Bosgroepen

Biodiversiteit van Brabants Bialowieza

Fase 1

Bosgroep Zuid Nederland

Colofon

Opdrachtgever:	Provincie Noord-Brabant
Titel:	Biodiversiteit van Brabants Bialowieza - Fase 1
Status:	definitief
Datum:	29 Maart 2021
Auteur(s):	Leon van den Berg, Petra Schmitz, Bart Nyssen, Rob van der Burg, Pascal Sauren, Harm Smeenge, Jaap Bouwman
Medewerking van:	Maaike Weijters -BWARE voor bodemchemie
Foto's:	Etiënne Thomassen, Bart Nyssen, Pascal Sauren, Harm Smeenge, Jaap Bouwman
Foto voorzijde:	Jonge stuifzandbebossing bij Kasterlee (B), 30 jaar geleden onderplant met inheems loofhout. Centraal op de foto een winterlinde.
Kaartmateriaal:	Copyright © 2021, Dienst voor het kadaster en openbare registers, Apeldoorn
Projectnummer:	17355180

© Coöperatie Bosgroep Zuid Nederland u.a.
5591 VD, Heeze
t (040) 20 66 360
www.bosgroepen.nl

Inhoudsopgave

1 INLEIDING 3

1.1 BOSONTWIKKELING IN NOORD-BRABANT 3
1.2 MAATREGELEN 4
1.3 KANSEN VOOR BIODIVERSITEIT 6
1.4 VERGELIJKINGEN TUSSEN RIJK-STROOISELSOORTEN EN ARM-STROOISELSOORTEN 7
1.5 RELATIE PROJECT FASE 1 EN FASE 2 7

2 METHODEN 8

2.1 KEUZE REFERENTIEBOSSEN 8
2.2 VERGELIJKINGEN OP LOCATIENIVEAU 8
2.3 GEGEVENSVERZAMELING BOSSEN 10
2.3.1 Bosstructuur en dood hout 10
2.3.2 Vegetatie 10
2.3.3 Grondwaterstanden 10
2.3.4 Humusprofielen 11
2.3.5 Bodembemonstering 13
2.3.6 Chemische analyse 13

3 RESULTATEN VELDONDERZOEK BOSSEN OP ZANDGROND 14

3.1 NEW FOREST (ENGELAND) 14
3.1.1 Beschrijvingen boslocaties 15
3.1.2 Bodem en humus 16
3.1.3 Vegetatie 17
3.1.4 Structuur 20
3.1.5 Bodemchemie 20
3.1.6 Conclusies New Forest 21
3.2 BIALOWIEZA (POLEN) 23
3.2.1 Beschrijvingen boslocaties 24
3.2.2 Bodem en humus 26
3.2.3 Vegetatie 27
3.2.4 Structuur 29
3.2.5 Bodemchemie 32
3.2.6 Conclusies Bialowieza 33
3.3 COLBITZ (DUITSLAND) 35
3.3.1 Beschrijvingen boslocaties 36
3.3.2 Bodem en humus 38
3.3.3 Vegetatie 39
3.3.4 Structuur 40
3.3.5 Bodemchemie 41
3.3.6 Conclusies Colbitz 43
3.4 HOLT KRAT EN HONING KRAT (DENEMARKEN) 44
3.4.1 Beschrijvingen boslocaties 45
3.4.2 Bodem en humus 48
3.4.3 Vegetatie 49
3.4.4 Structuur 52

3.4.5 Bodemchemie *54*
3.4.6 Conclusies Holt Krat en Honning Krat *58*
3.5 NEDERLANDSE BOSSEN 59
3.5.1 Beschrijvingen boslocaties *61*
3.5.2 Bodem en humus *64*
3.5.3 Vegetatie *65*
3.5.4 Structuur *66*
3.5.5 Bodemchemie *67*
3.5.6 Conclusies Nederlandse bossen *69*
3.6 SYNTHESE EIKEN/DENNENBOS - LINDEBOS VERGELIJKING 70

4 FAUNA 72

4.1 INLEIDING 72
4.2 BELANGRIJKSTE FACTOREN DIE EEN ROL SPELEN BIJ BIODIVERSITEIT IN BOSSEN 72
4.3 BOSSOORTEN EN RELATIE MET RIJKS-STROOISELSOORTEN EN STRUCTUURVARIATIE 75
4.4 CONCLUSIE FAUNA 79

5 ONTWIKKELING NAAR REFERENTIEBEELDEN 80

5.1 ONTWIKKELRICHTING 80
5.2 VAN OUDE REFERENTIEBEELDEN NAAR ONTWIKKELINGSRICHTING 81
5.3 JONGE REFERENTIEBEELDEN 83
5.4 ANDERE SOORTGROEPEN: PADDENSTOELEN 84

6 VERFIJNING VAN MAATREGELEN 85

6.1 INTENSITEIT VAN AANPLANT AFHANKELIJK VAN DOEL 85
6.2 AANDEEL RIJK-STROOISELSOORTEN VERHOGEN IN DE STRUIKLAAG 85
6.3 OP ARME ZANDGRONDEN STEENMEEL OVERWEGEN 86
6.4 HERINTRODUCTIE OUD-BOSPLANTEN OVERWEGEN 87

7 KENNISLACUNES 88

LITERATUUR EN WEBSITES 89

BIJLAGE 1 **ONDERZOEKSGEBIEDEN 92**

BIJLAGE 2 **BODEM EN HUMUSBESCHRIJVINGEN 93**

BIJLAGE 3 **METHODEN BODEMCHEMIE 109**

BIJLAGE 4 **VEGETATIEOPNAMEN 110**

BIJLAGE 5 **VERGELIJKINGEN BODEMCHEMIE C HORIZONTEN 116**

BIJLAGE 6 **BESCHRIJVING STRUCTUUR COLBITZ 122**

BIJLAGE 7 **GERAADPLEEGDE DESKUNDIGEN 124**

1 Inleiding

Beheerders, onderzoekers en beleidsmakers zijn nog niet geheel overtuigd van de biodiversiteitspotenties van de bossen op arme zandgronden. De belangrijkste oorzaak hiervan is een negatieve beeldvorming en een gebrek aan kennis over de ontwikkelingspotentie van de arme zure heidebebossingen. Er is ook terechte reden om te twijfelen. Het is de vraag of de oorspronkelijke rijkdom overal volledig hersteld kan worden, aangezien de bosbodem sterk gedegradeerd is en veel soorten niet meer in het Brabants boslandschap voorkomen.
De huidige situatie is door de mens zo sterk beïnvloed dat er gesproken kan worden van een nieuw ecosysteem (Hobbs et al., 2013): de hedendaagse dennenbossen zijn door de mens aangelegd op voormalige heide- en stuifzandgebieden die door menselijk toedoen zijn ontstaan. De biotische, abiotische en sociale componenten verschillen sterk van de componenten die hier in de historie de overhand hadden. Doordat de huidige uitgangssituatie door menselijke toedoen sterk veranderd is, is het niet mogelijk om terug te keren naar de situatie die hier vroeger voorkwam.
Door vanuit het doel – verhogen biodiversiteit, draag- en veerkracht – een referentie op te stellen, is het mogelijk om een beeld te scheppen over in welke richting de bossen op arme zandgronden zich kunnen ontwikkelen. Deze referentie wordt bepaald door de huidige uitgangsituatie en de ecologische ontwikkelingsmogelijkheden. Eerder was het gebruikelijk om een bepaalde situatie in het verleden als referentiekader te pakken, en hier naar toe te werken. De referentie die in dit onderzoek wordt uitgewerkt, ligt niet in het verleden, maar komt tot stand door verschillende bostypen met elkaar te vergelijken. Aan de hand van deze vergelijkingen is het mogelijk een beeld te schetsen waar de bossen op de Brabantse zandgronden zich potentieel naartoe kunnen ontwikkelen.

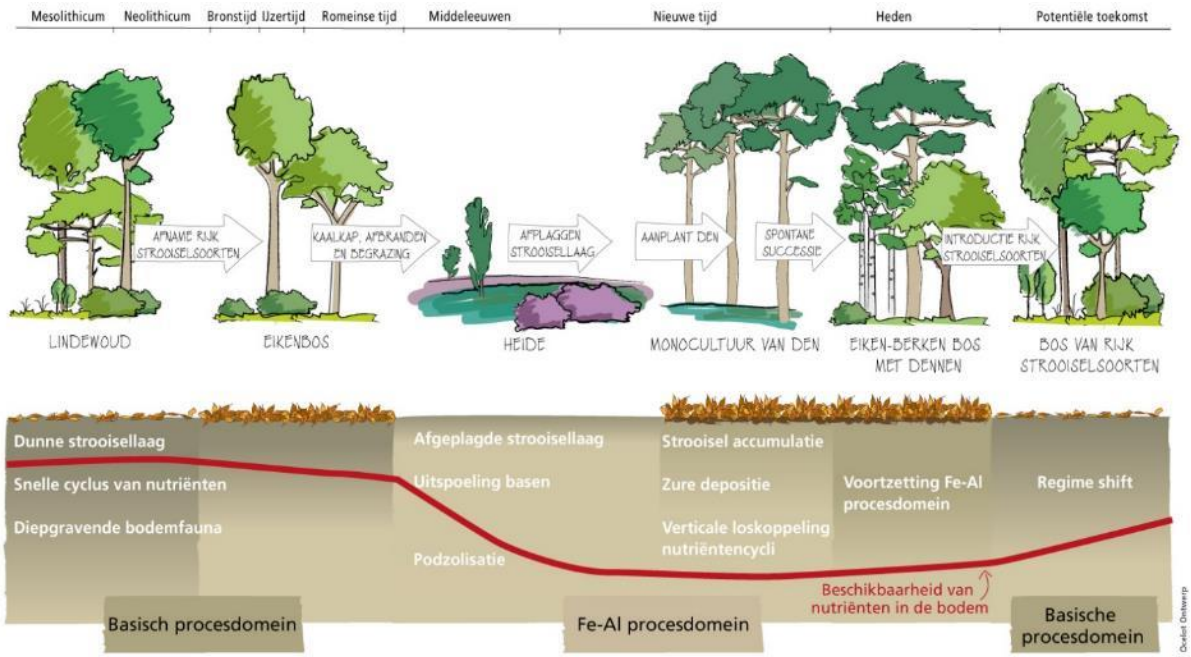
1.1 Bosontwikkeling in Noord-Brabant

Het huidige boslandschap is ontstaan door de wisselwerking tussen mens, bomen en bosbodem. De ontwikkeling van het Noord-Brabantse bos sinds het laatste glaciaal is niet rechtlijnig en met constante snelheid verlopen. Er waren lange periodes van langzame ontwikkeling. Daarnaast waren er perioden waarin deze langzame ontwikkelingen vrij plots resulteerde in zogenaamde kantelmomenten, waarna de bosontwikkeling een andere weg opging. Figuur 1 geeft schematisch weer welke ontwikkeling de bossen na de laatste ijstijd hebben doorgemaakt. Voor een uitgebreide beschrijving hiervan zie Nyssen en van den Berg 2017 (Nyssen & Van den Berg 2017). Over de gehele periode bekeken zijn veel voedingsstoffen uit de bodem verdwenen maar deze afname is terug te herleiden tot ten minste belangrijke perioden/oorzaken. Met name bufferende kationen zoals calcium, kalium en magnesium zijn gedurende een lange periode, met het organische stof, uit de bodem gehaald (heidefase). In de moderne tijd is een groot deel van de resterende bufferende kationen weggespoeld door versnelde verwering en uitloging als gevolg van zure regen en verzuring (Bergsma et al., 2016).
Na bebossingen van heidebodems en oude voormalige akkers is het gehalte organische stof geleidelijk weer toegenomen en daarmee deels ook de beschikbaarheid van nutriënten. Echter een groot deel van de buffering en de capaciteit om te bufferen is uit het systeem verdwenen en keert zonder ingrepen niet terug. Gedurende de laatste zes decennia is het aandeel stikstof (N) in de atmosferische depositie fors verhoogd waardoor de bodem te kampen heeft met een zeer hoog N-gehalte en een daarmee gepaard gaande verzuring. Daarnaast zijn veel van de bossen op zandgronden aangeplant met soorten die moeilijk verteerbaar strooisel produceren. Deze soorten zoals grove den, beuk en eik zorgen voor een dik strooiselpakket en een verdere

verzuring en uitloging van de bodem (van den Berg et al., 2018, Desie et al., 2019, Desie et al., 2020).
Door de verzuring en de vermesting in de bossen is het niet verwonderlijk dat de bossen arm aan vaatplantensoorten zijn. De vaatplanten die er voorkomen zijn grotendeels niet karakteristiek voor rijke bossen, maar komen bijvoorbeeld ook op heidevelden voor (Weeda 2005). De bosfauna lijdt zo mogelijk nog meer onder deze mineralenarmoede, nutriënten-onbalans en verzuring. Niet alleen hebben veel soorten het hier moeilijk maar ook de totale hoeveelheid dierlijke biomassa, en daarmee de basis voor de voedselpiramide, is gering. Bovendien blijken met name de top-predatoren, zoals roofvogels, sterk te lijden onder de nutriënten-onbalans (Van den Burg et al., 2014).

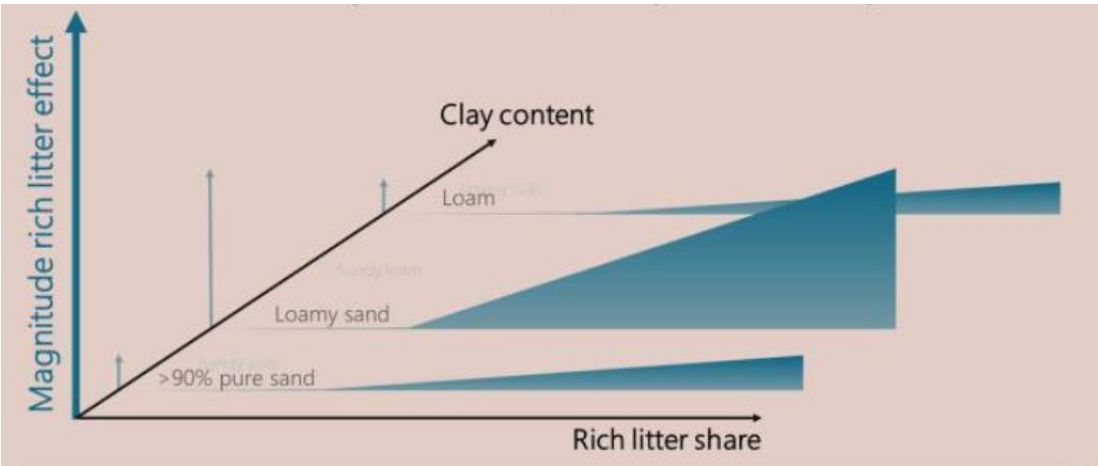
1.2 Maatregelen

In het kader van het herstel van de biodiversiteit worden er door Bosgroep Zuid Nederland diverse maateregelen genomen in de Noord-Brabantse bossen. Maatregelen als het aanplanten van rijk-strooiselsoorten en het creëren van structuur brengen meer variatie in de bossen. Bij de omvorming met rijk-strooiselsoorten worden de soorten die moeilijk verteerbaar strooisel produceren langzaam aangevuld met soorten die rijk-strooisel produceren. Hiermee wordt de zogenaamde nutriëntenpomp hersteld (Hommel et al., 2007). Rijk-strooiselsoorten zijn boom- en struiksoorten waarvan het bladmateriaal basenrijk is en relatief veel calcium, kalium en magnesium bevat (Desie et al., 2019). De afbraak van dit blad is snel en middels deze afbraak circuleren deze soorten de bufferende nutriënten in het systeem. Ze zorgen daarmee voor een betere buffering van de bodem en voorkomen een uitloging naar diepere onbereikbare lagen. Het idee achter het herstel van de nutriëntenpomp is dat bij aanwezigheid van voldoende bufferende nutriënten in bodem (bijvoorbeeld in diepe rijke bodemlagen of leem) een groot aandeel aan boom- en struiksoorten met rijk-strooisel op termijn zorgen voor een omslag van een verzurende bodem naar een zichzelf verrijkende bodem. Bomen kunnen dankzij hun diepe worteling, afhankelijk van de soort tot een tiental meters bij afwezigheid van storende lagen, als enige planten de nutriënten uit de ondergrond ontsluiten. De bosbodem komt dan hopelijk op termijn weer in een beter bufferend domein (kation bufferrange, figuur 1).



Figuur 1. Ontwikkeling bodem en bostypen op Brabantse hoge zandgronden na de laatste ijstijd. De rode lijn geeft schematisch de relatieve rijkdom van bufferende kationen in de bodem weer. Kantelpunten in de rijkdom van de bodem zijn weergegeven als abrupte veranderingen in de rode lijn. Versnelde afnamen in beschikbare nutriënten in de bodem zijn sterk bepalend geweest voor de huidige kwaliteit van de bossen.

In de meeste Noord-Brabantse bossen komen boomsoorten met rijk-strooisel niet of nauwelijks meer voor. Daarom worden linden, esdoorns, hazelaar, haagbeuk en ratelpopulier in de Noord-Brabantse bossen aangeplant zodat de nutriëntenpomp weer kan gaan functioneren. Eerder onderzoek naar het effect van rijk-strooiselsoorten heeft aangetoond dat het effect het grootst is als de bodem een hogere CEC dan die van de armste zandgronden heeft. Uit onderzoek bleek dat bodems met meer bindingsplaatsen voor kationen (een hogere CEC) ook meer kationen kunnen uitwisselen waardoor het positieve effect van rijk-strooiselsoorten ten opzichte van arm-strooiselsoorten zeer groot was. Dit bleken de zandbodems met een verhoogde CEC (door een leemfractie of door iets meer organische stof) en bodems met leemlagen in de ondergrond (Desie et al., 2019). In zeer rijke bodems met een zeer hoge CEC (dit zijn klei- en kalkrijke bodems) bleken de effecten van rijk-strooiselsoorten ten opzichte van arm-strooiselsoorten minder groot te zijn omdat daar de toegevoegde waarde van een nutriëntenpomp zeer klein is.
Interessant was ook dat op de zeer arme bodems met een zeer lage CEC het effect van rijk-strooiselsoorten ten opzichte van arm-strooiselsoorten nog steeds positief was maar minder groot. Dit werd toegeschreven aan het feit dat in deze zeer arme zandbodems de negatieve effecten van uitloging en het slechte water-vasthoudende-vermogen, de positieve effecten van rijk-strooiselsoorten overschaduwen. Daarnaast valt er voor de rijk-strooiselsoorten in deze bodems nauwelijks nutriënten te circuleren (rondpompen) als deze niet in leemfracties of in diepere lagen aanwezig zijn (zie figuur 2).



Figuur 2. Orde van grootte van het effect van Rijk-strooiselsoorten op de bodem (buffering en rijkdom) in relatie tot kleigehalte en input van het rijk-strooisel (Desie 2020).

Bovenstaande figuur 2 toont dus dat rijk-strooiselsoorten wel degelijk een positief effect hebben op zandbodems, zeker wanneer er een lichte leemfractie of leemlaagjes in de wortelzone aanwezig zijn. De ontwikkeling van de bosbodems en de biodiversiteit is echter niet goed onderzocht en het is daardoor niet goed beschreven wat de potenties zijn van de biodiversiteit en de bosbodem als gevolg van deze maatregelen op lange termijn.

Met het nemen van maatregelen zoals het aanplanten van rijk-strooiselsoorten, kan men meerdere doelen bedienen. Men kan een hogere biodiversiteit nastreven en men kan ook de bodemkwaliteit willen verbeteren. Hierbij zijn toekomstvisies noodzakelijk waarbij realistische beelden van de ontwikkelrichting wordt beschreven. Dit onderzoek probeert aan de hand van vergelijkingen met referentiebeelden te komen tot realistische toekomstbeelden voor de bossen waarin maatregelen als deze aanplant van rijk-strooiselsoorten wordt uitgevoerd in Noord-Brabant.

1.3 Kansen voor biodiversiteit

Wat zijn dan die potenties voor de Noord-Brabantse Bossen? Het hoofddoel van dit project is het scheppen van een referentiekader van de Noord-Brabantse bossen na uitvoer van de maatregelen zoals deze zijn ingezet in de maatregelenkaarten van Noord-Brabant. In dit rapport worden de bosbeelden van diverse zorgvuldig geselecteerde bossen en de bijbehorende biodiversiteitspotenties voor zowel korte termijn (enkele decennia, 20-30jr) als middellange termijn (100-200jaar) beschreven.
Dit onderzoek poogt:

- Inzichtelijk maken wat de meerwaarde is van de maatregelen voor de biodiversiteit en welke (prioritaire) soorten ervan profiteren;
- Beheerders stimuleren om opvolging te geven aan de uitgevoerde herstelmaatregelen en de ontwikkelingen te continueren, ook als de subsidiestromen opdrogen;
- Zorgen voor een breed gedragen herstelmaatregelenpakket zodat uitvoering ook op voldoende grote schaal wordt opgepakt en sneller resultaat behaald wordt;
- Een verfijning van de huidige maatregelen mogelijk maken en mogelijke additionele en noodzakelijke maatregelen formuleren.

1.4 Vergelijkingen tussen rijk-strooiselsoorten en arm-strooiselsoorten

Om een beeld te krijgen van toekomstige Noord-Brabantse bossen na uitvoering van maatregelen zoals het aanplanten van rijk-strooiselsoorten is het noodzakelijk om referentielocaties te bezoeken waarvan belangrijke uitgangssituaties zoals bodemtype, klimaatzone en soortendiversiteit in zekere zin vergelijkbaar genoemd kunnen worden met de Nederlandse situatie. Hiermee is echter niet gezegd dat uiteindelijk vergelijkbare situaties als in de referentielocaties worden behaald na uitvoeren van maatregelen op enig moment in de toekomst. Het uiteindelijke beeld hangt daarvoor te veel af van een veelvoud aan factoren die op elke locatie weer anders kunnen zijn. Hierdoor het onmogelijk is om een eindbeeld vast te kunnen stellen. Het is echter wel mogelijk om patronen van (generieke) ontwikkelingen waar te nemen en deze kunnen ons wijzen op de richting waarin de ontwikkelingen zich zullen voltrekken na het nemen van revitaliseringsmaatregelen. Om deze reden is besloten om in elk bos een vergelijking te maken tussen een locatie met boomsoorten met slecht afbreekbaar strooisel (arm-strooiselsoorten, de zure variant) en een locatie met rijk-strooiselsoorten (de rijke variant). Deze vergelijking weerspiegeld de omvorming die men in Noord-Brabant bewerkstelligd van een zuur bos met slecht afbreekbaar strooisel (voornamelijk eik en den) naar een bos met rijk-strooiselsoorten.

1.5 Relatie project fase 1 en fase 2

De resultaten in dit rapport zijn de resultaten van de eerste fase van een onderzoek naar bosreferenties voor Noord-Brabant. Deze eerste fase (Biodiversiteit van Brabants Bialowieza C2204833, 17355180) beschrijft de bosbeelden en de biodiversiteit van bossen op zandgronden met rijk-strooiselsoorten en uiteenlopende hydrologische standplaatscondities zoals deze op relatief korte termijn (enkele decennia) en op middellange termijn (100-200 jaar) in Noord-Brabant kunnen voorkomen. De tweede fase van het onderzoek (Biodiversiteit van Brabants Bialowieza fase 2, C2241792, 19315180.018) kijkt naar bestaande kennishiaten en mogelijk noodzakelijke aanvullingen. Dit zal met name gelden voor bossen op leemgrond. De tweede fase focust ook op een verfijning van de huidige maatregelen en formulering van mogelijke additionele en noodzakelijke maatregelen, gebaseerde op de laatste inzichten, die de ontwikkeling van de Brabantse bossen ten goede zullen komen.

De hier voorliggende rapportage concentreert zich op de bossen op zandgronden en lemige zandgronden. In Denemarken en Duitsland zijn in 2019 en 2020 daarnaast ook bossen op leemgrond bezocht in het kader van de verdieping die in Fase 2 van dit onderzoek gepland staat. De informatie van deze leembossen wordt daarom hier niet getoond en in detail uitgewerkt en geanalyseerd na uitvoeriger onderzoek naar de hydrologie. De rapportage van Fase 2 van dit onderzoek zal de referentiebeelden op leemgronden behandelen en tevens een vergelijking met de drogere bossen op zandgronden bevatten.

2 Methoden

2.1 Keuze referentiebossen

In dit onderzoek worden verschillende bostypen met elkaar vergeleken. De selectie voor de boslocaties die in dit onderzoek zijn geanalyseerd is in twee fasen uitgevoerd.
1) In eerste instantie werden bossen geselecteerd op basis van beschikbare kennis in het werkveld en een bureaustudie naar mogelijke referentiebossen voor Nederland. Deze inventarisatie leverde een lijst van mogelijke referentiebossen. Uit deze lijst van mogelijk geschikte bossen werden de te onderzoeken referentiebossen geselecteerd op basis van de volgende belangrijke criteria:

- de bossen staan op zandgrond of leemrijk zand;
- de bossen liggen in vergelijkbare klimatologische zones binnen Europa;
- in de bossen staan vergelijkbare boomsoorten zoals in Nederland staan;
- een vergelijking tussen arm- en rijk-strooiselsoorten is binnen deze bossen te maken;
- bij voorkeur is kennis over de hydrologie of soortenrijkdom van de bossen voorhanden;
- de bossen zijn toegankelijk voor onderzoek;
- de buitenlandse referentiebossen bevatten opstanden met Linde die minimaal 70 jaar oud zijn en relatief onverstoord wat betreft hydrologie, bodembewerking en beheer.

In de periode 2017, 2018 en 2019 zijn meer dan 50 binnen- en buitenlandse boslocaties op (leemrijke) zandgronden bezocht met een team van deskundigen zie bijlage 7.

2) Na verzamelen van gegevens in het veld en analyse van de bodemchemie volgde een tweede selectie voor een definitieve lijst van locaties die in onderstaand onderzoek met elkaar vergeleken worden. Deze 2e selectie bestond voornamelijk uit het afwijzen van onderzoeklocaties omdat ze bij nader inzien niet geschikt bleken als referentielocatie of dat locaties niet vergelijkbaar geacht werden (zie paragraaf 2.2). Binnen de bezochte bossen werden bospercelen afgewezen waarvan de bosbodems te veel verstoring vertoonde (geploegde Ap horizonten). Ook werden locaties afgewezen wanneer de resultaten van de bodemanalyse duidde op een landbouwverleden (zeer hoge P gehalten in de A horizont) of te klei of leemrijk werden geacht om te kunnen dienen als referentievoorbeeld voor bosontwikkeling op zandbodems in Noord-Brabant.

2.2 Vergelijkingen op locatieniveau

Tijdens de bezoeken werd binnen elk bos twee verschillende vegetatietypen bemonsterd: een rijk en een arm type. Dit komt overeen met vegetatietypen respectievelijk gedomineerd door rijk-strooiselsoorten zoals linde en arm-strooiselsoorten zoals eik en/of grove den.
Wanneer dit mogelijk was werden per bos meerdere replica's voor elk vegetatietype bemonsterd om zo rekening te kunnen houden met de ruimtelijke heterogeniteit in bodemchemie en vegetatie. Alleen in zeer kleine opstanden/bossen was dit niet mogelijk en werd telkens met 1 opnamelocatie gewerkt.

De locaties van het rijk-strooiseltype en het arm-strooiseltype werden dusdanig gekozen dat deze, *binnen het bezochte bos*, direct vergelijkbaar werden geacht. Deze bostypen (rijk vs arm) staan hierdoor telkens binnen het betreffende bos op dezelfde bodem met eenzelfde geologische historie. Hierdoor is het eventuele waargenomen verschil een verschil als gevolg van de

boomsoorten en wordt niet veroorzaakt door een rijkere/armere geologische afzetting of een andere hydrologische huishouding. De mate van overeenkomst van de afzettingen (en dus of boslocaties met elkaar vergeleken mochten worden *binnen een bos*) werd bepaald aan de hand van een gedetailleerde beoordeling en beschrijving van de 3 m diepe boorprofielen in het veld.

Daarnaast werden na analyse van de bodemchemie, de waarden van kationen, aluminium en CEC van de C horizonten met elkaar vergeleken om er zeker van te zijn dat binnen een bos dezelfde standplaatsen werden bemonsterd. Wanneer boslocaties niet op eenzelfde rijkdom van het moedermateriaal (C horizont) stonden werden deze niet in de synthese meegenomen. Dit laatste geldt voor de boslocaties in de Engelse bossen waar de lindelocaties allen op rijkere bodems liggen dan de eikenlocaties. Om deze reden zijn de Engelse locaties niet meegenomen in de vergelijking tussen eik en linde maar wel in de synthese waarin ontwikkelingsrichtingen worden besproken (hoofdstuk 5). De bossen geven namelijk wel een goed beeld van bosontwikkeling op lange termijn en zijn geschikt om te dienen als referentielocatie ''an sich'' wanneer het gaat over bossen op een rijke, niet uitgeloogde bodem met een hoge graasdruk.

