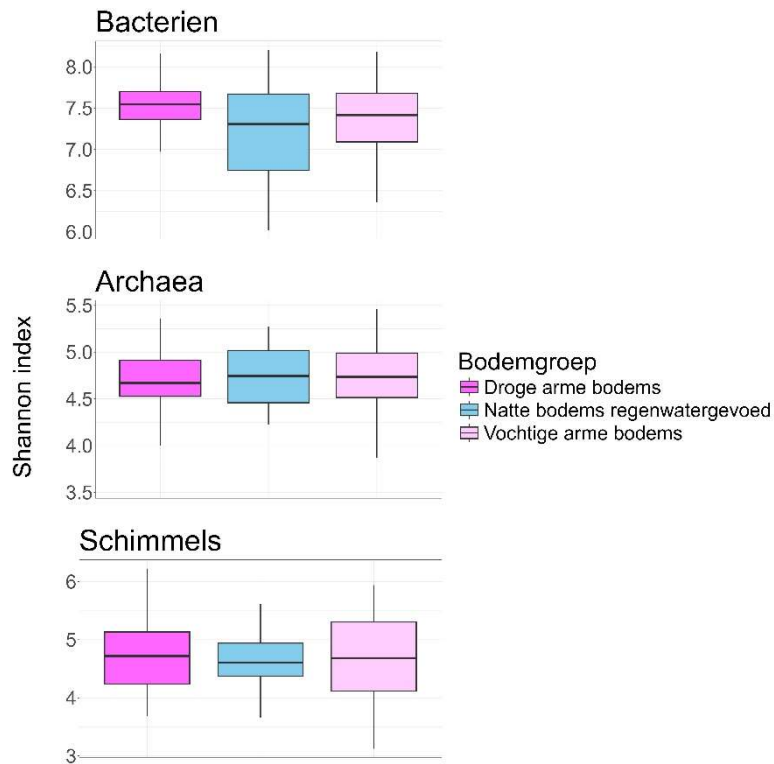
Categorie B-bossen zijn bodemchemisch niet verschillend op basis van de onderzochte drie bodemgroepen. Ook zijn er geen bodemchemische verschillen gevonden tussen bossen met naald- versus loofbomen, of met een bepaalde hoofdboomsoort. De categorie B-bossen betreffen vooral heidebebossingen die sterk zijn verarmd door het intensieve historisch gebruik. Daardoor worden er geen verschillen gemeten tussen de bodemgroepen. De helft van deze bossen heeft een zodanig lage basenverzadiging in de A-horizont ($<7\%$ basenverzadiging) dat die zelfs voor zure bostypen ongunstig is. De categorie B-bossen kennen evenals de categorie A-bossen bijna altijd een te hoge stikstofbeschikbaarheid en regelmatig ook een te hoge fosfaatbeschikbaarheid in de bodem. Dit is mogelijk een samenspel van P-bemesting uit het verleden bij aanplant; en de gevolgen van verzuring waarbij P vrijkomt.

6.2.3 Bodemmicrobioom

De bodemmicrobiomen van de bodemgroepen 3: arm droog, 4: arm vochtig en 5b: nat RW zijn met elkaar vergeleken op dezelfde manier als voor de A-locaties in hoofdstuk 6.1. Opvallend is dat er meer variatie in het bodemmicrobioom verklaard wordt door de bodemgroepen bij de B-locaties dan de A-locaties (Permanova toets). Dit betekent dat de bodemgroep een sterkere invloed heeft op de samenstelling van het bodemmicrobiomen bij de onderzochte B-locaties. Hierbij valt op dat droge arme bodems goed te onderscheiden zijn van de natte regenwatergevoede bodems op basis van de samenstelling van bacteriepopulaties, maar dat de vochtige arme bodems geen duidelijke groep vormen. Dit is te zien in figuur 6-28, hier is een multi-dimensional scaling weergegeven van de bacteriepopulaties. Elke stip bevat de informatie over welke soorten er zijn gevonden en in welke verhoudingen deze aanwezig zijn. Hieruit blijkt dat vochtige arme locaties vooral lijken samen te clusteren met de droge arme bodems. Uit de resultaten blijkt dat de biodiversiteit voor de drie bodemgroepen zeer vergelijkbaar is voor zowel schimmels, bacteriën als archaea.



Figuur 6-28: Multi-dimensional scaling van de bacteriepopulaties van de droge arme bodems, vochtige arme bodems en nat regenwatergevoede bodems van de B-locaties.



Figuur 6-29: De diversiteit index shannon voor de droge arme, vochtige arme en nat regenwatergevoede bodems. Hierbij valt op dat er weinig verschillen zijn tussen de verschillende groepen.

6.2.4 Historische veranderingen 1960–2022

De heidebebossingen blijken sterk zuur te zijn, met vaak een zeer lage basenverzadiging en een hoge Al/Ca-ratio. Terugkomende vraag is of deze bossen niet altijd al in deze mate zuur waren, en de huidige situatie niet zozeer het gevolg is van N-depositie en S-depositie, maar een erfenis uit het heide-verleden. Om hier meer inzicht in te verkrijgen werden gegevens uit de jaren '60 van de vorige eeuw, beschreven in het proefschrift van Van den Burg (1996), vergeleken met de gegevens uit 2022. In de studie van Van den Burg werden Douglasbestanden beschreven met een minimumleeftijd van 25 jaar ten tijde van de metingen in de jaren '60 (Schelling & Van Goor 1958 en Van Goor 1968, Figuur 6–1) voor waarvan de dikte van de FH-laag werd beschreven en het percentage organische stof en de pH-KCL gemeten in de bovenste 25 cm van de minerale bodem (de A-horizont). De pH werd gemeten aan luchtgedroogde bodems met een oplossing van 1Molair. Ter vergelijking zijn de acht Douglasbestanden die in 2022 zijn bemonsterd in de B-Bossen meegenomen, waarbij de bossen op de oude cultuurgronden buiten beschouwing zijn gelaten. Deze bossen bestonden uit een locatie op duinvaaggrond (B39), twee locaties op haarpodzolgronden met keileem in het moedermateriaal (B24 en B29), twee locaties op haarpodzolgronden met zand (B13 en B20) en drie locaties op veldpodzolgronden waarvan twee in zand (B35 en B39) en een met keileem (B7). In de studie van 2022 werd gebruik gemaakt van 0,2M NaCl om de bodem pH vast te stellen, in niet gedroogde bodems. Hierdoor werd de pH-KCL met een halve pH-eenheid naar beneden bijgesteld zodat de beide pH-metingen beter vergelijkbaar worden. De dikte van de FH-laag werd beschreven.

Uit deze metingen blijkt dat de gecorrigeerde pH-NaCl in 1959/1960 gemiddeld 3,23 was gemeten in 185 Douglasbestanden op voormalige heidebodems in het hele zandgebied van Nederland. In 2022 was dit gemiddeld 2,9, een afname van 0,3 pH-eenheden. Dat lijkt misschien weinig, maar de pH is een logaritmische schaal, en een afname van 3,2 naar 2,9 betekent grofweg een verdubbeling van de hoeveelheid zuur (H^+) in de bodem. Uit de metingen uit 2022 blijkt daarnaast dat de verhouding tussen vrij aluminium en vrij calcium erg ongunstig is met gemiddeld over deze acht categorie B-bossen bijna vijf keer meer vrij aluminium dan vrij calcium en een basenverzadiging van minder dan 9%. Dat geeft aan dat deze bodems zwaar leunen op het bufferen van zuren (H^+) door het in oplossing gaan van aluminium. Dat betekent dat de pH-NaCl in deze zure bossen geen goede voorspeller is van de mate van bufferproblemen (omdat met pH immers H^+ wordt gemeten en niet Al^{3+}). Op basis van deze analyse kunnen geen statistische toetsen worden uitgevoerd, en onderscheid tussen “natuurlijke” verzuring (doordat de bossen nu eenmaal ouder worden) en versnelde verzuring door druk vanuit verzurende depositie is niet mogelijk. Desondanks blijkt wel dat het aannemelijk is de bodem minder gebufferd is in 2022 ten opzichte van de jaren '60 van de vorige eeuw. Hierbij moet in gedachten worden gehouden dat deze bosbodems waarschijnlijk zijn bekalkt en bemest bij de aanleg.

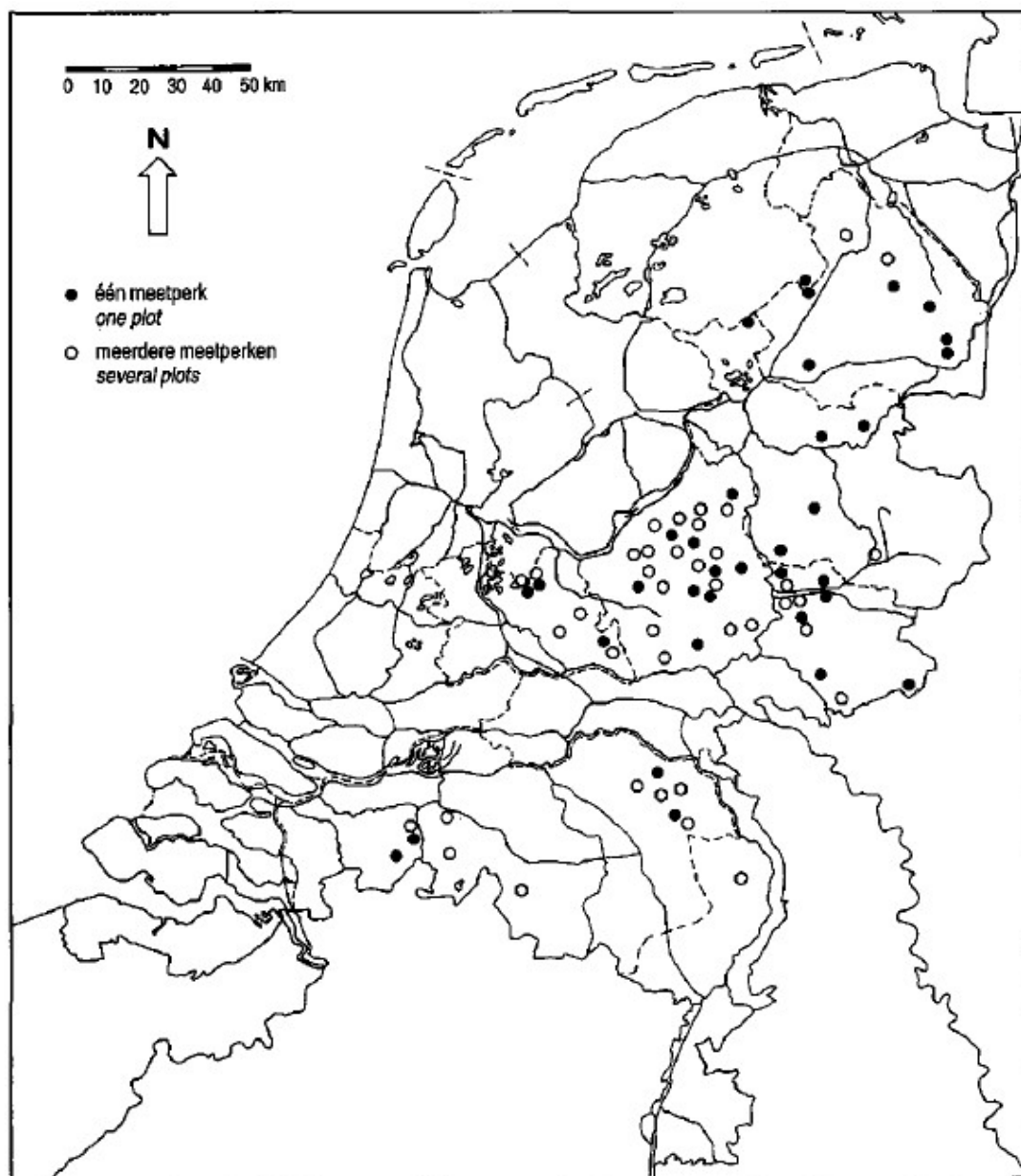
Een tweede indicator voor bufferproblemen in bodems is de dikte van de FH-laag. Bij zeer slecht gebufferde bodems wordt het strooisel slecht afgebroken waardoor de dikte van de FH-laag toeneemt. In de metingen uit 1959/60 werd de dikte van de FH-laag beschreven, gemeten in Douglasbestanden op verschillende bodemtypes. Ook hier is het niet goed mogelijk om onderscheid te maken tussen natuurlijke processen en gevolgen van versnelde verzuring door atmosferische depositie. Wel blijkt uit deze vergelijking dat de hoeveelheid organisch materiaal in de A-horizont is toegenomen van gemiddeld 4,5% over alle 185 Douglasbestanden komend vanuit heide sinds de jaren '60 naar gemiddeld 7,6% in de acht

Drentse categorie B-bossen, waarschijnlijk een logisch gevolg van het ouder worden van de bossen. Ten tweede blijkt dat de dikte van de FH-laag gemiddeld (gecorrigeerd voor het aantal waarnemingen per bodemtype) is toegenomen van 0,9 cm in 1960 tot gemiddeld 7,1 cm in 2022.

Concluderend zijn dit sterke signalen dat de Douglasbestanden zeer waarschijnlijk minder gebufferd zijn geworden in de periode van 1960 tot 2022, met als gevolg een verminderde afbraak van strooisel. Dat geldt waarschijnlijk ook voor de andere bosbestanden in de categorie B-bossen, ondanks de 'bodemverbeterende' maatregelen die zijn genomen bij aanleg.

Tabel 6-1 Vergelijking van meetgegevens in Douglasbestanden in de jaren '60 (uit Van Den Burg, 1996); en de metingen in 2022 in 8 B-Bossen in Drenthe met Douglas als dominante boomsoort.

1960					2022			Verschil	
	aantal waarnemingen	pH-KCl	pH-NaCl- correctie	OS (%)	Aantal waarnemingen Douglas B-bossen	pH-NaCl	OS(%)	pH-NaCl	OS(%)
bestand komend uit heide	185	3,7	3,2	4,53	8	2,9	7,6	-0,3	3,1
1960					2022			Verschil	
	aantal waarnemingen	Dikte FH-laag uit heide per bodemtype (cm)			aantal waarnemingen	Dikte FH-laag uit heide per bodemtype (cm)		cm	
Duinvaaggrond	21	2,4			Duinvaaggrond (1* zand)	4		1,6	
Haarpodzolgrond	70	0,9			Haarpodzol (2*zand en 2*keileem)	6,5		5,7	
Haarpozol met zanddek	1	2,5							
Holtpodzol	123	0,6							
Vaaggrond op zand	2	2,5							
Veldpodzol	130	0,9			Veldpodzol (2*zand en 1* keileem)	9		8,1	
gewogen gemiddelde		0,9			gewogen gemiddelde	7,1		6,2	



Figuur 6-30: Ligging van de Douglasbestanden die zijn onderzocht in 1959/1960 (Van Den Burg, 1996)

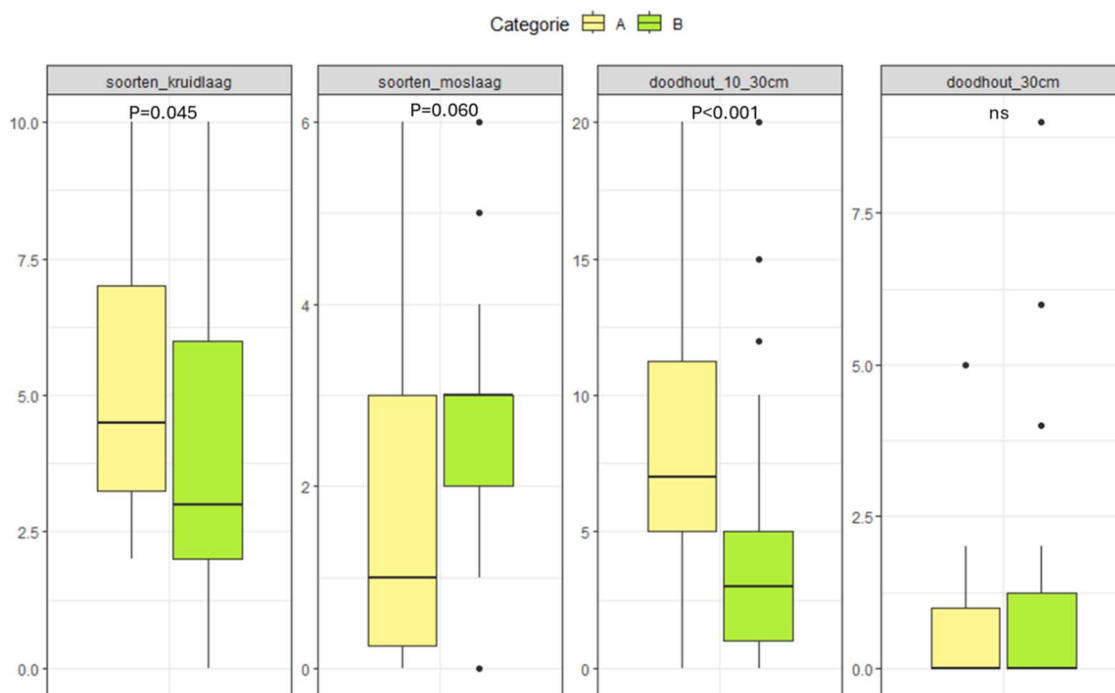
6.3 Vergelijking Categorie A en B

Door de intensieve gebruiksgeschiedenis (aanleg van ontwatering, ploegen en bemesting) en bosbouwverleden (overwegend naaldbomen), zijn de kenmerken van de bodemgroepen van categorie B anders dan die van categorie A. Om die verschillen inzichtelijk te maken, zijn in deze paragraaf vergelijkingen gemaakt. Daar waar categorie A-bossen voorkomen op alle acht bodemgroepen, zijn categorie B-bossen overwegend voor op drie bodemgroepen: Arm droog, Arm vochtig en Nat regenwatergevoed. Voor een vergelijking van resultaten kan dus alleen worden gekeken naar deze drie bodemgroepen.

6.3.1 Vegetatie

Het aantal kruiden is hoger in categorie A-bossen, maar opvallend is dat het aantal mossoorten daarentegen hoger is in de categorie B-bossen (Figuur 6-31). De vraag was vervolgens of verschil in boomsoort in voorgaande resultaten een rol speelt, gezien de meeste bossen in categorie B uit naaldbomen bestaan en de categorie A uit loofbomen. Wanneer echter alleen naar de eikenbossen wordt gekeken zijn de significante verschillen nog steeds waarneembaar (data niet getoond). Ook wanneer uitsluitend wordt gekeken naar de meest voorkomende bodemgroepen (Arm droog, Arm vochtig en Nat RW) is het patroon hetzelfde (kruidlaag $p=0,045$, klein dood hout $p<0,001$; data niet getoond). Er zijn echter slechts marginale verschillen in het aantal mossoorten waarbij het aantal nog steeds hoger is in de categorie B-bossen ($p=0,06$, data niet getoond).

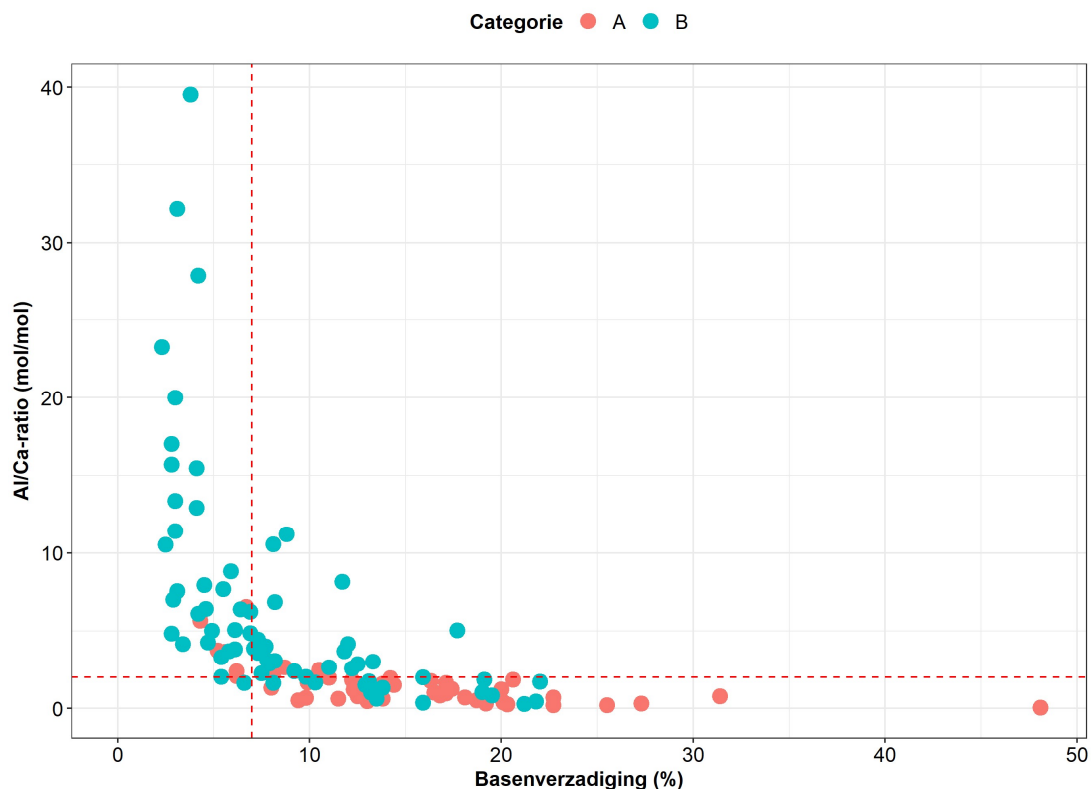
De categorie B-bossen blijken minder klein dood hout (10–30 cm diameter) te bevatten dan de categorie A-bossen. Qua dikker dood hout (>30 cm diameter) is er geen verschil gevonden.



Figuur 6-31: Aantal soorten in de kruidlaag, aantal mossoorten en aandeel dood hout in categorie A en categorie B bossen (zowel oude als jonge bossen).

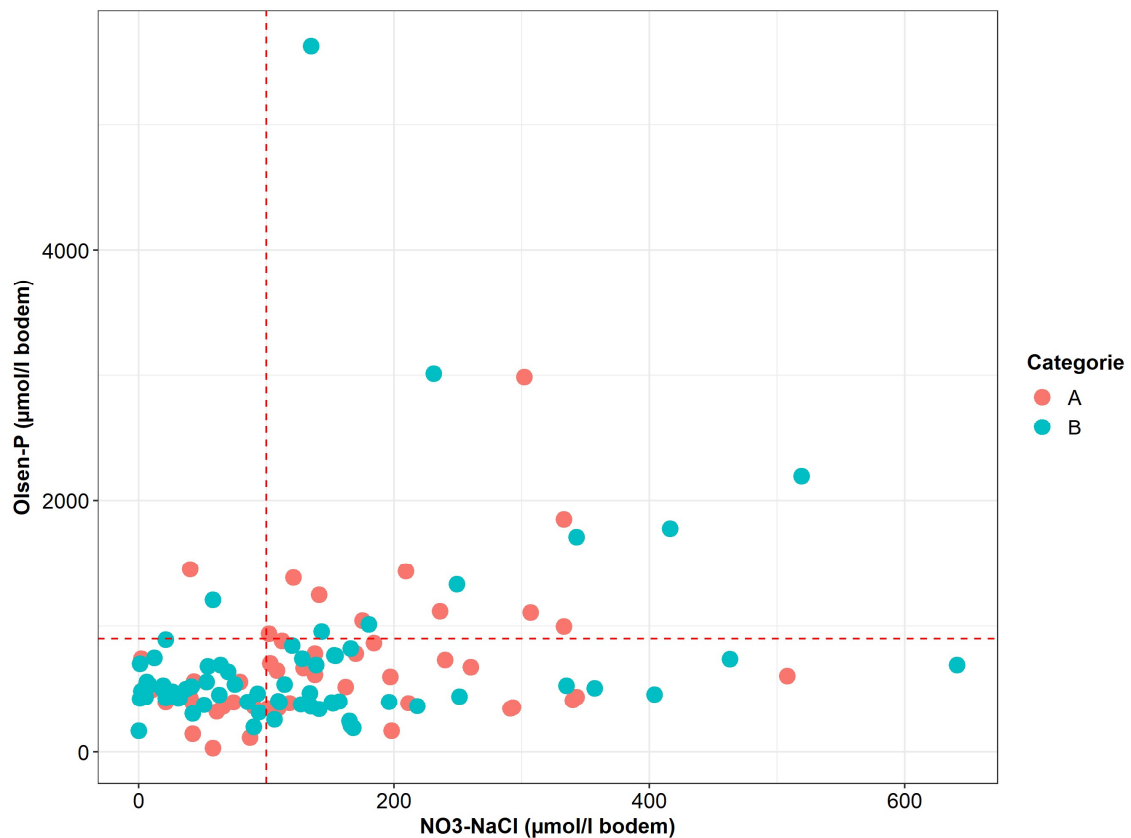
6.3.2 Bodemchemie

In de helft van de categorie B-bossen is de basenverzadiging in de A-horizont zodanig laag dat deze zelfs voor zure bostypen ongunstig is (<7% basenverzadiging). In de A-categorie bossen werd in dezelfde drie bodemgroepen op slechts 6 locaties zo'n lage bodembuffering gemeten (Figuur 6-32). Zowel in de A-categorie als B-categorie bossen werden nauwelijks verschillen gemeten tussen de bodemgroepen. De jonge-heidebebossingen zijn door het intensieve historische gebruik armer en zuurder dan bossen op dezelfde bodemgroepen zonder een heide-verleden.



Figuur 6-32: Relatie tussen de basenverzadiging (%) gemeten in een strontiumextract en de Al/Ca-ratio gemeten in een zoutextract (NaCl) in mol/mol in de A-horizont voor de heide-bebossingen (categorie B) en bossen met typische soorten (categorie A) uit dezelfde drie bodemgroepen. De rode stippellijnen geven de 7% basenverzadigingsgrens weer en de Al/Ca ratio van 2 mol/mol.

De categorie B-bossen zijn in de A-horizont wat betreft stikstof en fosfaat vergelijkbaar met de categorie A bossen. Het merendeel van de onderzochte bossen in Drenthe heeft dus een te hoge stikstofbeschikbaarheid in de bodem. In de FH-laag werd in bodemgroep Arm vochtig in de B-categorie een hogere ammoniumconcentratie gemeten ten opzichte van nitraat, terwijl in de A-categorie juist een lagere ammoniumconcentratie werd gemeten ten opzichte van nitraat. Dat kan een teken zijn dat in de categorie B-bossen de nitrificatie, omzetting van ammonium naar nitraat, geremd is.



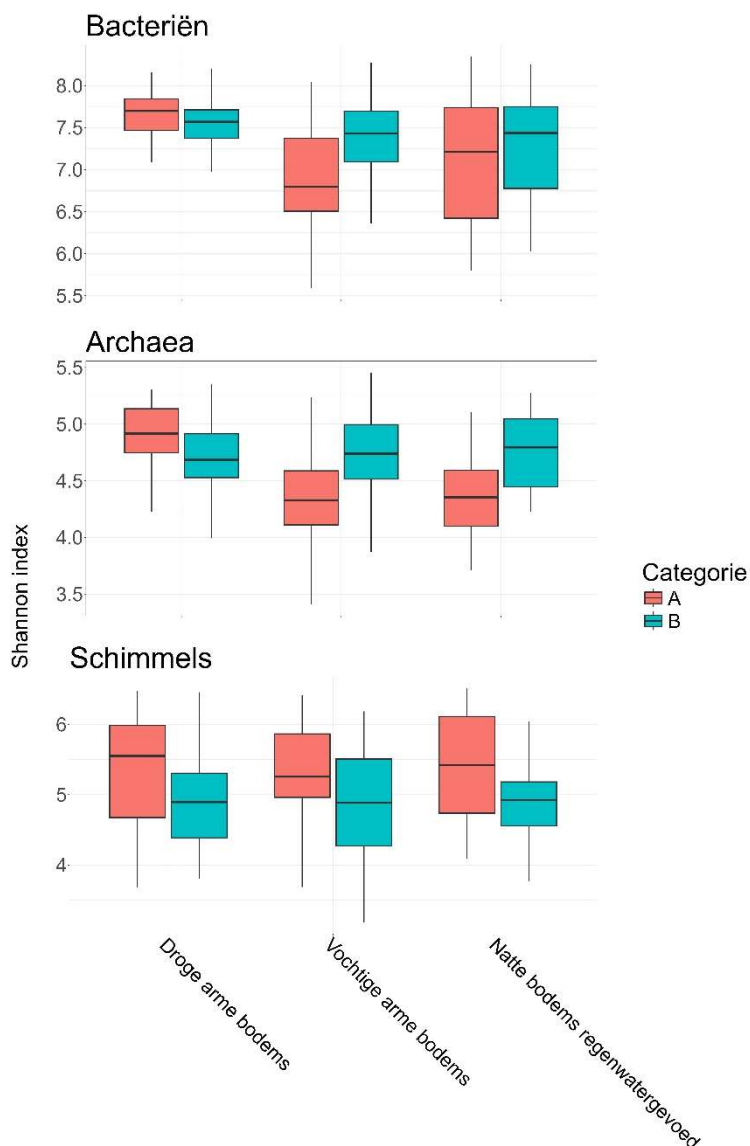
Figuur 6-33: Relatie tussen de concentratie NO_3 gemeten in het zoutextract (NaCl) en de concentratie plantbeschikbaar P gemeten in het Olsen-extract in $\mu\text{mol/l}$ bodem in de A-horizont voor de heidebebossingen (categorie B) en bossen met typische soorten (categorie A) uit dezelfde drie bodemgroepen. De rode stippellijnen geven de nitraatgrens weer van $100 \mu\text{mol/l}$ bodem en de fosfaatgrens van $900 \mu\text{mol/l}$ bodem Olsen-P.

6.3.3 Bodemmicrobioom

Het bodemmicrobioom van de bodemgroepen arm en droog, arm en vochtig, en nat en regenwater gevoed zijn vergeleken met dezelfde bodemgroepen van de A bossen. De B locaties bevatten zowel loof- en naaldbossen, de oude boslocaties (A locaties) zijn allemaal loofbossen. Voor meer informatie over de verschillen in het microbiom tussen naald- en loofbossen, zie bijlage 3.

Bodembiodiversiteit

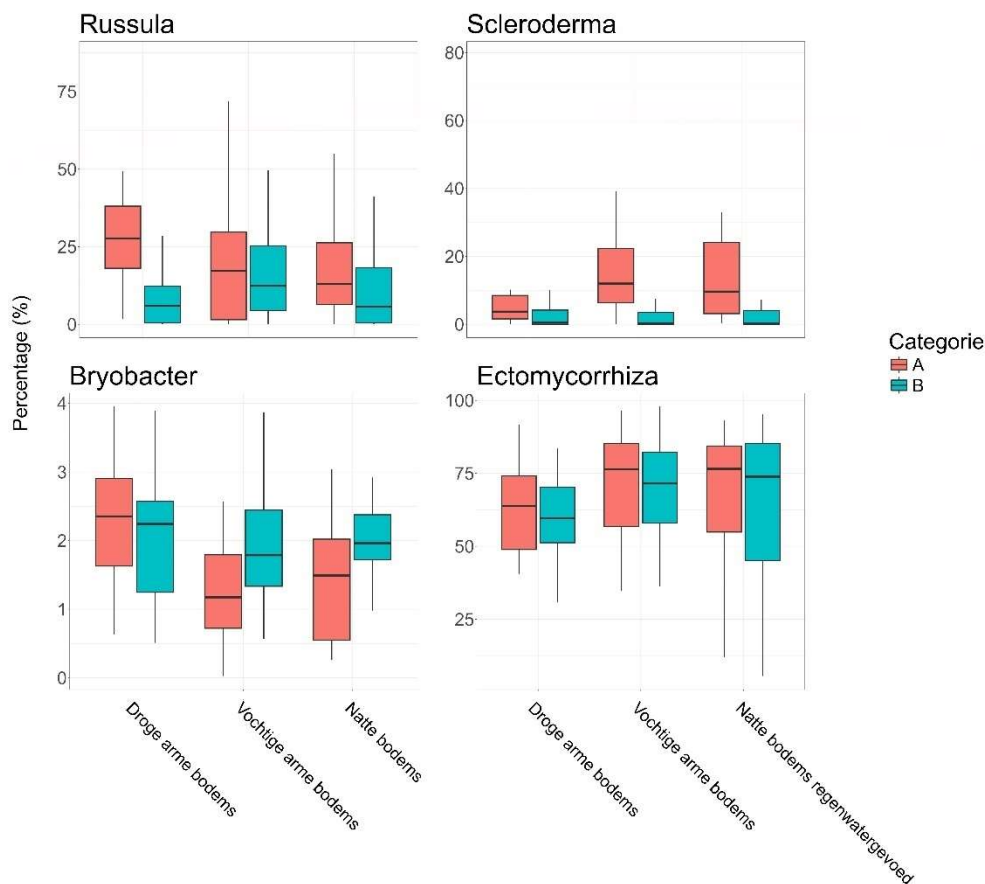
De diversiteit van de schimmels is hoger in de categorie A-bossen dan in de categorie B-bossen, dat geldt voor alle bodemgroepen. Opvallend is dat de diversiteit van bacteriën en archaea juist vaker hoger liggen in de heideontginningsbossen (Figuur 6-34).



Figuur 6–34: De diversiteit van de bacteriën, archaea en schimmels voor de heideontginningsbossen en de oude bossen.

Bodemgezondheidsbevorderende soorten

Tussen beide categorieën zijn opvallende verschillen te zien in soorten die een rol spelen in de gezondheid van bodems. Twee ectomycorrhiza schimmels, *Russula* en *Scelroderma*, komen meer voor in categorie A ten opzichte B (Figuur 6–35). *Russula* komt met name in de droge arme bodems van de oude bossen meer voor, terwijl *Scleroderma* juist in de vochtige arme en natte regenwatergevoede bodems van oude bossen meer voorkomt. Ook het totaal aandeel ectomycorrhiza ligt gemiddeld iets hoger in de oude bossen, met name in de twee arme bodemtypes. In de vochtige arme bodems en natte regenwatergevoede bodems komt *Bryobacter*, een indicatorsoort voor natuurherstel, meer voor in de heideontginningsbossen.

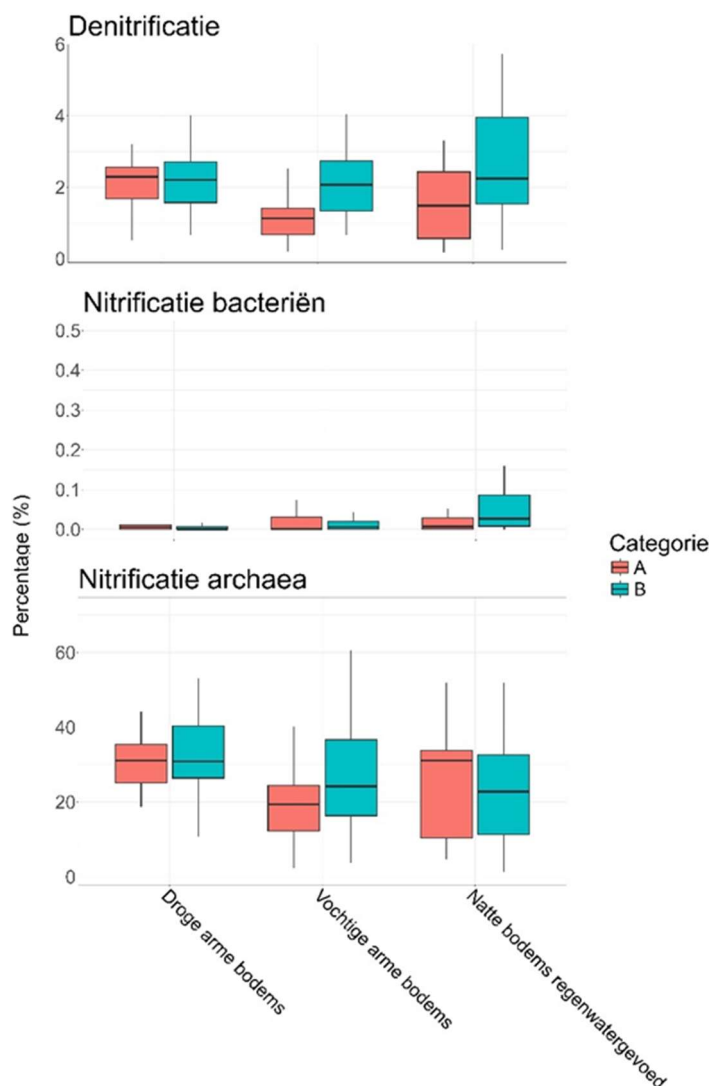


Figuur 6-35: Verschillende soorten die indicatief zijn voor de gezondheid van bosbodems.

Stikstofkringloop

Voor de groei van bossen en het verwijderen van stikstof uit de bosbodem zijn micro-organismen die deel uitmaken van de stikstofkringloop essentieel. Opvallend is dat de heide-ontginningsbossen meer soorten bevatten die kunnen denitrificeren, dit is het omzetten van nitraat in stikstofgas (Figuur 6-36). Dit stikstofgas verlaat vervolgens het bodemecosysteem naar de atmosfeer. Deze resultaten duiden erop dat in de heide-ontginningsbossen de denitrificatie mogelijk sneller verloopt dan in de categorie A-bossen.