Na bovenstaande selectie bleken 33 boslocaties in 4 verschillende landen geschikt voor een vergelijkend onderzoek tussen rijk- en arm-strooiselbos. Tabel 1 geeft de geselecteerde monsterlocaties voor Fase 1 waarin de zandbodems in detail zijn onderzocht.

Tabel 1. Overzicht van de monsterlocaties *voor het vergelijkende onderzoek rijk-strooiselsoorten vs arm-strooiselsoorten* in Fase 1 van dit onderzoek.

Land	Bos	plot nr	Vegetatietype	Type	Lat	Long	Humusklasse	Zand/leem
Polen	Bialowieza	7	Tilio-carpinetum	rijk-strooisel	52.761501	23.84553	Hemi Moder	zand en lemig zand
		8	Tilio-carpinetum	rijk-strooisel	52.761973	23.84574	Oligo Mull	zand
		9	Tilio-carpinetum	rijk-strooisel	52.770533	23.84652	Oligo Mull	zand met dun leembandje tussen 90 en 100cm -mv.
		14	Tilio-carpinetum	rijk-strooisel	52.765278	23.84967	Hemi Moder	zand met dun leembandje op 180cm -mv.
		1	Pino-Quercetum	arm-strooisel	52.763002	23.86053	Humi Mor	zand met dunne leembandjes tussen 100 en 110 cm -mv.
		2	Pino-Quercetum	arm-strooisel	52.762921	23.86129	Hemi Moder	zand met dunne eembandjes tussen 160 en 220 cm -mv.
		11	Pino-Quercetum	arm-strooisel	52.761996	23.84664	Mor	zand en lemig zand
		12	Pino-Quercetum	arm-strooisel	52.769764	23.84748	Hemi Mor	zand
Duitsland	Colbitz	1	Stellario carpinetum	rijk-strooisel	52.327215	11.55679	Mesomull	zand
		4	Stellario carpinetum	rijk-strooisel	52.333187	11.55728	Hemimoder	zand
		9	Stellario carpinetum	rijk-strooisel	52.334971	11.54832	Eumoder	zand
		2	Fago Quercetum	arm-strooisel	52.328336	11.55785	dysmoder	zand
		3	Fago Quercetum	arm-strooisel	52.327375	11.559	Eumoder	zand
		5	Fago Quercetum	arm-strooisel	52.334639	11.55692	Eumoder tot Dysmoder	zand
		6	Fago Quercetum	arm-strooisel	52.335047	11.55619	Hemimor	zand
		7	Fago Quercetum	arm-strooisel	52.335453	11.55065	Hemimor	zand
		8	Fago Quercetum	arm-strooisel	52.335637	11.54747	Hemimor	zand
Denemarken	Holt Krat	1a	Stellario carpinetum	rijk-strooisel	56.084192	9.454397	eumull tot mesomull	zand met leemband tussen 80 en 120 cm -mv.
		2a	Stellario carpinetum	rijk-strooisel	56.083676	9.452961	mesomull	zand
		1b	Fago Quercetum	arm-strooisel	56.083907	9.454298	mesomull tot eumoder	zand met leembanden 155 en 190 cm -mv.
		2b	Fago Quercetum	arm-strooisel	56.083549	9.453184	mesomull	zand
	Honing Krat	101a	Stellario carpinetum	rijk-strooisel	55.186182	8.949947	oligomull tot dysmoder	grof zand
		5Ea	Stellario carpinetum	rijk-strooisel	55.21282	8.959531	mesomull tot oligomull	grof zand
		101b	Fago Quercetum	arm-strooisel	55.186047	6115496	hemimoder	grof zand
		5Eb	Fago Quercetum	arm-strooisel	55.213278	8.957755	hemimoder tot dysmoder	grof zand
Nederland	Doorwerth	1	Stellario carpinetum	rijk-strooisel	51.97386	5.78859	Eumoder	zand en lemig zand
		2	Fago Quercetum	arm-strooisel	51.97422	5.78884	Dysmoder	zand en lemig zand
	Beek	1	Stellario carpinetum	rijk-strooisel	51.83135	5.91357	Oligomull	zand en lemig zand
		2	Fago Quercetum	arm-strooisel	51.83124	5.91317	Humimor	zand en lemig zand
	Berg en Dal	1	Stellario carpinetum	rijk-strooisel	51.82021	5.92092	Dysmull	grof zand en lemig zand met kiezels
		2	Fago Quercetum	arm-strooisel	51.82028	5.92121	Eumoder	grof zand met kiezels
	Heesch	1	Tilia stand	rijk-strooisel	51.73196	5.55748	Dysmull	zand
		2	Quercus stand	arm-strooisel	51.22469	4.93419	Dysmoder	zand

2.3 Gegevensverzameling bossen

Op alle bezochte boslocaties zijn de volgende gegevens gemeten, verzameld of beschreven:
-bosstructuur en aandeel dood hout
-vegetatie
-grondwaterstanden (GLG)
-humusopbouw en bodemopbouw
-bodemchemie op meerdere diepten en de rijkdom van eventueel aanwezige leemlagen

2.3.1 Bosstructuur en dood hout

Structuur is in het Duitse Colbitz gemeten. Dominante diameters en hoogtes zijn steeds bepaald door meting van drie dikste exemplaren per soort. De beschrijving van de opstanden heeft betrekking op de meetlocatie voor bodemonderzoek en de directe omgeving. Het grondvlak is gemeten vanuit het centrum van de meetlocatie en is bepaald met behulp van een Bitterlich prisma, telfactor 2. In de overige bossen i de structuur bepaald aan de hand van de vegetatieopnamen (aantal horizontale vegetatielagen).
Het aandeel dood hout is niet gemeten maar wel beschreven aan de hand van de veldbezoeken.

2.3.2 Vegetatie

Vegetatieopnames zijn op elke locatie gemaakt in vlakken van 10x10 meter of in langwerpige stukken van 20x5m. De vegetatie (hogere planten en mossen) werd genoteerd aan de hand van de Nederlandse flora en bedekking werd geschat volgens Braun-Blanquet.

2.3.3 Grondwaterstanden

Grondwaterstanden op de hoger gelegen zandgronden werden gemeten wanneer deze zichtbaar waren. In Fase 1 van dit onderzoek zijn goed drainerende hoog gelegen zandgronden onderzocht

waardoor afgesloten leemlagen en hogere (schijn)grondwaterstanden niet zijn aangetroffen. De metingen in dit rapport betreffen dus allen inschattingen van diep grondwater. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) werd tijdens de bodemkartering vastgesteld op basis van reductiekenmerken in het bodemprofiel. Wanneer ijzerhoudende bodems in de nazomer droogvallen kleurt het moedermateriaal door oxidatie (roestvorming) bruinrood. Op de diepten waar deze droogval niet meer plaatsvindt (de GLG) is deze verkleuring niet meer zichtbaar en is de bodem egaal grijs.
In Fase 2 van dit onderzoek worden de leembossen en de vochtige bossen op de hoog gelegen zandgronden onderzocht (zie ook hoofdstuk kennislacunes).

2.3.4 Humusprofielen

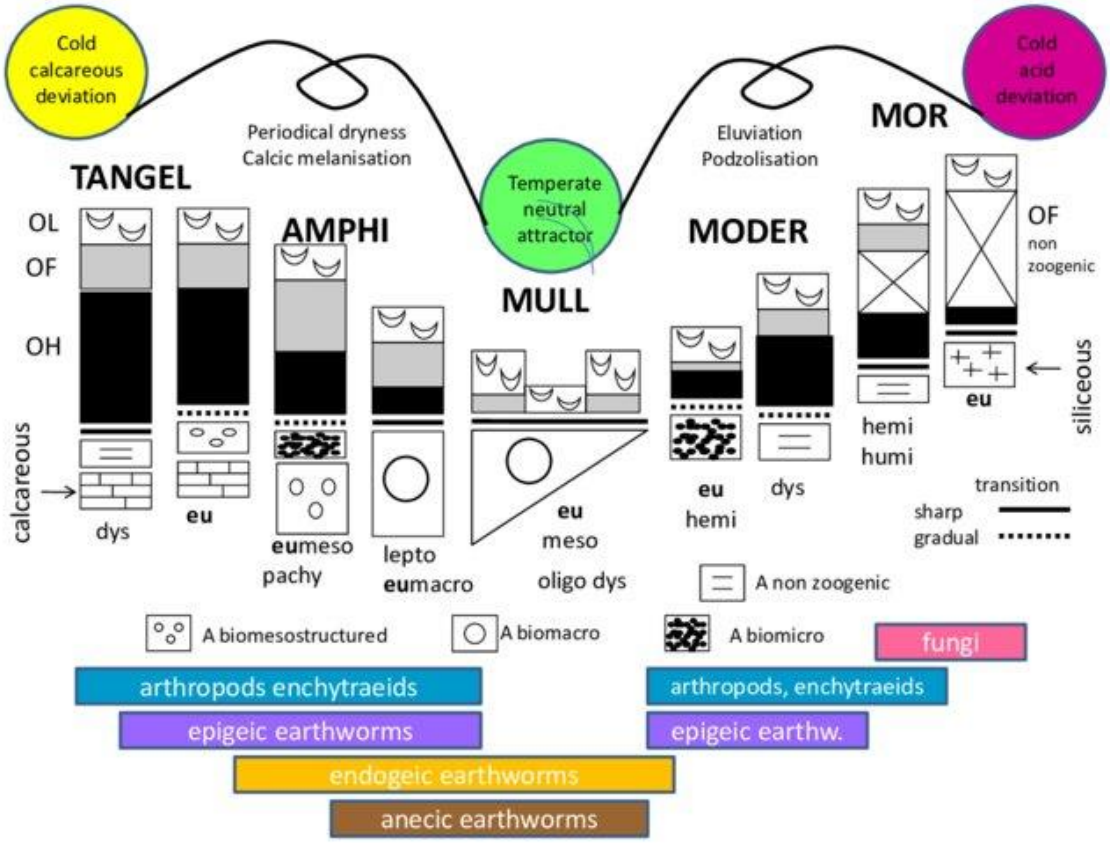
Humusbeschrijvingen werden uitgevoerd op basis van 3 monsterpunten per locatie. De monsterpunten werden gestoken met een scherpe schop tot een diepte van 20cm, ruim in de minerale bodem. De classificatie is gebaseerd op de Europese humusclassificatie (European reference base (Zanella et al., 2011, 2011). Hiervoor werden de strooisellaag (OL), de fragmentatielaag (OF) en de humuslaag (OH) beschreven en werd het humustype bepaald.

Er kunnen op de (relatief zure) zandgronden drie belangrijke humusvormen onderscheiden worden: Mull, Moder en Mor (figuur 3). Mull is een humusvorm waarbij het strooisel goed verteerd is en de humuslaag sterk gemineraliseerd. Deze humuslaag gaat meestal geleidelijk over in de onderliggende minerale bodemlaag. Mull komt voor in bossen waar bomen staan met een goed verteerbaar strooisel. Voorbeelden hiervan zijn Essen en populieren. Op kalkrijke gronden zoals we die kennen in Zuid-Limburg kunnen Mull humusprofielen ook voorkomen bij boomsoorten met een slecht verteerbaar strooisel zoals grove den of fijnspar. Mor kenmerkt zich als een humusprofiel met een weinig verteerd organisch dek dat weinig of niet vermengd is met de onderliggende bodemlaag. Hier vinden we een typisch harde scheiding tussen strooisellaag en minerale bodem omdat bioturbatie nagenoeg ontbreekt. Een derde humusvorm is Moder: een tussenvorm tussen Mull en Mor humus waarbij enige inmenging tussen strooisel en minerale bodem te vinden is.

Figuur 3. Foto's van een Mull, Moder en Mor humusprofiel .

Binnen de 3 hoofdvormen wordt een verder onderscheidt gemaakt op basis van de mate van degradatie. De classificatie ''eu'' staat voor typisch en geeft de pure vorm aan van het betreffende type. De classificatie ''dys'' staat voor gedegradeerd en geeft aan dat het betreffende

type een mate van degradatie (verzuring) kent. De classificatie hemi komt voor bij Moder en Mor en staat voor een overgang waarbij het type lijkt op de rijkere vorm. Hemi mor is dus een mor die lijkt op moder. Figuur 4 geeft de humusclassificatie en daaraan gerelateerde processen en biotische domeinen schematisch weer. Het strooiselpakket is weergegeven in wit, grijs en zwart als OL (bladmateriaal), OF (gefragmenteerd strooisel) en OH (niet herkenbaar, organisch materiaal). In de Mor profielen valt op dat we een scherpe overgang hebben van strooisel naar minerale bodem (weergegeven met zwarte streep), terwijl dit in de Moder profielen een geleidelijke overgang is (gestippelde streep). In de zure Mor profielen en de dys Moder vinden we geen biotische activiteit in de minerale A (weergegeven als een witte minerale laag met horizontale streepjes of kruizen). Bij het verbeteren van de afbraak en buffering zien we toename van biotische activiteit in de minerale bodem en vinden we zogenaamde ''stabiele humus'' in korreltjes in de minerale A horizont. We zitten dan in de eu Moder (weergegeven als zwarte korreltjes in de A horizont in figuur 4). Te zien is ook dat endogeïsche wormen (diepgravende wormen) voornamelijk voorkomen bij een Mull humus en nauwelijks nog in de Moder profielen. Daarentegen vinden we wel meer epigeïsche wormen die op en in het strooisel leven. De mate van buffering en kalkrijkdom staat weergegeven in geel, groen en paarse bollen. In de niet kalkhoudende zandbodems worden de bodems en het humus zuurder in de volgorde Mull > Moder > Mor. De afbraak van organische stof is hieraan gerelateerd en zal voornamelijk worden gedomineerd door bacteriën in de Mull profielen en door schimmels in de Mor profielen (zie figuur 4).



Figuur 4. Humusclassificatie volgens Ponge et al (Ponge 2012, 2013). Voor de Noord-Brabantse situatie is de rechterkant van de figuur belangrijk. We kennen in Noord-Brabant voornamelijk bodems met een Mull, Moder of Mor (en tussenliggende subklassen) humusprofiel.

2.3.5 Bodembemonstering

Bodemmonsters werden genomen met een edelmanboor. In elke plot werden ten minste twee mengmonsters gemaakt bestaande uit 5 boringen, respectievelijk voor de diepte 0-10cm en 20-30cm. De ecto-organische laag (OL,OF,OH) werd telkens verwijderd alvorens de monsters te nemen. Bodembeschrijvingen werden uitgevoerd voor elke site aan de hand van een diepe boring met een edelmanboor en vervolgens beschreven aan de hand van de *FAO guidelines for soil auger description*. Er werd voor elke site een bodemstaal van de C-horizont uit de boring genomen.

2.3.6 Chemische analyse

Om een beeld te vormen van de variatie tussen de verschillende onderzoeksterreinen werden op iedere locatie bodemmonsters verzameld. Alle chemische analysen zijn uitgevoerd door onderzoekcentrum B-WARE, zie bijlage 3. Een vergelijking van bodemchemie van de C horizonten geeft inzichten in de verschillen in samenstelling van het moedermateriaal. Hiervoor zijn de totaal gehalten van elementen gebruikt. Vergelijkingen in de bovengrond geven inzichten in de verschillen in chemie in de rhizosfeer en bovenste lagen van de bodem. Gegevens van destructies geven inzicht in het totaal aanwezige gehalte van een bepaald element. Deze gegevens zijn voornamelijk gebruikt voor vergelijkingen tussen C horizonten en bepaalde interessante lagen (zoals leembandjes).
Het uitwisselbare deel van de aanwezige elementen in de bodem geeft een beter beeld van wat er voor planten en biota beschikbaar is. Hiervoor werden zoutextracten en strontiumextracten uitgevoerd. De bio-beschikbaarheidsgegevens zijn voornamelijk gebruikt voor vergelijkingen in de A en B horizonten.
Per bodemmonster werden de volgende variabelen bepaald:

- Vochtpercentage, organische stofconcentratie (d.m.v. Loss on Ignition) en bodemdichtheid;
- Totale elementconcentratie P, S, Fe, Ca, Mg, Mn, Zn en Al (na ontsluiting met salpeterzuur en waterstofperoxide);
- pH-zout;
- NO_3^-, NH_4^-, Al en Ca, alsmede de hoeveelheid P en kationen (Ca, Mg, K, Mn) door middel van een zoutextractie;
- CEC en basenverzadiging bepaald aan de hand van een strontiumextractie;
- Totaalconcentratie N en C werd bepaald door middel van een CN-analyse.

De vergelijkbaarheid van locaties werd bepaald aan de hand van alle elementen. In deze rapportage worden echter alleen de belangrijkste besproken. We bespreken als maat voor buffering: de totale hoeveelheid beschikbare basische kationen, de CEC en de pH. Als maat voor verzuring het aluminium gehalte, als maat voor trofie het fosfor gehalte en daarnaast ter vergelijking van moedermateriaal werd gekeken naar zwavel en silicium omdat deze elementen gekoppeld zijn aan het kleigehalte en mogelijke mariene afkomsten.

3 Resultaten veldonderzoek bossen op zandgrond

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de veldbezoeken per land en per bos beschreven. Voor de gegevens van de bodemchemie, humusprofielen en vegetatie zijn de belangrijkste parameters samengevat. Ruwe data staat in de bijlagen.

3.1 New Forest (Engeland)

De New Forest (figuur 5) is een Nationaal Park in het zuiden van Engeland bestaande uit grasland, heides en bossen. Oorspronkelijk bestaat het gebied uit verschillende terrassen die vooral in het zuiden nog zichtbaar zijn. Het gebied wordt gevoed door diverse stroompjes. Het Nationaal Park heeft een diversiteit aan bodems zoals klei, veen, gravel en zand. De New Forest is gelegen in het "Hampshire Basin", dat na de ijstijd ontstaan is. Vanuit hoger gelegen gebieden zoals de Salisbury Plain is hierin veel grof zand en grind afgezet. Daarnaast vond er kleiafzetting (vanuit de zuidelijk gelegen zee) plaats in verschillende tijdsperiodes. Door deze schakeringen aan bodemtypen is het gebied rijk aan zowel rijke als arme bostypen. In deze afzettingen zijn humuspodzolgronden, grondwater gevoede gley bodems, holtpodzolgronden en door oppervlaktewater beïnvloede gleybodems aanwezig. Uit paleoecologisch onderzoek aan het White moor, ten oosten van Lyndhurst zijn aanwijzingen dat de 13de eeuwse vegetatie weinig verschilde met tegenwoordig. De linde werd zeldzaam vanaf het Subboreaal, maar bleef onderdeel van het bosbestand tot in de middeleeuwen. Kenmerkende soorten waren berk, hulst, beuk, es vaak linde, mogelijk lokaal iep en haagbeuk. Vanaf de middeleeuwen werd hazelaar weggeconcurreerd door de hulst en vormde de beuk samen met de eik de hoofdboomsoorten. Iep en linde verdwenen en haagbeuk werd schaars. Het nabij gelegen dorpje Lyndhurst vormt een etymologische verwijzing naar de linde.
De bossen zijn een van de best bewaarde, oude natuurlijke loofbossen van laagland Europa. Van de 26.000 hectare koninklijk gebied bestaat tegenwoordig nog 18.000 hectare uit ''open woodland''. Dat bestaat uit een mozaïek van vennen, diverse type venen, natte- en droge heide, blauwgraslanden en diverse bostypen. In deze 18.000 hectare hebben weinig moderne invloeden zoals ontwatering en bodembewerking plaatsgevonden. De hierin voorkomende *Ancient and Ornamental woodlands* behoren tot de best bewaarde ongestoorde loofbossen van het Europese laagland. Ze hebben veelal een continue boshistorie, waarvan de oudste bosopstanden uit de 16de eeuw dateren.

Figuur 5. Ligging van New Forest in Zuid Engeland. De rode vlek geeft de ligging van het onderzoekgebied Matley Wood weer.

Het gebied is eigendom van de Forestry Commission en het beheer bestaat grotendeels uit de begrazing met pony's en runderen, die hier in kuddes vrij rondlopen. Zij zijn eigendom van boeren, de zogenaamde 'commoners' (Smeenge 2020). Binnen de New Forest liggen enkele inclosures, die vrij zijn van begrazing door pony's. De graasdruk door wild (ree en damhert) is hoog waardoor, ook in de enclosures, flinke sporen van vraat zichtbaar zijn (zie figuur 6).

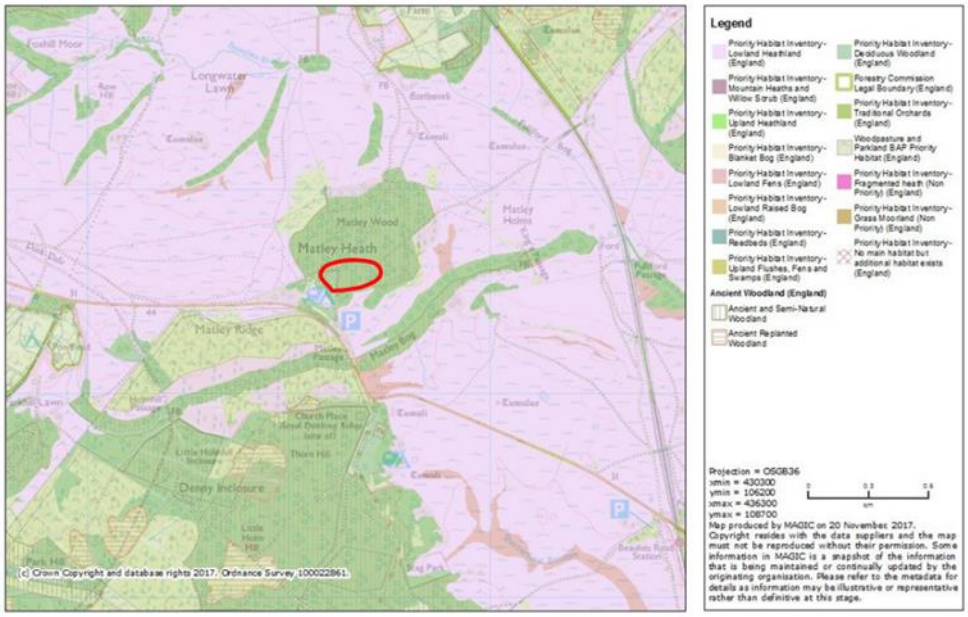
Figuur 6. Rijk bos met linde, eik en hulst in New Forest Engeland. Een graaslijn is duidelijk zichtbaar.

3.1.1 Beschrijvingen boslocaties

De onderzoeklocaties Matley wood en Denny inclosure in het New Forest (figuur 7) hebben met hun ligging in het gematigd zeeklimaat min of meer overeenkomstige klimatologische eigenschappen als Nederland.

De bossen werden in het voorjaar bezocht waarbij middels grondboringen gezocht werd naar zandige bodems met eik of linde in de boomlaag. In totaal zijn in New Forest 12 proefvlakken

opgenomen en bemonsterd. Hiervan bleken 5 locaties een te hoog gehalte aan klei te bevatten. Alleen locaties nr: 4,5,6,9,10,11,12 bleken op zand of lemig zand te staan.



Figuur 7. Onderzoeklocatie Matley wood. Ten zuidwesten hiervan ligt in het bos de 2e onderzoeklocatie ''Denny inclosure''.

3.1.2 Bodem en humus

Ondanks dat het noordelijke gedeelte van Matley wood uit Tertaire klei bestaat bleek het zuidelijke deel een eolische opvulling van een erosiegeul. De onderzoekslocaties 5 en 6 staan periodiek onder invloed van grondwater, maar liggen hoog genoeg voor podzolisatie. Het zijn beide holtpodzolgronden in leemarm tot zwaklemig zand (zie figuur 8 en bijlage 2). Ondanks dat dit gebied buiten de kenmerkende Europese dekzandgordel ligt wijst de uniforme korrelsamenstelling toch op een eolische genese. De laagste grondwaterstand in alle onderzochte locaties in New Forest bleek >120 -mv te zijn. Op locatie 4, 5, 6 en 10 werden aanwijzingen (gley-verschijnselen) gevonden voor periodieke hoge grondwaterstanden op ongeveer 90cm -mv. Alleen locaties 5 en 6 zijn vaker nat waarbij ook reductie verschijnselen op locatie tussen 90-120 -mv zichtbaar was. De bodemanalyse toont ook dat de bodems van locatie 5 en 6 vochtiger waren dan de overige locaties.

Ook locatie 4 ligt in Matley wood en bevat zand in de bovenste laag van de bodem. Echter tussen 45 en 80 cm diepte is de bodem hier lemig (tot 85% leem).
Ook voor de locaties 9, 10, 11 en 12 in de Denny inclosure geldt dat dit holtpodzolgronden zijn in leemarm tot zwaklemig zand (bijlage 2).

Door het frequent voorkomen van eik en hulst bleek er significante strooiselaccumulatie plaats te vinden. Met name in de onderzochte locaties met een dominantie van eik in de bomenlaag en adelaarsvaren in de onderlaag werden dikke strooiselpakketten tot 7 cm gevonden (tabel 2). Strooiselomzettingen op de locaties met linde (locaties 4,5,6) is snel waardoor er weinig strooiselaccumulaties is en de humusopbouw was te classificeren als mull. De locaties met eik konden worden geclassificeerd als moder of mor (tabel 2).

Tabel 2. Resultaten humusbeschrijvingen New Forest.

plot	Type	Humusklasse	Zand/leem	Dikte humuslaag (cm)
4	rijk-strooisel	Oligo Mull	lemig zand	1
5	rijk-strooisel	Oligo Mull	zand	0.5
6	rijk-strooisel	Oligo Mull	zand	1
9	arm-strooisel	Dysmoder	zand met leembandje op 120 cm -mv.	3.5
10	arm-strooisel	Humi Mor	zand	7
11	arm-strooisel	Hemi Moder	zand	5
12	arm-strooisel	Humi Mor	zand	6.5

Figuur 8. Boorprofiel van bruine bosbodem (holtpodzol) (links) en overzichtsfoto (rechts) van onderzoeklocatie nr. 5 in Matley wood.

3.1.3 Vegetatie

De florasamenstelling van de onderzoekslocaties in Matley Wood en de Denny inclosure hebben kenmerken van zowel het Eiken-Haagbeukenbos, het Vogelkers-Essenbos en het eiken-beukenbos (tabel 3). De hoofdboomsoorten in de onderzoeklocaties zijn eik en linde. Buiten de locaties bepalen beuk en hulst mede het bosklimaat. De bomen zijn oud, dik en in veel gevallen ook redelijk hoog (tot 25 meter, figuur 9).

Figuur 9. Overzicht van locatie nr. 10 in de Denny inclosure.

Kenmerkende flora in de kruidlaag zijn: hulst, witte klaverzuring, klimop, speenkruid, gestreepte witbol, adelaarsvaren, wilde hyacint (figuur 10), donker- of bleeksporig viooltje, boswederik, braam en gewoon haarmos (bijlage 4).

Wat betreft soorten in de grondflora bleek er weinig verschil te zitten tussen onderzoeklocaties 9, 10, 11 en 12. Deze boslocaties kenmerkten zich door het veelvuldig voorkomen van zuur-minnende soorten als adelaarsvaren en hulst. Deze locaties liggen in de Denny inclosure en zijn uitgesloten van begrazing door pony's. Echter er is wel duidelijk begrazing door wild (damhert) waardoor de struiklaag onderontwikkeld is. Adelaarsvaren lijkt hier minder vlast van te hebben en wordt nauwelijks aangevreten. De soorten uit de kruidlaag en ook jonge hulst, jonge eiken en linde worden veel aangevreten. Er is in deze bossen geen actief bosbeheer en sporen van verstoringen zijn niet aangetroffen.

Figuur 10. Wilde Hyacinth en ontluikende bosanemoon in New Forest. Wilde hyacinth is kenmerkend voor de rijkere bossen in Engeland maar komt in Nederland waarschijnlijk alleen als verwilderde tuinplant en als stinzeplant voor.

Adelaarsvaren en hulst bleken respectievelijk minder of zelfs niet voor te komen in onderzoeklocaties 4, 5 en 6. De locaties 5 en 6 zijn duidelijk rijker met een grondflora die kenmerkend is voor eiken-haagbeukenbos. Op locaties 4, 5 en 6 werden soorten als speenkruid en bleek/donkersporig bosviooltje aangetroffen die niet of veel minder werden aangetroffen in de arm-strooisel locaties. In de locaties in Matley wood speelt begrazing door pony's een rol. De vegetatie is kort en op sommige plekken over begraasd. Ook hier ontbreekt een goed ontwikkelde struiklaag en verjonging van boomsoorten bijna geheel.
Naast het voorkomen van soorten uit het eiken-haagbeukenbos zijn er verder weinig floristische verschillen tussen de bossen met rijk-strooisel en arm-strooisel en gemiddeld werden in beide typen ongeveer 12 soorten aangetroffen. Het onderzoek werd vroeg in het voorjaar uitgevoerd en wellicht is het lage aantal gevonden soorten hierdoor te verklaren. Daarnaast doet ook vermoeden dat de overbegrazing resulteert in een lage dispersie van soorten waardoor met name klonaal-verbreidende soorten zich hier nog goed handhaven.

Tabel 3. Aangetroffen vegetatietypen op de onderzoeklocaties in New Forest.

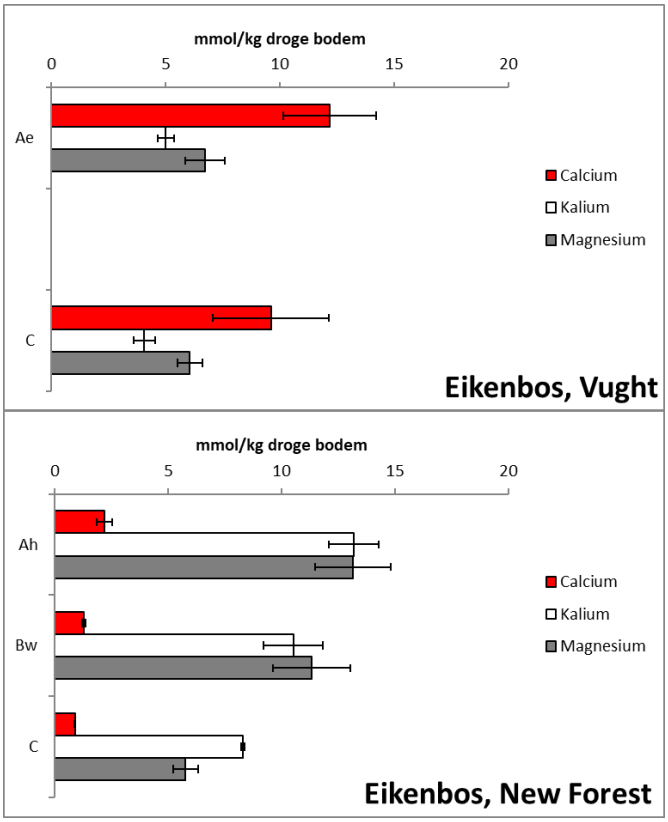
Locatie	rVVN	vegetatie	type
4	r45Aa04c	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Lelietje-van-dalen	rijk-strooisel type
5	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type
6	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type
9	r45Aa04e	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Gladde witbol	arm-strooisel type
10	r45Aa04e	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Gladde witbol	arm-strooisel type
11	r45Aa04e	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Gladde witbol	arm-strooisel type
12	r45Aa04b	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Adelaarsvaren	arm-strooisel type

3.1.4 Structuur

Het uitblijven van actief bosbeheer resulteert in een bos met veel staand en liggend dood hout. Daartegenover staat dat er een enorme graasdruk in het bos, zowel in het deel waar de pony's lopen als in de inclosure, aanwezig is. Door de graasdruk is er relatief weinig verjonging en is er een duidelijk zichtbare graaslijn in nagenoeg het gehele bos zichtbaar. Hulst en andere struiken worden tot zover de grazers kunnen reiken, kaalgevreten. Door deze begrazing vinden we in dit bos maximaal 2 boomlagen van voornamelijk oude tot zeer oude bomen. De struiklagen zijn onderontwikkeld en de kruidlaag is laag. Alleen adelaarsvaren en enkele braamstruwelen lijken relatief ongedeerd te worden door de graasdruk.

3.1.5 Bodemchemie

De verschillen in de humusklasse en de ontwikkeling van de vegetatie tussen de locaties met linde en de locaties met eik kunnen in New Forest niet worden toegeschreven aan de invloed van de boomsoort. Na analyse van de bodemchemie bleek namelijk dat de standplaatsen van de lindeopstanden rijker waren (het moedermateriaal) dan de eikenopstanden (bijlage 5). Een vergelijking tussen rijk- en arm-strooiselsoorten in deze bossen is hierdoor niet zinvol en zal ook verder niet worden behandeld.
Wanneer we kijken naar de zandige bodems van de eikenopstanden zien we vergelijkbare concentraties basische kationen in het moedermateriaal met bodems uit Noord-Brabant (zie C horizont, figuur 11).



Figuur 11. Vergelijking van concentraties basische kationen in de bezochte locaties in New Forest met enkele bosbodems uit een bos met zomereikensterfte in Vught.

De vergelijkingen in concentraties in figuur 11 moet met voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. De concentraties lijken dan wel vergelijkbaar, dit betekend nog niet dat de totale hoeveelheden in de bodems vergelijkbaar zijn. De toplaag van de bodem (A horizont) laat zien dat de

concentraties calcium lager zijn in New Forest dan in Vught, terwijl de concentraties magnesium en kalium hoger zijn. De A horizonten en B horizonten van New Forest zijn echter ook een stuk dikker dan die in Vught waardoor de totale hoeveelheden beschikbare kationen in Engeland vele malen hoger is dan in Noord-Brabant.

3.1.6 Conclusies New Forest

De bossen in de New Forest zijn oud en de bodem is relatief ongestoord. Ook is er nauwelijks drainage waardoor de hydrologie in deze bossen nog mag worden beschouwd als ''oorspronkelijk''. Sporen op verdroging zijn dan ook niet aangetroffen en de podzolisatie die gevonden werd in zelfs de nattere locaties is een direct gevolg van een neerwaartse watergang (inzijggebieden).
Duidelijk is dat wanneer de bodem rijker is (door een rijkere standplaats en wellicht ook een effect van boomsoort als Linde) er een betere strooiselomzetting is en er Mull humusprofielen gevonden worden. Aangezien de standplaatsen in de lindeopstanden allen ook rijker waren in het moedermateriaal is niet uit te sluiten dat de strooiselomzettingen voornamelijk een gevolg zijn van de rijkdom van de bodem.
Het feit dat de Lindeopstanden allen op dezelfde, leemrijkere bodems gelegen zijn is wellicht te verklaren door de historie van het bos. Lindeopstanden op zandgrond werden alleen gevonden in Matley wood en niet in de Denny enclosure. Vermoedelijk heeft dit te maken met het historisch landgebruik. De middeleeuwse Denny enclosure was een productiebos van de “kroon” waarbij eiken en beuken zijn aangeplant. Het Matley wood behoorde tot de “open woodlands” en werden door de commoners (boeren met gebruiksrechten) gebruikt voor beweiding, sprokkelen van hout, maaien van varens etc. Er werden ook bomen aangeplant ten behoeve van scheepsbouw en geknot op een hoogte boven de vraatlijn (Tubbs 2001). Kennelijk zijn de Lindes in het Matley wood nog lange tijd gespaard of aangeplant voor andere gebruiksdoelen (vlechten van manden, wintervoer etc) terwijl deze in de Denny enclosure in de loop van tijd zijn verdwenen.
De lindeopstanden in Matley wood staan op een zandbodem met daaronder leemrijke lagen. Deze situatie kan in Noord-Brabant ook heel goed voorkomen omdat ook in Noord-Brabant leemrijke lagen zijn aangetroffen. Deze leemlagen die in New Forest werden aangetroffen zijn rijk aan magnesium en calcium. In Noord-Brabantse leembossen komen leemlagen aan het oppervlak. Dunne leembandjes komen voor (soms op diepte) in de zandbossen van Noord-Brabant. Deze leembandjes en leemlagen van de Noord-Brabantse leembossen zijn, wat betreft concentraties aan basische kationen, rijker dan de leemlagen die we in New Forest aantroffen. In New forest vonden we gehalten aan basische kationen van maximaal 27000 µeq/kg DW terwijl de leembandjes en leemlagen van leembossen in Noord-Brabant (Wijboschbroek, Ulvenhoutse bos, Het Merkske) tussen 35000-100000 µeq/kg DW liggen (data WUR). In zandbodems zijn de leembandjes echter dun en soms door diepe ligging niet toegankelijk voor boomsoorten als linde. Het potentieel hiervan is echter wel duidelijk en ontsluiten van deze rijkdommen in de bodem kan de buffering in de toplagen doen toenemen.

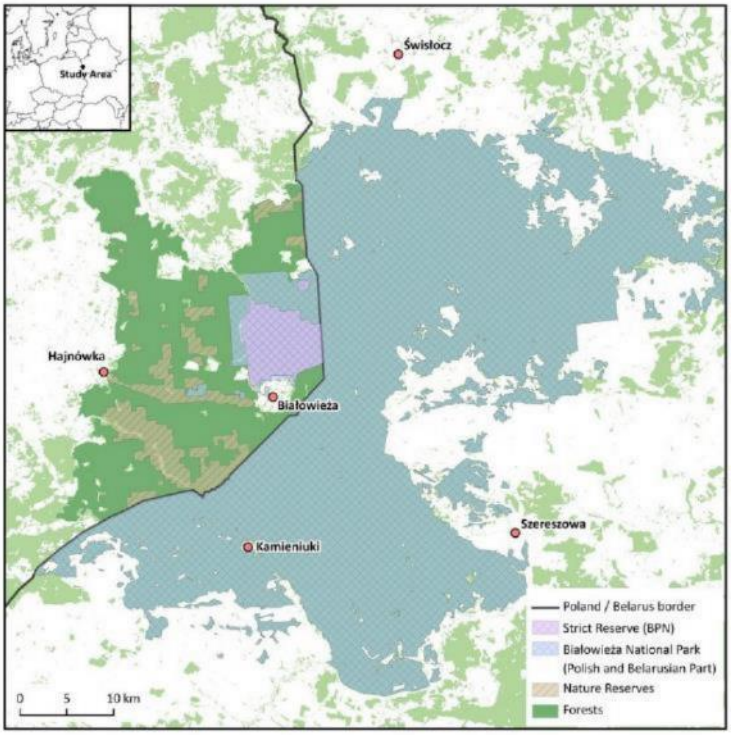
De begrazing speelt een zeer grote rol in deze bossen waardoor een gelaagdheid met bosverjonging van loofhout nauwelijks van de grond komt. Meestal hebben grazers een voorkeur voor rijk-strooiselsoorten hetgeen het vermoeden oproept dat de boomsoorten met arm strooisel bevorderd zou worden. In New Forest is verjonging schaars binnen de bosopstanden, ten gevolge van de hoge graasdruk in en buiten enclosures. Verjonging vindt hoofdzakelijk plaats op omgevallen wortelkluiten of binnen kronen van omgevallen eiken of beuken. De meeste verjonging vindt plaats in de struwelen van mei- en sleedoorn in de bosranden (Tubbs 2001).

Gezien het beperkte areaal waarop dit plaatsvindt is dat op lange termijn onvoldoende om het bosareaal in stand te houden (Newton et al., 2013). De hoge graasdruk is in Nederland, vooral op de hogere zandgronden zoals de Veluwe ook een zeer groot probleem. Zelfs in de allermooiste bossen ontbreekt hier ondergroei van struiken en kruiden en is er nauwelijks kieming van loofhout. Alleen beuk en berk lukt het heel af en toe om door te groeien naar de kroonlaag. Een goed voorbeeld hiervan is het natuurbos de Dassenberg op de Veluwe: Het heeft een prachtige structuur met veel dood hout maar nauwelijks verjonging en geen struiklaag. Op dezelfde standplaats, buiten het hek staat hier opvallend wel hazelaar en bosanemoon.

Een rijke bosflora met kenmerken van het eiken-haagbeukenbos werd alleen aangetroffen in de bosdelen gedomineerd door rijk-strooiselsoorten maar ook in de arm-strooiselbossen werden soorten als bosanemoon en wilde hyacinth, zij het in geringere aantallen, aangetroffen. Deze arm-strooiselgroeiplaatsen hadden een zeer gemiddelde (en vergelijkbaar met Nederlandse zandbodems) beschikbaarheid van basische kationen (calcium, kalium en magnesium) in het moedermateriaal en ook de CEC was zeer vergelijkbaar (resp. 500 en 10000 µeq/kg droge bodem in Engeland ten opzichte van 1500 en 12500 µeq/kg droge bodem in Nederland). Het grote verschil tussen de arm-strooisellocaties in New Forest en de Nederlandse situatie is de geschiedenis en daardoor de bodemopbouw. In Nederland zijn de meeste bodems beïnvloedt door een periode van ontbossing en heide. In New forest vinden we oude bosbodems met dikke A en B horizonten. Deze horizonten zijn dik en bevatten, ondanks lage concentraties, daardoor toch enorme hoeveelheden basische kationen.

3.2 Bialowieza (Polen)

Het strikte reservaat van Bialowieza (figuur 12) wordt, door zijn Oostelijke ligging, zowel beïnvloed door maritieme, continentale en boreale invloeden. Klimatologisch gezien valt Noordoost-Polen binnen het, gematigd landklimaat met neerslag gedurende het hele jaar. Er valt jaarlijks gemiddeld 641 mm neerslag. De geologische opbouw bestaat uit grondmorene, zandige gravel, keileem, dekzand en veen. In de ruggen van zandige gravels op het keileemplateau zijn bruine bosgronden gevormd. In drogere, goed waterdoordringbare delen heeft verwering van de bruine bosbodems geleid tot gepodzoliseerde bruine bosbodems en op de armste delen komen verkitte inspoelingshorizonten voor. Uit goed gedateerd paleobotanisch onderzoek is geconcludeerd dat het strikte reservaat het meest extensief gebruikte gematigde loofbos in Europa is en model staat voor een nagenoeg natuurlijk bos. Tussen 880 en 1230 AD toonde de pollenweerslag een vegetatiesamenstelling die overeenkomsten heeft met het aldaar voorkomende dennen-eikenbos (Pino-Quercetum) en linde-eiken-haagbeukenbos (Tilio-Carpinetum). Het linde-eiken-haagbeukenbos is kenmerkend voor de gematigde- tot boreale zone en bereikt de westgrens van de West-Europese plantengeografische regio. Binnen deze bostypen komen soms soorten voor die hun zwaartepunt in verder noordelijk, oostelijk of zuidelijke vegetatiezones. De grondmorenegebieden met dikke dekzandafzettingen, bevatten een hoog aandeel aan continentale en boreale soorten, zoals fijnspar en grove den.

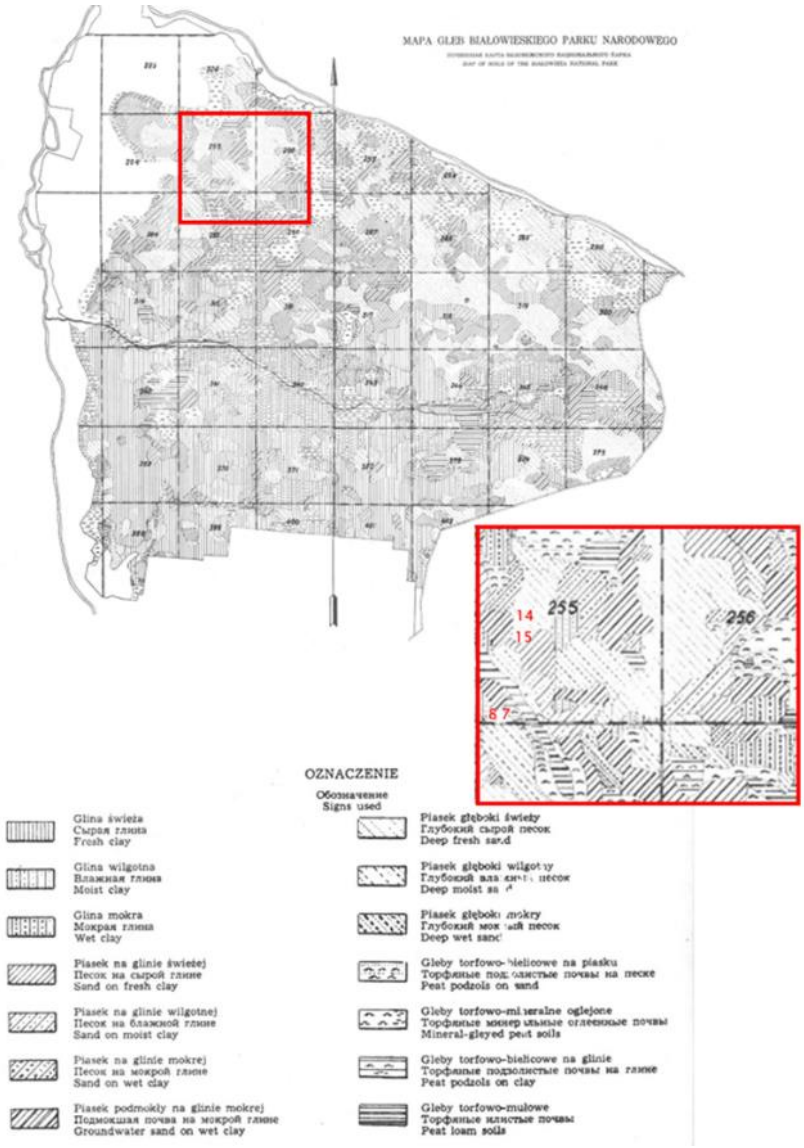


Figuur 12. Bialowieza Nationaal Park in Polen (roze) gelegen tegen de grens met wit Rusland

Natuurlijke, in het strikte reservaat voorkomende, verstoringen werden en worden veroorzaakt door het klimaat, bosbrand, windval, ziekten en plagen. De effecten van honderd jaar strikt reservaat laten zien dat op rijke standplaatsen een schaduwtolerante vegetatie aanwezig is met bijzondere soorten. In grotere open plekken, zoals stormgaten, blijven eiken zich succesvol, weliswaar onder lage dichtheden te verjongen (Faliński 1986, Faliński 1988).

3.2.1 Beschrijvingen boslocaties

Standplaatsonderzoek in het strikte reservaat van Bialowieza — In de vakken 255 en 256 zijn diverse opstanden doorkruist (figuur 13). In het bos zijn in totaal op 15 locaties eiken-linde-haagbeukenbossen en grove dennen-eikenbossen op keilleemgronden, zandgronden of zandbodem, waarin verspoelde keileem in banden voorkomt bemonsterd.



Figuur 13. Onderzoeksgebied (vakken 255 en 256) geprojecteerd op de bodemkaart van het strikte reservaat uit 1955, liggend op deep fresh sand (holtpodzolgronden).

Op elke locatie werd de GLG (gemiddelde laagste grondwaterstand) bepaald aan de hand van een boring zodat uitgesloten kan worden dat boomwortels eventueel dieper gelegen rijkere bodemlagen kunnen bereiken. Op diverse locaties, zoals bijvoorbeeld locatie nr. 3,4 zijn een aantal banden van leem en sterk lemig zand aangetroffen. Na selectie in het veld en na analyse van de lab-resultaten bleken 8 locaties geschikt voor de vergelijkingen tussen een rijk-strooisel (figuur 14) en een arm-strooiselbos (figuur 15) dat op dezelfde bodem is ontwikkeld. De

afgevallen locaties hadden allen een te hoog leemgehalte/kleigehalte of stonden onder direct invloed van grondwater.

Figuur 14. Voorbeelden van opstanden met rijk-strooiselsoorten in de boomlaag. Linde (vaak zeer oud) is hier dominant.

Figuur 15. Voorbeelden van opstanden met arm-strooiselsoorten in de boomlaag. De grove den is samen met eik dominant.

3.2.2 Bodem en humus

Alle geselecteerde locaties (zie tabel 1) stonden op leemarme, zandige profielen. Door de diepe boringen (>2,40m) weten we dat het grondwater op deze locaties diep wegzakt (figuur 16).

Figuur 16. Voorbeeld van een boring in een holtpodzol. Boring is 240cm diep.

De onderzochte bodem kunnen bodemkundig gezien worden als holtpodzolgronden of verzuurde varianten daarvan. Hierbij werden de Linde opstanden op locaties 7, 8 en 9 en de eiken/dennen locatie nr. 2 geclassificeerd als holtpodzolgronden. De linde locatie 14 en de eiken/dennen locatie nr. 1 werden geclassificeerd als een geblekte holtpodzol en de eiken/dennen locaties 11 en 12 werden geclassificeerd als holtpodzolen in transitie naar haarpodzol (zie ook bijlage 2).

In de humuslaag werden duidelijke verschillen gevonden tussen eik/dennen opstanden en de rijk-strooiselopstanden. Er bleek een significante hogere strooiselaccumulatie plaats te vinden in de arm-strooiselopstanden (zie figuur 17 als voorbeeld en tabel 4). Met name in de onderzochte locaties met een dominantie van adelaarsvaren in de onderlaag werd een relatief dik strooiselpakket van 5 cm gevonden (tabel 4, figuur 19d). Strooiselomzettingen op de locaties met linde (locaties 7,8,9, 14) en 1 locatie met eik en den (locatie 2) is snel waardoor er weinig strooiselaccumulaties is en de humusopbouw was te classificeren als mull of moder. De locaties met eik en den nr. 1,11 en 12 konden worden geclassificeerd als mor (tabel 4).

Tabel 4. Resultaten humusbeschrijvingen Bialowieza.

plot	Type	Humusklasse	Zand/leem	Dikte humuslaag (cm)
7	rijk-strooisel	Hemi Moder	zand en lemig zand	1
8	rijk-strooisel	Oligo Mull	zand	1
9	rijk-strooisel	Oligo Mull	zand met dun leembandje tussen 90 en 100cm -mv.	0.5
14	rijk-strooisel	Hemi Moder	zand met dun leembandje op 180cm -mv.	1
1	arm-strooisel	Humi Mor	zand met dunne leembandjes tussen 100 en 110 cm -mv.	5
2	arm-strooisel	Hemi Moder	zand met dunne leembandjes tussen 160 en 220 cm -mv.	1
11	arm-strooisel	Hemimor	zand en lemig zand	2.5
12	arm-strooisel	Hemi Mor	zand	3

Figuur 17. Humusprofielen van locatie 1 en locatie 8. Op locatie 1 zien we een duidelijke scheiding van strooisel en minerale bodem met een humusprofiel dat geclassificeerd kan worden als een humi-Mor. Op locatie 8 zien we nauwelijks strooisel en veel doormening van humus door de minerale bodem (oligo mull).

3.2.3 Vegetatie

Het bos kenmerkt zich door de uitbundige voorjaarsflora en het hoge aantal aan bossoorten in de vegetatie. Linde, Eik en haagbeuk domineren het loofbos. De enige esdoornsoort die hier voorkomt is de Noorse esdoorn. Deze vormt samen met de kleinbladige linde en haagbeuk

kenmerkende soorten van onder andere het eiken-linde-haagbeukenbos. De haagbeuk is in Bialowieza kenmerkend als pioniersoort in stormgaten en komt daarom sinds 5.500 v.C. in de lage boomlaag voor. Alhoewel de haagbeuk voor kieming lichte omstandigheden nodig heeft, verdraagt hij wel veel schaduw als volwassen exemplaar. Grove den duikt op in voormalige verstoorde locaties, te weten oude stookplaatsen voor houtskool maar ook gaten als gevolg van windworp.

De eiken-linde bossen op zandbodems bezitten diverse soorten die in Nederland in zowel het Eiken-Haagbeukenbos, Vogelkers-Essenbos als Beuken-Eikenbos voorkomen (tabel 5 en bijlage 4). De meest abundante soorten van de kruidlaag zijn: bosanemoon, dalkruid, witte klaverzuring, grote muur, smalle stekelvaren, lelietje van dalen, lievevrouwebedstro, bolletjeskers, drienerfmuur, bosmuur, groot springzaad, eenbes, kruipend zenegroen, leverbloempje (figuur 18).

Figuur 18. Sprekende voorbeelden van de rijk flora in Bialowieza: van links naar rechts: witte rapunzel, leverbloempje en eenbes. Van deze soorten komt leverbloempje niet voor in Nederland en zijn de overige soorten zeer zeldzaam in Noord-Brabant.

Ook de arm-strooiselbossen in Bialowieza bevatten nog een hoog aantal soorten (gemiddeld 20, zie tabel 6) en deze kunnen tot de Beuken-zomereikenbossen of in een enkel geval vogelkers essenbossen worden gerekend. De rijk-strooisellocaties vallen onder vogelkers essenbos of eiken haagbeukenbos met uitzondering van locatie 7 (Beuken-zomereikenbos met lelietje van dalen).

Tabel 5. Aangetroffen vegetatietypen op de onderzoeklocaties in Bialowieza.

Locatie	rVVN	vegetatie	type
1	r45Aa04a	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Blauwe bosbes	arm-strooisel type
2	r46Aa05	Vogelkers-Essenbos	arm-strooisel type
11	r45Aa04c	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Lelietje-van-dalen	arm-strooisel type
12	r45Aa04c	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Lelietje-van-dalen	arm-strooisel type
7	r45Aa04c	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Lelietje-van-dalen	rijk-strooisel type
8	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type
9	r46Aa05	Vogelkers-Essenbos	rijk-strooisel type
14	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type

Wanneer we de vegetatiedata analyseren met behulp van Turboveg indicatorwaarden dan zien we dat de zuurgraad van de arm-strooisellocaties gemiddeld lager is (4.4 ten opzichte van 5.7) dan bij de rijk-strooiselbossen. Dit geldt ook voor de trofiegraad (tabel 6). De vegetatie geeft dus duidelijk aan dat de buffering van de bodem op de rijk-strooisellocaties hoger is.

Tabel 6. Gemiddelde zuurgraad en trofie berekend aan de hand van vegetatieopnamen (d.m.v. Turboveg) en het gemiddelde aantal soorten in proeflocaties in Bialowieza (voor arm- en rijk-strooisel plots).

	arm-strooisel type	rijk-strooisel type
Zuurgraad (pH)	4.4	5.7
Trofie (N)	4.7	5.5
Aantal soorten	20	25

3.2.4 Structuur

In het strikte reservaat is er door de hoge mate van bescherming een hoge mate van gelaagdheid ontstaan. Zowel de rijk-strooiselbossen als de locaties met arm-strooisel kennen meerdere boomlagen, struiklagen en vaak een goed ontwikkelde kruidlaag. Op een enkele plek waar windworp heeft geresulteerd in de opslag van den of haagbeuk zien we ook verruiging met een dominantie van adelaarsvaren.
Figuur 19 toont voorbeelden van de boslocaties waarin opvalt het hoge aandeel dood hout en tegelijkertijd ook de geringe verruiging van de vegetatie. Soorten als braam en brandnetel komen nauwelijks in hoge bedekkingen voor.

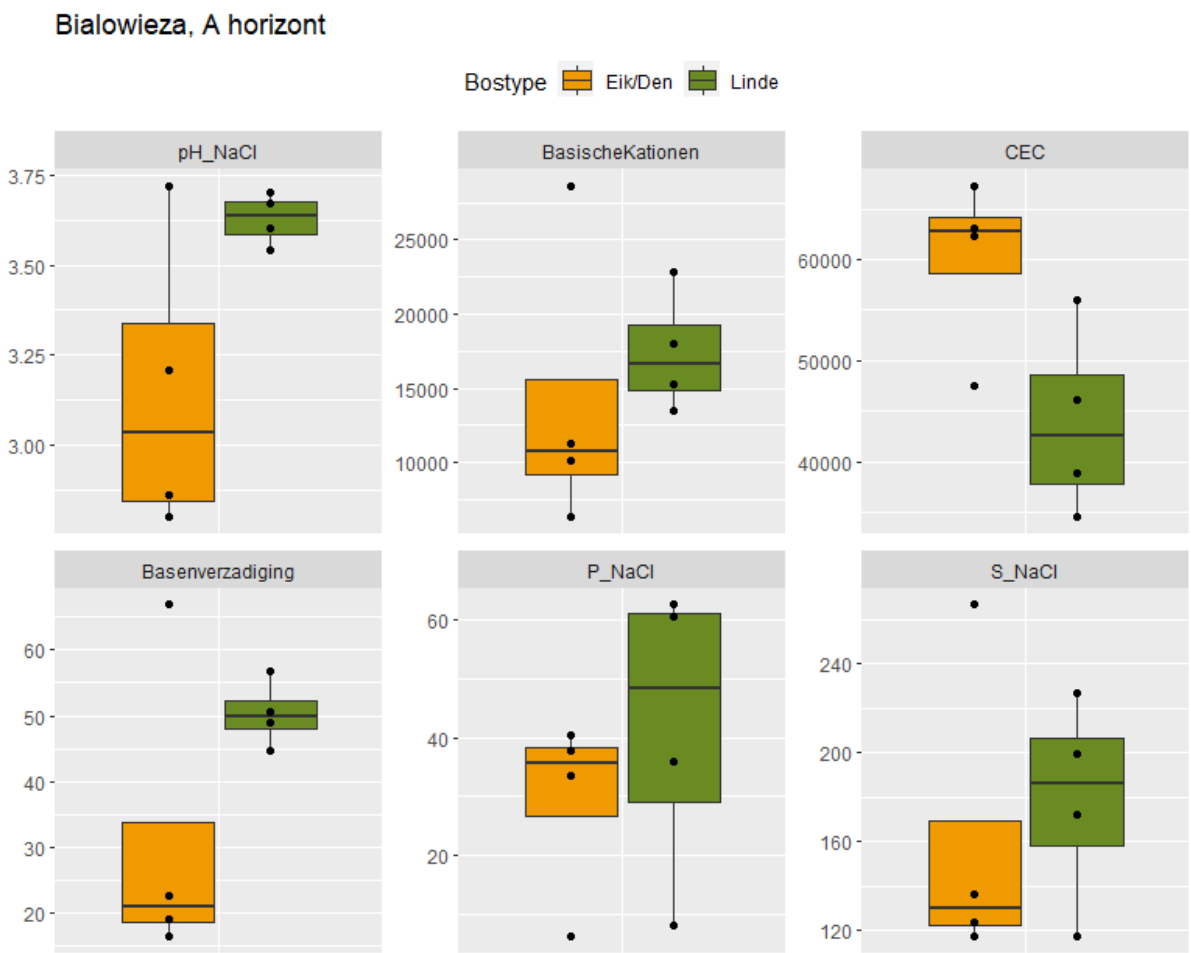
Figuur 19a,b. Voorbeelden van structuur en aandeel dood hout in de rijk-strooiselbossen. 19a (boven) toont Linde, haagbeuk en eik met bomen in ten minste 2 boomlagen, struiken in 2 struiklagen en een rijke grondflora. Ruigtesoorten zoals braam en brandnetel komen nauwelijks voor. Dood hout (19b) manifesteert zich als staand dood hout en veel liggend dood hout waarbij met name Linde snel verteerd is.