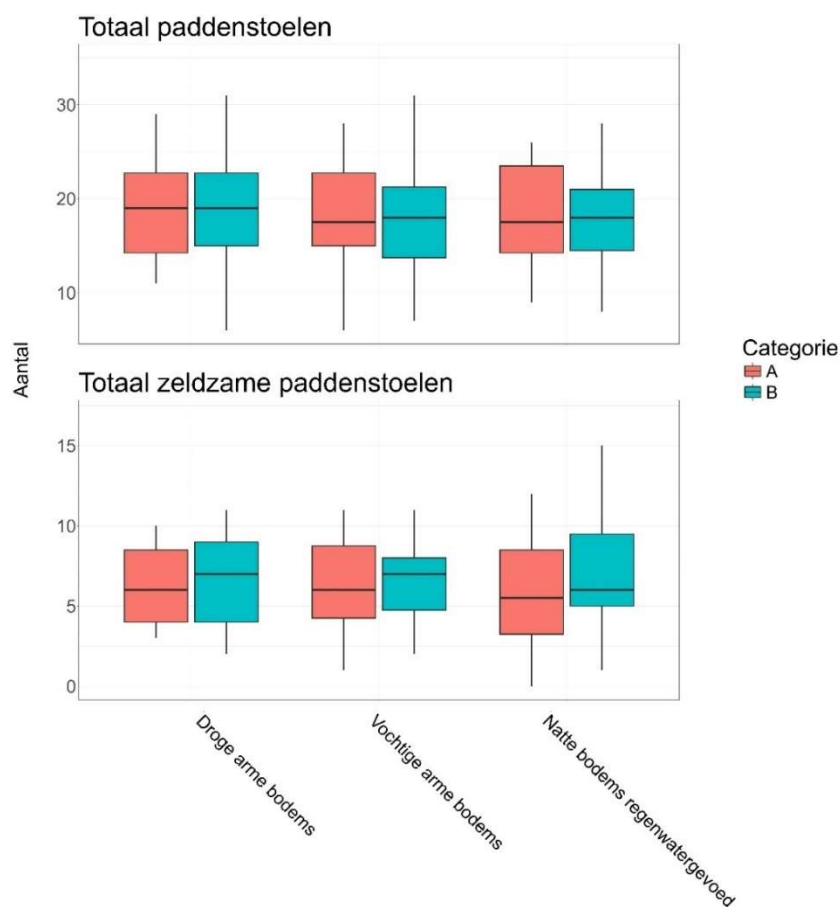
In bodemgroep 3 (Arm droog) komen nagenoeg geen nitrificerende bacteriën voor in zowel categorie A als B. Deze bacteriën zijn ook slechts in beperkte mate aanwezig in de vochtige arme bodems. In de natte regenwatergevoede bodems valt op dat de heide-ontginningsbossen relatief veel nitrificerende bacteriën bevatten. Uit de chemische analyse blijkt dat hier gemiddeld ook meer nitraat wordt gevonden dan in de andere bodemgroepen. Nitrificerende archaea worden meer gevonden in de categorie A-bossen, met uitzondering van de vochtige arme bodems (bodemgroep 4).



Figuur 6-36: Het aandeel denitrificerende en nitrificerende bacteriën en archaea in de bodem bij verschillende groeiplaatsen. De A locaties bevatten alleen oude bossen van voor 1900. De B-locaties betreffen heideontginningsbossen.

Paddenstoelen

In totaal zijn er 182 unieke soorten paddenstoelen geïdentificeerd op basis van de DNA-analyses van de bemonsterde bosbodems van Drenthe. Er zitten geen grote verschillen tussen de totale hoeveelheid gevonden paddenstoelen per monster tussen de A- en B-bossen (Figuur 6-37). Op de A-locaties worden gemiddeld iets meer paddenstoelen gevonden dan op de B-locaties. Echter, in de categorie B-bossen komen gemiddeld meer zeldzame paddenstoelensoorten voor dan in de categorie A-bossen (Figuur 6-37). De bossen uit beide categorieën zijn gelijk wat betreft het voorkomen van ectomycorrhiza schimmels. Dit betekent dat ook de categorie B-bossen waardevol zijn als het gaat om paddenstoelen, groeibevorderende ectomycorrhizaschimmels en zeldzame soorten paddenstoelen.



Figuur 6-37: Het aantal paddenstoelen en zeldzame paddenstoelen per monster ingedeeld naar groeiplaatsen. De A locaties bevatten oude loof- en naaldbossen van voor 1900, de B locaties betreft heideontginningsbossen.

Op de A- en B-locaties worden grotendeels dezelfde soorten paddenstoelen gevonden. Er zijn echter ook paddenstoelen die uniek zijn voor A of B. Hieronder vallen ook zeldzame soorten. Ook worden er twee soorten gevonden die aangemerkt worden als 'verdwenen', deze soorten zijn al lange tijd niet meer waargenomen in Nederland. Dit zijn de Roze brandbekerzwam (*Rhodotarzetta rosea*, locatie A24: Zwanenmeerbos nabij Gieten) en de geelbruine knobbspoorvezelkop (*Inocybe undulatospora*, locaties B45 en B12: Njilanderveld en De Haar).

Gezien de status van deze twee paddenstoelen kan het interessant zijn om deze resultaten te bevestigen met bijvoorbeeld qPCR of een identificatie in het veld door een mycoloog.

Tabel 6-2: Soorten paddenstoelen die alleen voorkomen bij categorie A- of B-bossen. Achter iedere paddenstoel staat de zeldzaamheid vermeld van algemeen voorkomend (aaaa tot a) tot zeer zeldzaam (z tot zzzz) of verdwenen (x).

Uniek bij A-locaties	Uniek bij B-locaties
Asgrauwe koraalzwam (a)	Blauw rouwkorstje (zz)
Beukenrussula (a)	Geelbruine knobbelspoorvezelkop (verdwenen)
Bleekgele russula (zz)	Goudgele vezelkop (zzz)
Gele knotszwam (a)	Paarsstelige pastelrussula (zz)
Hanenkam (a)	Rookrussula (zzz)
Inocybe bellidiana (zzz)	Witte heidevezelkop (zz)
Kleine brokkelzakamaiet (zz)	
Krimpsporig broekboskorstje (zzz)	
Roze brandbekerzwam (verdwenen)	
Sombere fluweelboleet (z)	
Sombere knobbelspoorvezelkop (zz)	
Spoelvoetcollybia (a)	
Sterspoorvezelkop (a)	
Superlangsporig priemharigkorstje (zzz)	
Vloksteelsatijnzwam (zzz)	
Vuurmelkzwam (a)	

Conclusie microbiologie

De bodemmicrobiomen van loof- en naaldbossen (Categorie A en B) verschillen van elkaar, met name in de schimmels. Hierdoor kunnen deze bossen niet zomaar met elkaar vergeleken worden. Het is daarom aan te raden om voor ieder bostype afzonderlijk indicatoren te ontwikkelen die bijvoorbeeld natuurherstel aanduiden. Ook is het mogelijk dat (deels) dezelfde indicatoren gebruikt kunnen worden, maar dat deze indicatoren in andere verhoudingen voorkomen in de twee bostypes. Tussen categorie A en B zitten de verschillen met name in het voorkomen van een aantal specifieke ectomycorrhizaschimmels en de stikstofkringloop. Het meer voorkomen van *Russula* en *Scleroderma* in categorie A-bossen is mogelijk te verklaren door verschillen in boomsoortensamenstelling: categorie A betreft loofbossen, categorie B vooral naaldbossen. Categorie B-bossen scoren op het aantal zeldzame paddenstoelen en denitrificatie juist hoger dan oude bossen. Door de hogere aanwezigheid van denitrificerende bacteriën is de verwachting dat nitraat mogelijk sneller wordt omgezet in stikstofgas (N₂) in de heideontginningsbossen.

6.4 Synthese

6.4.1 Categorie A

Vegetatie en flora

Het bodemgroep-overkoepelende vegetatiebeeld laat zien dat op de vochtige en natte bodemgroepen drogere vegetatietypen zijn aangetroffen dan verwacht. Op bodemgroep 1b: Rijk 120 zijn bovendien zuurdere typen aanwezig dan verwacht. De vegetatie is op een deel van de locaties verruigd, tot zelfs de helft van de locaties bij bodemgroepen 1a: Rijk 40, 2: Matig rijk en 4: Arm vochtig. Juist de rijkere bodemgroepen lijken gevoeliger voor verruiging, mogelijk doordat er meer fosfor aanwezig is in de mineraalrijkere bodems. De verruiging correleert niet aan de stikstofdepositie, met daarbij de opmerking dat ook bij lage concentraties stikstof de bedekking van verruigende soorten al hoog is. Dit is zeer waarschijnlijk te wijten is aan het feit dat licht een beperkende factor is in de bossen en dat ook bij een lage stikstofdepositie al een relatief hoge bedekking verruigende soorten voorkomt. Recent is bekend geworden dat de bosbodems in Nederland een zeer grote hoeveelheid aan stikstof accumuleren en dat de stikstofdepositie waarschijnlijk vele malen hoger is dan modellen voorspellen (Jong de, et al., 2023; Trouw, 2024). Het is daarom niet verwonderlijk dat de hoge mate van verruiging ook bij de lage gemodelleerde stikstofdeposities van 2004 voorkomt omdat hier de stikstofdepositie en de stikstofaccumulatie waarschijnlijk ook zeer veel hoger zijn. Verdroging leidt op zichzelf niet direct tot verruiging: 33% van de verdroogde locaties is verruigd. Wel leidt verdroging duidelijk tot een soortenarmer bos.

Naast het vegetatietype en mate van verruiging, is gekeken naar het aantal soorten. Bij bossen die hydrologisch op orde zijn, is het aantal doelsoorten en totaal aantal soorten hoger. Er is een positieve relatie tussen het aantal doelsoorten en aanwezigheid van kalk. Bij een hogere stikstofdepositie neemt het aantal doelsoorten af. Een dergelijk patroon werd ook eerder gevonden in bossen (Falkengren, 1994).

Bodemchemie

De zandbodems hebben een lagere CEC (<70 meq/kg bodem). De leemhoudende en organische bodems (1a: Rijk 40, 1b: Rijk 120 en 5a: Nat GW) hebben een hogere CEC (respectievelijk 80–300 meq/kg bodem). De verwachting was dat bodemgroep 2: Matig rijk een grotere CEC zou hebben dan bodemgroep 3: Arm droog en 4: Arm vochtig, dat verschil is echter niet te zien in de gegevens van de minerale toplaag.

Het merendeel van de bossen is zuur tot zwak gebufferd. Binnen categorie A was in 7 locaties de bodembuffering ook voor zure bostypen te laag. Er is bodemchemisch geen verschil meer te zien tussen 2: Matig rijk, 3: Arm droog, 4: Arm vochtig en 5b: Nat RW, terwijl dat wel de verwachting was. De oorspronkelijke verschillen tussen basenarme en zeer basenarme bodems zijn sterk uitgevlakt door de verzuring; al deze bodems zijn nu vrijwel even verzuurd. Dit is een ernstige conclusie, omdat dit vermoedelijk in een korte tijd (60 jaar) heeft plaatsgevonden. Met name van bodemgroep Matig rijk werd een hogere buffering verwacht. Vanwege het ontbreken van historische bodemchemische gegevens kan niet worden beoordeeld in hoeverre de bossen in Drenthe in het verleden gemiddeld beter gebufferd zijn geweest dan in dit onderzoek gemeten wordt. Uit Gelders bosbodemonderzoek zijn aanwijzingen dat in de afgelopen 100 tot 150 jaar de pH(H₂O) is verschoven van 4,3–6,1 naar 4,0–4,1 (Kieskamp & Smeenge, 2022).

Wat de voedselrijkdom van de bodem betreft, is in het merendeel van de locaties de nitraatconcentratie in de A-horizont hoog. Dit is een teken dat er sprake is van het verliezen van de oorspronkelijke stikstofgelimiteerde situatie. In principe is bij de natte bodemgroepen minder ophoping van stikstof te verwachten doordat daar nitrificatie plaatsvindt, dit is echter niet gemeten in de bodemchemie met uitzondering van 1b: Rijk 120. Dit kan te maken hebben met het moment van bemonsteren: er zijn wel meer denitrificerende bacteriën gevonden in het bodemmicrobioom (zie verderop). De (sterk) verhoogde concentratie vrij stikstof die tegenwoordig in onze bossen wordt gemeten, hangt vermoedelijk samen met de jarenlange verhoogde stikstofdepositie. Dit geldt vooral voor de bossen op kalkloze bodems. Hier is van nature een trage afbraak die vooral door schimmels wordt verzorgd, voor een groot deel ectomycorrhiza (EM) vormende schimmels. De vrijkomende stikstof wordt grotendeels doorgegeven aan de bomen, waardoor een gesloten stikstofkringloop ontstaat, met nauwelijks vrij mineraal stikstof (Ozinga et al, 2013). Op bodems waar momenteel nog veel EM-paddenstoelen aanwezig zijn, is in eerder onderzoeken een nitraatconcentratie gemeten van tussen de 10 en 50(-100) $\mu\text{mol/liter}$ (Van den Burg et al., 2016). In de Drentse drogere bossen wordt op het leeuwendeel van de locaties een nitraatconcentratie van meer dan 100 $\mu\text{mol/l}$ gemeten, en is er dus sprake van het verliezen van de oorspronkelijke, stikstofgelimiteerde situatie.

Naast stikstoflimitatie is gekeken in hoeverre er nog sprake is van fosforlimitatie. De plant beschikbare fosfaatconcentraties in de A-horizont waren op een deel van de locaties hoog, met name in de bodemgroep "Cultuur" (gelegen op oude essen) en "Matig Rijk". Er is dus veelal geen sprake meer van fosforlimitatie. Extreem hoge waarden van 2295 tot 5710 $\mu\text{mol/l}$ bodem zijn met name gemeten in de bodemgroep 6: Cultuur (met een landbouwkundig verleden) maar ook in bodemgroep 2: Matig rijk. Ook werden er relatief hoge vrij beschikbare P-concentraties gemeten in de FH-laag en A-horizont van de met name kalkloze, zure bossen in bodemgroepen 2: Matig rijk, 3: Arm droog en 4: Arm vochtig.

Bodemmicrobioom

Ongeveer 6% van de bacteriën, archaea en schimmels kan worden toegeschreven aan de bodemgroep. Dit betekent dat behalve de bodemgroep ook nog andere factoren een rol spelen die de overige 94% van de samenstelling verklaren, zoals boomsoort, buffering, de gebruiksgeschiedenis van het landschap, de hydrologische status, enzovoorts. De bodemgroepen waarvan wordt verwacht dat deze ook het sterkst van elkaar verschillen in nutriëntensamenstelling of vochthuishouding verschillen ook microbiologisch het meest van elkaar. Deze verschillen zijn met name terug te zien in de samenstelling van schimmelsoorten. De rijkere bodemgroepen hebben de hoogste diversiteit, terwijl bodemgroep 4: Arm vochtig de laagste diversiteit heeft. Eerder bleek dat de verwachte verschillen tussen bodemgroep 2: Matig rijk en 3: Arm droog niet meer duidelijk terug te vinden zijn in de vegetatie en bodemchemie. Dit blijkt in overeenstemming met het beeld wat ontstaat vanuit de microbiologie. Alleen voor de schimmelpopulaties kunnen nog enige subclusters ontdekt worden. Tabel 6-3: Samenvatting microbioom per bodemgroep geeft een samenvatting van het microbioom per bodemgroep.

Tabel 6-3: Samenvatting microbiom per bodemgroep

Bodemgroep	Microbioom
1a: Rijk 40	Hoge diversiteit, meer plantgroei bevorderende bacteriën dan gemiddeld
1b: Rijk 120	Hoogste diversiteit, capaciteit om N uit het systeem te verwijderen door middel van denitrificatie
2: Matig rijk	Lijkt qua samenstelling op droge arme bodems
3: Arm droog	Lijkt qua samenstelling op matig rijke bodems
4: Arm vochtig	Laagste diversiteit
5a: Nat GW	Nitrificerende bacteriën aanwezig, met name bij elzenbossen, capaciteit om N uit het systeem te verwijderen d.m.v. denitrificatie
5b: Nat RW	Gemiddeld qua microbiologie. Relatief hoge aandelen van de schimmel <i>Lactarius</i>
6: Cultuur	Lage diversiteit, weinig ectomycorrhiza

Naast deze algemene bevindingen over het microbiom bij de verschillende bodemgroepen, is een aantal specifieke relaties aangetoond. Zo is er een duidelijke relatie tussen de bovengrondse en ondergrondse biodiversiteit. Hoe hoger het aantal kruiden of doelsoorten, hoe hoger de totale diversiteit aan bacteriën en schimmels. Ook verschilt het bodemmicrobioom tussen verruigde en niet verruigde locaties. Bacteriën die lignine en cellulose afbreken, zijn met name aangetroffen bij de humusvorm 'mull', maar ook bij sommige veenbodems (bodemgroep 5a: Nat GW en 5b: Nat RW) waar het kan duiden op veenaafbraak. Ook zijn relaties gevonden met denitrificerende bacteriën. Sterker gebufferde bodems zijn gerelateerd aan meer (de)nitrificerende bacteriën, die in zuurdere bodems minder voorkomen. Denitrificatie is het sterkst bij bodemgroep 5a: Nat GW, maar ook bij 1b: Rijk 120. De rijkere bodemgroepen en bodemgroep 5a: Nat GW bevatten de hoogste aandelen ectomycorrhiza's (ECM). Daarentegen is het aantal paddenstoelen in bodemgroep 5a: Nat GW het laagste, maar hier zijn wel de hoogste aantallen unieke soorten aangetroffen. Bodemgroep 1b: Rijk 120 bevatte de meeste soorten paddenstoelen, en ook de meeste zeldzame soorten.

6.4.2 Categorie B

Er zijn geen verschillen gevonden tussen de drie bodemgroepen in de categorie B-bossen. Op basis van de ligging in het landschap en de historie van de drie bodemgroepen waarop deze categorie B-bossen voorkomen, waren zure, voedselarme omstandigheden te verwachten. Het ontwateren van historische laagten (sloten, greppels, rabatten) heeft de oorspronkelijke verschillen tussen bosgroeiplaats 4 (Arm vochtig) en 5b (Nat RW) vervlakt. Vrijwel alle onderzochte locaties zijn verdroogd. De bodem bij bodemgroep 5b: Nat RW bestond oorspronkelijk uit veen, maar daarvan is nu geen sprake meer. Er zijn in de (vaak verploegde) bodem alleen restveenlagen zichtbaar.

Met name in bodemgroep 3: Arm droog en 4: Arm vochtig is de bodem op een groot deel van de locaties nog zuurder dan verwacht, zelfs te zuur voor zure bostypen. In bodemgroep 5b was de bodem conform verwachting zuur tot zwak gebufferd, maar de Al/Ca-ratio was op bijna alle locaties te hoog (>2 mol/mol). De stikstof- en fosfaatconcentraties in de bodem

waren niet opvallend hoog of laag. In de FH-laag vindt ophoping van stikstof plaats, zoals te verwachten is in zure, voedselarme bossen.

In de categorie B-bossen blijkt duidelijk dat de historie een grotere rol speelt dan ligging in het landschap of boomsoort (naald-versus loofboom) en werden tot dusver geen duidelijke verschillen gemeten in bodembuffering of voedselrijkdom in de bodem of de vegetatie (aantal soorten in de kruidlaag en moslaag).

6.4.3 Vergelijking tussen categorie A- en B-bossen

Vergeleken met de categorie A-bossen is het aantal kruiden lager in de categorie B-bossen, terwijl het aantal mossoorten juist hoger ligt. Er is geen invloed gevonden van de hoofdboomsoort, of het nu een naald- of loofboom is, noch van bodemgroep op het aantal kruiden of mossoorten. Op het vlak van bodemchemie zijn de B-bossen zuurder dan de A-bossen binnen dezelfde bodemgroepen.

Wat betreft stikstof en fosfaat is er in de A-horizont geen verschil tussen de A- en B-bossen. Uit het onderzoek blijkt dat de meeste bossen in Drenthe een te hoge stikstofbeschikbaarheid in de bodem hebben.

De diversiteit van schimmels is in alle groeiplaatsen hoger in de A-bossen dan in de B-bossen. Ook het totale aandeel ectomycorrhiza ligt gemiddeld iets hoger in de A-bossen, met name in bodemgroepen Arm droog en Arm vochtig. Opvallend is dat de diversiteit van bacteriën en archaea juist vaker hoger ligt in de B-bossen. Daarnaast scoren de B-bossen hoger op het aantal zeldzame paddenstoelen en op denitrificatie door bacteriën.