Figuur 19c,d. Voorbeelden van structuur en aandeel dood hout in de arm-strooiselbossen. 19c (boven) toont grove den, haagbeuk en eik met ook hier ten minste 2 boomlagen en struiken in 2 struiklagen. De grondflora is minder uitbundig dan bij rijk-strooiselbossen. Een windgat (19d) is gevuld met Adelaarsvaren (plot 1) en grove den en eik. Oud liggend dood hout is onder de adelaarsvaren nog aanwezig.

3.2.5 Bodemchemie

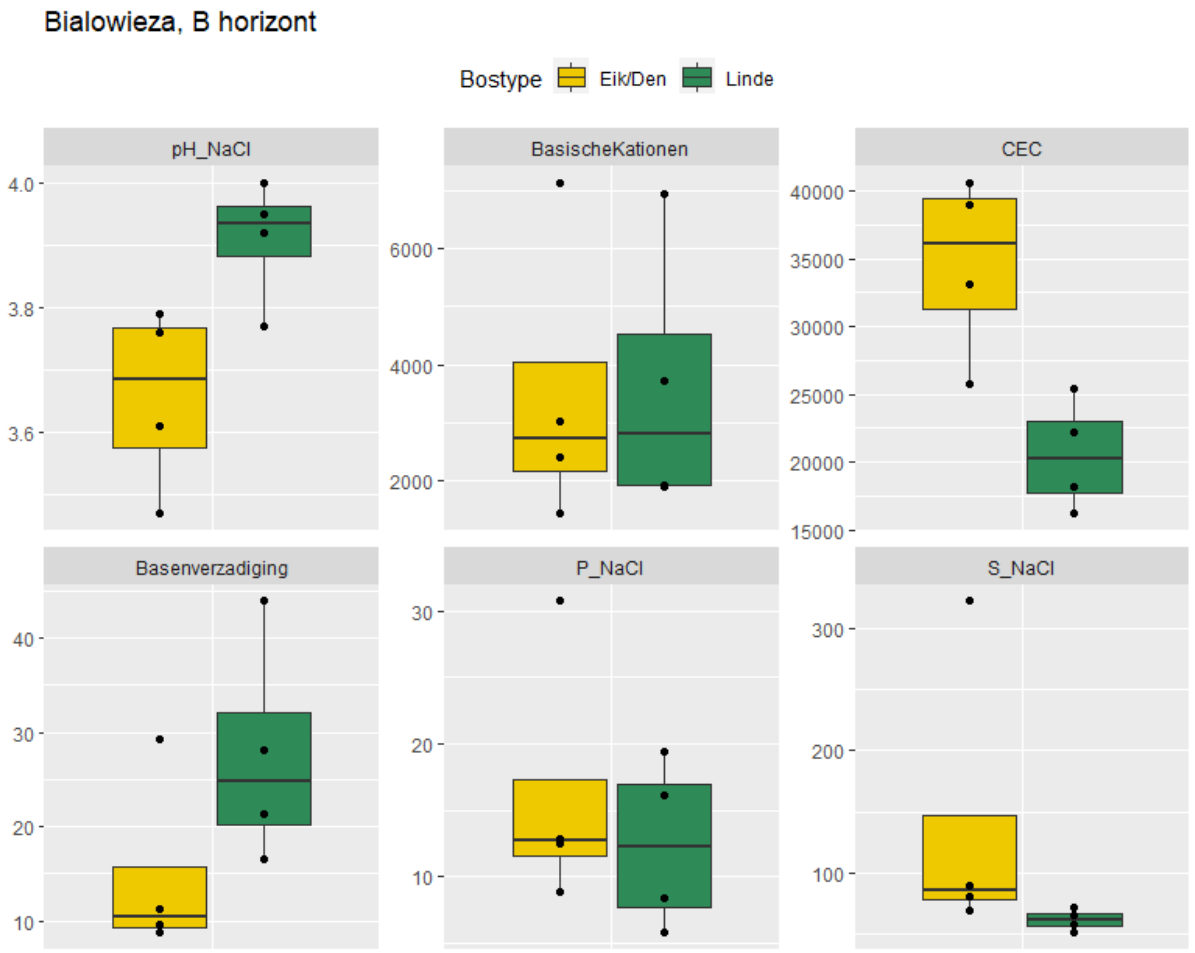
Een vergelijking van de bodemchemie van de C horizonten toont dat de bemonsterde locaties goed met elkaar te vergelijken zijn (bijlage 5). Dit betekend dat locaties met linde niet toevallig rijker of vochtiger staan dan locaties met arm-strooiselsoorten als den en eik in Bialowieza. Een vergelijking tussen rijk-strooisellocaties en arm-strooisellocaties kan daardoor goed gemaakt worden binnen dit bos.

De chemische gegevens van de A en B horizonten toont dat er grote verschillen aanwezig zijn tussen de rijk- en de arm-strooisellocaties (figuur 20 en 21). In de A horizont zien we de grootste verschillen tussen de bostypen met een hogere pH, hogere basenverzadiging en hoger gehalte aan basische kationen onder linde ten opzichte van eik. Met name de verschillen in pH (meer dan 0,6 eenheid) en basenverzadiging (van 22 naar 50%) zijn opvallend. Opvallend is ook dat de CEC (het aantal bindingsplaatsen voor kationen) onder eik hoger is dan onder linde. Mogelijk is dit te verklaren door het hogere organische stof gehalte in de A horizont onder eik (10.5 %) ten opzichte van linde (8%). Ondanks deze hogere CEC wordt dus toch een veel hogere basenverzadiging en hoeveelheid basische kationen gevonden onder linde.



Figuur 20. Bodemchemie van monsters uit de A horizont in eik en lindelocaties

Deze verschillen worden ook gevonden in de B horizont (figuur 21) maar de verschillen zijn dan kleiner wat aangeeft dat de verschillen daadwerkelijk worden veroorzaakt door processen boven in de bodem.



Figuur 21. Bodemchemie van monsters uit de B horizont in eik en lindelocaties

In de B horizont zien we wederom een toename van de buffering onder linde ten opzichte van eik en een toename van de basenverzadiging van 10 naar 25%.
Wat betreft trofie zien we nauwelijks verschillen tussen de locaties.

3.2.6 Conclusies Bialowieza

De locaties liggen in het strikte reservaat waardoor beheer en geschiedenis van de locaties vergelijkbaar geacht mag worden. De bodemprofielen gaven ook geen kenmerken van verschillend historisch gebruik of verstoringen en daar waar deze zijn gevonden zijn de locaties verwijderd uit de verdere analyse. Omdat de C horizonten wat betreft bodemchemie goed overeenkomen kunnen de verschillen in vegetatie, humus en bodemchemie van de A en B horizonten dan ook worden toegeschreven aan de verschillen die veroorzaakt zijn door het effect dat de boomsoorten teweegbrengen.

Duidelijk is dat de bodems van Bialowieza rijk zijn aan basische kationen en veel rijker dan de Nederlandse bodems. Met gehalten aan basische kationen van ongeveer 6000µeq/kg droge bodem is het moedermateriaal wel een factor 4x rijker dan de Nederlandse bodems (met ongeveer 1500 µeq/kg droge bodem aan basische kationen. Ondanks deze verschillen maakt het onderzoek in Bialowieza een aantal belangrijke conclusies mogelijk:

De lindebossen in Bialowieza komen voor op pure zandbodems. Het effect van de linde in dit bos uit zich in een betere strooiselomzetting, een betere doormenging van humus in de minerale

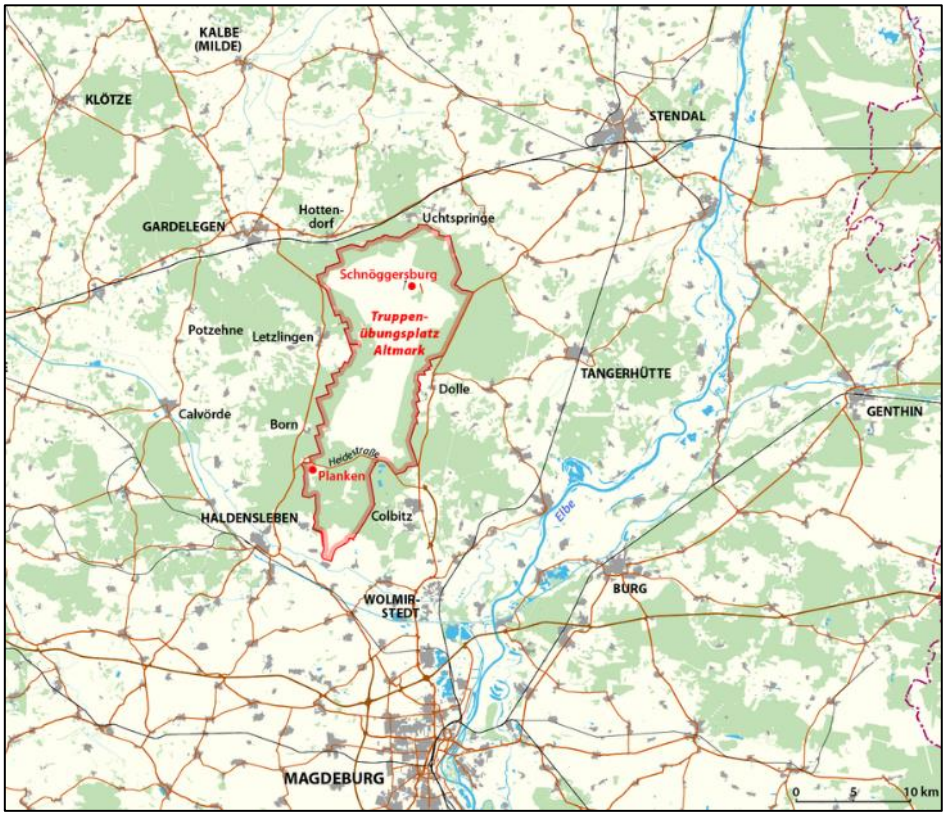
laag en een hogere buffering en pH in de bodem. Dit effecten op de bodemchemie zijn het grootst in de top van de bodem (A horizont) wat aangeeft dat de effecten daadwerkelijk door de input van bladeren en de daaropvolgende bodemprocessen worden veroorzaakt. De rijkere bodems en de hogere mate van bioturbatie onder linde ondersteunen een rijkere bosflora. Dergelijke resultaten zijn eerder gevonden in Nederlandse bossen (Hommel et al 2004, Desie et al 2020) als ook in een common garden experiment in Polen (Reich et al., 2005).

Het strikt reservaat van Bialowieza nationaal park is zeer oud en al zeer lang onverstoord. De eiken en lindebomen staan er in evenwicht en wisselen elkaar in de tijd af. De locaties met alleen maar grove den lijken jonger en een resultaat van kolonisatie door den na verstoring en windworp. Op deze locaties stond ooit een eiken-lindebos maar door brand is dat verandert in een eiken-dennen of puur dennenbos. De verschillen tussen de rijk- en armstrooisellocaties zijn hierdoor zeer waarschijnlijk eerder een gevolg van *verzuring* door grove den en eik in plaats van *een verrijking* door linde. De functie van nutriëntenpomp door linde is hier dan ook voornamelijk een functie van behoud van de basische kationen.

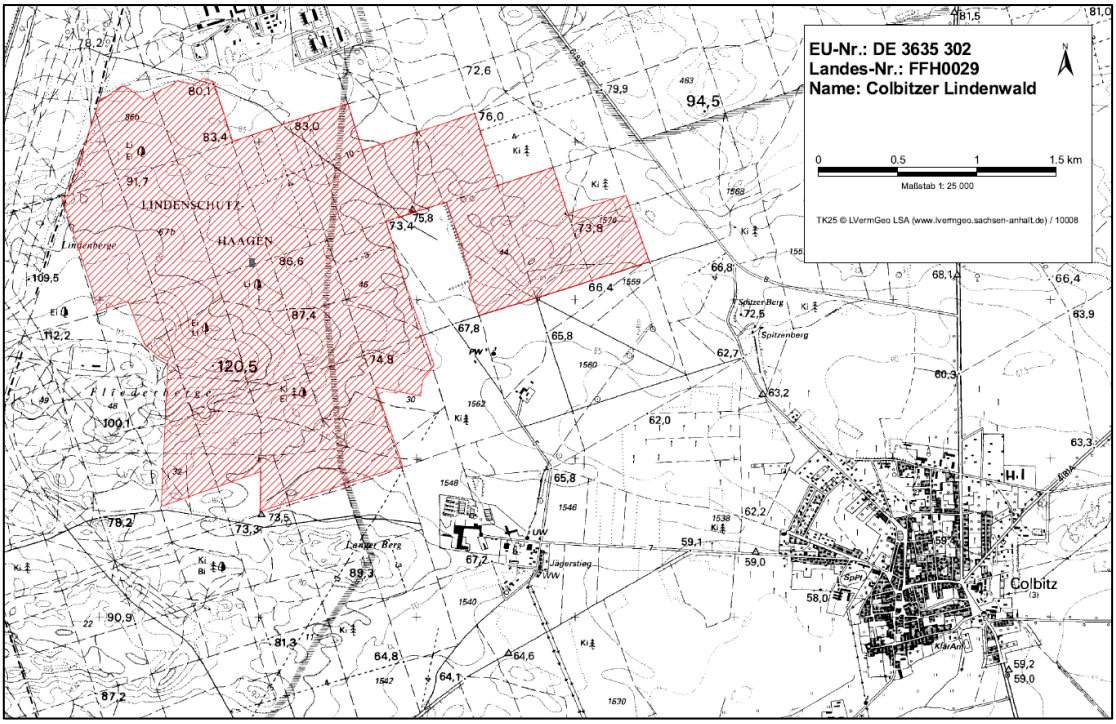
3.3 Colbitz (Duitsland)

Het 220 hectare grote Colbitzer Lindenwald wordt gezien als het grootste aaneengesloten lindenbos in midden Europa. Het ligt 20 kilometer ten noorden van Magdeburg bij het plaatsje Colbitz in het zuidelijke gedeelte van de Colbitz-Letzlinger Heide (figuur 22). Al in 1907 wordt 40 hectare aangewezen als beschermd natuurgebied. Sinds 1958 bedraagt de oppervlakte van het beschermde gedeelte 188 hectare, waarvan 28 hectare, voornamelijk linde-eikenbos is aangewezen als gebied waar geen ingrepen zijn toegestaan en het bos zich natuurlijk kan ontwikkelen (zie figuur 23).

Tijdens de middeleeuwen was het gebied vooral een bosweide. Enkele zeer oude zogenaamde Hudeeichen resteren nog uit deze periode. Later is het gebied ingericht voor de jacht, waarbij het gebied grootschalig werd ingezaaid met kleinbladige linde. De linden werden de afgelopen eeuwen vooral beheerd als hakhout en de opgaande exemplaren vormden een belangrijke nectarbron voor de imkerij. Na de tweede wereldoorlog is het gebied lange tijd gebruikt als militair oefenterrein. Het nog resterende hakhout is daarna doorgeschoten. De leeftijd van de oudste linden bedraagt ongeveer 250 jaar.



Figuur 22. Ligging van het natuurgebied Colbitzer lindenwald en Letzlinger heide ten noorden van Magdenburg (rode omlijsting).



Figuur 23. Kaart van het N2000 natuurgebied Colbitzer lindenwald (rode arcering) ten noordwesten van het dorp Colbitz, Duitsland.

In het gebeid is de dichtheid van edelherten ongeveer 2-2.5 dieren per 100 hectare, en dus relatief laag (naar Nederlandse maatstaven). Opmerkelijk detail was dat in verjongingen met menging van haagbeuk en linde volgens de beheerder de haagbeuk werd geprefereerd door edelherten boven de linde. Dit kon in het veld worden bevestigd.

3.3.1 Beschrijvingen boslocaties

In het gebied zijn in totaal 9 locaties bemonsterd, telkens in zogenaamde triplets van locaties met dominantie linde, dominantie eik en dominantie van grove den. Dit werd gedaan om de vergelijkbaarheid van de locaties onderling (binnen een triplet) te verhogen omdat er binnen het bos veel verstoring is geweest als gevolg van militaire oefeningen. Zowel de locaties met een dominantie van eik als de locaties met een dominantie van grove den worden beschouwd als arm-strooiselvarianten. De opstanden met grove den waren in sommige gevallen klein (met slechts 10 grove dennen en werden dan omringd door eik. Locaties met linde hadden altijd wel wat eik in de boomlaag maar de dominantie van linde in het kronendak was dan altijd zeer hoog (>65%).

Op elke locatie werd de GLG (gemiddelde laagste grondwaterstand) bepaald aan de hand van een diepe boring zodat uitgesloten kan worden dat boomwortels eventueel dieper gelegen rijkere bodemlagen kunnen bereiken. Grondwaterstanden worden hier geschat op > 3m onder maaiveld en alleen locaties op zandbodems of lemig zand werden geselecteerd. Locatie nummer 9 bleek op 210 cm onder maaiveld een fractie klei te bevatten. Dit werd echter dusdanig diep geacht dat de locatie meegenomen is in de verdere analyse. Na selectie in het veld en na analyse van de lab-resultaten bleken de 9 locaties geschikt voor de vergelijkingen tussen een rijk-strooisel (figuur 24) en een arm-strooiselbos (figuur 25).

Figuur 24. Voorbeeld van een locatie met linde (rijk-strooisel type) in Colbitz.

Figuur 25. Voorbeeld van een locaties met arm-strooisel (links eik, rechts grove den) in Colbitz.

3.3.2 Bodem en humus

De bemonsterde bodems in het Colbitzer lindenwald staan niet onder invloed van grondwater en worden getypeerd als “podsolige Braunerden”, bestaande uit middelrijke zandgronden. In sommige gevallen zijn deze doorspekt met dunne leemlagen. De humusvorm wordt als lichtzure mullachtige moderhumus getypeerd met veld pH-waardes tussen 4.5 en 5.3. Het voorkomen van de twee arm-strooiselsoorten eik en den resulteerde in een significant hogere accumulatie van strooisel ten opzichte van de linde opstanden (tabel 7, figuur 26). Met name in de dennen opstanden werden relatief dikke (tot 7 cm) lagen strooisel gevonden. De humusprofielen tonen nauwelijks doormenging van humus in de minerale bodem in de arm-strooiselplots en typeren als mor of moder. Een verschil tussen den en eik is niet gevonden (niet significant).

Op de linde-locaties zien we een goede afbraak van strooisel en daardoor weinig strooiselaccumulatie (maximaal 1.5 cm). Vanwege enige bioturbatie en aanwezigheid van humusbolletjes in de minerale A horizont in deze plots worden de humusprofielen getypeerd als moders (hemi of eu) of mull (meso).

Tabel 7. Resultaten humusbeschrijvingen Colbitz.

plot	Type	Humusklasse	Zand/leem	Dikte humuslaag (cm)
1	rijk-strooisel	Mesomull	zand	0.5
4	rijk-strooisel	Hemimoder	zand	1.5
9	rijk-strooisel	Eumoder	zand	1
2	arm-strooisel-eik	dysmoder	zand	4
5	arm-strooisel-eik	Eumoder tot Dysmoder	zand	4.5
8	arm-strooisel-eik	Hemimor	zand	3
3	arm-strooisel-den	Eumoder	zand	4
6	arm-strooisel-den	Hemimor	zand	7
7	arm-strooisel-den	Hemimor	zand	7

Figuur 26. Humusprofielen van locatie met linde (links), eik (midden) en grove den (rechts) in Colbitzer lindenwald.

3.3.3 Vegetatie

In de, als linden en eiken getypeerde opstanden domineren winterlinde, zomer- en wintereik, en haagbeuk. De ondergroei indiceert een over het algemeen een droge en relatief arme groeiplaats, maar op sommige plekken komen soorten voor die wijzen op rijkere omstandigheden. Ruwe berk, wintereik en grove den overheersen in de berkenopstanden. Planten in de kruidlaag wijzen op relatief rijke groeiplaatsomstandigheden (figuur 27). Verjonging van boomsoorten is vooral te vinden in de overgang van lindenopstanden naar eiken- of berkenopstanden, of helemaal daarbuiten. Linde en haagbeuk verjongen voornamelijk in de overgangen van linden naar eik en in eikenopstanden. Eik verjongt in mindere mate, en alleen in eiken of berkenopstanden. Verjonging van berk werd alleen gevonden in de berkenopstanden. Noemenswaardig is de massale verjonging van Amerikaanse Vogelkers in de lindenopstanden, met meer dan 4000 individuen per hectare. Hierbij werden nauwelijks exemplaren van boven de 10 centimeter gevonden. Voor doorgroeien van deze pionierboomsoort is het lindenbos duidelijk te donker.

Figuur 27. Rijke bosflora van Colbitzer lindenwald. Links schedegeelster, rechts bedekking van bosanemoon, drienerfmuur, bosviooltje, witte klaverzuring en boskortsteel

Rijk-strooisel bossen en bossen met mengingen van linde en eik bestaan uit meestal 2 boomlagen bestaande uit lindes en eiken. Sommige bossen worden gedomineerd door eiken (DBH 70cm) anderen door lindes (DHB 52-60-85 cm). Er is bijna altijd een 2de boomlaag met soorten als eik, grove dennen en een struiklaag gedomineerd door winterlinde of haagbeuk. Door de rijke grondflora met soorten als bosanemoon, witte klaverzuring, dalkruid, drienerfmuur, boskortsteel, bleeksporig bosviooltje en muursla typeren deze bossen als eiken-haagbeukenbos of een rijke vorm van het beuken-zomereikenbos (tabel 8).

In de arm-strooiselbossen domineert grove den, met een DBH van 44-65 cm en een hoogte van 21-26m. De tweede boomlaag bestaat uit vergelijkbare eiken (DBH 70cm) met een hoogte rond 22m. Hier vinden we een weinig ontwikkelde struiklaag. Ondanks dat er een flinke strooiselaccumulatie plaatsvindt vinden we hier toch ook veel soorten in de ondergroei (zie tabel 9). Soorten als bosanemoon, grote muur, dalkruid en drienerfmuur komen ook in deze bossen voor. De bossen classificeren daarmee ook als een rijke vorm van het beuken-zomereikenbos (vorm met lelietje van dalen). Een verschil in het aantal soorten tussen de arm-strooiselbossen en de rijk-strooiselbossen werd niet gevonden. In beide typen was het aantal soorten op de bodem hoog (>30).

Tabel 8. Aangetroffen vegetatietypen op de onderzoeklocaties in Colbitz.

Locatie	rVVN	vegetatie	type
2	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	arm-strooisel - Eik
5	r45Aa04c	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Lelietje-van-dalen	arm-strooisel - Eik
8	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	arm-strooisel - Eik
3	r45Aa04c	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Lelietje-van-dalen	arm-strooisel - Den
6	r45Aa04c	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Lelietje-van-dalen	arm-strooisel - Den
7	r45Aa04c	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Lelietje-van-dalen	arm-strooisel - Den
1	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type
4	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type
9	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type

Wanneer het trofiegehalte en de pH door middel van de vegetatie wordt berekend (via Turboveg) dan zien we verschillen tussen de arm-strooisellocaties en de rijk-strooisellocaties in het Colbtzer lindenwald. De vegetatie, rekening houdend met de bedekking toont dat de rijk-strooisellocaties beter gebufferd zijn waarbij de berekende pH bijna een eenheid hoger is ten opzichte van de arm-strooisellocaties. Ook het trofiegehalte is in de rijk-strooisellocaties hoger (tabel 9).

Tabel 9. Gemiddelde zuurgraad en trofie berekend aan de hand van vegetatieopnamen (d.m.v. Turboveg) en het gemiddelde aantal soorten in proeflocaties in Colbitz (voor arm- en rijk-strooisel plots).

	arm-strooisel type	rijk-strooisel type
Zuurgraad (pH)	3.9	4.8
Trofie (N)	4.6	5.3
Aantal soorten	31	37

3.3.4 Structuur

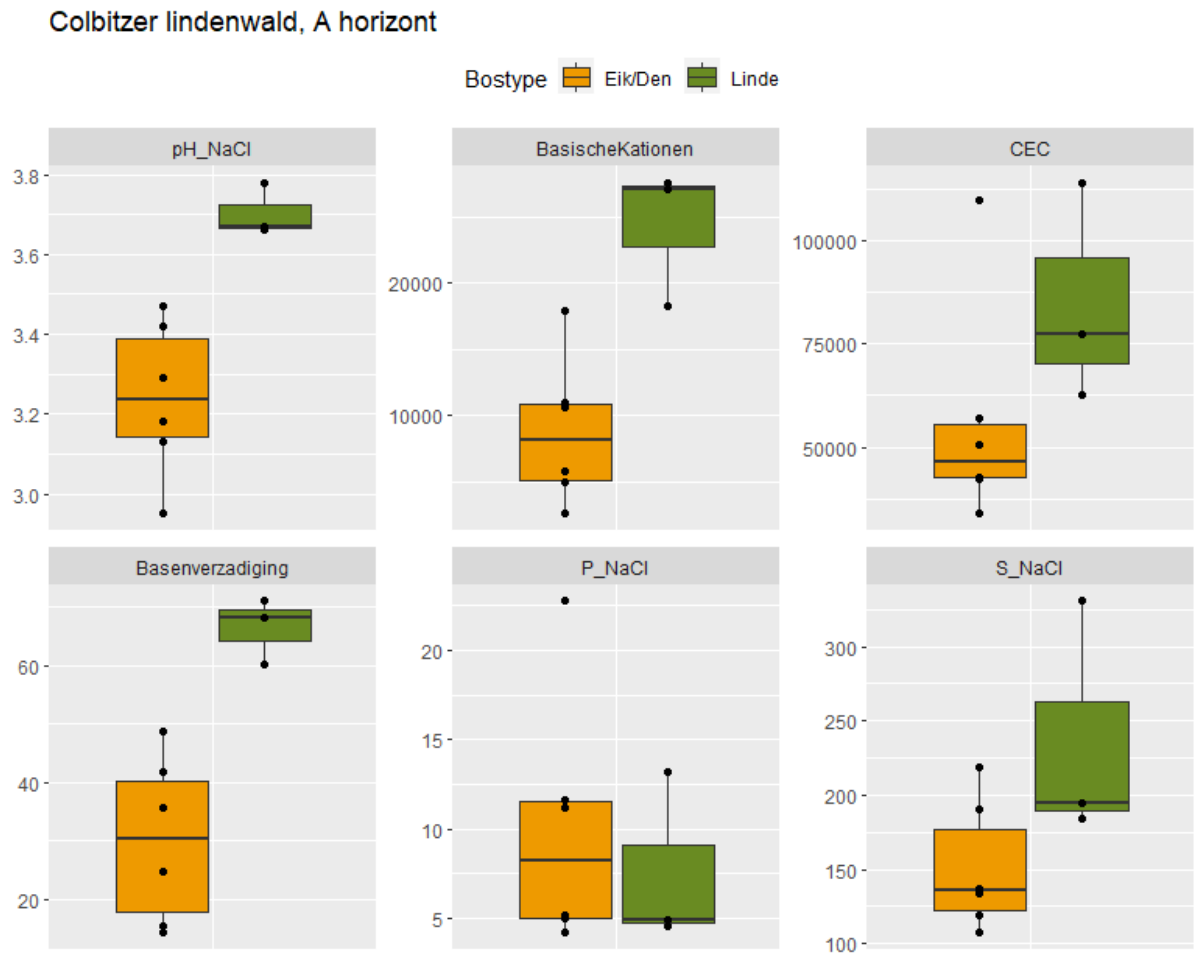
Op de meeste locaties zijn 2 boomlagen aanwezig. De hoogste laag is hierbij vaak erg hoog, tekenend voor een rijke bodem en een goede vochtvoorziening. De maximale hoogte van de linden is ongeveer 30 m. De dikste linde door ons gezien had een dbh van 1.15 m en een hoogte van 29.5 m. Naast het voorkomen van 2 boomlagen zien we ook 2 struiklagen in de oude eike-lindebossen. Dit is niet te zien in een vak met oude linde hakhoutstoven (locatie 9) en in de vakken met grove den.
In deze bossen zien we een grote hoeveelheid dood hout (figuur 28), echter dit lijkt wel minder dan we hebben waargenomen in Bialowieza. Dood liggend hout van omgevallen linde blijft niet lang liggen (mondelinge mededeling van de beheerder) vanwege de snelle afbraak van linde, veel oud dood hout is daardoor eik.

Figuur 28. voorbeelden van boslocaties in Colbitzer lindenwald met staand en liggend door hout.

3.3.5 Bodemchemie

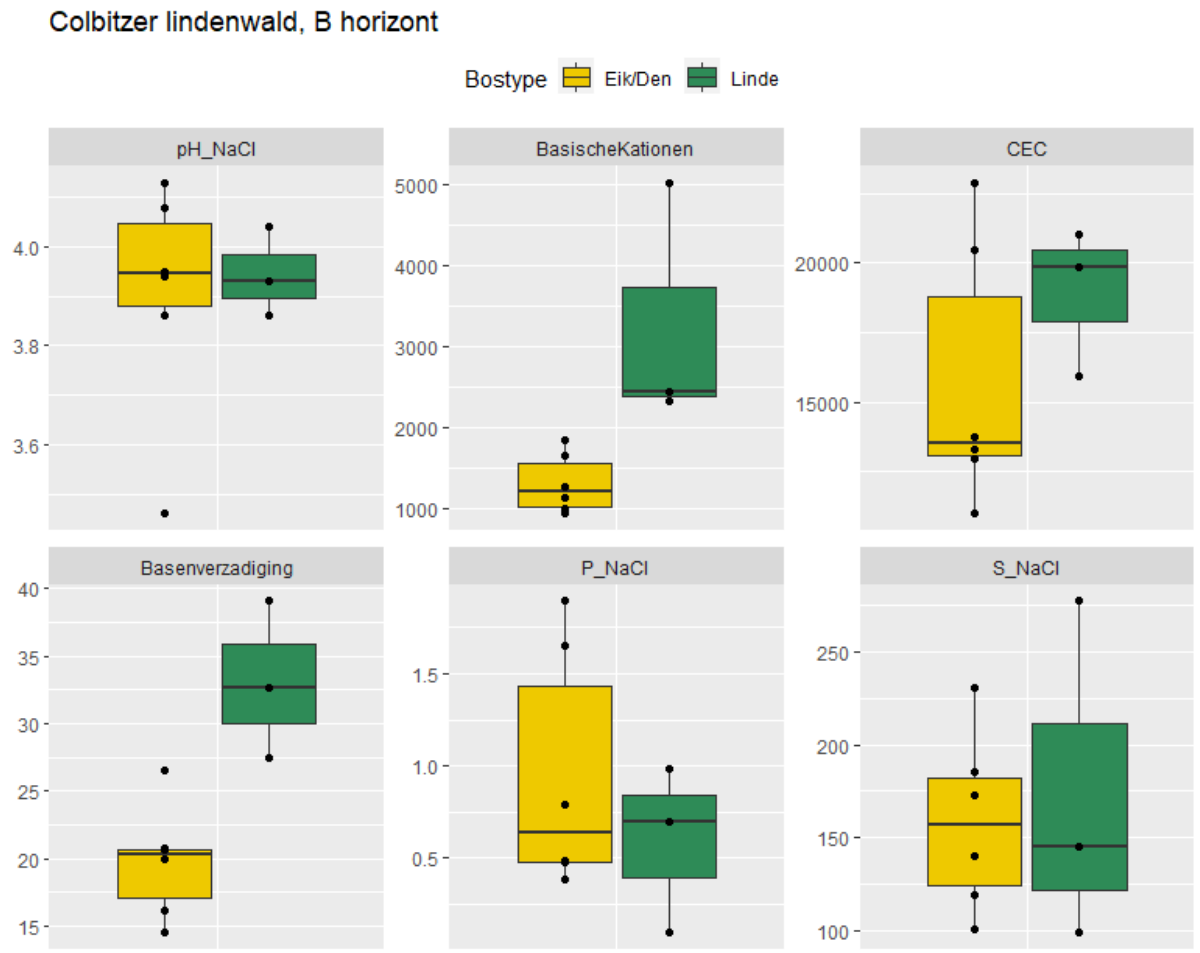
Een vergelijking van de bodemchemie van de C horizonten toont dat de bemonsterde locaties goed met elkaar te vergelijken zijn (bijlage 5). Dit betekend dat locaties met linde niet toevallig rijker of vochtiger staan dan locaties met arm-strooiselsoorten als den en eik in het Colbitzer lindenwald. Een vergelijking tussen de rijk-strooisellocaties en de 2 typen arm-strooisellocaties kan daardoor goed gemaakt worden binnen dit bos.

De resultaten van de biochemische analyse van de A en B horizonten toont ons de effecten van linde ten opzichte van eik in dit bos (figuur 29 en 30). Zowel in de A als B horizont zien we bij linde hogere basische kationen en basenverzadiging. Ook is de CEC hoger onder linde. De verschillen in de A horizont zijn, net als in Bialowieza, groter dan in de B horizont. Zo zien we een duidelijk verschil in zuurgraad in de A horizont met een pH van 3.7 onder linde en 3.2 onder eik maar deze verschillen zien we inde B horizont niet (beide 3.9). Ook is het verschil in basenverzadiging in de A horizont groter dan in de B horizont.



Figuur 29. Bodemchemie van monsters uit de A horizont in eik en lindelocaties

De standplaatsen van de bemonsterde locaties in het Colbitzer lindenwald zijn goed vergelijkbaar met die uit Nederland. De hoeveelheden basische kationen in de C horizonten zijn in beide landen laag (rond de 1500 µeq/kg droge bodem in Nederland en rond de 1600 µeq/kg droge bodem in Duitsland, zie bijlage 5). Ook de CEC is zeer goed vergelijkbaar met een CEC van tussen de 7000 en 15000 µeq/kg droge bodem.



Figuur 30. Bodemchemie van monsters uit de A horizont in eik en lindelocaties

3.3.6 Conclusies Colbitz

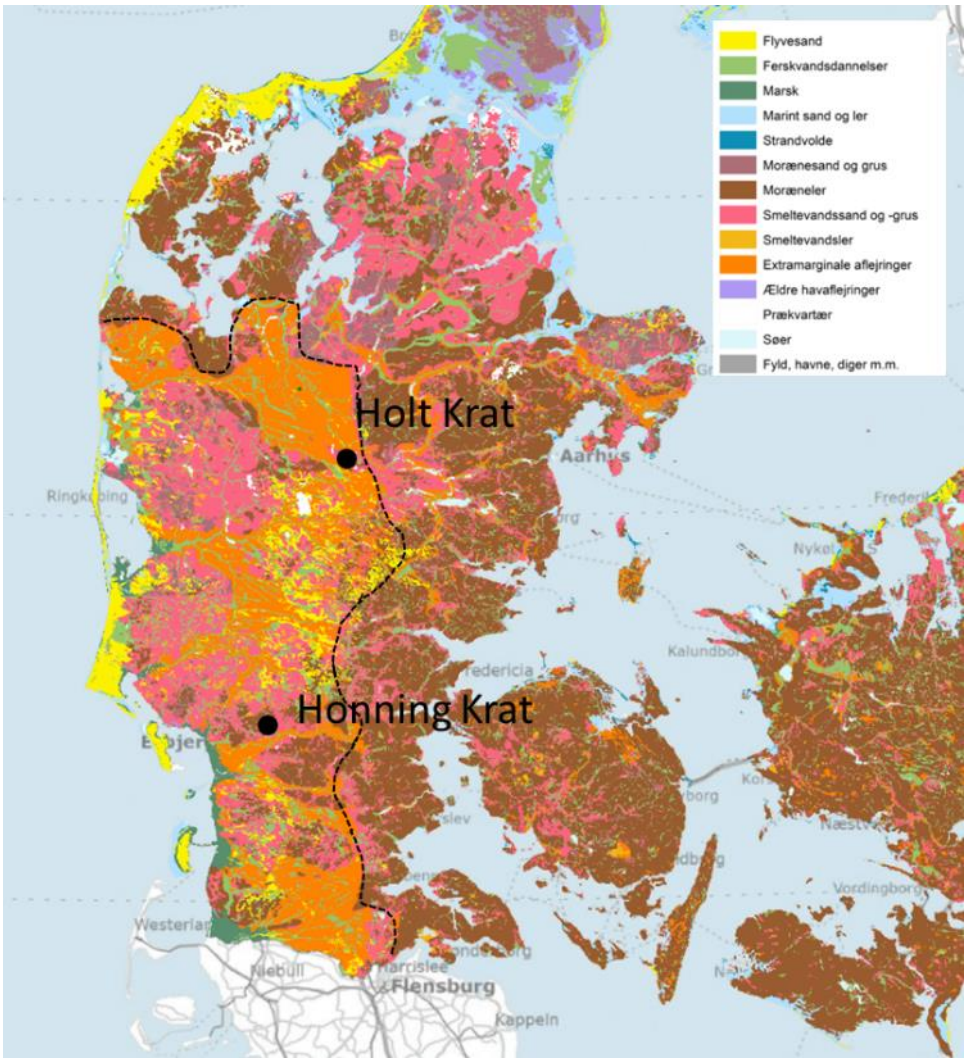
De bodems in het Duitse Colbitz zijn goed vergelijkbaar met de bodems van de Nederlandse zandgronden. De verschillen die hier gemeten zijn tussen de bodems onder de boomsoorten linde en eik en grove den zijn daarmee indicatief voor de ontwikkelingen die in Nederland zouden kunnen plaatsvinden.

De verschillen tussen de arm-strooisel typen (eik en grove den) en de rijk-strooiseltypen (linde) zijn vooral zichtbaar in een groot verschil in accumulatie van strooisel. Met name in de dennen opstanden werden relatief dikke strooiselpakketten gevonden. De humusprofielen tonen nauwelijks doormenging van humus in de minerale bodem in de arm-strooiselplots. Op de linde-locaties zien we een goede afbraak van strooisel en daardoor weinig strooiselaccumulatie. De resultaten van de biochemische analyse corresponderen goed met deze waarnemingen. Zowel in de A als B horizont zien we bij linde hogere basische kationen en basenverzadiging. Dat de verschillen in de A horizont hoger zijn dan in de B horizont wijst op een rechtstreeks verband met de strooiselinput.

Door de betere strooiselafbraak en de betere buffering in de bodem onder linde zien we hier ook een andere vegetatie die meer neigt naar het eiken-haagbeukenbos met hogere aantallen soorten waaronder meer oud-bosplanten.

3.4 Holt Krat en Honing Krat (Denemarken)

De twee laatste ijstijden (het Saalien en het Weichselien) hebben het Deense land gevormd zoals we dat nu kennen (figuur 31). In de westelijke deel van Denemarken domineren de fluvio-glaciale afzettingen uit het Saalien (oranje, rode en gele kleur in figuur 31), met een afwisseling van hoge zand- en keileemplateaus, diep ingesneden smeltwaterdalen en smeltwaterwaaiers die hoofdzakelijk arme zanden bevatten. Het ijs kwam tijdens de laatste ijstijd (het Weichselien) tot halverwege in Denemarken (zwarte stippellijn figuur 31) waardoor op de oude zandige afzettingen in het noorden en oosten voornamelijk keileem en kleibodems zijn afgezet (bruine kleur figuur 31).



Figuur 31. Bodemkaart Denemarken met de ligging van de 2 onderzochte bossen, Holt Krat en Honning Krat.

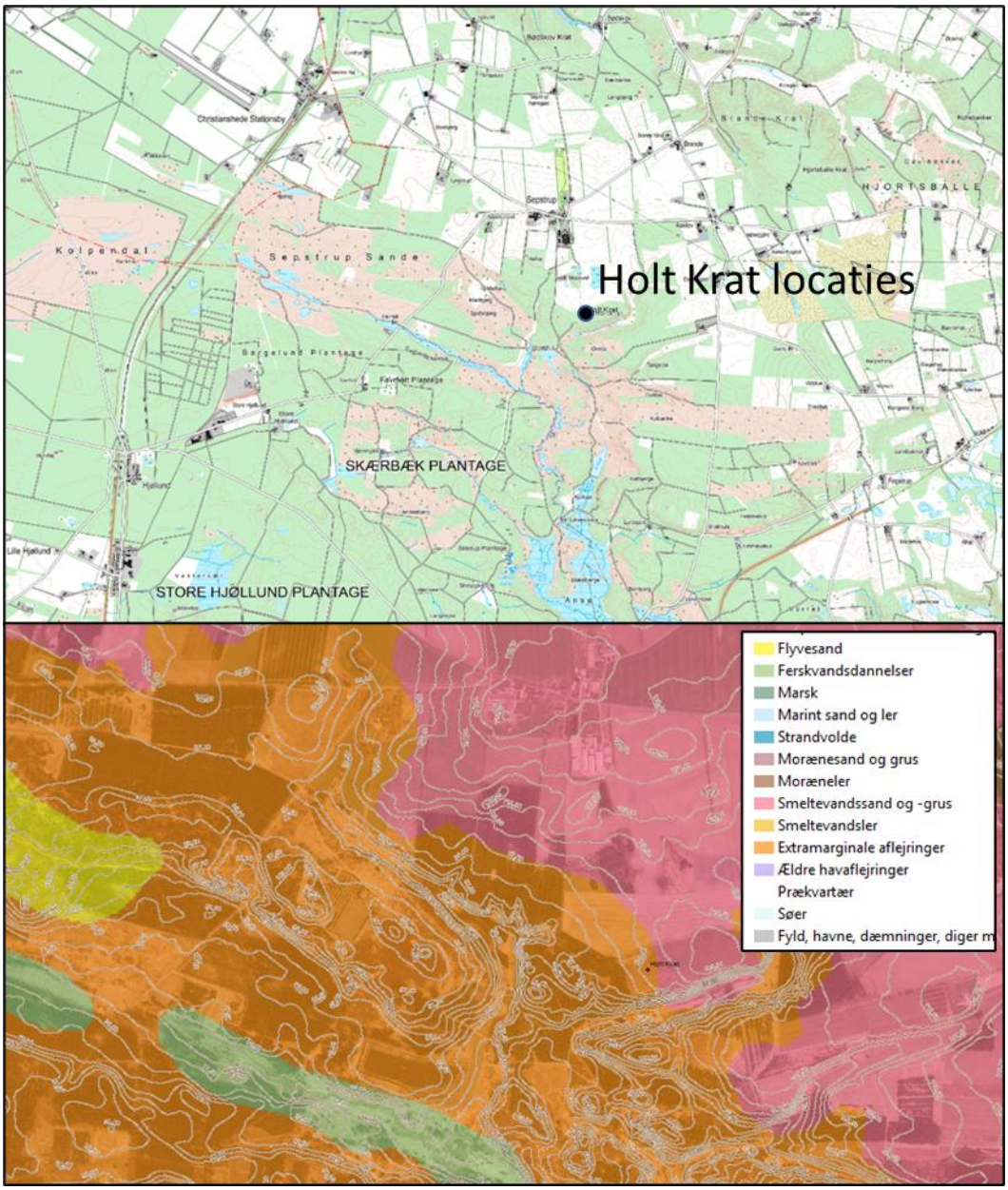
Het klimaat van Denemarken verschilt weinig met dat van Nederland. Door het gematigde zeeklimaat zijn de zomers zacht en de winters mild. De hoeveelheid neerslag is iets lager dan in Nederland en ligt tussen 500 en 800 mm/jaar. Naast het klimaat en de zandige bodem zijn ook het historisch en modern landgebruik zeer vergelijkbaar met de Nederlandse situatie. Evenals de Nederlandse bossen, zijn veel bossen in Denemarken aangelegd op voormalige heide bodem na het verdwijnen van de heidecultuur. Ook kent Denemarken een zeer hoge stikstofdepositie, vergelijkbaar met die van de Nederlandse zandgronden (Jonson et al., 1998).

Naar aanleiding van eerdere publicaties over lindebossen in Denemarken (Kristiansen & Dalsgaard 2000, Hommel et al., 2003, Hommel et al., 2007) zijn 2 Deense bossen op zandgrond geselecteerd voor het voorliggende onderzoek: Holt krat en Honning Krat. In elk van deze bossen zijn 2 koppels van nabijgelegen eiken- en lindelocatie bemonsterd (dus 4 monsterlocaties per bos).

3.4.1 Beschrijvingen boslocaties

Holt Krat

Holt krat (figuur 32) is een oud hakhoutbos van 10 hectare gelegen op een klein plateau in het landschap ten zuidwesten van Silkeborg. Het is onderdeel van een heideontginningsbos en bevindt zich op de overgang van rijke afzettingen van keileem en klei uit het Weichselien naar arme zandafzettingen uit het Saalien (Hommel et al., 2003).



Figuur 32 Ligging van de bossen Holt krat in Denemarken (boven). Het noordelijke deel van deze bossen lig op zand en grindig zand (rode kleur, onder).

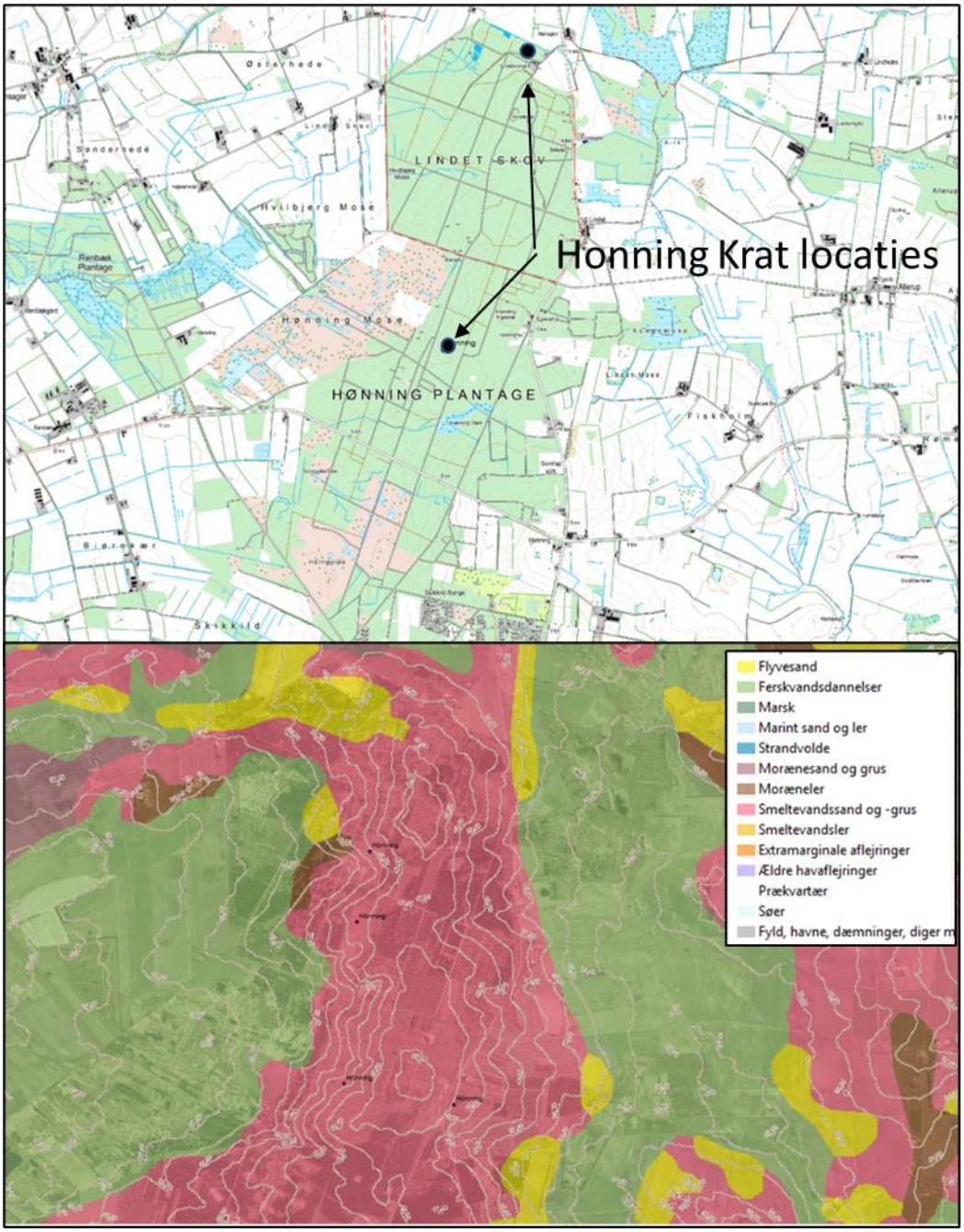
In dit bos zijn 2 locaties met Linde en 2 locaties met eik bemonsterd (figuur 33). De locaties met linde hebben in een ver verleden een ander beheer gekend dan de locaties met overwegend eik, hetgeen te zien is aan de dominante aanwezigheid van de linde en hazelaar in het ene deel terwijl deze bijna geheel ontbreken in het eiken deel. Dit werd ook gevonden door Hommel et al 2003.
De bodems op alle locaties bestaan uit fijn zandige met een lichte leemfractie. Hommel et al 2003 schatten deze in op 20 tot 25%. In de bovenste lagen van de bodem is deze fractie echter lager en neemt toe met de diepte. Over het algemeen zijn leemgehalte van tussen de 5 en 10 % gevonden in de top en dit neemt toe tot 20% op 90 cm diepte (Kristiansen & Dalsgaard 2000).

Figuur 33 ligging van de 2 duo-locaties eik (rood) en linde (groen) in Holt krat

Honning Krat

Ook in de bossen van Honning krat werden 2 koppels van een eiken en een lindelocatie bemonsterd. Honning krat ligt ten noorden van Løgumskloster en is een groot heideontginningsbos figuur 34. Honning krat ligt op een fluvioglaciaal plateau en bestaat voor een groot deel uit fijn zand met een leemgehalte van 15-17%.

Direct noordelijk van Honning krat ligt het dorpje Lindet met een bijbehorend bos genaamd Lindet Skov, etymologische verwijzingen die aangeven dat hier vroeger lindebossen hebben gestaan. Grote delen van dit ontginningsbos zijn aangeplant met beuk, eik en naaldhout. In diverse bosvakken echter staat oud hakhout en vinden we oud eiken-spaartelgenbos. Binnen enkele van deze vakken staan verspreid over enkele are oude winterlindes, deels als spaartelg, deels als meerstammige stoven. In het noordelijke deel van Honning krat, in Lindet Skov is een klein restant van voormalig hakhout bemonsterd (locaties in beheervak 5, zie figuur 34). In dit deel staan oude stoven van winterlinde met daaromheen relatief jonge aanplant van eik en berk (aanplantjaar 1983).
In het centrale deel staan de lindestoven in een eiken-spaartelgen bos en oogt het bos aanzienlijk ouder.



Figuur 34 Ligging van de bossen in Honning krat in Denemarken. Een groot deel van deze bossen liggen op zand en grindig zand (rode kleur).

Figuur 35 Ligging van de bossen in Honning krat in Denemarken. Een groot deel van deze bossen liggen op zand en grindig zand (rode kleur).

3.4.2 Bodem en humus

De bodems van Holt krat kunnen worden geclassificeerd als een holtpodzolgrond op zowel de opstanden met linde als eik. Leembandjes zijn aanwezig op locatie 1 (zowel in de linde- (a) als in de eikenlocatie (b)) maar de bodem bestaat overwegend uit fijn zand. Onder linde is slechts een dun uitwendig humusprofiel aanwezig van maximaal 1.3cm (tabel 10). Onder eik zien we iets een dikker strooiselpakket (tot 2 cm). Ondanks kleine verschillen kunnen de humusprofielen in zowel de linde als in de eikenlocaties geclassificeerd worden als Mull profielen met uitzondering van enkele plekken onder eik waar Moder profielen werden gevonden.

Tabel 10. Resultaten humusbeschrijvingen Deense bossen.

plot	Type	Humusklasse	Zand/leem	Dikte humuslaag (cm)
Holt kr 1a	rijk-strooisel	eumull tot mesomull	zand met leemband tussen 80 en 120 cm -mv.	0.8
Holt kr 2a	rijk-strooisel	mesomull	zand	1.3
Holt kr 1b	arm-strooisel	mesomull tot eumoder	zand met leembanden 155 en 190 cm -mv.	2
Holt kr 2b	arm-strooisel	mesomull	zand	1
101a	rijk-strooisel	oligomull tot dysmoder	grof zand	0.5
5Ea	rijk-strooisel	mesomull tot oligomull	grof zand	1.2
101b	arm-strooisel	hemimoder	grof zand	0.8
5Eb	arm-strooisel	hemimoder tot dysmoder	grof zand	1.7

Bodems van Honning Krat bestaan uit matig fijn (toplaag) tot matig grof zand zonder leem. In het jongere en noordelijke deel van Honning Krat (locatie 5a en 5b) vinden we veldpodzolen. In het spaartelgenbos op locatie 101a en 101b vinden we gebleekte holtpodzolen onder zowel eik als linde.
Strooiselaccumulatie in een uitwendig humusprofiel vindt plaats onder eik en in mindere mate onder linde (tabel 10). Sporen van bioturbatie en menging van humus in de minerale laag leiden

er toe dat we onder linde hier voornamelijk Mull humus vinden. Onder eik is dat niet het geval en wordt een diffuse scheiding tussen humus en minerale laag gevonden met geringe inmenging van humus in de minerale laag. Onder eik classificeren we de humus als moder.

Figuur 36 Holtpodzol Holt krat in Denemarken.

3.4.3 Vegetatie

Holt Krat

Op de locaties 1b en 2b staat eik als dominante boomsoort en komen lindebomen nauwelijks voor. In de struiklaag vinden we slechts een enkele hazelaar. De soorten in de ondergroei tonen soorten van het eiken haagbeukenbos en een rijke variant van het beuken-zomereikenbos. Dit zijn voornamelijk bosanemoon, dalkruid, witte klaverzuring en lelietje-van-dalen. Op open plekken kan adelaarsvaren domineren.

Op de plekken waar linde in de boomkronen staat (de rijk-strooisellocaties) zien we eveneens bosanemoon, witte klaverzuring en lelietje-van-dalen maar zien we ook ruige veldbies en bosgeelster. Hierdoor classificeren de opnamen onder linde als eiken-haagbeukenbossen. Adelaarsvaren en wilde kamperfoelie vinden we niet in de rijk-strooisellocaties maar uitsluitend in de arm-strooisellocaties.

Figuur 37 Rijkstrooisellocatie in Holtkrat, Denemarken.

Figuur 38 Arm-strooisellocatie in Holtkrat, Denemarken.

Honning krat

Het effect van de bomen op de ondergroei is hier duidelijker: in het eiken-spaartelgenbos komen blauwe bosbes, braam en bochtige smele veel voor waardoor deze opnamen classificeren als een blauwe bosbes subassociatie van het beuken-zomereiken bos. Onder de linden is de begroeiing veel schaarser. Alleen onder de linden werden bosanemoon en witte klaverzuring waargenomen. Door het voorkomen van soorten van rijkere bossen classificeren deze opnamen als een rijke vorm van het beuken-zomereikenbos (de subassociatie met Lelietje-van-dalen) en het eiken-haagbeukenbos (tabel 11).

Tabel 11. Aangetroffen vegetatietypen op de onderzoeklocaties in Denemarken.