7. Conclusies bosbodem Drentse Bossen

7.1 Stand van de Drentse Bossen

7.1.1 Vervlakking van bodemgroepen

Het doel van dit onderzoek was het inventariseren van de huidige staat van de Drentse bosbodems. De basisaannname voor dit onderzoek was dat de kenmerken van de Drentse bossen worden verklaard door de verschillende bodemgroepen waarop ze voorkomen. Voor dit onderzoek is Drenthe opgedeeld in acht bodemgroepen, die zijn onderzocht op een aantal kenmerken: bodem- en humusopbouw, hydrologie, bodemchemie, vegetatie en bodemmicrobioom. De resultaten zijn, voor zover mogelijk, getoetst aan een referentiekader. Dat de bodemgroep van een bos de boskenmerken verklaart blijkt echter maar ten dele waar. Binnen de categorie B-bossen, die een behoorlijk areaal van de Drentse bossen representeren (13.662 ha), is de variatie bijna volledig weggevaagd. Veelal zijn dit heidebebossingen, vaak in grote, aaneengesloten en monotone aanplanten van naaldbomen. In dit type bossen speelt het intensieve historische verleden een grotere rol dan de bodemgroep. Deze bossen komen in tegenstelling tot de categorie A-bossen voor op maar drie van de acht bodemgroepen: 3: Arm droog, 4: Arm vochtig en 5b: Nat RW. De bossen hebben te kampen met problemen. Bodemgroep 4 en 5b zijn op 1 locatie na allemaal verdroogd. Van bodemgroep 3: Arm droog en 4: Arm vochtig is de buffering zo laag, dat het zelfs te zuur is voor zure bostypen. Er is veel stikstof opgehoopt in de strooisellaag, zoals te verwachten is in zure, voedselarme bossen. Opvallend is dat in de bodemmicrobiologie een grotere variatie tussen de verschillende bodemgroepen van de B-locaties wordt gemeten dan tussen de bodemgroepen van de A-locaties.

De vervlakking van variatie is ook (al in mindere mate) zichtbaar in de categorie A-bossen, die de volledige variatie aan bodemgroepen van Drenthe beslaan maar wél maar een klein areaal (445 ha). Hier is de verwachte gradiënt in bodemkenmerken tussen de verschillende groepen nog duidelijk zichtbaar. Zowel in de bodemopbouw, bodemchemie, bodemmicrobioom als vegetatie is een gradiënt in buffering en in (grond)waterinvloed aanwezig. Ook zijn er mooi ontwikkelde locaties vol oud-bossoorten en een goede en passende buffering en hydrologie. Echter zijn ook hier problemen aanwezig. Bodemgroep 2: Matig rijk, 3: Arm droog en 4: Arm vochtig zijn nu, net als bij categorie B, praktisch hetzelfde. Er werd meer onderscheid verwacht in bijvoorbeeld buffering en soortenrijkdom. Andere problemen die zijn aangetoond zijn verdroging bij bodemgroepen 1b: Rijk 120, 4: Arm vochtig, 5b: Nat RW (alle locaties) en 5a: Nat GW (een kwart van de locaties). Bij de veenbodems (5a en 5b) heeft dat geleid tot de vorming van een strooisellaag op het verdroogde veen. Duidelijk minder sterk gebufferd dan verwacht, is de bodem bij bodemgroep 2: Matig rijk en 4: Arm vochtig. Ook bij 1a: Rijk 40, 1b: Rijk 120 en 5a: Nat GW is een deel van de locaties minder sterk gebufferd dan verwacht. Verder is de stikstofconcentratie in de bodem (zeer) hoog, met uitzondering van de wisselvochtige bodemgroep 1b: Rijk 120, dit is ook de enige groep waar geen verruiging van de ondergroei werd waargenomen. Verruiging was op een derde tot de helft van de locaties zichtbaar bij bodemgroepen 1a: Rijk 40, 2: Matig rijk, 4: Arm vochtig en 5a: Nat GW. Naast verruiging is er een verschuiving van het bosvegetatietype zichtbaar: er komt vooral Beuken-eikenbos voor, ten nadele van de 'natuurlijke' typen Berken-zomereikenbos (3: Arm droog en 4: Arm vochtig), Elzenbroekbos (5a: Nat GW) en Berkenbroekbos (5b: Nat RW).

7.1.2 De invloed van historisch landgebruik

Een tweede aanname voorafgaand aan dit onderzoek was dat de ouderdom van de bosgroeiplaats invloed heeft. Daarom zijn binnen de categorie A-bossen zowel oude als jonge bosgroeiplaatsen onderzocht, met 1900 als gehanteerde grens. Kanttekening daarbij is dat alle bossen dateren van vóór 1978, omdat alleen de bossen zijn meegenomen die onderdeel waren van de provinciebrede milieukartering (1974–1978). Jongere bebossingen zijn niet meegenomen. De ouderdom van bosgroeiplaatsen blijkt uit dit onderzoek nauwelijks effect te hebben binnen categorie A. Voor het merendeel van de variabelen en bodemtypen is geen duidelijk ouderdomseffect aangetoond. Daarom zijn de jonge en oude groeiplaatsen binnen categorie A samengevoegd. Let op, er zijn wél duidelijke verschillen tussen categorie A en (de jonge bossen van) categorie B, maar dat verschil is niet puur te wijten aan ouderdom van de groeiplaats. Het feit dat de categorie B-bossen een heideverleden hebben en voorafgaand aan bebossing zijn bemest, geploegd en ontwaterd, speelt een belangrijke rol.

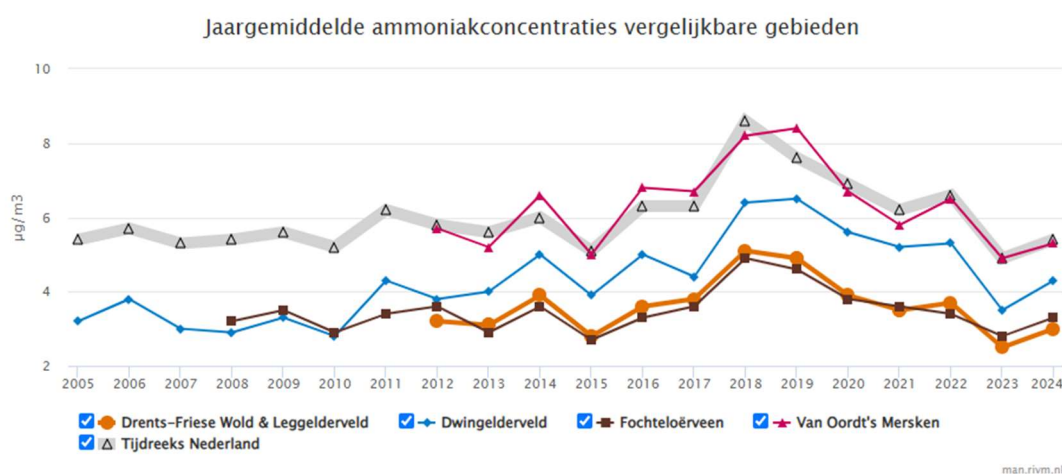
Opvallend in de beschrijving van de bodemgroepen bij categorie A is de dominantie van eik bij alle bodemgroepen. Dit heeft waarschijnlijk te maken met houtschaarste in de 17^{de} eeuw en daardoor de aanplant van hoofdzakelijk eik en in mindere mate beuk, waardoor onze huidige bossen waarschijnlijk hun met eiken gedomineerde karakter kregen (Buis, 1985; Elerie et al., 1993; Smeenge, 2005; Elerie et al., 2015). De mens heeft om in te kunnen spelen op de vraag naar eikenhout bovendien ook ontwatering aangelegd, wat bijdraagt aan de huidige verdrogingsproblematiek van de bossen. Het voorkomen van het Beuken-eikenbos op vrijwel alle bodemgroepen toont aan dat van origine natte milieus (bodemgroep Arm vochtig, Nat GW en Nat RW) met zijn kenmerkende elzenbroekbossen, vogelkersessenbossen en berkenbroekbossen sterk in areaal zijn teruggedrongen. Er heeft dus een verschuiving plaatsgevonden naar een droger en zuurder bostype en bovendien vaak een basale versie daarvan (Figuur 7-2).

7.1.3 Drukfactoren

Het nivelleren van de oorspronkelijke gradiënten is een optelsom van verschillen de drukfactoren zoals verzurende depositie, veranderingen in de hydrologie en klimaat, historisch landgebruik en veranderingen in het beheer. Hieronder zijn de drukfactoren individueel beschreven, maar er is veel interactie: zo leidt een verlaagde waterstand niet alleen tot verdroging, maar ook tot verzuring wanneer de wortelzone niet meer wordt aangereikt door basen uit het grondwater. Op de eerste plaats staan de verhoogde stikstofdepositie en verdroging. De hoge stikstofconcentratie in de bodem en tekenen van verzuiging van de ondergroei is een breed voorkomend knelpunt in de onderzochte bossen. Recent is bekend geworden dat de bosbodems in Nederland een zeer grote hoeveelheid aan stikstof accumuleren en dat de stikstofdepositie waarschijnlijk vele malen hoger is dan modellen voorspellen (Jong de, et al., 2023; Trouw, 2024).

Het effect van verhoogde stikstofconcentraties op de Drentse bossen is meerledig. Ten eerste maakt stikstof, vaak gecombineerd met een hoge fosfaatbeschikbaarheid, de weg vrij voor verzuiging met soorten als stekelvarens, bramen, bochtige smele en in mindere mate ook kamperfoelie, vuilboom en pijpenstrootje. Ook gaan hoge stikstofconcentraties gepaard met een reductie van het aantal mycorrhiza-paddenstoelen en ook satijnzwammen (algemene waarneming E. Brouwer). Deze waarneming wordt ondersteund door de analyse van het bodemmicrobioom, waaruit blijkt dat bossen boven de grenswaarde van 100 μmol nitraat/L bodem significant minder ectomycorrhiza bevatten. De langjarige MAN-gegevens (meetnet ammoniak in natuurgebieden van het RIVM) laat zien dat in Drenthe gemiddeld relatief lage ammoniakconcentraties in de lucht worden gemeten in vergelijking met het Nederlandse gemiddelde (Figuur 7-1). Ook is in deze data te zien dat de gemiddelde ammoniakconcentratie in Drentse Natura 2000-gebieden is toegenomen sinds 2005-2011 (Dwingelderveld) of nagenoeg gelijk gebleven is.

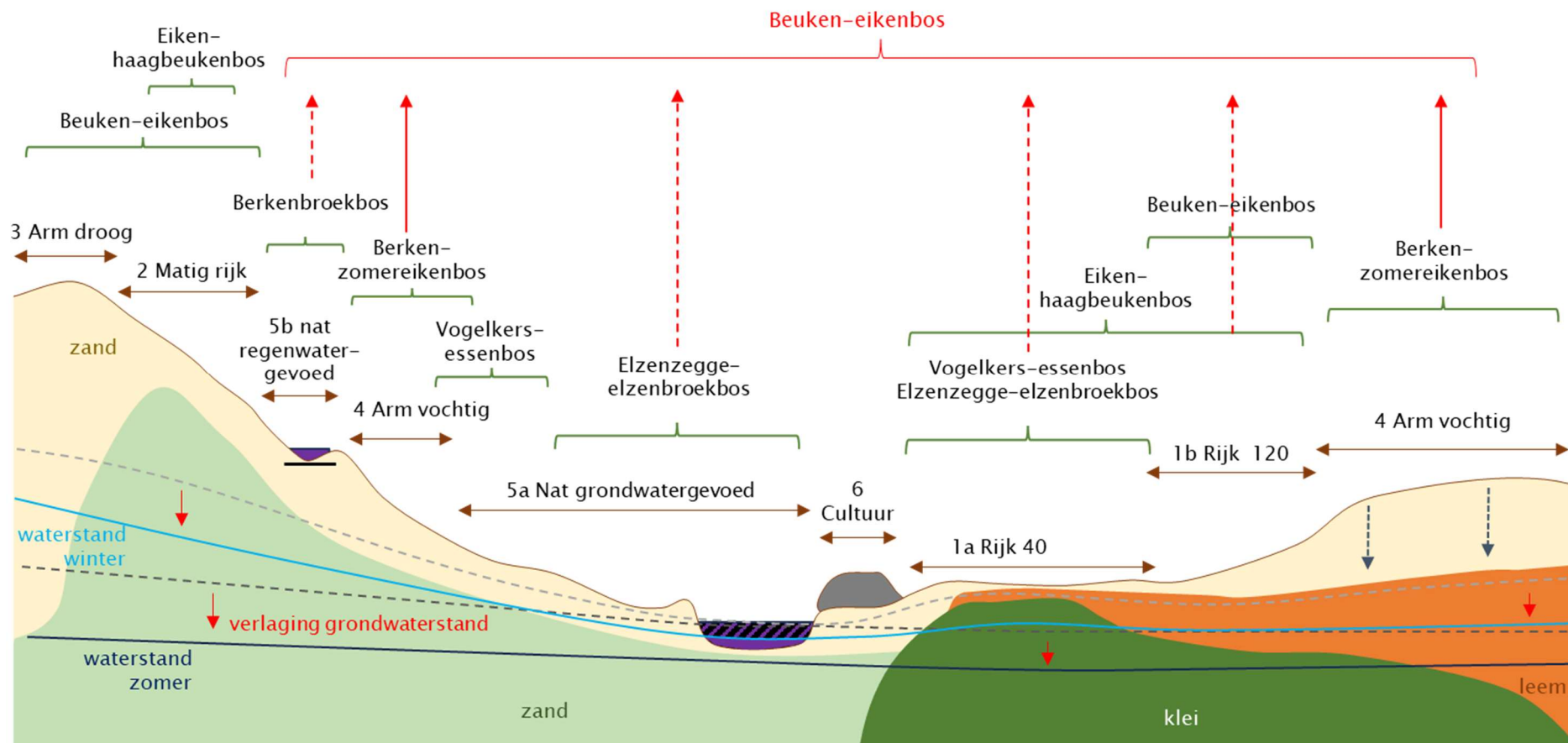
Dat betekent ook dat de verzurende en vermestende drukfactoren als gevolg van ammoniakdepositie zeker niet zijn verminderd. Voor bijvoorbeeld voor ammoniak gevoelige kortmossen treden al schadelijke effecten op bij een concentratie in de lucht van 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sutton et al., 2009).



Figuur 7-1: Gegevens van het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden van het RIVM (man.rivm.nl/gebied/drents-friese-wold-en-leggelderveld).

Naast ophoping van stikstof als gevolg van de verhoogde stikstofdepositie, hebben de bossen last van verdroging. De van oorsprong wisselvochtige tot natte bossen zijn verdroogd als gevolg van aanleg van ontwatering zowel in de bossen als in de omgeving, bijvoorbeeld ten behoeve van de ruilverkaveling. Het veranderende klimaat tot leidt tot extreme regenval, maar ook tot langdurige perioden van droogte. Dit heeft niet alleen consequenties gehad voor de bodemkwaliteit (mineralisatie en daardoor klink van veen) maar ook voor de mineralenhuishouding. Mineralen die via het grondwater werden aangevoerd, bereiken de wortelzone niet meer of te kort om de zuurgraad te bufferen. De pH-profielen in de beschrijvingen van de bodemgroepen laten dit goed zien.

De bovengrond van de bodem verzuurt door enerzijds de verminderde mineralenbuffering vanuit het grondwater, maar ook door de dominantie van boomsoorten met zuur bladstrooisel (eik en beuk) en de verhoogde zuurlast door atmosferische depositie (zwavel en stikstof) in de afgelopen eeuw. Hoewel binnen de categorie A-bossen nog wat locaties hydrologisch op orde lijken, zijn de categorie B-bossen sterk verdroogd. De categorie B-bossen hebben een verleden van intensief landgebruik waarin ze werden begraasd, gebrand en er plaggen werden gestoken. Vervolgens zijn ze ontwaterd en zijn er monotone opstanden van boomsoorten met overwegend zuur strooisel (vooral naaldbomen) aangeplant. De combinatie van factoren heeft er waarschijnlijk voor gezorgd dat deze boslocaties over het algemeen sterk zuur, arm aan organisch materiaal en relatief voedselarm aan hun carrière als bos zijn begonnen. Het feit dat alle onderzochte bossen overwegend bestaan uit boomsoorten met slecht afbreekbaar strooisel (eik, naaldbomen) zorgt er in combinatie met de verzuring en geremde afbraak voor dat een dikke laag slecht afbreekbaar organisch materiaal is ontstaan waarin voedingsstoffen zijn opgesloten.



Figuur 7-2: Verandering van de kenmerkende bostypen per bodemgroep (zie ook par. 3.3.). De rode pijlen verwijzen naar de vegetatietypen die deels (gestippelde pijlen) of geheel (doorgetrokken pijlen) zijn overgegaan naar (soms een basale vorm van het) Beuken-eikenbos.

Twee andere drukfactoren die in de categorie A-bossen spelen, is het veranderde beheer en het geringe oppervlak van deze bossen. Op vrijwel alle bemonsterde locaties is het gebruik van het bos, zoals dat decennia lang door de mens werd gedaan, weggevallen. Historisch gezien waren de bossen er voor praktisch gebruik en vond er hakhoutbeheer plaats, kleinschalige strooiselverwijdering of extensieve begrazing. Nu hebben de bossen veelal een gemengde doelstelling (productie, recreatie, biodiversiteit) en is dit beheer verdwenen, en daarmee ook de kleinschalige gradiënten en mozaïeken uit het bos. De bossen worden eenvormiger, donkerder en de strooisellaag wordt dikker: niet alleen door verzuring, verdroging en vermessing, maar ook door een veranderd gebruik. Daarnaast beslaan de categorie A-bossen een klein oppervlak, ze liggen al erg lang geïsoleerd in het landschap, maar zijn daardoor nu extra vatbaar voor drukfactoren. Veel categorie-A-bossen zijn klein en liggen in een agrarische omgeving waardoor ze meer stikstof invangen dan de veel grotere boscomplexen van categorie B.

7.1.4 Microbieel referentiekader van de Drentse bossen

De resultaten die binnen dit project zijn verzameld vormen samen het eerste microbiologische referentiekader voor bosbodems in Nederland en sluiten aan bij de observaties van de Bosgroepen en B-ware. Een van de belangrijkste uitkomsten is dat er een duidelijk verband is tussen de bodemmicrobiologie en de bovengrondse vegetatie, waaronder het aantal doelsoorten. Tevens blijkt dat, in lijn met de conclusie dat er vervlakking van variatie plaatsvindt tussen de bodemgroepen, de acht bodemgroepen maar een klein deel van de variatie in microbioom verklaren, circa 6% van de totale variatie tussen de A-locaties is gecorreleerd aan de bodemgroep. Voor de drie onderzochte bodemgroepen met B-locaties was dit percentage 11%. Dit betekent dat voor een groot deel de microbiologische variatie niet wordt verklaard door de bodemgroepen alleen, maar dat ook andere factoren een rol spelen zoals vegetatie, bufferstatus en beheer. Uit dit onderzoek blijkt dat de samenstelling van de bodemmicrobiologie duidelijke verbanden vertoont met de samenstelling van de vegetatie van de bossen. Het totaal aantal gevonden plantensoorten en het aantal doelsoorten is bijvoorbeeld gelinkt aan de bacteriële diversiteit en aan het voorkomen van denitrificerende bacteriën. Het is opvallend dat juist voor deze groep bacteriën, die stikstof verwijderen uit de bodem, een verband wordt gevonden. Op basis van de huidige resultaten is de hypothese dat met name de zure bossen die zowel weinig nitrificerende bacteriën, archaea als denitrificerende bacteriën bevatten het hoogste risico hebben op verdere verzuring en vermessing met bovengronds diversiteitsverlies tot gevolg. Deze bossen hebben beperkte biologische capaciteit om stikstof die in het systeem komt om te zetten. Voorbeelden van dit soort bossen zijn het Norgerholt en Bruntinger binnenveld. Voorbeelden van bossen waar deze biologische parameters juist op orde zijn op basis van het in dit onderzoek verworven referentiekader zijn: Het Waal en het Gasterse Holt. De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat de samenstelling van het microbioom de potentie heeft om als aanvullende indicator voor natuurkwaliteit gebruikt te worden. De microbiologische samenstelling van de bodem is tevens gecorreleerd aan factoren waarop beheer kan worden uitgevoerd, zoals de aanwezigheid van dood hout en kationen. Dit biedt aanknopingspunten om maatregelen te testen die de microbiologie kunnen stimuleren, zoals denitrificatie.