Locatie	rVVN	vegetatie	type
101b	r45Aa04a	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Blauwe bosbes	arm-strooisel type
5Eb	r45Aa04a	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Blauwe bosbes	arm-strooisel type
HK2b	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	arm-strooisel type
HK1b	r45Aa04c	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Lelietje-van-dalen	arm-strooisel type
101a	r45Aa04c	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Lelietje-van-dalen	rijk-strooisel type
5Ea	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type
HK1a	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type
HK2a	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type

Het gemiddelde trofiegehalte en de pH kunnen we berekenen aan de hand van het voorkomen van soorten (via Turboveg). Dit geeft een beeld van de buffering op basis van het voorkomen van soorten. Dit moet aanvullend worden gezien met de bodemchemiedata. In de Deense bossen zien we gemiddeld verschillen tussen de arm-strooisellocaties en de rijk-strooisellocaties. Met name in de berekende pH (tabel 12). De vegetatie, rekening houdend met de bedekking toont dat de rijk-strooisellocaties beter gebufferd zijn waarbij de berekende pH bijna een eenheid hoger is

ten opzichte van de arm-strooisellocaties. Ook het trofiegehalte is in de rijk-strooisellocaties iets hoger (tabel 12).

Tabel 12. Gemiddelde zuurgraad en trofie berekend aan de hand van vegetatieopnamen (d.m.v. Turboveg) en het gemiddelde aantal soorten in proeflocaties in Denemarken (voor arm- en rijk-strooisel plots).

	arm-strooisel type	rijk-strooisel type
Zuurgraad (pH)	3.5	4.5
Trofie (N)	4.3	4.9
Aantal soorten	23	22

3.4.4 Structuur

Zowel Holt Krat als Honning Krat zijn beheerde bossen met een geringe verticale structuur. Holt Krat bestaat uit oud linde hakhout (figuur 39) met daartussen eiken. Er is nauwelijks een 2e boomlaag en ook de struiklaag (hazelaar en eventuele opslag van linde of eik) komt nauwelijks voor (zie figuur 39 en 40). Ook het aandeel dood hout is zeer laag. De bossen zijn beheerd en het lijkt er op dat er veel dood hout, met name in Holt Krat, is weggevoerd. In Honning krat zien we meer dood hout, zowel staand als liggend en is er duidelijk minder intensief beheer geweest dan in Holt krat. Oude dode liggende bomen komen slechts zeer sporadisch voor.

Figuur 39. Linde stoven in Holt Krat

Figuur 40. Structuur (of het gebrek daaraan) in Holt krat.

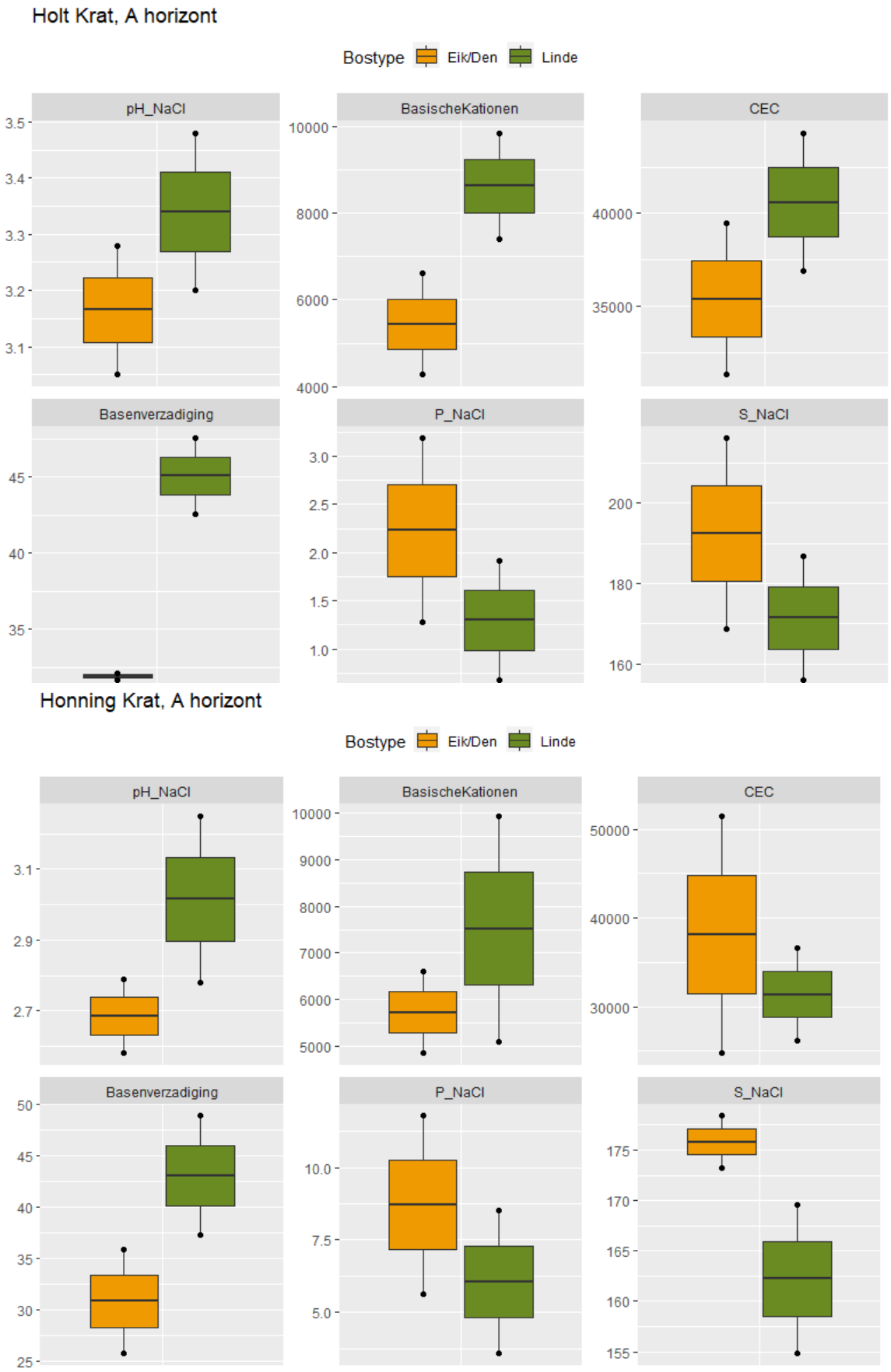
In de oude spaartelgenbossen van Honning Krat, die op de bedrijfskaarten staan aangegeven met als aanplantjaren 1869, 1874 of 1884, is meer structuur, de bomen in deze bossen zijn ouder dan Holt Krat en er is ook meer dood hout aanwezig (figuur 41). Met name in het centrale deel zien we 2 boomlagen en een duidelijke struiklaag met lijsterbes, sporkehout en hulst. Hazelaar zien we allen in het noordelijke deel (locaties in vak 5).

Figuur 41. Honning Krat, Rijk-strooisellocatie

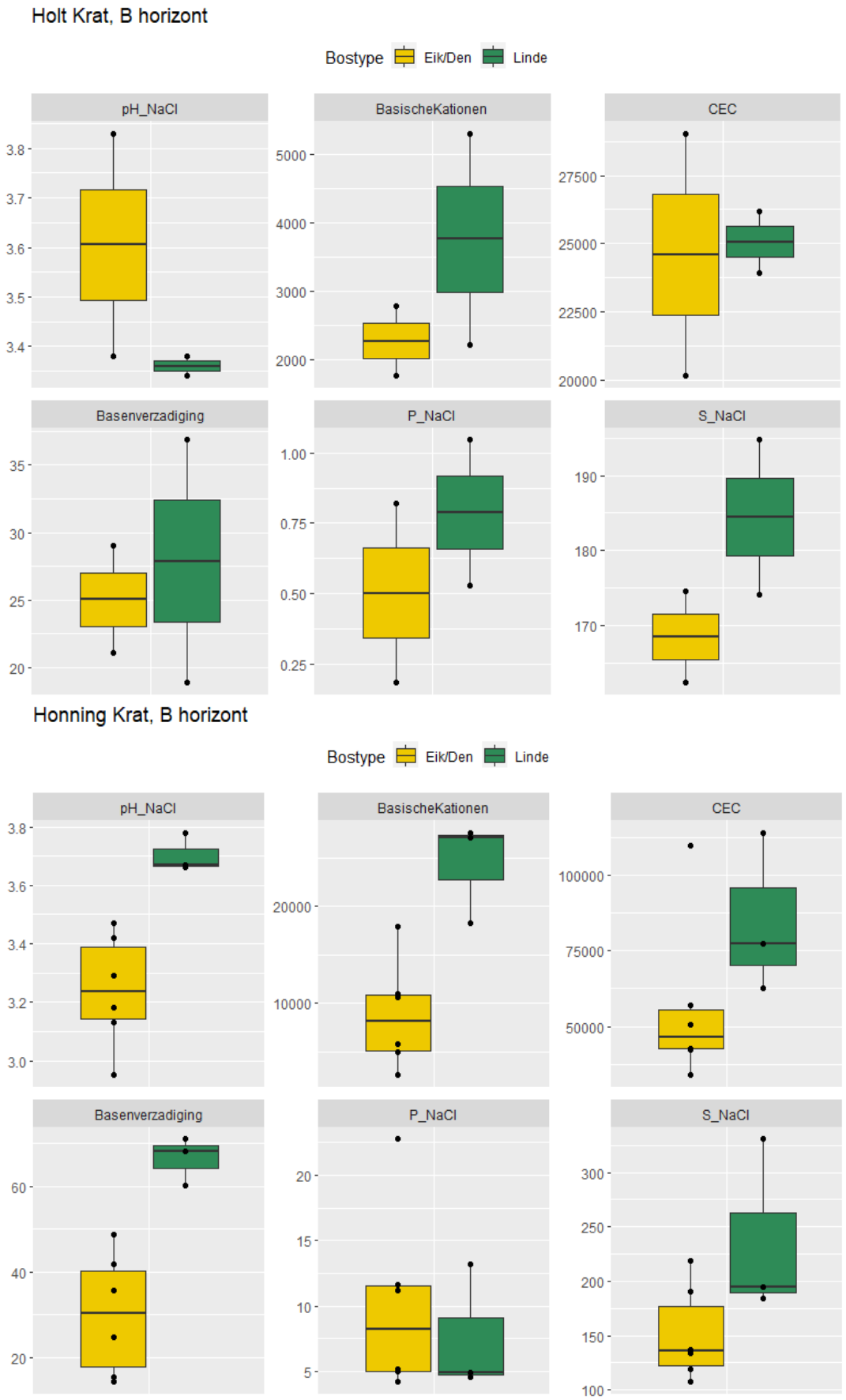
3.4.5 Bodemchemie

Een vergelijking van de bodemchemie van de C horizonten in de Deense bossen toont dat de bemonsterde locaties goed met elkaar te vergelijken zijn (bijlage 5). De bossen liggen ver uit elkaar en dit zorgt nog voor enige spreiding in de data waarbij Holt Krat duidelijk wat armer is dan Honning krat. Om deze reden zijn de gegevens van de twee bossen hieronder apart weergegeven. De goede vergelijkbaarheid tussen de C horizonten van eiken en linde locaties toont dat locaties met linde niet toevallig rijker of vochtiger staan dan locaties met eik. Een vergelijking tussen de rijk-strooisellocaties en de arm-strooisellocaties kan daardoor gemaakt worden binnen deze bossen.

Wanneer we kijken naar de resultaten van de biochemische analyse van de A en B horizonten zien we in beide bossen dat onder linde een hogere pH, hogere basische kationen en hogere basenverzadiging gemeten wordt in de A horizont, ten opzichte van onder eik (figuur 42). De bodem pH is onder linde gemiddeld 0.25 eenheid hoger in Holt krat en Honning krat dan onder eik. De basenverzadiging is 14% hoger onder linde dan onder eik.
Honning krat is een armere bodem (zie ook bijlage 5) met basische kationen tussen de 3000 en 3500 µeq/kg droge bodem. In Nederland zijn deze waarden iets lager (1500 µeq/kg droge bodem). Holt krat ligt dichter bij de rijkere leemafzettingen en daardoor meten we hier in het moedermateriaal hogere basische kationen (tussen 10000 en 20000 µeq/kg droge bodem) en een hogere CEC tussen 50000 en 75000 µeq/kg droge bodem). Ondanks de verschillen in rijkdom zien we vergelijkbare patronen in de A horizont.
Daarnaast zien we dat de verschillen tussen eik en linde in de B horizont een stuk kleiner zijn in de rijkere bossen van Holt krat maar dat deze verschillen wel groot zijn in het armere Honning krat.



Figuur 42. Bodemchemie van de A horizont onder eik en linde. Boven Holt krat, onder Honning krat



Figuur 43. Bodemchemie van de B horizont onder eik en linde. Boven Holt krat, onder Honning krat

3.4.6 Conclusies Holt Krat en Honning Krat

De rijk- en armstrooisellocaties zijn onderling goed met elkaar te vergelijken omdat ze op eenzelfde bodem blijken te staan. De verschillen worden dus daadwerkelijk veroorzaakt door het effect van de hoofdboomsoorten. Ondanks dat Holt krat een rijkere locatie is dan Honning krat zien we toch duidelijke paralellen veroorzaakt door het boomeffect.

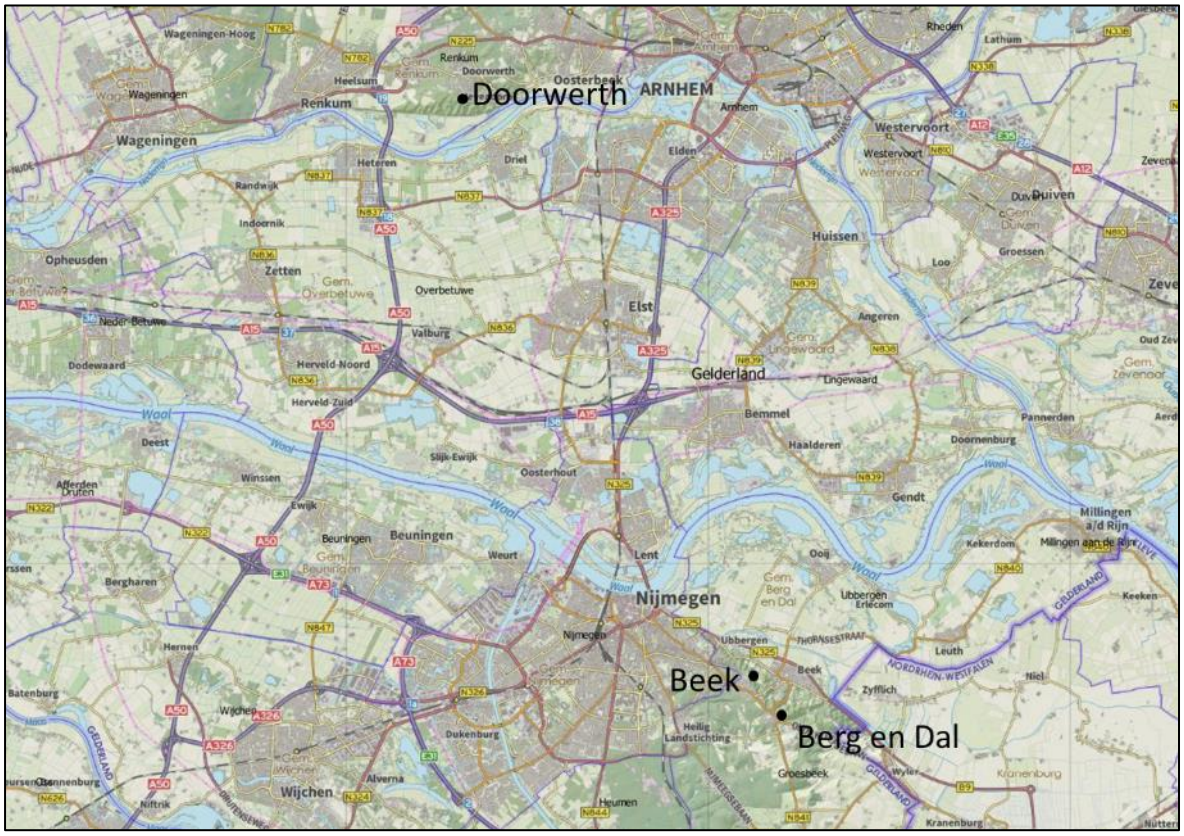
De verschillen in de vegetatie zijn klein maar het voorkomen van kenmerkende soorten als bosgeelster, witte klaverzuring op de rijke boslocaties en adelaarsvaren, braam of bochtige smele in de arm-strooisellocaties duidt toch op verschillen in de bosbodemontwikkeling. Een verschil in aantal soorten is niet gevonden maar wel een verschil in vegetatiesamenstelling waarbij rijk-strooisellocaties met linde neigen naar eiken-haagbeukenbos of rijke vormen van het beuken-zomereikenbos terwijl de arm-strooisellocaties neigen naar armere varianten van het beuken-zomereikenbos.

In ons onderzoek werden kleine verschillen gevonden in strooiseldikte en humusvorm onder linde en eik in Holt Krat. In een eerder onderzoek van Hommel en collega's (Hommel et al., 2003) werden grotere verschillen gevonden waarbij met name onder eik een dikker en zuurder uitwendig humuspakket werd gevonden. Een verklaring voor het geringere effect kan zijn dat we niet op exact dezelfde plekken hebben bemonsterd.
Over het algemeen zien we in de bodemchemie en de humusvormen een consistent beeld: Onder de rijk-strooiselsoorten vinden we vaker een mull of rijkere vorm van moder terwijl we onder arm strooiselsoorten een moder tot mor humusprofiel vinden. Dit gaat gepaard met een betere buffering onder linde ten opzichte van eik. Het effect van de linde (in de A horizont) lijkt groter in het rijkere Holt krat dan in het armere Honning krat. Zo zien we een hogere basenverzadiging onder linde van 18% in Holt krat en 12% in Honning krat en een hoger gehalte basische kationen van ongeveer 3000 µeq/kg droge bodem in de lindes in Holt krat (ten opzichte van de eiken aldaar) terwijl het verschil in basische kationen in Honning krat ongeveer 1800 µeq/kg droge bodem bedroeg.

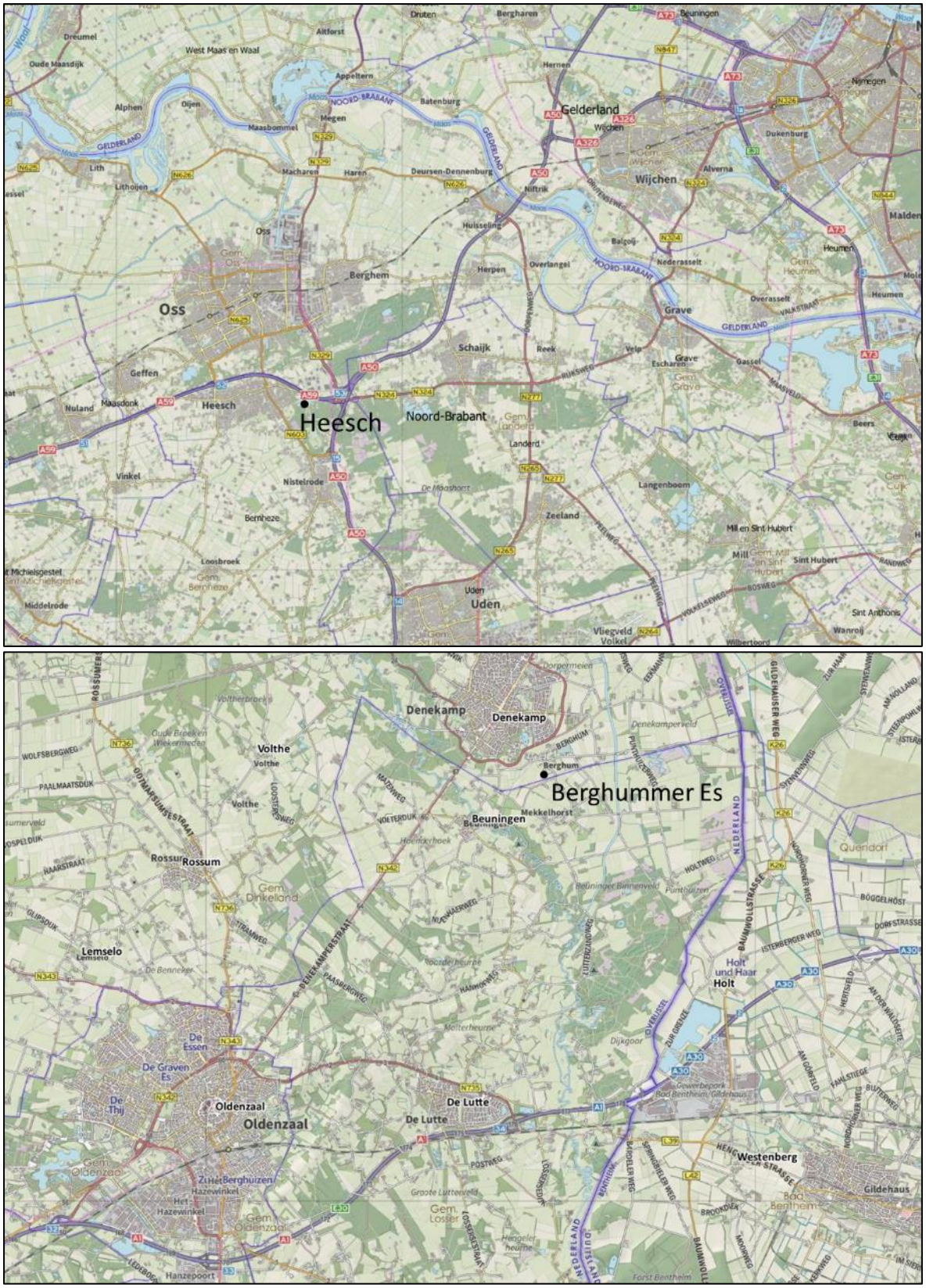
3.5 Nederlandse bossen

In Nederland zijn oude referentielocaties waarin het effect van linde met dat van eik of den te vergelijken is niet te vinden. Om toch een vergelijking te kunnen maken zijn voor Nederland ook zeer kleine opstanden (enkele bomen) of monoculturen van aanplant van linde en eik op eenzelfde bodem meegenomen.

Voor alle onderzochte Nederlandse locaties is telkens een analyse uitgevoerd in paartjes met zowel een eik als een linde locatie zodat de bodems van deze twee verschillende locaties onderling goed vergelijkbaar zijn. Uiteindelijk zijn in Nederland 7 locaties bezocht. Na bodemchemische analyse bleken echter 2 locaties op oude landbouwgronden te staan met een zeer hoog P gehalte. Deze locaties zijn niet meegenomen in onderstaande analyse. Voor de overige 5 locaties zijn de bossen hieronder beschreven (figuur 44a,b).



Figuur 44a. Onderzoeklocaties in Nederland.



Figuur 44b. Onderzoeklocaties in Nederland.

3.5.1 Beschrijvingen boslocaties

Doorwerth (Gelderland)

Op de stuwwal bij Doorwerth staan verschillende bosopstanden van hollandse linde (figuur 45) en zomereik. Deze bosopstanden zijn ongeveer 70 jaar oud en reeds eerder onderwerp van onderzoek geweest naar het effect van boomsoorten op de bodem en humusontwikkeling op zandgrond (Hommel et al., 2001, Hommel & de Waal 2004, Desie et al., 2019). Op de stuwwal zijn 2 locaties meegenomen in dit onderzoek. Hiervoor zijn 2 lindeopstanden (de waarden van 2 opstanden zijn gemiddeld tot 1 waarde; er is slechts 1 vegetatieopname gemaakt) en 1 ernaast gelegen zomereikenopstand onderzocht. Deze liggen op een relatief vlak deel van de stuwwal. De ondergrond bestaat uit gestuwd, zwak lemig zand met op enkele plekken dekzand, grof zand of grind. De bodems behoren allen tot moderpodzolen.

Figuur 45. Foto van rijk-strooiselbos op de stuwwal in Doorwerth

Beek (Gelderland)
Op de Stuwwal bij Nijmegen liggen de Elyseese velden nabij het dorp Beek. In een hoek van het bos op de stuwwal staat een groep van 7 oude linden (geschatte leeftijd van ongeveer 100 jaar). Het aangelegen bos bestaat uit zomereik, wintereik en beuk. Deze locaties (figuur 46) zijn eerder onderzocht in het kader van effecten van rijk-strooiselsoorten in monoculturen (Desie et al., 2019). Van de gegevens die in dit onderzoek zijn verzameld is hier gebruik gemaakt. Het betreft een vegetatieopname en een bodem- en humusbemonstering onder de linden en onder de eiken. De bodem bestaat uit gestuwd materiaal van fijn lemig zand tot grof zand. Op enige diepte komen lemige banden voor en vinden we grind in de bodem.

Figuur 46. Eikenopstand in Beek (links) en de lindenopstand er direct tegenover (rechts)

Berg en Dal (Gelderland)
Eveneens op de stuwwal bij Nijmegen staat een groep van 10 oude hollandse lindes bovenop de flanken van de stuwwal omringd door zomereiken bos en lager op de flank ook door beuk (figuur 47). De linden worden geschat op 90 jaar, aangeplant omstreeks 1930. In totaal zijn hier 4 locaties bemonsterd voor bodemchemie, humus en bodem (2 onder linde en 2 onder eik) waarbij slechts 2 vegetatieopnamen gemaakt zijn (1 in elk type). De bodem bestaat uit gestuwd materiaal van fijn lemig zand tot grof zand. Op enige diepte komen lemige banden voor en vinden we grind in de bodem.

Figuur 47. Linde (links) en Eiken (rechts) opstandjes op de stuwwal Berg en Dal.

Heesch (Noord-Brabant)

In Noord-Brabant ligt op een terrein van Staatsbosbeheer een arboretum, genaamd ''het bomenpark Heesch''. Dit bomenpark is ongeveer 40 jaar geleden aangelegd op een relatief arme oude landbouwbodem en hierin staan monoculturen van ongeveer 40x40 meter van verschillende boomsoorten. In dit bomenpark zijn de linde en eikenvakken bemonsterd als onderdeel van eerder onderzoek (Desie 2020, Desie et al., 2020) en hiervan wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt. Het betreft 1 opname in het winterlinde vak en 1 opname in het zomereiken vak. De bomen staan op zand waarbij moet opgemerkt worden dat de boomsoorten op eenzelfde voormalige landbouwbodem staan. Deze is echter na metingen van de bodemchemie (totaal P gehalte) niet zeer sterk bemest geweest en daardoor geschikt geacht voor dit onderzoek.

Berghummer Es (Overijssel)

In Twente vinden we in de omgeving van Denekamp restanten van de hier ooit voorkomende lindebossen. Uit onderzoek naar de fossiele bodems onder de plaggenlagen zijn duidelijke aanwijzingen voor linde houdende loofbossen tot in het midden van de 17de eeuw op leemarme zandgronden (Smeenge 2020). Momenteel zijn er ten minste 56 bekende groeiplaatsen (buiten huisplaatsen) van kleinbladige linde. Ze staan in houtwallen, langs laaglandbeken, vochtige en droge loofbossen en tussen eikenhakhout en dateren van voor de landschapsplannen uit de ruilverkavelingsperiode. Op de Berghummer Es ten zuiden van Denekamp zijn, in een eswal, 1 locatie met linde en 1 locatie onder eik bemonsterd. Op deze standplaatsen vinden we begraven holtpodzolgronden, waarop vanaf circa 1400 een plaggendek is aangebracht. De huidige kleinbladige linders staan op de steilrand van deze escomplexen en wortelen vermoedelijk in

zowel de plaggenbodem als begraven holtpodzolgrond. In de omgeving van Denekamp komen meerdere relictpopulaties van kleinbladige lindes op zowel holt- als haarpodzolgronden voor. Voor aanvullende kenmerken wordt verwezen naar Smeenge, 2020, hoofdstuk 6 en 9.

3.5.2 Bodem en humus

Een vergelijking tussen gebieden in Nederland is in het kader van dit onderzoek niet zinvol omdat deze gebieden op andere bodems staan. Binnen de gebieden is het juist zeer zinvol omdat binnen de bossen de leeftijd van de opstanden en de ondergrond van eenzelfde klasse zijn. In alle Nederlandse locaties is gezocht naar leemarme zandige bodems en de opgenomen onderzoeklocaties kunnen als zodanig worden geclassificeerd. Wel is het zo dat de bodems op de stuwwal in Doorwerth en Beek een lichte leemfractie kennen van maximaal 20% (Hommel & de Waal 2004).

In alle Nederlandse locaties zien we een effect van de boomsoort op de humusklasse en de dikte van de strooisellaag. In alle gevallen gaat het over een toename van de biologische activiteiten (bioturbatie) in de bodem (een Fz laag) en een betere doormenging van stabiele humus in de minerale bodemlaag waardoor de humusvormen richting de Mull classificeren ten opzichte van de Moders bij arm-strooiselsoorten. De strooiselaccumulatie geeft eenzelfde beeld met significant minder strooiselaccumulatie onder linde dan onder eik (tabel 13, figuur 48). Een vergelijkbaar beeld werd eerder gevonden door Hommel et al (2004).