Ook is er een relatie aangetoond tussen de stikstofconcentraties in de bodem en het aandeel ectomycorrhiza(EM)–schimmels. Uit de data blijkt dat het aandeel van de EM–schimmels gemiddeld lager ligt in de bodems waar meer dan de kritische grens van 100 µmol/l nitraat gemeten is, dit is het leeuwendeel van de locaties in de drogere bossen. De spreiding in aanwezigheid tussen de locaties is echter wel hoog: er zijn ook bodems met hoge nitraatconcentraties en toch een hoog aandeel EM–schimmels. De aanwezigheid van deze schimmels is dus ook onderhevig aan andere factoren. Dit biedt daarmee wel de potentie om het aandeel EM–schimmels op pijl te houden , zelfs onder hogere nitraatconcentraties.

7.1.5 Belangrijkste observaties microbiologie per bodemgroep

Ondanks dat de bodemgroepen geen groot deel van de microbiële samenstelling verklaren zijn er een aantal duidelijke verschillen waargenomen. Opvallend is dat de bodemgroepen 1 (rijke bodems) en 5a: Nat GW de hoogste diversiteit aan bacteriën, archaea en schimmels bevatten. Bodemgroep 1a: Rijk 40 bevatte de meeste soorten bacteriën die plantengroei bevorderend zijn, ze maken fosfaat beschikbaar, antibiotica tegen ziekteverwekkers of maken de planten bestendiger tegen droogte. Bodemgroep 1b: Rijk 120 heeft gemiddeld het hoogste aantal aan verschillende soorten paddenstoelen per locatie. Deze groep is daarmee een waardevolle bron van diversiteit aan paddenstoelensorten. De meeste nitrificerende en denitrificerende bacteriën werden in natte grondwatergevoede bodems aangetroffen (bodemgroep 5a), wat betekent dat bossen die hydrologisch gezien op orde zijn ook veel stikstof uit de bodem kunnen laten verdwijnen en ze daarmee minder kwetsbaar maken voor vermessing vanuit atmosferische depositie. Ook hebben deze bodems het hoogste aandeel ectomycorrhiza, schimmels die in en om de boomwortels groeien en in samenwerking met bomen leven. Wel valt op dat de variatie in het aandeel ectomycorrhiza schimmels groot is. Er zijn ook locaties waar juist een laag aandeel van deze groep schimmels wordt gemeten. Dit betekent dat binnen bodemgroepen microbiologisch veel variatie is. Tevens zijn een aantal organismen aangetroffen die duidelijk gecorreleerd zijn aan type bodemgroepen (bijvoorbeeld arm of nat). Deze soorten kunnen dienen als indicator die typisch zijn voor deze groeiplaatsen, een voorbeeld hiervan zijn *Elaphomyces* voor de armere bodems en *Lactarius* (melkzwammen) voor de natte bodems.

Voor de categorie B–bossen valt op dat ze een relatief rijk bodemleven en relatief gevarieerde mycoflora bevatten. Qua diversiteit van bacteriën en archaea is er geen verschil met de categorie A–bossen, de B–bossen bevatten een lagere diversiteit aan schimmels. Opvallend is dat bij de 5b Natte regenwatergevoede B–bossen een hoger aandeel bacteriën aangetroffen die bij nitrificatie en denitrificatie zijn betrokken. Dit is een indicatie dat de stikstofkringloop in dit type B–bossen actiever is en een grotere potentie heeft om stikstof uit het systeem te verwijderen en hiermee verzuring en vermessing tegen te gaan.

7.2 Overige inzichten

Dit onderzoek heeft een aantal waardevolle resultaten opgeleverd die niet direct zijn opgenomen in de hoofdrapportage, namelijk de volgende:

- Het feit dat voor het eerst het bodemmicrobioom van veel verschillende standplaatsen in kaart is gebracht. De relatie tussen bodemgroepen en het bodemmicrobioom is tot op heden nog nooit op deze schaal onderzocht. De resultaten van dit project zijn de eerste basis voor een microbiologisch referentiekader van Nederlandse bossen. Bodemmicrobiomen behoren tot de meest complexe en diverse microbiomen op aarde. De resultaten van de Drentse bossen bevestigen dit: er zijn in totaal iets meer dan 100.000 unieke DNA-sequenties geïdentificeerd. Hiervan zijn circa 62% afkomstig van bacteriën, circa 5% van archaea en 33% van schimmels. Dankzij ontwikkelingen in de informatietechnologie is het nu mogelijk om met deze data te werken en vergelijkingen te maken tussen condities zoals bodemgroepen of om ontwikkelingen van microbiomen in de tijd te volgen;
- De koppeling van bodemmicrobioom aan bodemchemische, vegetatie- en standplaatsparameters om zo te verkennen of er duidelijke relaties en verbanden te vinden zijn (opgenomen in Bijlage 7);
- Een uitgebreidere beschrijving van de bodemchemie van bossen is ook opgenomen in Bijlage 4. Dit aangescherpte referentiekader kan gebruikt worden om de bodemchemische toestand van bossen in Nederland beter te toetsen.

Het verder ontwikkelen van deze nieuwe kennis, in brede, disciplineoverstijgende onderzoeksgroepen bleek heel waardevol en nieuwe inzichten op te leveren.

8. Maatregelen en aanbevelingen

8.1 Inleiding

Uit dit onderzoek blijkt dat de onderzochte Drentse bossen onder druk van verzuring, vermesting en verdroging staan. Gevolg hiervan is het verlies van lokale gradiënten en mozaïeken, kenmerkende planten, mossen en paddenstoelen, het uniformer worden van de boslocaties en het steeds kwetsbaarder worden van met name de geïsoleerd liggende, kleine bosobjecten (veelal categorie A). Er zijn daarentegen ook veel kansen: voor het herstellen van hydrologie, lokale variatie en gradiënten, voor het beter benutten van diepere bodemlagen met basische kationen en voor het kleinschalig terugbrengen van variatie in licht en bodembedekking via beheer (nabootsen historisch landgebruik). In dit hoofdstuk worden eerst mogelijke maatregelen in algemene zin beschreven, waarna per bodemgroep wordt aangegeven welke maatregelen geschikt kunnen zijn voor die specifieke groep. Deze maatregelen gelden zowel voor de categorie A- als B-bossen binnen die betreffende bodemgroep.

Voor alle beschreven maatregelen geldt dat ze weloverwogen genomen dienen te worden, zeker bij de oude, historische categorie A-bossen. Dat betekent niet dat ingrepen in de categorie B-bossen zonder meer 'no regret' zijn. Voor iedere ingreep is het van belang goed vast te leggen wat de huidige waarden in het bos zijn, niet enkel van de vegetatie maar zeker ook van mossen en paddenstoelen, op welke manier voorgenomen maatregelen deze waardes versterken of misschien bedreigen, en op basis waarvan een afweging is gemaakt.

In de jonge heidebebossingen wordt momenteel vaak gestreefd naar een meer divers bos dat beter bestand is tegen klimaatverandering en de verschillende functies (houtproductie, biodiversiteit, opslag van water, opslag van koolstof enzovoorts). Voorliggend onderzoek laat zien dat een groot deel van deze bossen sterk zuur en verdroogd is. Ook de massale sterfte van fijnspar laat zien dat bossen kwetsbaar kunnen zijn. Een divers pakket van maatregelen is nodig én mogelijk om de groeiplaatsen 'klimaatstlim' en 'toekomstbestendig' te maken, door meer variatie aan te brengen op het gebied van boomsoorten en bodembuffering. Een bijkomend voordeel is dat door de omvorming naar bossen met een hoger aandeel loofhout ook meer water in de bodem wordt opgeslagen. In de regel verdampen loofbomen namelijk minder vocht dan naaldbomen. Deze omvormingvraagstukken spelen hoofdzakelijk bij de onderzochte categorie B-bossen. Ook blijkt dat deze vaak sterk zuur van karakter zijn, waardoor het op perceelsniveau uitvoeren van bufferherstelmaatregelen het overwegen waard is. Hoewel de groeiplaatsen van deze B-bossen in de jaren '30 van de vorige eeuw ook al zuur waren, was vermoedelijk de basenverzadiging, de verhouding tussen voedingsstoffen (stikstof en fosfor) en de hoeveelheid aan voedingsstoffen gunstiger voor het bosesysteem.

Een deel van de zure naaldbossen is weliswaar niet zo soortenrijk als het gaat om planten, maar kunnen wel bijzondere paddenstoelen, mossen en een uniek microbioom herbergen. Het is dan ook waardevol om in ieder geval een deel van deze zure naaldbossen in stand te houden. Ook voor sommige vogels, zoals zwarte specht, is naaldbos een belangrijke habitat. Niet alles hoeft overal.

De belangrijkste maatregel voor duurzaam behoud van de Drentse bossen blijft het verminderen van de stikstofdepositie op de bossen, de hier beschreven maatregelen zijn

deels (systeem)herstelmaatregelen maar zeker ook ‘overlevingsmaatregelen’ om de bosrelicten te behouden.

Het onderzoek, en daarmee ook het maatregelenadvies, is primair gericht op het vitaler maken van de standplaats. Maatregelen zoals het vergroten van de structuur en menging in het bos of het inrichten van een netwerken van oude, aftakelende en dode bomen zijn nuttig voor het verhogen van de veerkracht van het gehele boscossysteem, maar komen hier niet of beperkt aan bod. Daarvoor wordt verwezen naar o.a. en (Maaren van, et al., 2024).

8.2 Achtergronden van maatregelen

8.2.1 Maatregelen op landschapsschaal

Bijzonder aan Drenthe is de kleinschalige variatie in het landschap, die het gevolg is van verschillen in zowel bodemopbouw als geomorfologie. In de provincie komen diverse grondsoorten voor, zoals keileem, potklei, dekzand en veen. Deze bodemdiversiteit hangt samen met de geomorfologische variatie, waaronder het keileemplateau, beekdalen en geïsoleerde laagten. Het centrale Drents plateau grenst aan zowel het hoogveenlandschap als het laagveenlandschap. De overgangen tussen deze hoofdlandschappen gaan gepaard met duidelijke gradiënten in bodemtype en waterhuishouding. Zulke gradiënten dragen sterk bij aan de regionale biodiversiteit (de zogenaamde ‘gamma-diversiteit’), maar komen momenteel slechts beperkt tot uiting binnen het boslandschap.

Bosgebieden die op de overgang liggen tussen verschillende landschappen bevatten vaak meerdere bodemgroepen en zijn dikwijls soortenrijk. Juist in deze overgangszones ligt een belangrijke kans om de biodiversiteit te versterken. Het herstel of versterken van gradiënten op zulke locaties kan leiden tot een impuls voor de natuurkwaliteit (zie als voorbeeld Figuur 4–). Vanuit dit perspectief is het zinvol om te zoeken naar plekken waar herstel van gradiënten tussen hoofdlandschappen mogelijk is, bijvoorbeeld vanaf de hogere zandgronden naar het laagveen- of hoogveenlandschap, of binnen de hogere zandgronden zelf (droog en nat zand, beekdal).

Op het hierboven beschreven landschapsniveau kunnen alleen globale maatregelen worden aangegeven waarvoor verdere uitwerking nodig is per gebied. De kop van Drenthe is in dat opzicht een kansrijk gebied: hier komen nog relatief hoge natuurwaarden voor. Dankzij de aardkundige opbouw van het gebied is het bovendien vaak mogelijk om zonder grote neveneffecten relatief snel succesvolle maatregelen te realiseren. De maatregelen op landschapsniveau betreffen 1) het herstellen van de hydrologie en 2) het verbinden van bosgebieden.

1) Herstellen hydrologie

Deze maatregel omvat het opheffen van ontwateringen die lokale gradiënten doorsnijden (herstel vocht, zuurbuffering), waardoor de grondwatertoevoer wordt versterkt en de waterafvoer wordt beperkt of vertraagd. Bij het herstellen van de (lokale) hydrologie kan grondwater hoger in de bodem geraken en mogelijk in de wortelzone de bodem aanrijken met basische (bufferende) kationen zoals calcium, kalium en magnesium. Ook bicarbonaat (HCO_3^-) kan meekomen met grondwater. Voorwaarde is natuurlijk wel dat het grondwater rijk is aan deze ionen en ook lang genoeg in de wortelzone kan komen. Onderzoek naar de

potenties van deze maatregel kan dit uitwijzen. Hydrologische herstelmaatregelen kunnen alleen worden uitgevoerd na het uitvoeren van een gedetailleerder vooronderzoek waarbij veel aandacht is voor de lokale (gebieds)schaal, denk aan reliëf, bodemtype, humustype, zuurbuffering in pH-profiel, waterstanden, waterkwaliteit, vegetatie en historisch landgebruik.

2) Bosgebieden verbinden

Door bosgebieden met elkaar te verbinden zijn ze minder kwetsbaar voor het verdwijnen van soorten door isolatie of milieuveranderingen. Wanneer er verbindingen zijn kunnen soorten zich beter verspreiden en populaties worden versterkt. Binnen bestaande bossen kan verbinding worden gecreëerd door optimalisatie van het milieu (hydrologische maatregelen) en het beheer (bijvoorbeeld in naaldbossen een gedeeltelijke bosomvorming naar meer loofhout, dood hout enzovoorts). Kenmerkende bosplanten in de ondergroei verspreiden zich zeer moeizaam en kunnen geïsoleerde bosjes vrijwel niet bereiken.

Een alternatief op spontane vestiging is het introduceren van kenmerkende bosplanten zoals bosanemoon. Vanuit Wageningen Environmental Research (WENR) zijn speciale kweekprogramma's voor specifieke bedreigde planten, waarbij alleen soorten worden gekweekt op basis van genetische screening en herintroductie alleen plaatsvindt na boordeling van standplaats en soortverspreiding.

Wanneer het gaat om bosontwikkeling op voormalige landbouwgrond is aandacht nodig voor herstel van reliëf en herstel van de voedingstoestand. En net als voor korte vegetaties geldt dat er alleen kwalitatief goede bossen ontstaan na herstel van de bosgroeiplaats (reliëf, bodem, water). Dit betekent dat voorafgaand aan de aanplant of spontane vestiging eerst inrichtingsmaatregelen nodig zijn: bij intact reliëf eerst verschrallingsbeheer (verschralling/uitmijnen) of zelfs het afplaggen van de voedselrijke bovengrond. Wanneer het perceel is geëgaliseerd is het uitlepelen van dichtgeschoven laagten nodig om de variatie te herstellen. In bos kan immers geen verschrallingsbeheer worden gevoerd en daardoor blijven problemen zoals boomsterfte, verruiging en verdroging aanwezig. Bosontwikkeling is een kwestie van langere adem: op afgeplagde landbouwgronden vestigt zich eerst een pionierbos dat weer voor bodemvorming moet zorgen. Pas na decennia zal er een gemengd en robuust bos ontstaan.

8.2.2 Maatregelen op lokale schaal

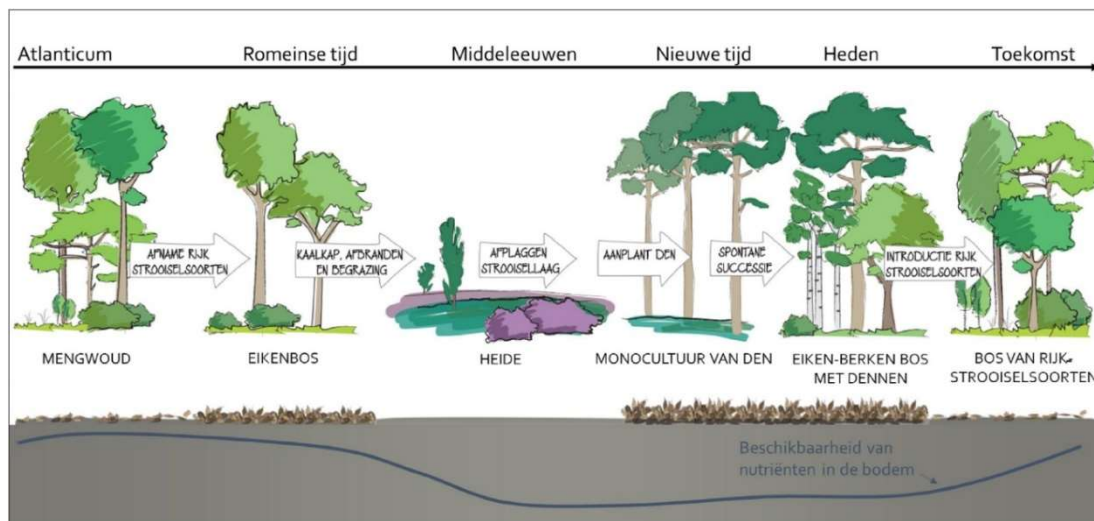
Uit voorliggend onderzoek blijkt dat er verlies is van kenmerkende soorten uit de Drentse bossen. Unieke gradiënten tussen maar ook binnen locaties zijn aan het verdwijnen. Versterken van de bestaande bossen is noodzakelijk vanuit de groeiplaats (bodem en water) als door het bieden van ruimte voor aanwezige doelsoorten (beheer). Hieronder zijn de maatregelen beschreven die nodig zijn op lokale schaal (standplaats of perceel).

1) Herstellen hydrologie

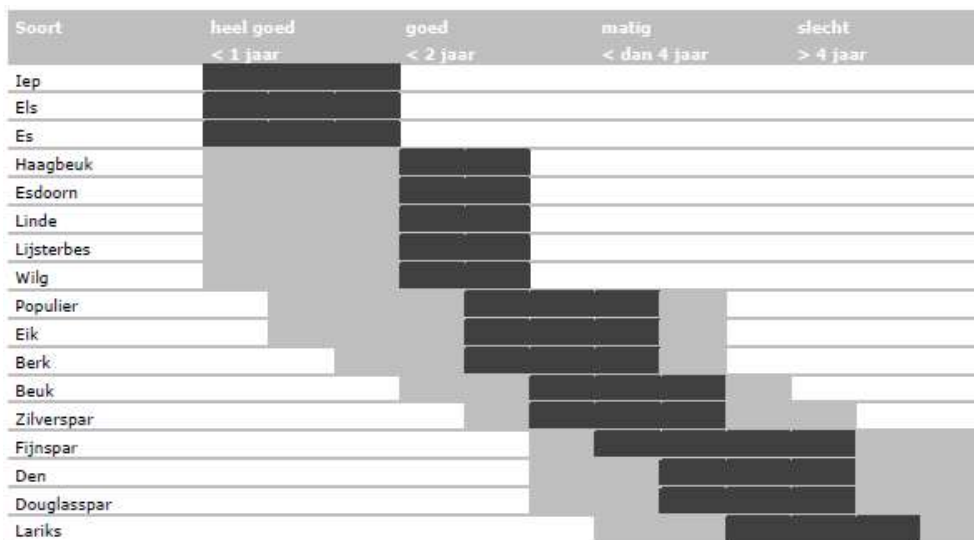
Het dempen van inliggende sloten en greppels en maken van afspraken met aangrenzende grondeigenaren om de hydrologie te verbeteren is urgent in dit veranderende klimaat en daardoor toenemende droogtestress. Net als voor hydrologische maatregelen op landschapsschaal, geldt ook op lokale schaal dat een gedetailleerder vooronderzoek nodig is met aandacht voor het reliëf, bodemtype, humustype, zuurbuffering in pH-profiel, waterstanden, waterkwaliteit, vegetatie en historisch landgebruik.