Figuur 48. Voorbeeld van strooiselprofiel in Doorwerth, links onder Linde en rechts onder Eik

Tabel 13. Resultaten humusbeschrijvingen Deense bossen.

plot	Type	Humusklasse	Zand/leem	Dikte humuslaag (cm)
Doorwerth Linde	rijk-strooisel	Eumoder	zand en lemig zand	3.5
Doorwerth Eik	arm-strooisel	Dysmoder	zand en lemig zand	7.8
Beek Linde	rijk-strooisel	Oligomull	zand en lemig zand	1.6
Beek Eik	arm-strooisel	Humimor	zand en lemig zand	12
Berg en Dal Linde	rijk-strooisel	Dysmull	grof zand en lemig zand met kiezels	0.5
Berg en Dal Eik	arm-strooisel	Eumoder	grof zand met kiezels	3
Heesch Linde	rijk-strooisel	Dysmull	zand	0.5
Heesch Eik	arm-strooisel	Dysmoder	zand	2.5
Berghumer Es Linde	rijk-strooisel	Oligomull	zand	0.5
Berghumer Es Eik	arm-strooisel	Dysmoder	zand	3

3.5.3 Vegetatie

Een vergelijking van de vegetatieopnamen tussen de verschillende bossen is hier niet gemaakt omdat dit niet het doel van dit onderzoek is. Een vergelijking binnen een bos tussen de rijk-strooisel en de arm-strooisellocaties is wel zinvol voor dit onderzoek omdat het de effecten van boomsoort op de grondflora kan duiden op eenzelfde bodemtype.

Wanneer we de opnamen analyseren dan zien we dat met name op de stuwwal bij Doorwerth soorten van de rijke beuken-zomereiken bossen en zelfs haagbeukenbossen voorkomen onder de rijk-strooiselbomen zoals bosanemoon, gewone salomonszegel, grote muur, dalkruid en drienerfmuur terwijl deze niet vooromen in de arm-strooiselbossen. In de overige bossen is de vegetatie karig en zien we nauwelijks verschillen tussen de locaties onder linde of onder eik. In Berg en Dal zien we gewone salomonszegel en in Beek zien we nog klimopereprijs, lijsterbes en klimop onder linde maar dit zijn zeer geringe verschillen.
In de echte bosvakken (niet zijnde een houtwal) zien we een geringe ontwikkeling van de kruidlaag in alle locaties met uitzondering van de lindelocatie in Doorwerth waar bosanemoon en witte klaverzuring veelvuldig voorkomen. Het aangrenzende linde vak op Doorwerth heeft echter een geringere ontwikkeling van de grondflora.
De arm-strooiselbossen classificeren als vormen (of braamrijke rompen) van het zure Beuken-Zomereikenbos op alle onderzochte locaties. Op oude boslocaties zoals Doorwerth en Beek zien we een bedekking van adelaarsvaren. Op landbouwgrond (Heesch, zeer jong bos), Op de Berghummer Es (een smalle houtwal) en in het bosje bij Berg en Dal (veel verstoring en licht door recente werkzaamheden) zien we toch verstoringssoorten als braam opkomen wijzend op de lichte situaties.
Op lindelocaties zien we alleen in Doorwerth een zeer rijk, eiken haagbeukenbos ontstaan. Op de overige locaties wijzen de soorten volgens de classificatie (aan de hand van het programma Associa) op een rijk-loofbos. Het ontbreken van soorten speelt hier wel parten (gemiddeld slechts 10 soorten) waardoor de classificatie niet zeer betrouwbaar is. Wanneer de soorten

worden geanalyseerd zien we met soorten als gewone salomonszegel dat de lindenlocaties hooguit neigen naar een rijkere vorm van het beuken-zomereikenbos.

Tabel 14. Aangetroffen vegetatietypen op de onderzoeklocaties in Nederland.

Locatie	rVVN	vegetatie	type
Doorwerth Linde	r46Ab03	Eiken-Haagbeukenbos	rijk-strooisel type
Doorwerth Eik	r45Aa04b	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Adelaarsvaren	arm-strooisel type
Beek	r46Aa01c	Abelen-Iepenbos; subassociatie met Wilde hyacint	rijk-strooisel type
Beek	r45Aa04b	Beuken-Zomereikenbos; subassociatie met Adelaarsvaren	arm-strooisel type
Berge n Dal Linde	r46Aa02a	Essen- Iepenbos; typische subassociatie	rijk-strooisel type
Berg en Dal eik	r45RG01	RG Pluimkambraam en Smeulende kambraam [Zomereik-verbond]	arm-strooisel type
Heesch Linde	r18Aa02	Associatie van Boshavikskruid en Gladde witbol	rijk-strooisel type
Heesch Eik	r45Aa05c	Bochtige smele-Beukenbos; subassociatie met Gewoon pronkmos	Eiken opstand
Berghumer Es, Linde	r46Aa01b	Abelen-Iepenbos; Soortenarme subassociatie	rijk-strooisel type
Berghumer Es, Eik	r45RG01	RG Pluimkambraam en Smeulende kambraam [Zomereik-verbond]	arm-strooisel type

Ondanks de geringe verschillen in aantallen soorten (zie ook tabel 15 voor gemiddelde aantallen), zien we wel dat de soorten die voorkomen onder linde een gemiddeld betere buffering (hogere pH) van de bodem indiceren met een gemiddelde (berekende) pH van 5 ten opzichte van een pH 4.2 onder eik. Ook het trofie-getal toont dat de soorten onder linde een rijker bosecosysteem indiceren.

Tabel 15 Gemiddelde zuurgraad en trofie berekend aan de hand van vegetatieopnamen (d.m.v. Turboveg) en het gemiddelde aantal soorten in proeflocaties in Nederland (voor arm- en rijk-strooisel plots).

	arm-strooisel type	rijk-strooisel type
Zuurgraad (pH)	4.2	5.0
Trofie (N)	5.2	6.0
Aantal soorten	8	10

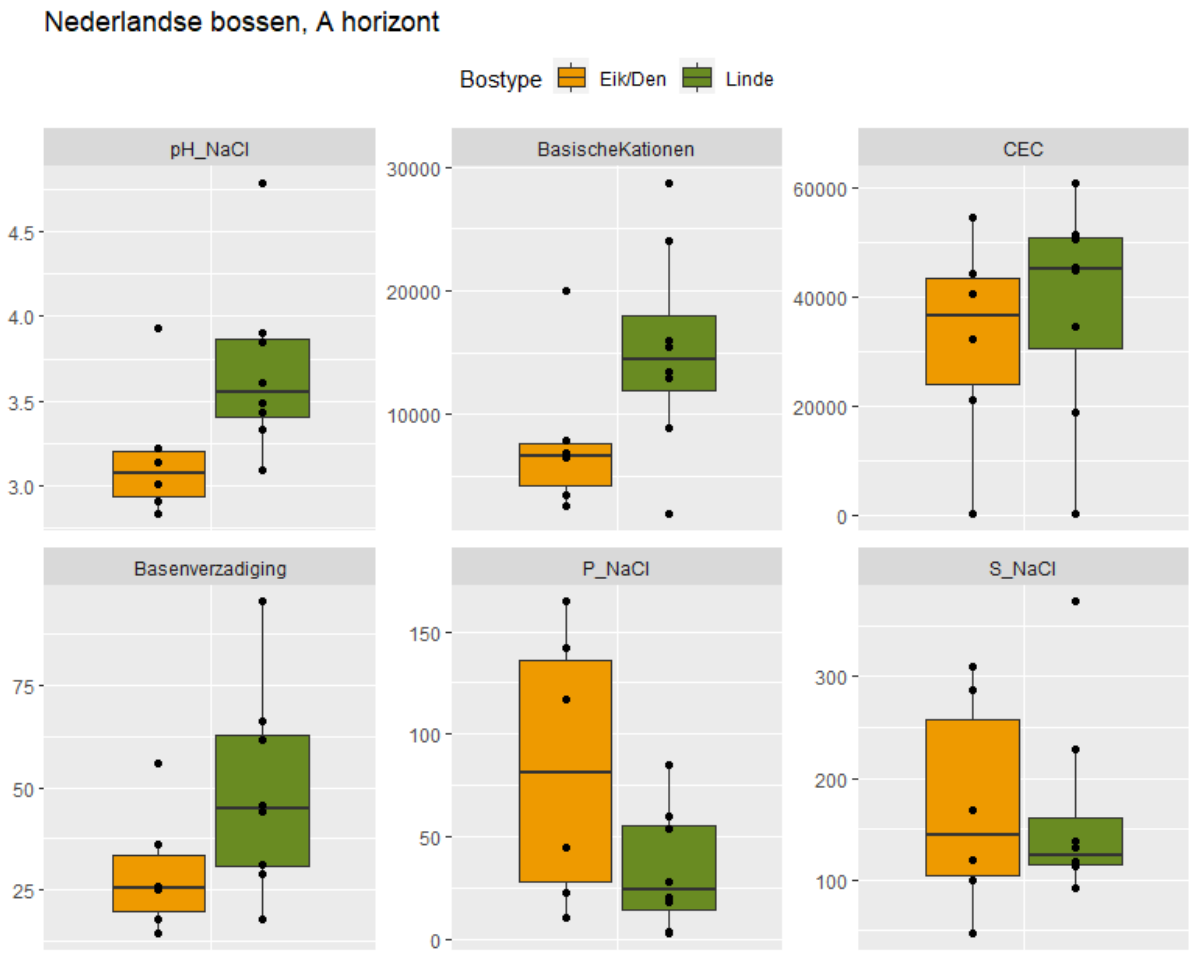
3.5.4 Structuur

Over het algemeen zijn de Nederlandse bossen erg jong. Hierdoor wordt er nauwelijks een 2e boomlaag gevonden in de boslocaties. Op enkele plekken zoals in Berg en Dal vinden we doorschietende esdoorn waardoor een 2e boomlaag in de maak is. Ook een struiklaag is in de meeste gevallen nog niet goed ontwikkeld. Dit heeft ook zeker te maken met beheer en graasdruk. Op de locaties in Berg en Dal zijn recent (2018) struiken verwijdert. Op andere locaties zoals Doorwerth en Beek speelt de vraat door ree een rol in de ontwikkeling van struiklagen.

Alleen op de Berghummer Es waar de bomen in een oude houtwal staan is er een grote gelaagdheid met boomlaag, 2 struiklagen en een goed ontwikkelde kruidlaag. Hierbij moet wel worden gezegd dat dit een houtwal op een flank betreft en daardoor kent deze referentie een heel eigen lichtklimaat ten opzichte van echte boslocaties. In de houtwal is nauwelijks lichtlimitatie. Daarnaast is de houtwal zeer oud waardoor gelaagdheid zich ruimschoots en onder voldoende licht heeft kunnen opbouwen.
De aanplanten in Heesch zijn monotoom aangeplant in een vast plantverband van 1,5mx1,5m. Hierdoor zijn de bossen niet interessant als referenties voor structuur voor Noord-Brabantse bossen op zand.
De bossen op de stuwwal in Doorwerth, Beek en Berg en Dal hebben een struiklaag maar ook hier ontbreekt de verticale en horizontale structuur. Er zijn geen opengevallen plekken, we vinden er geen 2e struiklaag en er is geen of nauwelijks dood hout aanwezig. De locaties in Beek en Berg en Dal zijn daarnaast ook te klein om als referentie voor structuur te kunnen dienen.

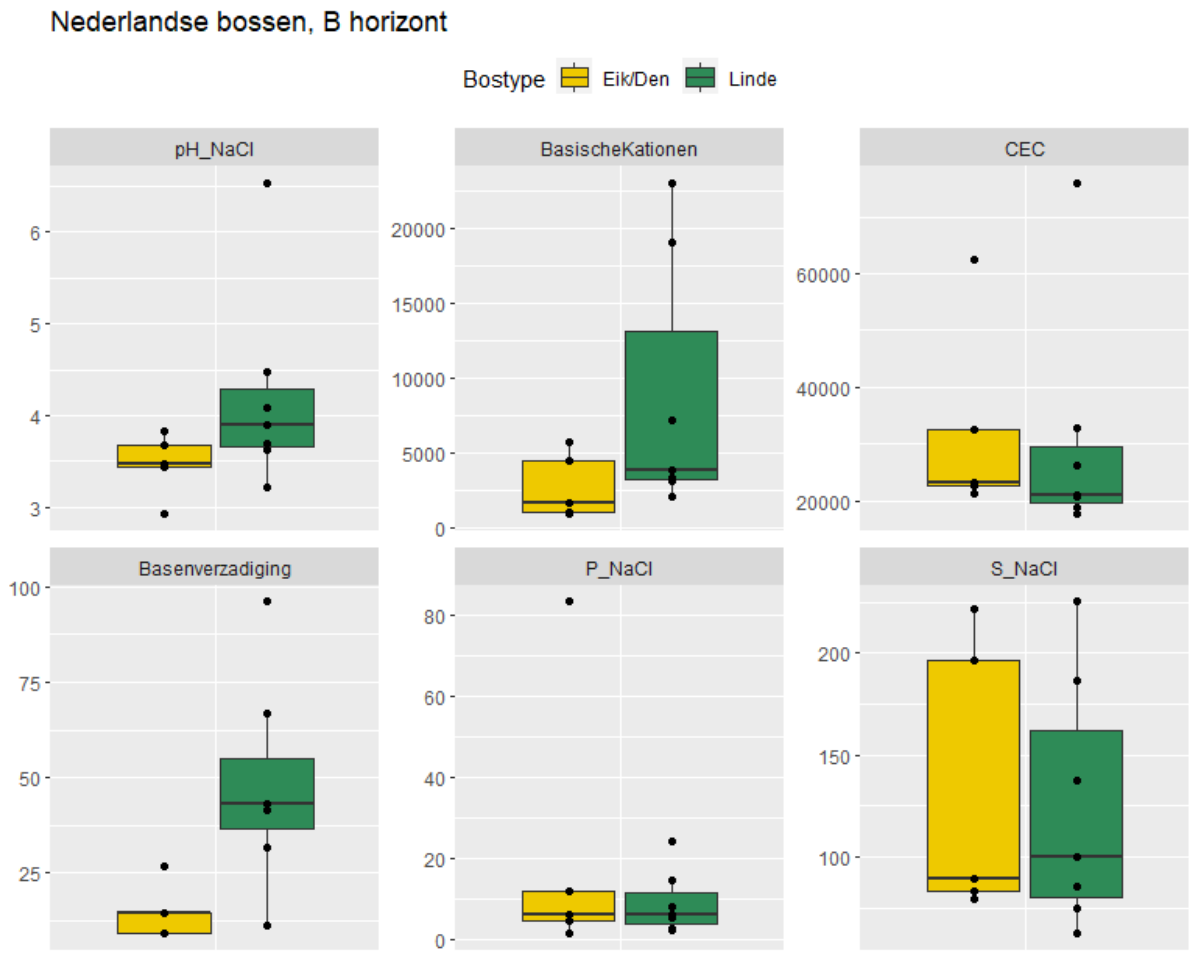
3.5.5 Bodemchemie

De Nederlandse bossen verschillen enorm in historie en daarmee ook in bodemchemische eigenschappen. Zo zijn de bodems van het bomenpark Heesch bemest geweest waardoor de P gehalten boven de 10 mmol/kg droge bodem liggen (voor arm strooisel is dat 14.2, voor rijk-strooisel is dat 21.8). Aangezien beide bemest zijn, worden ze nog wel goed onderling vergelijkbaar geacht. Daarnaast staan de locaties in Doorwerth, Beek en Berg en Dal op een stuwwal en hebben we daar te maken met gestuwd materiaal. Dit uit zich in hogere CEC en een fijnere leemfractie.
Ondanks de verschillen vinden we in de Nederlandse referenties toch consistente verschillen tussen de eiken en linde locaties. In de A horizont (figuur 48) zien we een hogere pH, hogere basenverzadiging en een hoger gehalte aan basische kationen onder linde dan onder eik. Deze verschillen zijn aanzienlijk met een 0.4 eenheid hogere pH en een 15% hogere basenverzadiging (van 25% bij eik naar 40% bij linde) onder linde.



Figuur 48. Bodemchemie van de A horizont in Nederlandse locaties. Verschillen tussen eik (oranje) en linde (groen) zijn weergegeven.

De verschillen die worden waargenomen in de A horizont worden in de Nederlandse bossen over het algemeen (op misschien pH na waar we een 0.2 pH eenheid verschil zien) niet waargenomen in de B horizont (of de laag onder de A, in de Nederlandse bossen zit vaak een Ae of E horizont onder de A in zure bossen).



Figuur 49. Bodemchemie van de B horizont in Nederlandse locaties. Verschillen tussen eik (oranje) en linde (groen) zijn weergegeven.

3.5.6 Conclusies Nederlandse bossen

De Nederlandse bossen zijn jong wat betreft de aanplant/boomsoorten die er nu domineren: de linden in Doorwerth zijn ongeveer 70 jaar, de linden bij Beek en Berg en Dal zijn geschat op respectievelijk 100 en 90 jaar. De aanplant in Heesch is ongeveer 35 jaar en de linden op de Berghummer Es worden ook geschat op een leeftijd van 100 jaar. Op de houtwal in Twente na zijn de linden aangeplant. Op de 3 stuwwal locaties gaat het dan om aanplanten in zeer waarschijnlijk eikenbossen, in Heesch is de aanplant gedaan op voormalige landbouwgrond.

Mogelijk is de relatief jonge leeftijd van de Nederlandse bossen en daarmee de jonge leeftijd van bosbodemontwikkeling onder de diverse boomsoorten en het nog ontbreken van veel bosgebonden soorten een verklaring voor het geringe effect op de ontwikkeling van de flora. De verzuring (als gevolg van verzurende depositie) in Nederland is nog steeds hoog en de bossen kampen nog steeds met een te hoog stikstofgehalte. Het vestigingsmilieu is daardoor mogelijk niet voor alle flora geschikt ondanks een verhoogde buffering en beschikbaarheid van kationen. Hierbij moet ook gezegd worden dat met name oud-bosplanten zoals bosanemoon en dalkruid een zeer geringe kolonisatiesnelheid kennen waardoor het mogelijk ook niet realistisch is om

dergelijke soorten in opstanden van linde te verwachten wanneer deze geïsoleerd van vergelijkbare rijke bossen in een gebied liggen.

Daarentegen staat dat de verschillen in bodembuffering in de A horizont tussen eiken- en lindelocaties significant te noemen zijn en de ontwikkeling van humusprofielen en strooiselaccumulatie relatief groot. Bij aanplant van rijk-strooiselsoorten werd al eerder een positief effect op de bodembuffering gevonden (leefgebiedenonderzoek (van den Berg et al., 2018)) en de resultaten van deze studie bevestigen dat onder linde in Nederlandse bossen. De betere buffering in de bodem leidt tot verhoogde bioturbatie door de toename van biologische activiteit in de minerale bodem. Hierdoor zien we ook een betere afbraak van strooisel en een betere doormenging van humus in de minerale bodem (van Mor naar Moder en van Moder naar Mull).

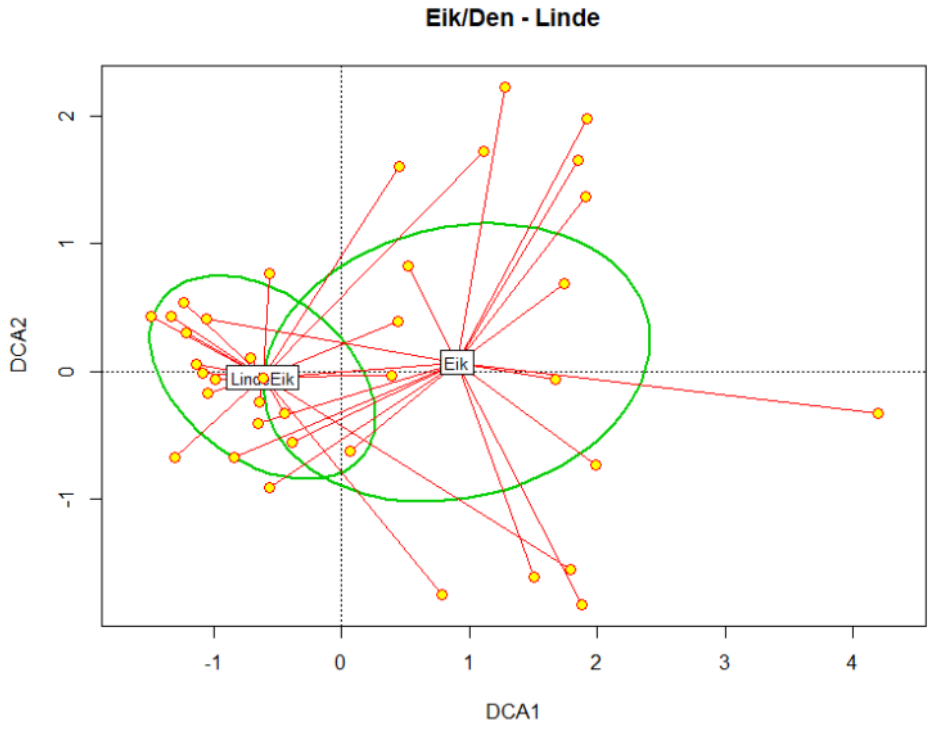
Het feit dat we nauwelijks verschillen in de B horizonten meten duidt er op dat de effecten van de rijk-strooiselsoorten het eerst zichtbaar zijn in de bovenlaag van de bodem en bewerkstelligd worden door de input van strooisel. In de Nederlandse bossen zien we de effecten niet terug in de B horizonten omdat het lange tijd nodig heeft alvorens deze effecten doorwerken naar diepere lagen in de bodem. Voor deze doorwerking in de bodem zijn bodembiota nodig en deze ontbreken grotendeels in de bossen. De zure omstandigheden (gemiddelde pH 3.6 onder linde) verhinderen het voorkomen van echte diepgravende wormen en daarmee de bioturbatie.

3.6 Synthese eiken/dennenbos - lindebos vergelijking

Uit bovenstaande resultaten en ook eerder onderzoek (Reich et al., 2005, van den Berg et al., 2018, Desie et al., 2019, Desie et al., 2020) blijkt dat linde rijk-strooisel produceert en de bodembuffering verhoogt ten opzichte van eik. Er werd een zeer consequent verschil van hogere buffering onder linde ten opzichte van eik of den op dezelfde bodem aangetroffen. We kunnen hieruit concluderen dat alle bossen, ongeacht de ouderdom of bodemgesteldheid eenzelfde ontwikkelrichting laten zien. Zeker wanneer we kijken naar de basenverzadiging (in procenten) dan zien we dat in de oudere bosopstanden (Polen en Duitsland) een veel hogere basenverzadiging onder linde te vinden is (een factor 2 hoger dan onder de eiken/dennen). In de jongere bospercelen (Nederland en Denemarken) vinden we ook een verhoging maar deze is lager (factor 1.4 tot 1.8). In de totale hoeveelheid basische kationen komen deze verschillen in relatie tot leeftijd minder sterk naar voren maar zien we over het algemeen een hogere hoeveelheid kationen onder linde dan onder eik (verschil van een factor 1.3 tot zelfs 2.8).

Ook wat betreft grondflora zien we, ondanks dat sommige landen een zeer eigen vegetatie kennen, duidelijke gemeenschappelijke verschillen in ontwikkeling (figuur 50). Figuur 50 toont het resultaat van een DCA analyse van de vegetatieopnamen in de verschillende linde en eik/den opstanden. De groene cirkels presenteren de clusters voor linde of eik en den. Deze clusters overlappen deels maar toch is duidelijk dat de eiken en dennen plots duidelijk worden onderscheiden van de linde opstanden op basis van de meest onderscheidende soorten (gele bolletjes). De ordening van de soorten in de DCA komt sterk overeen met de soorten die als begeleidende, ken- of differentiërende soorten behoren bij de verschillende plantengemeenschappen. In de lindeopnamen zijn dit soorten als kruipend zenegroen, bosanemoon en eenbes maar ook algemenere soorten als hengel, gewone hennepnetel, grote

muur. Aan de andere kant zien we in de eiken/dennen opstanden soorten als vingerhoedskruid, klimop en adelaarsvaren die de clustering differentiëren van de linde opstanden.
De figuur is gebaseerd op alle opnamen en betreft hier zeer verschillende landen met elk soms zeer specifieke condities en vegetaties. Desondanks is een vrij sterke en eenduidige verschuiving in de vegetatie waarneembaar.



Figuur 50. DCA op basis van alle vegetatieopnamen in alle landen waarbij geclusterd is op Eik/Den en Linde (groene cirkels). De gele bolletjes geven de meest onderscheidende soorten aan en de rode lijnen tonen in welk cluster de soorten horen.

Deze verschuiving in vegetaties geeft een ontwikkelrichting weer. In veel gevallen gaat het hier dan om een verschuiving van de klasse van beuken-zomereikenbos op voedselarme bodem naar de klassen van beuken-zomereikenbos op voedselrijke bodem of de verschuiving van de klasse van beuken-zomereikenbos op voedselrijke bodem naar zelfs de klassen van het eikenhaagbeukenbos of vogelkers-essenbos.

4 Fauna

4.1 Inleiding

De maatregelen in de Noord-Brabantse bossen zijn onder andere gericht op het aanplanten van rijk-strooiselsoorten en het realiseren van structuur en meer variatie. Voorgaande hoofdstukken laten zien wat voor een effect dergelijk maatregelen laten zien voor bodem en flora. Het blijkt echter minder eenvoudig om een inschatting te geven van hoe dit bos er in termen van biodiversiteit van fauna uit gaat zien. Enerzijds komt dat door het begrip biodiversiteit, want het gaat tenslotte niet om de totale hoeveelheid soorten maar om de soorten die kenmerkend zijn voor bossen en dan bij voorkeur de meest specialistische. Anderzijds komt dit omdat er in Europa niet veel onderzoek is gedaan naar de relaties tussen rijk-strooiselsoorten en fauna.

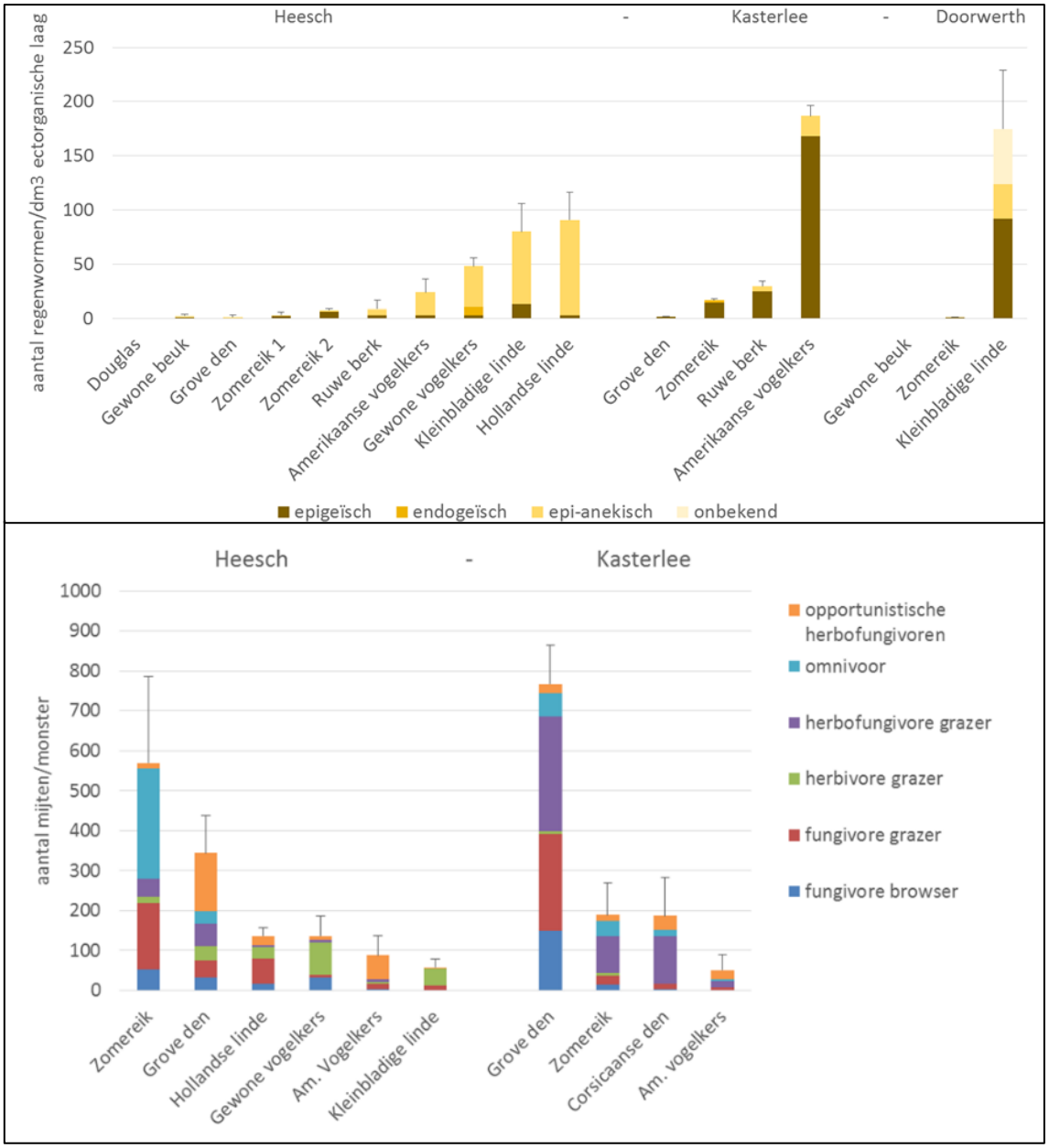
Voor wat betreft structuur en dood hout in bossen is echter veel meer bekend (Sandström et al., 2019). In dit hoofdstuk wordt een doorkijk gegeven naar de voor fauna belangrijkste factoren in bossen en de soorten en soortgroepen die zouden kunnen profiteren van de maatregelen, zonder daarbij de pretentie te hebben daarin volledig te kunnen zijn.