2) Vrijstellen en aanplanten rijkstrooiselsoorten

Veel groeiplaatsen worden gedomineerd door eik, beuk en/of grove den. Veel loofbomen, vaak met een rijkere vorm van strooisel, zijn door eeuwenlange ingrepen en bosbouwkundige sturing op eik en beuk verdwenen (Figuur 8-1). Tijdens voorliggend onderzoek viel op dat de aanwezigheid van rijkstrooiselsoorten die in het kronendak komen zoals hazelaar, linde, iep en ook Amerikaanse vogelkers, zorgt voor lokaal andere standplaatscondities (Figuur 8-2). Deze soorten hebben hun zwaartepunt in bodemgroep 1a: Rijk 40 en in minder mate in 2: Matig rijk, 3: Arm droog en 5b: Nat RW, maar zijn door het historisch gebruik en successie verdwenen of hebben zich aan de randen van de bossen, zoals op wallen teruggetrokken.



Figuur 8-1: Schematisch overzicht van het verdwijnen van rijk-strooiselsoorten door de tijd en afnemende beschikbaarheid van nutriënten in de bodem (balk onderaan).



Figuur 8-2: Verschillen in bladstrooiselkwaliteit op basis van afbraaksnelheid van verschillende boomsoorten op min of meer dezelfde groeiplaatstypen (De Schrijver et al, 2010, naar Krafenbauer & Gasch, 1989).

Door het vrijstellen of aanplanten van rijkstrooiselsoorten worden mozaïeken in het bos gecreëerd en behouden, waardoor er een grotere biodiversiteit in het bos ontstaat. Ook kan overwogen worden om actief rijkstrooiselsoorten in te mengen in bossen waar de vegetatie nu monotoon uit beuk en eik bestaat. Dat betekent niet dat er wordt beoogd een lindebos te ontwikkelen. Het vrijstellen en aanplanten van rijkstrooiselsoorten is een inmiddels bewezen maatregel voor de verbetering van de bodembuffering, het bodemleven en de biodiversiteit in het algemeen (Desie et al 2020, Reich et al 2005). Deze maatregel is echter een traagwerkende maatregel. Doorgaans wordt er alleen een significant verbeterend bufferend effect aangetoond wanneer de boom- of struiksoorten een voldoende groot aandeel in het totaal aan strooisel hebben. Dit is bij bomen pas na een jaar of 30. Daarnaast hebben de rijkstrooiselsoorten een groter effect naarmate de bodem rijker is (Desie, et al., 2020). In de armere bodems (arme zure zandbodems) is het nog steeds zinvol om het rijkstrooiselsoortenpallet te vergroten, maar kan men overwegen om minder eisende soorten als zogenaamde kwartiermakers aan te planten/te bevorderen (soorten als berk, hazelaar, lijsterbes, vuilboom). In de bodemgroepen met wat rijker moedermateriaal (bodemgroep 2: Matig rijk) kan men verwachten dat het effect van rijkstrooiselsoorten groter is dan op locaties met relatief arm moedermateriaal (bodemgroepen 3: Arm droog, 4: Arm vochtig, 5b: Nat RW en 6: Cultuur). Bij inmenging van rijkstrooiselsoorten is wildvraat een belangrijk aandachtspunt. Ook kan overwogen worden om aan plantgatbemesting te doen bij aanplant, met steenmeel, kalk en/of organisch materiaal. Of dat nodig is, is locatieafhankelijk.

3) Aanbrengen bufferende stoffen

Op voormalige heidebebossingen zijn arme groeiplaatsen verzuurd en kan de buffering worden verhoogd door het aanbrengen van bufferende stoffen zoals kalk, schelpenkalk of steenmeel is in de bossen een maatregel die direct (of na een jaar of 3 bij steenmeel) de buffering verhoogd. De effecten van deze stoffen zijn gepubliceerd in diverse onderzoeken

van OBN (Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit). De combinatie van steenmeel en een kalkstof wordt momenteel in diverse bossen onderzocht. Bij deze maatregel wordt altijd geadviseerd om goed vooronderzoek uit te voeren.

Het opbrengen van bufferstoffen is een laatste redmiddel, en alleen van toepassing als hydrologisch herstel niet mogelijk of passend is. Momenteel zijn er nauwelijks negatieve effecten van steenmeeltoediening op bossen bekend (o.a. De Vries et al., 2019, Sitters et al., 2023), echter is steenmeelonderzoek nog gaande. Het toedienen wordt derhalve alleen geadviseerd in bossen waar mogelijke negatieve effecten niet opwegen tegen de (bewezen) positieve effecten. Venige gronden zijn hier niet voor geschikt. Uit dit onderzoek lijken vooral bodemgroepen 2: Matig rijk, 3: Arm droog en 4: Arm vochtig in aanmerking te komen.

4) Stikstof invangen door bosaanleg rondom oude boskernen

Aanplant van nieuw bos rond bestaande bosrelicten kan een deel van de inwaaiende stikstof afvangen. Hiermee kan voorkomen worden dat bosrelicten van buiten naar binnen steeds verder verruigen.

5) Bosomvorming

In de jonge heidebebossingen (categorie B-bossen) wordt momenteel vaak gestreefd naar de omvorming van naald- naar loofbos, omdat loofbomen (niet altijd maar in de regel) minder water verdampen dan naaldbomen, maar ook om een “klimaatslim” en “toekomstbestendig” bos te ontwikkelen. Ook blijkt dat deze B-bossen vaak sterk zuur van karakter zijn, waardoor het op perceelsniveau uitvoeren van bufferherstelmaatregelen het overwegen waard is. Bij de omvorming van naald- naar loofbos zijn een aantal aandachtspunten van belang:

- Een deel van de zure naaldbossen is weliswaar niet zo soortenrijk als het gaat om planten, maar kunnen wel bijzondere paddenstoelen, mossen en een uniek microbioom herbergen. Het advies is dan ook om in ieder geval een deel van de zure naaldbossen in stand te houden; de paddenstoelenwerkgroep Drenthe heeft een goed overzicht over de mycologisch waardevolle naaldbossen. Vaak gaat het om vochtige fijnsparbossen op een wat lemige ondergrond. Ook voor sommige vogels, zoals zwarte specht, is naaldbos een belangrijke habitat.
- Bij omvorming naar loofbos is het algemene advies om voor verschillende boomsoorten te gaan (geen monoculturen). Ook het grootschalig kappen wordt tegenwoordig ontraden, werk eerder groepsgewijs. Op die manier ontstaat er veel variatie in het bos.
- Variatie in soorten, dat kan zijn op gebied van klimaat-slim (koud of warm), of met verschillende genetische afkomst. Met het oog op een veranderend klimaat adviseren we om in ieder geval goed vast te leggen wat de boomsoorten en herkomsten zijn bij aanplant, zodat in de toekomst geëvalueerd kan worden wat het beste heeft gewerkt. Breng in kaart waar inheemse, genetisch unieke populaties of individuen aanwezig zijn, en plant daaromheen geen uitheemse soorten aan om de unieke genetische diversiteit te behouden.
- Kijk bij de boomsoortkeuze ook naar de rijkdom van het moedermateriaal, of er door bomen met goed afbreekbaar strooisel mineralen omhoog te halen zijn (pompwerking). Op deze rijkere groeiplaatsen zouden rijkstrooiselsoorten ingemengd kunnen worden. Op armere groeiplaatsen kunnen zogenaamde

‘kwartiermakers’ (o.a. lijsterbes, berk, vuilboom) zorgen voor een verhoging van de biodiversiteit en een verbetering van de strooiselafbraak (en daarmee de gebieden in de toekomst gereed maken voor echte rijkstrooiselsoorten). Soms kan het raadzaam zijn om plantgatbemesting toe te passen, of om grootschalige bufferherstelmaatregelen te nemen. Bij openkappen voor nieuwe aanplanten kan ook een eenmalige steenmeel en/of kalkgift overwogen worden, en kan een eventuele dikke strooisellaag (deels) verwijderd worden om zo in ieder geval een deel van het opgehoopte N af te voeren. Toediening van bufferende stoffen is altijd maatwerk en dient te worden toegepast na goed vooronderzoek.

6) Stimuleren van bestaande populaties

Welke exacte maatregelen genomen kunnen worden, hangt af van de specifieke plantensoort. Maar over het algemeen kan gedacht worden aan het kleinschalig verwijderen van strooisel rondom restpopulaties, gecombineerd met een lage kalkgift (1 ton kalk/ha) als het om zuur-gevoelige soorten gaat. Ook kan getracht worden om soorten te herintroduceren via zaad of plant, en om bij langdurig geïsoleerde populaties aan actieve inmenging te doen door planten of zaden uit andere populaties bij te plaatsen. Wanneer wordt gekozen voor herintroductie is het van belang eerst vast te stellen dat de standplaatscondities voldoen voor de doelsoort. Bekalking kan alleen op minerale gronden (dus geen veen of moerige grond).

7) Creëren van variatie

Een belangrijke conclusie uit dit onderzoek is ook dat het historische gebruik van het bos op vrijwel alle plaatsen is gestopt. De bossen zijn door het wegvallen van het traditionele agrarisch landgebruik statisch geworden, in bodemgroepen 2, 3 en 4 mogelijk zelfs een “museaal sterfhuis”. Het kleinschalig verwijderen van strooisel, al dan niet gecombineerd met kleinschalige bekalking (1 a 2 ton/ha) op zeer slecht gebufferde, droge locaties kan zorgen voor kleinschalige mozaïeken en meer diversiteit in het bos. Probeer dit eerst kleinschalig uit op enkele locaties, volg de ontwikkelingen en breidt dit uit bij succes. Een andere mogelijkheid is het openkappen/hakhoutbeheer om weer meer open plekken in het bos te maken. Risico hierbij is dat op locaties waar N en P niet-limiterend zijn, momenteel licht-limitatie de rem op verruiging is. Ook hiervoor geldt dat het kleinschalig experimenteren met open kappen in combinatie met kleinschalige strooiselverwijdering en/of kalktoediening (om P te binden en bufferherstel uit te voeren) een kansrijke mogelijkheid is.

8) Experimenteren met strooiseltransplantatie om bodemmicrobioom te stimuleren.

Een interessant resultaat is dat de diversiteit van planten positief gecorreleerd is aan de diversiteit van bacteriën en in het bijzonder aan de aanwezigheid van denitrificerende bacteriën. De transplantatie van strooisel van locaties met veel denitrificeerders en bijvoorbeeld goede vertering naar locaties waar deze organismen niet tot nauwelijks meer aanwezig zijn. Dit soort maatregelen is experimenteel. We bevelen daarom aan om dit eerst in pilot te onderzoeken en daarbij ook de effecten op het bodemmicrobioom te monitoren.

Voor alle hierboven beschreven kleinschalige maatregelen geldt dat de gepaste schaal afhangt van de grootte van het bosobject, aanwezige soorten en het beoogde doel.

8.3 Maatregelenoverzicht per bodemgroep

1a: Rijk 40 en 1b: Rijk 120

Deze bodemgroepen zijn dankzij de keileem in de ondergrond gebufferd en wisselvochtig, daarmee vormen ze een waardevolle aanvulling op de biodiversiteit van de Drentse bossen. Er komen alleen bossen voor van categorie A, deze hebben maar een zeer klein areaal en zijn daardoor kwetsbaar. Bij 1a: Rijk 40 is sprake van verdroging, de buffering is verminderd en er is verruiging. Bij 1b: Rijk 120 is er sprake van verzuring. Vanwege de buffering van de diepere bodemlagen kan op deze twee bodemgroepen het vergroten van het aandeel rijkstrooiselsoorten, naast hydrologisch herstel indien mogelijk, de bufferstatus verbeteren. Geschikte maatregelen vanuit aardkunde, ecologie en cultuurhistorie zijn weergegeven in Tabel 8-1.

Tabel 8-1: Maatregelen voor bodemgroepen 1a: Rijk 40 en 1b: Rijk 120.

Aardkundig	Ecologisch	Cultuurhistorisch
Herstel van reliëf. Doorgraven dekzandruggen herstellen zodat drainagebasis wordt verminderd. Belangrijk is dat water kan blijven doorstromen via de natuurlijke laagtes.	Aanwezige rijk strooiselsoorten vrij zetten in struik- en vooral boomlaag. Alle andere loofboomsoorten vrijzetten ten koste van eik, omdat deze minder zuur strooisel hebben (kwartiermakers genoemd).	Uitkrabben en meer openmaken (licht op de bodem) van kalkrijke leemkuilen
Sloten/greppels verondiepen of dempen bij aanwezige verruiging.	Zorgen dat aanwezige doelvegetatie kan uitbreiden naar aangrenzende hoger gelegen terreindelen. Populaties van zeldzame soorten versterken of mogelijk herintroduceren.	Oude houtwallen, geriefhoutbosjes en/of singels benutten als basis voor verbinding/ versterking van bestaande bosobjecten. Lokaal strooisel verwijderen, op bijvoorbeeld steilkantjes, om beter klimaat voor paddenstoelen en flora te creëren.
Potklei/keileem benutten voor versterking groeiplaats. Groeiplaats moet voorafgaand aan aanplant worden ingericht: aandacht voor voedselrijke toplaag en herstel geëgaliseerd reliëf.	Verbinding maken met andere objecten via brede bossingels of uitbreiden van bestaande boskernen.	

2: Matig rijk

Op deze bodemgroep komt net als 1a en 1b alleen categorie A-bossen voor. De bodemgroep bestaat van oorsprong uit matig rijk substraat, maar door verzuring en vermesting lijkt de bodemgroep nu sterk op de categorie A-bossen op bodemgroepen 3: Arm droog en 4: Arm vochtig. Alle bemonsterde locaties waren zuurder dan verwacht en deels verruigd. Dit maakt herstel van deze groeiplaats urgent. Er zijn potenties voor herstel omdat er in de diepere ondergrond (het moedermateriaal) nog wel enige buffering is, waardoor herstel van de stoffenstroom vanuit de bodem potentieel mogelijk is.

Relictpopulaties van bosflora staan in bij deze bodemgroep vooral langs paden die het risico hebben te verdwijnen als er niet wordt ingegrepen. Het toepassen van rijkstrooiselsoorten is vanuit zowel historisch als vanuit groeiplaatskenmerken aan te bevelen, en kansrijk op de hierboven locaties met duidelijke voorraden aan bufferstoffen in het moedermateriaal. Omdat rijkstrooiselsoorten pas na een jaar of 30 echt een effect hebben op de bufferstatus van de bodem, is het (lokaal/kleinschalig) aanbrengen van bufferstoffen op locaties met restpopulaties die onder druk staan aanbevolen.

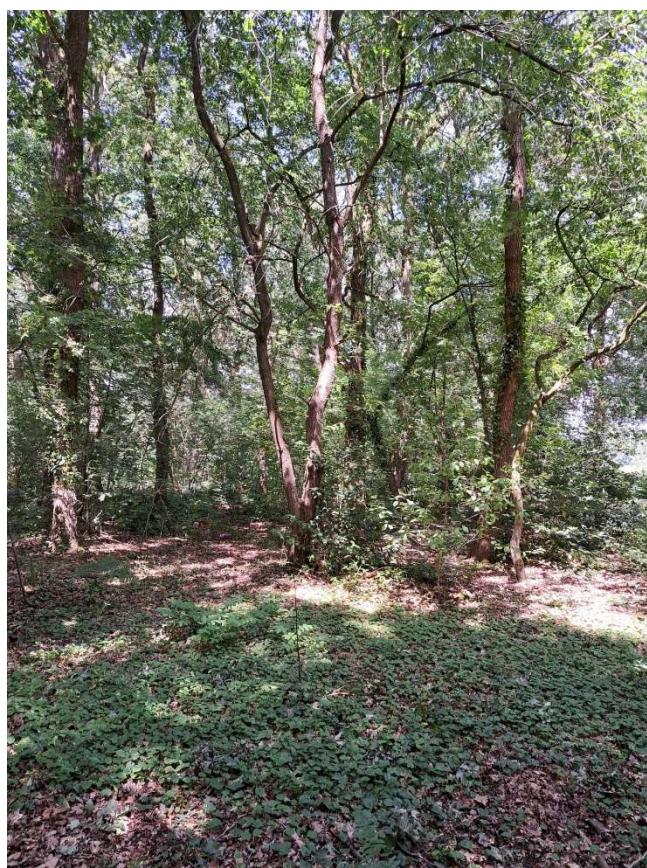
Door het wegvallen van het traditionele beheer is een uniforme bosstructuur en bovendien een dik pakket van (adelaarsvaren)strooisel gevormd. Veelal concurreert een dichte struiklaag met de kruidlaag. De noodzaak om vermesting te bestrijden is bij deze bodemgroep het grootst. Dit kan door de bodem oppervlakkig pleksgewijs open te maken, strooisel deels te verwijderen, en dit te combineren met het inbrengen van bufferstoffen. Vanzelfsprekend dienen relictpopulaties te worden ontzien, deze (beheer)maatregelen vragen om maatwerk.

Tabel 8-2: Maatregelen voor bodemgroep 2: Matig rijk.

Aardkundig	Ecologisch	Cultuurhistorisch
Herstel van variatie in bosbodem: organische stof, dikte strooisellaag, nutriëntenstromen, buffering.	Aanwezige rijk strooiselsoorten vrij zetten in struik- en vooral boomlaag. Praktisch gezien alle andere loofboomsoorten vrijzetten ten koste van eik (zie bodemgroep 1). Kleine relicten omzomen met nieuw bos, om de stikstofdepositie omlaag te brengen.	Pleksgewijs: decimeren van adelaarsvaren (kneuzen) en varenstrooisel verwijderen, lokaal verplaatsen van eikenbladstrooisel, kleine open plekken in boomlaag maken, struiklaag op aantal plekken sterk uitdunnen en over bosbodem wegslepen naar takhopen. Bij dunning/kap ook strooiselverwijdering & bufferstof toepassen.
Steenmeelgift of andere bufferende stof overwegen, niet overal, niet op oude H-lagen. Wel in nabijheid van relictpopulaties in samenhang met overige maatregelen. Lokaal	Rijkstrooiselsoorten onder scherm of kleine gaten aanplanten zoals zoete kers, hazelaar, iep, winterlinde, lijsterbes etc.	

Aardkundig	Ecologisch	Cultuurhistorisch
strooisel verwijderen & bufferstof aanbrengen; bijvoorbeeld langs paden.	Populaties van zeldzame soorten versterken of mogelijk herintroduceren.	

Een belangrijke constatering is dat op twee locaties met holtpodzolgronden oud-bossoorten (dalkruid en gewone salomonszegel) uitsluitend onder de boomkronen van rijkstrooiselsoorten voorkwamen. In dit geval waren dat volwassen Amerikaanse vogelkersen (zie ook: Smeenge & Kieskamp, 2021). Deze soort is ooit in Nederland geïntroduceerd vanwege zijn houtkwaliteit en de bijdrage aan de mineralenhuishouding in de bovengrond. Omdat deze pionierboomsoort in zijn jeugdfase een invasief karakter heeft wordt hij vaak bestreden (bospest) (Nijssen, Koopmans, & Ouden den, 2019). Zowel in Zuidwolde (Kieskamp & Smeenge, 2019) als bij Hooghalen vormt Amerikaanse vogelkers samen met de zomereik de boomlaag en is deze nauwelijks aanwezig in de struiklaag (Figuur 8-3). De positieve bijdrage van Amerikaanse vogelkers op de bodemontwikkeling en bodemchemie is eerder goed onderzocht in Zuid Nederland en Vlaanderen (Desie, et al., 2020). In dit voorbeeld zal het bestrijden van Amerikaanse vogelkers leiden tot verzuring en verdwijnen van de oud bossoorten die alleen onder het kronendak van deze exoten voorkomen. Het geeft vooral aan dat het stimuleren van rijkstrooiselsoorten (anders dan Amerikaanse vogelkers) in dit bostype tot een verhoogde soortenrijkdom kan leiden.



Figuur 8-3: Boven: Locatie A113, een holtpodzolgrond met keileem op 2 m diepte. Rechts: het spaartelgenbos van zomereik, waarin Amerikaanse vogelkers gemengd in de boomlaag voorkomt. Op de foto rechts is een volwassen Amerikaanse vogelkers te zien met daaronder een grote groeiplaats van dalkruid. Daaromheen groeien geen kruiden en is het eikenbos 'leeg'.

3: Arm, droog

Op deze bodemgroep komen zowel categorie A- als B-bossen voor. De categorie A-bossen (loofbossen) op deze bodemgroep bevinden zich in de overgangsfase van heide naar bos, ook wel strubben genoemd. Doordat de heide later is bebost (categorie B-bossen), is de samenhang tussen heide en bos grotendeels verdwenen. Mooie voorbeelden waar de overgang van bos naar (stuifzand)heide nog bewaard is gebleven, zijn bij Schipborg, Schoonloo en Holtinge. Historisch gezien waren dit de meest geteisterde bossen van Drenthe. Ze lagen in de aanlooproute naar het esdorp waar dagelijks schaapskuddes, karren en vee doorheen liepen. Door de ligging nabij het dorp, akkers en/of holt konden eikenstruikjes standhouden. Nadat het landgebruik van de strubbenbossen wegviel groeide het bos op van heide met struiken ('struellen') naar hakhout tot uiteindelijk opgaand spaartelgenbos.

Door stikstofdepositie in combinatie met dominantie van boomsoorten met slecht afbreekbaar strooisel (eiken bij categorie A, naaldbomen bij categorie B) hoopt stikstof op in de strooisellaag. In de categorie A-bossen zijn bodemchemisch weinig knelpunten geconstateerd, en ook de verruiging is hier laag. De categorie B-bossen zijn een stuk zuurder. Hier het pleksgewijs aanbrengen van bufferende stoffen een aanbeveling.

Tabel 8-3: Maatregelen voor bodemgroep 3: Arm droog.

Aardkundig	Ecologisch	Cultuurhistorisch
Herstel van variatie in bosbodem: organische stof, dikte strooisellaag, nutriëntenstromen, buffering.	Herstel gradiënten tussen heide, stuifzand, struikbos en opgaand bos	Uitkappen struiklaag tussen strubben (zie gerealiseerde herstelmaatregelen in Schipborgerstrubben)
Herstel variatie tussen open milieus en meer gesloten milieus	Ruimte geven voor ontwikkeling zoomvegetatie.	Lokaal plaggen humuslaag of strooiselverwijdering. Eventueel gecombineerd met bufferherstelmaatregel
Steenmeelgift of andere bufferende stof overwegen, niet overal, niet op oude H-lagen. Wel in nabijheid van relictpopulaties in samenhang met overige maatregelen.	Aanwezige rijk-strooiselsoorten (hazelaar, lijsterbes) aanplanten en/of vrijzetten in struik- en vooral boomlaag, ten koste van soorten met slecht afbreekbaar strooisel (eik en naaldbomen (zie bodemgroep 1a/1b). Gezaagde hout in meer opgaande delen van bos laten liggen.	Instellen begrazing van vee en schapen (liefst met herder). Dit kan niet in kleine terreinen zonder heide. Dan mechanisch oplossen. Risico op te grote afvoer bufferstoffen, dus voorzichtig mee zijn.
	Populaties van zeldzame soorten versterken of mogelijk herintroduceren	

4: Arm, vochtig

Op deze bodemgroep komen zowel categorie A- als B-bossen voor. De categorie A-bossen (loofbossen) op deze bodemgroep betreffen veelal 'holten' die in de winter vochtig zijn of in geval van een verkitte B-horizont zelfs nat. Door deze wisselvochtigheid is er vaak een hoog organisch stofgehalte en is het bos voor zijn vochtvoorziening in droge zomers aangewezen op de bovengrond. Door de wisselvochtigheid en verzuring door atmosferische depositie zijn veel mineralen verdwenen en zijn dit kwetsbare bossen in een veranderend klimaat. Vrijwel alle locaties bij categorie A zijn verdroogd, en bij de categorie B-bossen zelfs alle. De basenverzadiging is zelfs voor zure bostypen te laag. Hydrologisch herstel is de eerste stap. Op de locaties met keileem of potklei in de ondergrond kan met rijkstrooiselsoorten de buffering worden verbeterd (Tabel 8-4). Met name bij deze bodemgroep is er risico op verruiging bij het opener maken van het bos (meer licht), dus het is van belang dit doordacht en kleinschalig uit te voeren.

Tabel 8-4: Maatregelen voor bodemgroep 4: Arm vochtig.

Aardkundig	Ecologisch	Cultuurhistorisch
Herstel van reliëf. Doorgraven dekzandruggen herstellen zodat drainagebasis wordt verminderd. Let op dat water kan blijven doorstromen door juiste afstelling drempelhoogtes.	Aanwezige rijk strooiselsoorten (hazelaar, lijsterbes) vrij zetten in struik- en vooral boomlaag. Eigenlijk alle andere soorten vrijzetten ten koste van eik (zie bodemgroep 1). Gezaagde hout in bos laten liggen.	Pleksgewijs: Grotendeels niets doen. Lokaal decimeren van adelaarsvaren (kneuzen) en varenstrooisel verwijderen. Lokaal verplaatsen van eikenbladstrooisel of kortdurend (week) akeren met varkens in herfst (eikels) overwegen, kleine open plekken in boomlaag maken, struiklaag op aantal plekken sterk uitdunnen en over bosbodem wegslepen naar takhopen.
Sloten/greppels verondiepen of dempen bij aanwezige verruiging.	Zorgen dat aanwezige doelvegetatie kan uitbreiden naar aangrenzende hoger gelegen terreindelen.	
Steenmeelgift of andere bufferende stof overwegen, niet overal, niet op oude H-lagen. Wel in nabijheid van relictpopulaties in samenhang met overige maatregelen.	Populaties van zeldzame soorten versterken of mogelijk herintroduceren.	

5a: Nat GW

Op deze bodemgroep komen alleen categorie A-bossen voor. Driekwart van de locaties zijn verdroogd door nabijgelegen ontwatering. Hierdoor heeft ook verzuring plaatsgevonden. Mineraalrijk grondwater bereikt de wortelzone niet of te kortstondig, waardoor de bodem verzuurt en bovendien ook vermest door mineralisatie van het veen. Herstel van de hydrologie werkt alleen in samenwerking met herstel van reliëf, zodat stagnatie van zuur water wordt voorkomen. Voorbeelden waarbij herstel van de hydrologie goed uitpakt zijn te vinden in onder andere de Burgvallen bij Anloo en Geelbroek.

Tabel 8-5: Maatregelen voor bodemgroep 5a: Nat GW.

Aardkundig	Ecologisch	Cultuurhistorisch
Dempen/verondiepen sloten of beken (Figuur 8-4)	Relictpopulaties transplanteren naar hogere terreindelen	Lokaal hakhoutbeheer overwegen (alleen bij voldoende natte omstandigheden, anders sterke verruiging)
Herstel van reliëf. Doorgraven dekzandruggen herstellen zodat drainagebasis wordt verminderd. Let op dat water kan blijven doorstromen door juiste afstelling drempelhoogtes!	Aanwezige rijkstrooiselsoorten vrij zetten in struik- en vooral boomlaag of anders aanplanten, ten koste van soorten met slecht afbreekbaar strooisel (eik en naaldbomen) (zie bodemgroep 1a/1b). Populaties van zeldzame soorten versterken of mogelijk herintroduceren.	



2016



2018



2024



Figuur 8-4: Herstel van hydrologie door de sloot/beek te verondiepen tot de juiste abiotische randvoorwaarde voor elzenbroekbos. Na 8 jaar heeft het systeem zich weer herstelt en ontkiemden doelsoorten zoals kleine valeriaan weer op de voorheen aanwezige erosieplekken.

5b: Nat RW

Dit betreffen zowel categorie A- als B-bossen. De kleine heideveentjes die werden gebruikt voor brandstofwinning zijn op tal van plekken verboost met berk of eik. Ook zijn ze voorzien van ontwatering, waarbij soms de slechtdoorlatende ondergrond (verkitte B-horizont) of restveenpakket is doorgraven. Door de ligging in een kom zijn ze relatief makkelijk te herstellen als de doorgraven bodem wordt hersteld en bos sterk wordt uitgedund om de verdamping vanuit de omgeving te verminderen. Er zijn kansrijke plekken voor herstel zoals bij Hollandscheveld en Stuifzand waar allerlei kommen in grote boscomplexen bij elkaar liggen. Ook zijn er vele veentjes met lokale maatregelen te herstellen.

Tabel 8-6 : Maatregelen bodemgroep 5b: Nat RW

Aardkundig	Ecologisch	Cultuurhistorisch
Dempen/verondiepen sloten of beken	Uitdunnen eik, omvorming naald naar loof	Behoud bodemarchief
Herstel van reliëf. Doorgraven dekzandruggen herstellen zodat drainagebasis wordt verminderd	Populaties van zeldzame soorten versterken of mogelijk herintroduceren	

6: Cultuur

Deze (categorie A-)bossen hebben een cultuurdek (plaggenbodem) en de kwaliteit van de bodem en het bos heeft daardoor een heel wisselend beeld. Over het algemeen zijn dit zure en arme bossen waar soms door bijzonderheden (rijk strooisel van Amerikaanse vogelkers of aangrenzende oude bosrelicten) toch bijzondere soorten voorkomen. De aanbevolen maatregelen uit bodemgroep 2: Matig rijk, 3: Arm droog en 4: Arm vochtig zijn ook hier van toepassing.

8.4 Verdere kennisontwikkeling

Dit onderzoek geeft een representatief beeld van de standplaatscondities en vegetatie van een groot deel van de Drentse bossen (ruim 27.000 ha). Daarvan ligt ca. 10.000 ha bos buiten het NNN of buiten de bodemkaart en is daarom niet meegenomen in het onderzoek, maar naar verwachting zijn de uitkomsten van het onderzoek wel representatief voor ook die bossen. Heel anders is dat voor de ca. 10.000 ha aan bos dat is aangeplant na 1978 (bos op landbouwgrond). Aanvullend onderzoek naar deze jonge bossen is nodig om een volledig beeld te krijgen van de bossen van Drenthe. Enkele jonge Drentse bossen zijn al onderzocht in een recente studie (Berg van den, et al., 2022).

Uit voorliggende studie blijkt dat de Drentse bossen onder druk staan. Negatieve effecten van verzuring, verdroging en vermesting zijn aantoonbaar en binnen- en buitenlandse studies tonen dat deze knelpunten zeker sinds de jaren '70 van vorige eeuw sterk zijn toegenomen. Uit deze studie blijkt dat dit ook het geval is in de Drentse bossen. Het massaal afsterven van fijnspar is een goed voorbeeld dat er qua herstel van de hydrologie en het

verlagen van de stikstofdruk urgentie is. Het is helaas niet goed bekend hoe deze bossen zich in de toekomst ontwikkelen en welk effect de maatregelen sorteren, zeker niet in relatie met de snelle veranderingen als gevolg van veranderend klimaat. Om deze vragen in de toekomst te kunnen beantwoorden, is het monitoren van deze bossen essentieel. Het in de tijd volgen van een deel van de nu onderzochte plekken levert waardevolle inzichten over de ontwikkeling van de bossen en daarmee de urgentie om direct in te grijpen, of om aan te tonen dat de situatie nu weliswaar niet overal optimaal is, maar wel stabiel (minder urgentie om snel in te grijpen). Ook kunnen ontwikkelingen in de bossen beter gekoppeld worden aan beleids- of beheerkeuzes die op grotere (provinciale) schaal worden genomen.

Het zou waardevol zijn om op enkele onderzoekslocaties bladmateriaal van de dominante boomsoorten te verzamelen. Vergelijking van de samenstelling van het blad met internationale referenties, geeft een goede inschatting van tekorten of overschotten aan nutriënten in de bomen. Ook de stoichiometrie van het blad wordt bepaald (de verhouding van voedingsstoffen en elementen in het blad), dat van invloed is op de vitaliteit van de boom zelf. Tijdens voorliggend onderzoek is ter plekke ingeschat of er sprake was van verdroging, de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater werd echter niet meegenomen. In de natte/vochtige bossen waar de ontwikkeling niet goed verloopt, is het volgen van de hydrologie in zowel kwantiteit als kwaliteit waardevol om eventuele hydrologische kansen en knelpunten verder te benoemen. Met grondwater worden niet altijd basische kationen aangevoerd, en het water kan ook (in periodes van het jaar) hoge concentraties nitraat of sulfaat bevatten. Het opstuwen van dergelijk water kan juist voor veel schade zorgen.

Uit dit voorliggende onderzoek komen duidelijke aanwijzingen dat verzuring invloed heeft op de beschikbaarheid van P in de bosbodems, met name op de wat mineraalrijkere gronden. Aan calcium gebonden P komt vrij tijdens het verzuringsproces. Dit leidt tot een sterke verzuiging van de bossen. Ook in het microbiom werden relaties tussen diversiteit en P-beschikbaarheid gevonden. Het verder uitzoeken en toetsen van deze relaties en processen in de vorm van bijvoorbeeld P-bemestingsproeven in combinatie met bufferherstelmaatregelen is nodig om beter in te kunnen schatten wat kansen en risico's zijn van dergelijke veranderingen in de bosbodem.

Uit de voorliggende studie blijkt dat het aandeel denitrificerende bacteriën verschilt binnen de bodemtypen en afhankelijk lijkt van boomsoort. Het is te overwegen om dit goed uit te zoeken omdat de gekoppelde nitrificatie/denitrificatie mogelijk model staat voor een goed ontwikkeld vochtig systeem waarbij stikstof wordt verwijderd uit het systeem. Afhankelijk van de locatie hebben deze processen ook een effect op de zuurbuffering. Herstel van hydrologie op rijke (keileem, potklei) en natte grondwatergevoede groeiplaatsen op basis van lokale systeemkenmerken blijkt hiervoor van grote betekenis.

In deze studie zijn relaties tussen het bodemmicrobiom, de vegetatie en de bodemchemie zichtbaar geworden. Dit kan in vervolgonderzoeken verder uitgediept worden voor de ontwikkeling van biologische indicatoren voor ecologische kwaliteit en om meer inzicht te krijgen in de microbiologische processen die van belang zijn voor een gezond bos. Deze indicatoren kunnen worden gebruikt om de effecten van herstelmaatregelen te monitoren. De verwachting is dat bij herstel veranderingen in het microbiom al plaats vinden voordat

deze zichtbaar worden in de vegetatie. Bovendien blijkt uit dit onderzoek dat de bossen van Drenthe een groot reservoir aan microbiële diversiteit herbergen, waaronder ook vele soorten paddenstoelen. Door dit onderzoek is van deze diversiteit nu voor het eerst een grootschalige referentiemeting beschikbaar. In de toekomst biedt dit kansen om de effecten van natuurbeheer en herstel op deze diversiteit te volgen, ook het monitoren van paddenstoelen behoort daarbij tot de mogelijkheden.

Daarnaast is het waardevol om de concrete aanknopingspunten, zoals het aandeel denitrificerende bacteriën ook te kwantificeren (aantal cellen/gram) en te koppelen aan stikstofconcentraties en vegetatie. Dit zou goed passen in een pilot waar herstelmaatregelen getoetst worden. Door in de tijd zowel data te verzamelen over de vegetatie, de bodemchemie en de bodemmicrobiologie is het dan mogelijk om de interacties tussen deze drie componenten te beter ontrafelen.

Literatuur

- Anthony, M. A., Crowther, T. W., Linde van der, S., Suz, L. M., Bidartondo, M., Cox, F., . . . Averill, C. (2022, May). Forest tree growth is linked to mycorrhizal fungal composition and function across Europe. *The ISME Journal*, pp. 1327–1336.
- Bach, L., Grytnes, J.-A., Holvorsen, R., & Ohlson, M. (2010, November). Tree influence on soil microbial community structure. . *Soil Biology and Biochemistry*, pp. 1934–1943.
- Bakker de, H., Schelling, J., Brus, D., & Wallenburg van, C. (1989). *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus*. Wageningen: Pudoc.
- Bakker, T., Klijn, J., & Zadelhoff van, F. (1981). *Nederlandse kustduinen; landschapsoecologie*. Wageningen: Pudoc.
- Berben, N. (2022). *Het landschap op de potklei. Masterscriptie landschapsgeschiedenis*. Rijksuniversiteit Groningen.
- Berg van de, L., & et al. (2018). *Grondwaterkwantiteit en -kwaliteit voor vochtige alluviale bossen en blauwgraslanden*. Ede: Unie van Bosgroepen.
- Berg van den, L., Baeten, L., Bloem, J., Brouwer, E., Burg van der, R., Graaf de, M., . . . Weijters, M. (2022). *Naar een strategie voor ontwikkeling van soortenrijke bossen op voormalige landbouwgronden*. Driebergen: Kennisnetwerk OBN.
- Berg van den, L., Vlist van der, S., Brouwer, E., Burg van der, R., Graaf de, M., Thomassen, E., . . . Verheyen, K. (2022). *Naar een strategie voor ontwikkeling van soortenrijke bossen op voormalige landbouwgronden*. Driebergen: VBNE/OBN-2020-119-NZ.
- Bieleman, J. (1987). *Boeren op het Drentse zand 1600–1900: een nieuwe visie op de 'oude landbouw'*. Wageningen Universiteit.
- Blink, H. (1929). *Woeste gronden, ontginning en bebossing in Nederland voormaals en thans. Nederlandsche vereeniging voor economische geographie*. 's- Gravenhage: N.V. Boek- en Kunstdrukkerij v.b. Mouton & Co.
- Blokhuis, J. (1933, 6). Enkele ervaringen met *Larix leptolepis*. *Nederlands Bosbouw tijdschrift*.
- Blokhuis, J. (1942, 9). De ontwikkeling der jonge bosschen in Drenthe. *Nederlandsch Boschbouw Tijdschrift*.
- Blume, H., Brümmer, G., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., . . . Wilke, B.-M. (2016). *Scheffer/Schachtschabel Soil Science*. Heildelberg: Springer.
- Bobbink, R. (2021). *Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse*. Nijmegen: Onderzoekcentrum BWARE.
- Bobbink, R., Dobben van, H., Jansen, A., Nijssen, M., Siepel, H., Schaminée, J., . . . Vries de, W. (2012). De effecten van stikstofdepositie op de structuur en het functioneren van ecosystemen. In *Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats: Ecologische onderbouwing van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). Deel I: Algemene inleiding op herstelstrategieën: beleid, kennis en maatregelen*. (pp. 41–82). Den Haag: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.
- Bodemkaart 1:50.000*. (sd). Opgehaald van www.dinoloket.nl.
- Bouwmeester, L. (2022). De historische (bos)ontwikkeling van boswachterij Gieten. Een historisch onderzoek naar de ruimtelijke ontwikkeling en de invloed op het landschap voorafgaand, tijdens en na de grootschalige bosontwikkeling (1921 – 2021). *Rijksuniversiteit Groningen*.
- Braje, T. (2015, August 01). Earth Systems, Human Agency, and the Anthropocene: Planet Earth in the Human Age. *Journal of Archaeological Research*, pp. 369–396.

- Buis, J. (1985). *Historia forestis, Nederlandse bosgeschiedenis. Bosgebruik, bosbeheer en boswetgeving tot het midden van de 19e eeuw*. Wageningen: Afdeling Agrarische Geschiedenis landbouwhogeschool.
- Burg van den, A. (2017, juni). Rammelende eieren en brekebenen bij de koolmees: verzuring terug bij af. *Vakblad natuur bos landschap*, pp. 3–7.
- Burg van den, A., Bijlsma, R., Brouwer, E., & Waal de, R. (2016). *Vochtige bossen: tussen verdrogen en nat gaan*. Driebergen: OBN Deskundigenteam Nat zandlandschap / VBNE.
- Burg van den, A., Dees, A., Huigens, T., Bijlsma, R.-J., & Waal de, R. (2014). *Voedselkwaliteit en biodiversiteit in bossen van hoge zandgronden*. Driebergen: Kennisnetwerk OBN.
- Burg van der, R., Brouwer, E., Bijlsma, R., Burg van den, A., Duinen van, G., Hommel, P., . . . Waal de, R. (2014). *Preadvies voor herstel en ontwikkeling van vochtige bossen op de pleistocene zandgronden*. Driebergen: VBNE OBN 2014/OBN192–NZ.
- Cate ten, J., Holst van, A., Kleijer, H., & Stolp, J. (1995). *Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel A: Bodem*. Wageningen: DLO–Staring Centrum. Technisch Document 19A.
- Chodak, M., Gołębiewski, M., Morawska-Płoskonka, J., Kuduk, K., & Niklińska, M. (2015, November 25). Soil chemical properties affect the reaction of forest soil bacteria to drought and rewetting stress. *Annals of Microbiology*, pp. 1627–1637.
- Cronan, C., & Grigal, D. (1995). Use of Calcium/Aluminum Ratios as Indicators of Stress in Forest Ecosystems. *Journal of Environmental Quality* 24, pp. 209–226.
- Crutzen, P., & Stoermer, E. (2000). The Anthropocene. *Global Change Newsletter*, pp. 17–18.
- Davies, K., Mohan, S., Phani, V., & Srivastava, A. (2023, December 20). *Exploring the mechanisms of host-specificity of a hyperparasitic bacterium (Pasteuria spp.) with potential to control tropical root-knot nematodes (Meloidogyne spp.): insights from Caenorhabditis elegans*. Opgehaald van Frontiers in Cellular and Infection Microbiology: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1296293>
- Delft Van, B., Cruijssen, J., Harkema, T., Knotters, M., & Dijk, P. (2024). *pH-profielen als indicator voor zuurbuffering in de bodem*. Wageningen: Wageningen Environmental Research.
- Delft van, S. (2004). *Veldgids humusvormen; beschrijving en classificatie van humusprofielen voor ecologische toepassing*. Wageningen: Alterra.
- Delft van, S., Kemmers, R., & Waal de, R. (2002, 3). Ecologische typering van bodems onder korte vegetaties – Het humusprofiel als graadmeter voor standplaatsontwikkeling. *Landschap*, pp. 153–164.
- Desie, E. (2020). Litter effects on structures and functions of the belowground forest ecosystem.
- Desie, E., Berg van den, L., Nyssen, B., Weijters, M., Burg van den, A., Duinen van, A., . . . Muys, B. (2019). *The impact of admixing rich litter tree species on the vitality and growth of pedunculate oak forests*. . Curitiba, Brazil: IUFRO.
- Desie, E., Van Meerbeek, K., De Wandeler, H., Bruelheide, H., Domisch, T., Jaroszewicz, B., . . . Muys, B. (2020, August 31). Positive feedback loop between earthworms, humus form and soil pH reinforces earthworm abundance in European forests. *Functional Ecology*, pp. 2598–2610.
- Desie, E., Vancampenhout, K., Berg van den, L., Nyssen, B., Weijters, M., Ouden den, J., & Muys, B. (2020, October 15). Litter share and clay content determine soil restoration

- effects of rich litter tree species in forests on acidified sandy soils. *Forest Ecology and Management*, p. 118377.
- Desie, E., Vandencampenhout, K., Nyssen, B., Berg van den, L., Weijters, M., Duinen van, G., . . . Muys, B. (2019). *Litter quality and the law of the most limiting: Opportunities for restoring nutrient cycles in acidified forest soils*. (Vol. 134383). Science of the Total Environment.
- Elerie, J. (1998). *Weerbarstig land. Een historisch-ecologische landschapsstudie van Koekange en de Reest*. Wageningen: Landbouwniversiteit.
- Elerie, J., & Spek, T. (2010). The cultural biography of landscape as a tool for action research in the Drentsche Aa National Landscape (Northern Netherlands). In J. Bloemers, H. Kars, A. Valk van der, & M. Wijnen, *The Cultural Landscape & Heritage Paradox. Protection and development of the Dutch archaeological-historical landscape and its European dimension* (pp. 83–113). Amsterdam: Amsterdam University press.
- Elerie, J., Jager, S., & Spek, T. (1993). *Landschapsgeschiedenis van De Strubben/Kniphorstbos; Archeologische en historisch-ecologische studies van een natuurgebied op de Hondsrug*. Groningen: Van Dijk & Foorthuis.
- Elerie, J., Smeenge, H., & Berg van den, E. (2015). *Landschapsbiografie van de Drentse Aa*. Assen: J.P. Bakker & I. Noordhoff (red.).
- Ellenberg, H., Weber, H., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., & Paulissen, D. (1991). *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Göttingen: Scripta Geobotanica.
- Falkengren, G., Rühling, Å., & Tyler, G. (1994). Effects of phosphorus application on vascular plants and macrofungi in an acid beech forest soil. *Science of The Total Environment, Volume 151, Issue 2*, pp. 125–130.
- Graeff, J., Demmers, M., Hooimeijer, P., Koeman, N., Kok, J., Nijhof, A., . . . Zande van der, A. (2020). *De bodem bereikt?! Den Haag: Raad voor de leefomgeving en infrastructuur*.
- Heringa, J. (1981). *Drentse Willekeuren; uit oudere uitgaven verzameld*. De Walburg pers.
- Heringa, J., Keverling-Buisman, F., Koen, D., & Brood, P. (1981). *Drentse Rechtsbronnen, willekeuren supplement op de ordelen van de etstoel Goorspraken*. Indices. De Walburg pers.
- Hommel, P., Waal de, R., Muys, B., Ouden den, J., & Spek, T. (2007). *Terug naar het lindewoud strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer*. Zeist: KNNV Uitgeverij.
- Iversen, J. (1958). The bearing of glacial and interglacial epochs on the formation and extinction of plant taxa. . *Systematics of to-day. Proceedings of a symposium held at the University of Uppsala in commemoration of the 250th anniversary of Carolus L* (pp. 210–215). Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis/Uppsala Universitets Årsskrift.
- Jager Gerlings, J. (10e jaargang, nummer 5). De bebossching door het Staatsboschbeheer van heidegronden in Drenthe (slot). *Nederlandsch Bosbouw-Tijdschrift*.
- Jager Gerlings, J. (1937, 10e jaargang nr. 10). De bebossching door het Staatsboschbeheer van heidegronden in Drenthe. *Nederlandsch Bosbouw-Tijdschrift*.
- Jansen, J. (1935, 8). Lariksbezaaiingen in Drenthe. *Nederlandsch Bosbouw Tijdschrift*.
- Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. New York: Dover Publications.
- Jenny, H. (1980). *The Soil Resource: Origins and Behaviour*. Berlin: Springer-Verlag.
- Jomura, M., Yoshida, R., Michalčíková, L., Tláškal, V., & Baldrian, P. (2022). Factors controlling dead wood decomposition in an old-growth temperate forest in Central Europe. *Journal of Fungi*, p. 8(7).

- Jong de, J., Vries de, W., Dijk, P., & Lerink, B. (2024). *Veranderingen van voorraden koolstof, stikstof, fosfor, kalium, calcium, magnesium, ijzer en aluminium in bosbodems tussen 1990 en 2023*. Wageningen: Wageningen Environmental Research.
- Jong de, T., Lazonder, A. W., Chinn, C., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C., . . . Zacharia, Z. (2023). *Let's talk evidence – The case for combining inquiry-based and direct instruction*.
- Kemmers, R., & Waal de, R. (1999). *Ecologische typering van bodems. Deel 1: Raamwerk en humusvormtypologie*. Wageningen: Staring Centrum.
- Kemmers, R., Delft van, S., Driel van, M., Hommel, P., Jansen, A., Klaver, B., . . . Smeenge, H. (2011). *De landschapsleutel : een leidraad voor een landschapsanalyse*. Wageningen: Alterra.
- Kemmers, R., Delft van, S., Riel van, M., Hommel, P., Jansen, A., Klaver, B., . . . Smeenge, H. (2011). *De Landschapssleutel, een leidraad voor landschapsanalyse*. Wageningen: Alterra-rapport 2140.
- Kemmers, R., Waal de, R., Delft van, B., & Mekking, P. (2002). Ecologische typering van bodems; Actuele informatie over bodemkundige geschiktheid voor natuurontwikkeling. *Landschap*.
- Kieskamp, A., & Smeenge, H. (2022). *Vergelijking van fossiele en actuele bosbodems als basis voor herstel van bosgroeiplaatsen in Gelderland*. BWARE. Ede: Bosgroepen.
- Kooijman, A., Weiler, H., Cusell, C., Anders, N., Meng, X., Seijmonsbergen, A., & Cammeraat, L. (2019, September 20). Litter quality and microtopography as key drivers to topsoil properties and understorey plant diversity in ancient broadleaved forests on decalcified marl. *Science of The Total Environment*, pp. 113–125.
- Kuijter, P. (1991). *Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000. Toelichting bij kaartblad 12*. West-Assen: SC. DLO.
- Kuiper, E., & Spek, T. (2015). *Een paradijs in de kop van Drenthe. Landschapsbiografie van Terheijl bij Roden*. Rijksuniversiteit Groningen.
- Lamers, L., Graaf de, M., Bobbink, R., & Roelofs, J. (1997). Verzuring en eutrofiëring. *De levende natuur*, pp. 246–252.
- Maaren van, G., Jacobs, S., Velthuis, J., Kampherbeek, L., Thomassen, E., Vlist van der, S., . . . Roest, E. (2024). *Vitalisering van het Nederlandse bos: definitie, indicatoren en maatregelen*. Wageningen Nederland: Wageningen Environmental Research, Stichting Probos, Bosgroep Midden Nederland & Bosgroep Zuid.
- Mrak, T., Kühndorf, K., Grebenc, T., Štraus, I., Münzenberger, B., & Kraigher, H. (2017, December). Scleroderma areolatum ectomycorrhiza on Fagus sylvatica L. Mycorrhiza. *Mycorrhiza*, pp. 283–293.
- Nijssen, B., Koopmans, G., & Ouden den, J. (2019). *Beslisboom Amerikaanse vogelkers. Bestrijden, uitfaseren, integreren en bos weerbaar maken*. Ede: Bosgroepen.
- Nijssen, M., Wallis de Vries, M., & Siepel, H. (2017, February). Pathways for the effects of increased nitrogen deposition on fauna. *Biological Conservation*, pp. 1–9.
- Oosterbaan, A., Bobbink, R., & Decuyper, M. (2014). *Onderzoek naar de relatie van eikensterfte met droogte en bodemchemie*. Wageningen: Alterra.
- Ozinga, W., Arnolds, E., Keizer, P., & Kuyper, T. (2013). *Paddenstoelen in het natuurbeheer*. Boschap: OBN preadvies paddenstoelen.
- Pabian, S., Ermer, N., Tzikowski, W., & Brittingham, M. (2012, June 28). *Effects of Liming on Forage Availability and Nutrient Content in a Forest Impacted by Acid Rain*. Opgehaald van PLoS ONE 7(6) e39755: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039755>

- Piña, R., & Cervantes, C. (1996). Microbial interactions with aluminium. *Biometals* 9, pp. 311–316.
- Provincie Drenthe. (1978). *Milieukartering*. Assen: Provincie Drenthe.
- Rahman, M., Lee, S., Ji, H., Kabir, A., Jones, C., & Lee, K. (2018). Importance of Mineral Nutrition for Mitigating Aluminum Toxicity in Plants on Acidic Soils: Current Status and Opportunities. *International Journal of Molecular Sciences*.
- Reich, P., Oleksey, J., Modrzynski, J., Mrozinski, P., Hobbie, S., Eissenstat, D., . . . Tjoelker, M. (2005). *Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species*. *Ecology letters* 8(8):811–818.
- Sitters, J., Weijters, M., Pul van, D., Bobbink, R., Bruggink, J., Petersdorf, M., . . . Scherpenisse, M. (2024). *Steenmeeltrials voor herstel van Oude eikenbossen op arme zandgronden (H9190), voortgangsrapportage (2023)*. Nijmegen: Onderzoekcentrum B-WARE BV RP-20.172B.24.11.
- Smeenge, H. (2005). *Holten & Strubben in het stroomgebied van de Drentsche Aa. Een beheerevaluatie vanuit een historisch-ecologische benadering*. Wageningen Universiteit / BOKD.
- Smeenge, H. (2020). *Historische landschapsecologie van Noordoost-Twente. Acht interdisciplinaire studies op het snijvlak van aardkunde, ecologie en cultuurhistorie (ca. 13.000 BP – heden)*. Groningen: Proefschrift Rijksuniversiteit.
- Smeenge, H., & Berg van den, L. (2015).
- Smeenge, H., & Kieskamp, A. (2021). *Oude bossen door de 21ste eeuw. Landschapsecologische en bodemchemische kenmerken als vertrekpunt voor herstelstrategie*. Ede: Bosgroepen.
- Smeenge, H., Kieskamp, A., Klaver, B., & Linden van der, M. (2023, Januari). Landschap doorgronden met de middelen van nu. Drentsche Aa-Reitdiepsysteem als voorbeeld. *Vakblad natuur bos landschap*, pp. 22–27.
- Spek, T. (2004). *Het Drentse Estdorpenlandschap; een historisch-geografische studie*. Utrecht: Wageningen Universiteit.
- Spek, T., Elerie, H., Bakker, J., & Noordhoff, I. (2015). *Landschapsbiografie van de Drentsche Aa*. Assen: Van Gorcum.
- Sutton, M., Reis, S., & Baker, S. (2009). *Atmospheric ammonia – detecting emission changes and environmental impacts. Results of an Expert Workshop under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*. Heidelberg: Springer.
- Sutton, M., Reis, S., & Baler, S. (2009). *Atmospheric ammonia – detecting emission changes and environmental impacts*. Heidelberg: Springer.
- Synbiosys Nederland, W. (sd). Wageningen UR.
- Thomassen, E., Wijdeven, S., Boosten, M., Delforterie, W., & Nyssen, B. (2020). *Revitalisering Nederlandse Bossen*. Ede: Unie van Bosgroepen.
- Trouw. (2024, September 11). Nieuwe metingen: juist in de bossen komt veel meer stikstof terecht dan we dachten. *Trouw*.
- Vanormelingen, P. (2011). *Nieuws & Trends: toename van Klimop in Europese gematigde loofbossen*.
- Verbaarschot, E., Weijters, M., & Brouwer, E. (2024). *Bodemchemie in de bossen van Westloon, eindrapportage*. Nijmegen: RP-23.204.24.53, Onderzoekcentrum B-WARE.
- Verheyen, K., Baeten, L., De Frenne, P., Bernhardt-Römermann, M., Brunet, J., Cornelis, J., . . . Hedl, R. (2012). Driving factors behind the eutrophication signal in understorey

- plant communities of deciduous temperate forests. *Journal of Ecology*, pp. 100(2):352–365.
- Versfelt, J. (2010). *De Franse kaarten van Drenthe 1811–1813*. Eelde: Barkhuis Publishing.
- Vos, P., Meulen van der, M., Weerts, H., & Bazelmans, J. (2018). *Atlas van Nederland in het Holoceen. Landschap en bewoning vanaf de laatste ijstijd tot nu*. Amsterdam: Prometheus.
- Vries de, W., Weijters, M., Jong de, J., Delft van, S., Bloem, J., Burg van den, A., . . . Bobbink, R. (2019). *Verzuring van loofbossen op droge zandgronden en herstelmogelijkheden door steenmeeltoediening*. Driebergen: Rapport OBN229–DZ, VBNE.
- Wellbrock, N., & Bolte, A. (2019). *Status and dynamics of forests in Germany: results of the national forest monitoring*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Werf van der, S. (1991). *Bosgemeenschappen*. Wageningen: Pudoc.
- Werkgroep florakartering Drenthe. (1999). *Atlas van de Drentse flora*. Haarlem: Schuyt & Co.
- Westhoff, V., Bakker, P., Leeuwen van, C., Voo van der, E., & Zonneveld, I. (1973). *Wilde planten, flora en vegetatie in onze natuurgebieden. Deel 3 de hogere zandgronden*. 's-Graveland: Vereniging tot behoud van natuurmonumenten in Nederland.
- Wit de, H., Eldhuset, D., & Mulder, J. (2010). Dissolved Al reduces mg uptake in Norway spruce forest: results from a long-term field manipulation experiment in Norway. *Forest Ecology and Management* 259, pp. 2072–2082.
- www.bodemdata.nl. (sd).
- Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J.-F., Sartori, G., Waal de, R., Delft van, B., . . . Hager, H. (2011, February 1). *European Humus Forms Reference Base*. Opgehaald van HAL: <https://hal.science/hal-00541496v2>
- Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J.-F., & Sartori, G. (2009). Toward a European humus forms reference base. *Studi Trentini di Scienze Naturali*, pp. 145–151.

Bijlagen

- Bijlage 1 Dataverwerking en –analyse
- Bijlage 2 Analysemethoden bodemonsters
- Bijlage 3 Verdieping en casussen
- Bijlage 4 Relatie bodemgroepen, –chemie en vegetatie
- Bijlage 5 Projectteam en kernmomenten in het onderzoek
- Bijlage 6 Kerndataset
- Bijlage 7 Microbiologie in de bossen van Drenthe