4.2 Belangrijkste factoren die een rol spelen bij biodiversiteit in bossen

Er zijn een aantal belangrijke factoren binnen bossen die het voorkomen van faunasoorten bepalen (Den Ouden et al., 2010).

Bodem

De bodem vormt letterlijk de basis van het bos. Het type bodem bepaalt voor een belangrijk deel welk bos er van nature tot ontwikkeling komt. Daarnaast heeft de bodem ook invloed op het wel of niet voorkomen van soorten. De beschikbaarheid van meer calcium is bijvoorbeeld van belang voor huisjesslakken en daarmee ook voor de soorten die hiervan afhankelijk zijn zoals verschillende soorten vogels en de slakkenloopkever (Sandström et al., 2019). Eerder onderzoek naar de effecten van rijk-strooiselsoorten in bossen op zandgrond dat is uitgevoerd in het kader van een gelieerd Leefgebieden-onderzoek in Noord-Brabant, heeft aangetoond dat er meer bodemfauna gevonden wordt in de minerale A horizont onder rijk-strooiselsoorten ten opzichte van arm-strooiselsoorten (figuur 51) terwijl er door de afname in het aandeel strooisel juist minder soorten zoals mijten in het strooisel worden gevonden (van den Berg et al., 2018). De verschillen in samenstelling van de bodemfaunagemeenschap onder verschillende boomsoorten geeft aan dat er duidelijke verschillen zijn in de wijze van afbraak van het organisch materiaal tussen rijk- en zuur-strooiselsoorten. Uit het onderzoek (Correlatief onderzoek-rijk strooiselsoorten in natuurgericht bosbeheer' C2186031/4003032) bleek duidelijk dat onder de rijk-strooiselsoorten een hogere biomassa aan bodemfauna, met name wormen aanwezig was. Deze soortgroep is van essentieel belang voor de afbraak van strooisel en wordt gezien als een sleutelgroep in de ontwikkeling van een rijkere bosbodem (Desie 2020).



Figuur 51. A) Aantal regenwormen per m3 in de ectorganische laag onder verschillende boomsoorten (boven) en B) aantal mijten in het strooisel onder verschillende boomsoorten (onder). Naar (van den Berg et al., 2018).

Op basis van de bodembiota kunnen de rijk-strooiselsoorten (met name Tilia en Prunus) worden onderscheiden van de zuur-strooiselsoorten (met name Pinus, Quercus en Fagus). Onder rijk-strooiselsoorten leven relatief veel oppervlakkig levende springstaarten, veel regenwormen en weinig mosmijten. Hier verloopt de decompositie van strooisel sneller.

Aanwezige bomen en struiken

De aanwezigheid van bepaalde plantensoorten zelf bepaalt voor een belangrijk deel het voorkomen van de bijbehorende fauna. Dit is vooral van belang voor die faunasoorten die een specifieke binding hebben met een bepaalde plant als voedsel. Dit kan zowel direct als indirect van belang zijn. Zo is vliegend hert afhankelijk van met witrot aangetaste eiken en komt de

zwartlijf *Bolitophagus reticulatas* uitsluitend voor in vermolmende tonderzwammen die weer bij voorkeur leven op aftakelende beuken (figuur 52).

Figuur 52. Bolitophagus reticulatus op een rottende tonderzwam (links) en een paartje vliegend hert op een "bloedende" eik (rechts)

Een meer directe relatie tussen de aanwezige flora in een bos hebben bijvoorbeeld vlinders waarvan de rupsen afhankelijk zijn van een specifieke waardplant. Zo leven de rupsen van de kleine ijsvogelvlinder uitsluitend op kamperfoelie, geen kamperfoelie betekent dan ook geen kleine ijsvogelvlinder.

Oppervlakte

De aanwezige oppervlakte van het bos speelt een belangrijke rol voor de fauna, vooral voor soorten die strikt aan bossen gebonden zijn. Het belang van oppervlakte verschilt enorm van soort tot soort. Zo zijn er verschillende soorten die zich lang kunnen handhaven op/in een enkele rottende boom omdat deze daar de gehele levenscyclus kunnen voltooien. Grotere dieren hebben vaak een grotere oppervlaktebehoefte. Voor de zwarte specht wordt bijvoorbeeld uitgegaan van een gevarieerd bos van 300-400 ha met zowel oude holle bomen om in te nestelen als aftakelend naaldhout om in te foerageren. De soort ontbreekt in bossen kleiner dan 100 ha (Nijssen et al., 2020)

Leeftijd van het bos

De leeftijd van het bos speelt vooral een rol bij soorten die slecht verspreiden (Desender 2009). Voor een aantal soorten speelt kolonisatie van "jonge" bossen een rol. Met het ouder worden van een bos neemt de structuur en gelaagdheid toe. Ook het aandeel oud hout neemt toe en belangrijk, de basis van de voedselpiramide wordt breder. In oudere bossen zijn het aantal niches hoger en daarmee de capaciteit voor een hogere biodiversiteit ook hoger.

Gelaagdheid en structuur

De aanwezigheid van een gelaagd en structuurrijk bos vormt een grote variatie aan niches binnen het bos. Een belangrijke factor voor veel fauna daarbij zijn de overgangen, zowel binnen het bos (open plekken), als langs de randen (bosranden). Vaak betreft het hier geen specifieke bossoorten maar wel soorten waarvan de aanwezigheid van het bos van belang is. Een voorbeeld hiervan is de in Nederland sterk bedreigde bosparelmoervlinder die als waardplant hengel heeft.

Hengel groeit als halfparasiet op bijvoorbeeld berk, bosbes en eik. En de soort is dan ook afhankelijk van een bosrijke omgeving met open plekken.

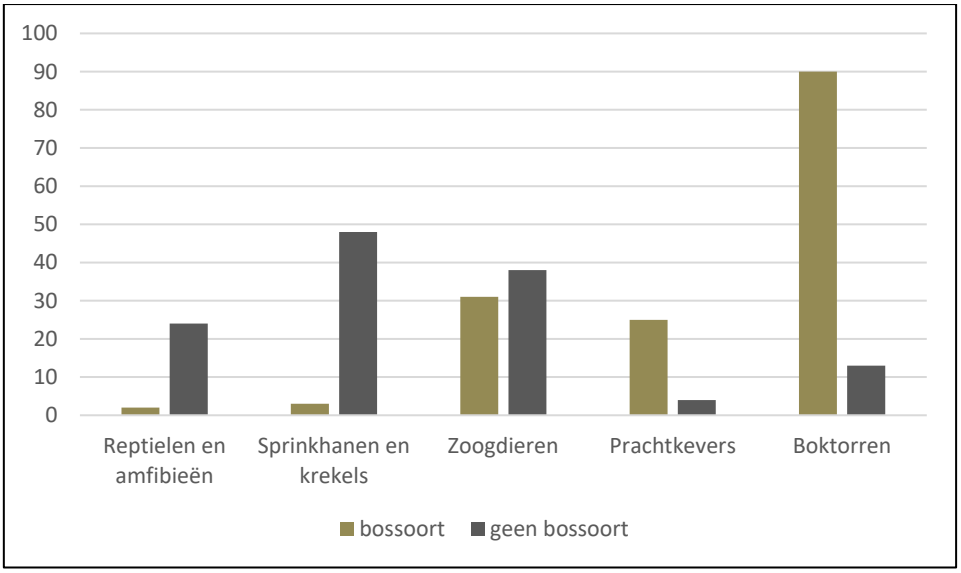
Hoeveelheid doodhout
De hoeveelheid dood hout vormt een van de belangrijkste aspecten voor een grote variatie van soorten in bossen (zie bijvoorbeeld bij de kevers). Een toenemende hoeveelheid dood hout is gerelateerd aan een extensiever beheer en zorgt voor een toenemend aantal doodhoutsoorten (Liira & Sepp 2009, Roth et al., 2019). Gran & Götmark (Gran & Götmark 2021) vonden weinig verschillen in soortendiversiteit van kevers tussen beheerde en meer natuurlijke sparrenbossen in Noorwegen, maar er kwamen in de meer natuurlijke bossen wel meer 'bijzondere' soorten voor. In 2019 is op Kroondomein Het Loo eenzelfde type onderzoek uitgevoerd in beuken-eikenbossen. Ook hier kwam naar voren dat er in de reservaatbossen niet meer soorten voorkwamen maar dat de waargenomen soorten wel zeldzamer waren (Nijssen et al., 2020). Dit wordt veroorzaakt doordat in de bosreservaten een veel grotere hoeveelheid dood hout en vooral een grotere variatie aanwezig is. In de reservaten zijn grote liggende en staande dode stammen aanwezig, zijn er dode takken van allerlei formaten, staan kwijnende bomen, en zijn er zonbeschenen en beschaduwde plekken.

Dichtheid grote grazers
Grote grazers vormen een sleutelrol binnen natuurlijke bossen. Ze zorgen voor structuur en variatie, of dit positief of negatief uitpakt is in zeer sterke mate afhankelijk van de dichtheid van grote grazers (Bruinderink et al., 2004). Ramirez en collega's (Ramirez et al., 2018) vonden een negatief effect van grote grazers op bosverjonging bij een reeën stand van meer dan ca. 10 per km^2. Factoren als structuur en het functioneren van het bos als ecosysteem werden negatief beïnvloed bij standen van respectievelijk 13 en 23 reeën per km^2.

4.3 Bossoorten en relatie met rijks-strooiselsoorten en structuurvariatie

Om tot een beeld te komen van de toekomstige biodiversiteit van de bossen na aanplant van rijk-strooiselsoorten en het herstel van structuur en variatie is een analyse gemaakt van een deel van de Nederlandse fauna en deze is toegedeeld aan een bepaald biotoop. Dit is uitsluitend gedaan voor de beter onderzochte groepen. De keuze om een soort in te delen als bossoort is enigszins arbitrair maar in principe is elke soort die binding heeft met het bos of een nadrukkelijk relatie heeft met in het bos voorkomende flora en fauna aangemerkt als bossoort. Daarnaast is gekeken of deze kan profiteren van het herstel van bossen op droge zandgronden.

Wat duidelijk naar voren komt is dat er tussen soortgroepen grote verschillen zijn. Zo zijn er soortgroepen waarbinnen nauwelijks bossoorten te definiëren zijn zoals sprinkhanen en bijen terwijl bij andere soortgroepen het aandeel bossoort juist heel hoog is. Figuur 53 laat van een aantal soortgroepen zien wat het aandeel bossoorten is. In onderstaande tekst wordt een aantal van de belangrijkste faunagroepen in bossen verder besproken. Aangezien de verscheidenheid aan faunagroepen groot is worden hier slechts enkele groepen besproken die in de toekomst ook een belangrijke rol kunnen spelen in de monitoring. Belangrijk uitgangspunt daarbij vormt de beschikbare ecologische kennis, de relatie met variatie en structuur binnen de bossen en de beschikbare monitoringtechnieken.



Figuur 53. Aandeel bos soorten en niet bossoorten van enkele fauna groepen.

Broedvogels

Er zijn relatief veel vogelsoorten die een binding hebben met bossen (ca 35%). Broedvogels zijn door Sierdsema (Sierdsema 1995) toegedeeld aan ecologische groepen. Belangrijke factoren voor broedvogels zijn bijvoorbeeld de boomsamenstelling. Soorten als zwarte mees en goudhaan komen vrijwel uitsluitend in naaldbossen voor. Ook zwarte specht is voor zijn voedselvoorziening voor een groot deel afhankelijk van aftakelend naaldbos (Nijssen et al., 2020). Soorten als middelste bonte specht, bonte vliegenvanger en appelvink komen daarentegen weer vrijwel uitsluitend voor in loofbossen. Voor holenbroeders is de aanwezigheid van voldoende aftakelende bomen met holtes van groot belang. Terwijl struweelsoorten juist weer profiteren van gelaagdheid binnen het bos met een goed ontwikkelde struiklaag. Bij een toename van rijk-strooiselsoorten mag worden aangenomen dat het aantal insecten en slakken zal toenemen wat positief is voor insectenetende vogelsoorten.

Kevers

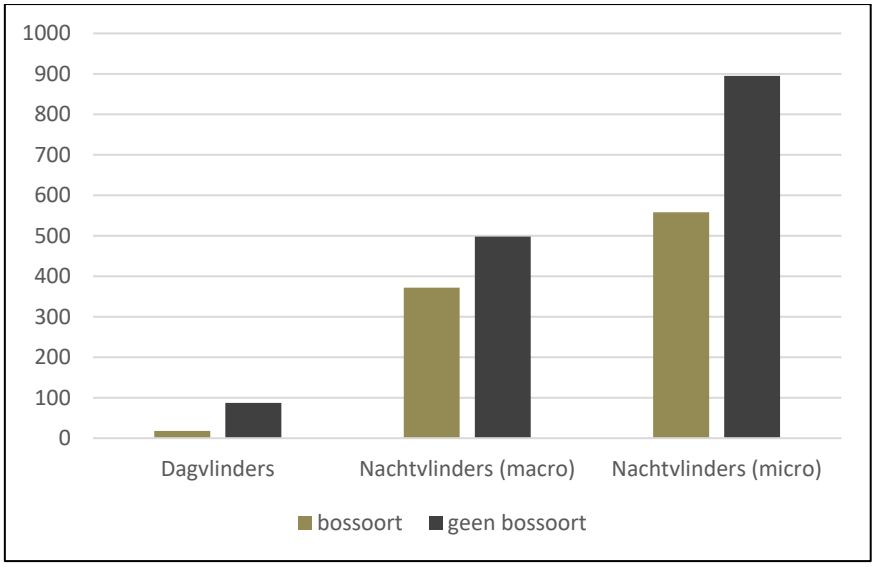
Kevers vormen, met ruim 4000 soorten, een bijzonder omvangrijke soortengroep in Nederland (Vorst et al., 2010). Ze bewonen allerlei terrestrische en aquatische leefgebieden. In bossen worden met name de strooisellaag, het bladerdek en dood hout als biotoop gebruikt. Doodhoutkevers (xylobionten) en hun larven vertonen een grote verscheidenheid aan levenswijzen en zijn binnen goed ontwikkelde bossen een belangrijk onderdeel van het ecosysteem. Er zijn soorten die leven onder schors, in vers dood hout, in ouder door schimmels aangetast hout, in vermolmd hout en in dode wortels, in boomholtes, in vloeiende sappen uit beschadigde bomen en in op dood hout groeiende boomzwammen (figuur 54). Er zijn houteters, schimmeleters, boomsapeters, soorten die hun zelf meegenomen en op hout gekweekte schimmels eten, en rovende kevers die leven van alle in dit ecosysteem voorkomende organismen. Een rijke samenstelling aan xylobionten wijst op de aanwezigheid van veel verschillende microbiotopen in het bos. Verschillende keversoorten van oude bossen zijn zeer zeldzaam of al lang verdwenen uit ons land. Een echte bossoort is bijvoorbeeld de grote poppenrover. Deze is al voor de tweede wereldoorlog uit ons land verdwenen en is ook in de ons omringende landen extreem zeldzaam of verdwenen (Turin 2000). Deze soort is afhankelijk van goed ontwikkelde, rijk gestructureerd bossen waarbij ze zicht voeden met rupsen (bij voorkeur

processierupsen). Eind jaren dertig van de vorige eeuw is deze soort succesvol geïntroduceerd in Noord-Amerika als biologische bestrijding (Burmeister 1939). Met de huidige klimaatverandering, structuurverbetering in bossen en de wens om op een natuurlijke manier de eikenprocessierups een halt toe te roepen maakt dat deze soort uitermate kansrijk is voor toekomstige herintroductie. Andere soorten die gezien kunnen worden als vlaggenschipsoorten van goed functionerende bossen zijn bijvoorbeeld; Lederloopkever, vliegend hert, klein vliegend hert, vermiljoenkever en juchtleerkever. De recente herontdekking van deze laatste soort in Zuid-Limburg (berichtgeving NatureToday) is bemoedigend.

Figuur 54. Larven van klein vliegend hert onder een rottende eikenstam (links) en de oogvlekboktor, een soort van iets vochtiger bossen met wilgen maar ook ratelpopulier.

Vlinders

Voor vlindersoorten vorm de aanwezigheid van geschikte waardplanten een belangrijke voorwaarde voor het voorkomen van soorten. In figuur 55 staat het belang van bossen voor de dagvlinders en nachtvlinders (macro en micro) weergegeven. Opvallend is dat het aandeel dagvlinders ten opzichte van de andere twee vlindergroepen in Nederland beperkt is en ook het aandeel bossoorten is bij dagvlinders beperkt.



Figuur 55. Aandeel bossoorten (aantallen) van dagvlinders en nachtvlinders in Nederland.

Vanwege de vaak directe binding van de vlinder met de waardplant is van deze groep vaak vrij goed te voorspellen of ze positief zullen reageren op de aanplant van rijk-strooiselsoorten. De linde gouduil en de esdoorntandvlinder hebben bijvoorbeeld, zoals de naam al doet vermoeden, linde en esdoorn als waardplant. Beide soorten worden veelvuldig aangeplant als rijk-strooiselsoort waarmee het aandeel van deze soorten in de Nederlandse bossen toeneemt wat positief zal zijn voor beide soorten. Bij het rijker worden van het bos is het te verwachten dat ook kruiden hiervan gaan profiteren. Dit zal een positieve uitwerking hebben op soorten die deze als waardplant hebben. Voorbeelden zijn keizersmantel (figuur 56) die viooltjes als waardplant kent, guldenroedekokermot (guldenroede) en lepelmot (bosaardbei).

Figuur 56. De keizersmantel heeft als waardplant viooltjes (vooral bosviooltje en maarts viooltje).

Vliegen

Er is een grote verscheidenheid aan vliegengroepen met verschillende levenswijzen. Sommige vliegengroepen zoals afvalvliegen zijn afhankelijk van rottend organisch materiaal en hebben relatief vaak binding met bos en bomen. Andere groepen zoals blaaskopvliegen zijn bloembezoekers en hebben weer veel minder een relatie met bossen. Van veel vliegengroepen is slechts beperkt ecologische informatie voorhanden. Uitzondering vormen de zweefvliegen, hiervan is veel ecologische kennis beschikbaar. Een aanzienlijk deel van de zweefvliegen heeft vooral in het larvale stadium een binding met bos en bomen. Reemer en collega's (Reemer et al., 2009) geven een ecologische indeling van zweefvlieglarven. Dat kan variëren van rottingsholtes, dood hout, sapstromen en van paddenstoelen.

Mieren

Mieren vormen vaak een belangrijk ecologische component van een natuurterrein. Door hun sociale leefwijze zijn ze een significant onderdeel van de 'biomassaliteit', ze verzorgen bioturbatie waardoor er mineralen omhoog worden gehaald en de bodem wordt belucht, en ze verspreiden zaden. Daarnaast vormen ze een belangrijke voedselbron voor verschillende soorten, waaronder zwarte en groen specht. Een belangrijk deel van de Nederlandse soorten heeft een

binding met bossen. Bekende voorbeelden zijn natuurlijk de grote koepels van bosmieren maar er zijn ook verschillende soorten die leven in dode stammen en onder boombast. Uit recent onderzoek op Kroondomein Het Loo is bekend dat mieren in het bos vrijwel uitsluitend gevonden werden in de reservaten omdat hier meer structuur, dood hout en open plekken aanwezig waren (Nijssen et al., 2020)

4.4 Conclusie Fauna

Willen we op termijn kunnen volgen welke soorten profiteren van de maatregelen die de komende jaren in onze bossen worden genomen is het van belang dat we aan de juiste soortgroepen meten. De hierboven besproken soortgroepen geven een goede doorsnee van verschillende soortgroepen die op een verschillende manier gebruik maken van bossen en die een basis zouden kunnen vormen voor toekomstige monitoring. Er wordt helaas weinig onderzoek gedaan in de weinige rijk-strooiselbossen op zand die Nederland rijk is of in de recent omgevormde bossen. Het algemene effect van structuurvariatie en dood hout is veel beter onderzocht en daarvan is bekend dat een toename van variatie van structuur en dood hout bijdraagt aan de biodiversiteit van voor bossen kenmerkende fauna.

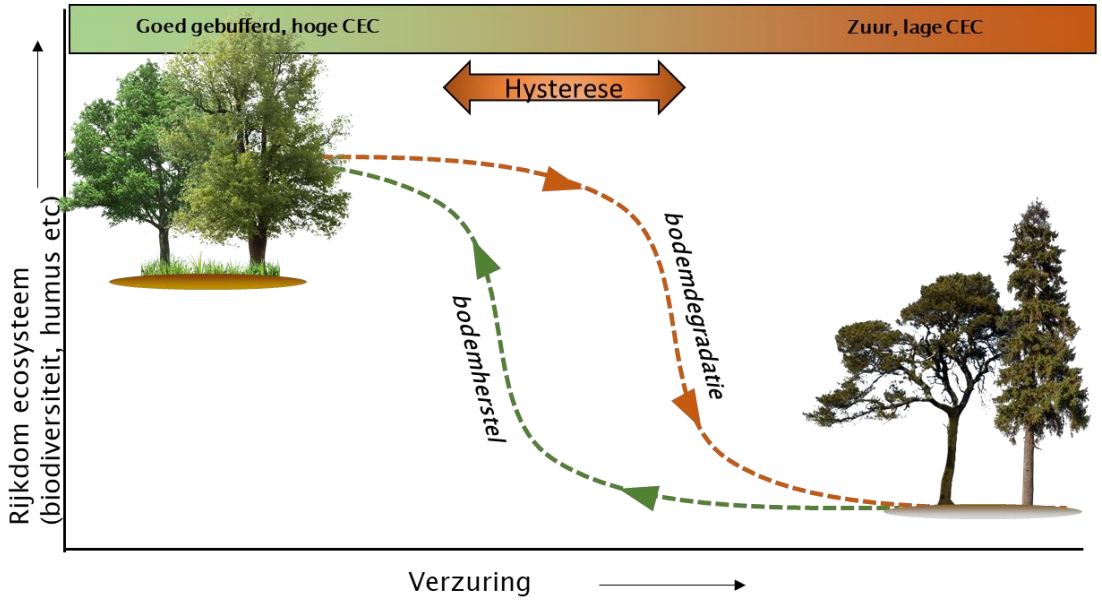
5 Ontwikkeling naar referentiebeelden

5.1 Ontwikkelrichting

De lindepercelen op de stuwwal bij Doorwerth zijn in 1948-1949 in open plekken in een oud eikenbos aangeplant. Deze aanplant van linde resulteert in een verrijking van de bodem (hogere buffering en basische kationen) en toont ons daarmee de ontwikkeling van de bodem *na* eikendominantie. Een vergelijkbaar effect zien we vermoedelijk in Beek en in Berg en Dal waar linden werden aangeplant in of aan de randen van een eiken-beukenbos. Mogelijk speelt zich deze verrijkende ontwikkeling ook af in Holt krat waar lindehakhout werd bevorderd in een verder overwegend eikenbos en in Colbitz waar linden werden aangeplant in een eiken-bosweide. In de overige bossen (New Forest, Bialowieza en Holt krat) zijn linden altijd onderdeel geweest van het bossysteem en spreken we niet van een ontwikkeling *na* aanplant of introductie van linde maar spreken we juist van een ontwikkeling van bosbodem na de introductie van de zure strooiselsoorten als grove den. We meten hier dus vooral een effect van verzuring door de opkomst van zuur strooiselsoorten als grove den of eik. De functie van nutriëntenpomp door linde is hier dan ook voornamelijk een functie van behoud van de basische kationen.

Het is voor de ontwikkelrichting van belang te beseffen dat de ontwikkelingsfasen van degradatie mogelijk niet via dezelfde ontwikkelfasen loopt als die van herstel. Analoog aan studies in aquatische ecosystemen (Scheffer et al., 2001) bestaan er gegronde reden om aan te nemen dat voor herstel van ecosystemen mogelijk een grotere inspanning nodig is. Dit is hypothetisch weergegeven in figuur 57. Door verzuring van de bodem verdwijnen basische kationen en neemt de biodiversiteit van het bos af (rode route). Bij deze verzuring spoelen basische kationen definitief weg uit het systeem. Ook verdwijnen soorten, bijvoorbeeld diepgravende wormen definitief uit het systeem. Wanneer deze ecosystemen herstelt moeten worden zullen basische kationen aangevoerd moeten worden maar blijft het systeem langdurig in een staat van lage biodiversiteit omdat processen anders verlopen in het relatief stabiele zure milieu en omdat belangrijke componenten van het ecosysteem nog ontbreken. Pas wanneer al deze componenten herstelt zijn kan het systeem opveren naar een hogere staat van biodiversiteit. De verschillen tussen enerzijds een verrijkende ontwikkeling (met de introductie van linde) en anderzijds de verzurende ontwikkeling (met de introductie van eik of grove den) zijn daardoor moeilijk te duiden omdat deze ontwikkelingen zeer waarschijnlijk langs andere ''paden'' lopen (Desie 2020).

In de Nederlandse bossen, in Denemarken en in Duitsland zien we mogelijk de ontwikkelings-richting (de route) van herstel en meten we dus de mate waarin de bodemprocessen reageren op de aanplant van rijk-strooiselsoorten zoals linde.



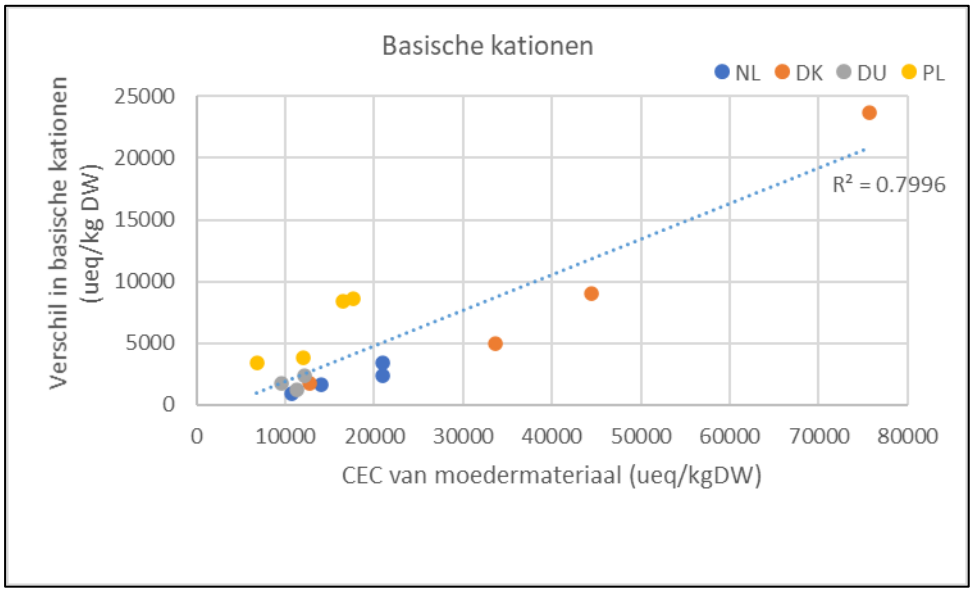
Figuur 57. Hypothetisch model van het bestaan van 2 alternatieve stabiele staten (een zuur en ongebufferd milieu met lage biodiversiteit en een goed gebufferd milieu met hoge biodiversiteit). Daartussen bestaat een fase van hysterese waarbij de route van degradatie een andere is dan de route van herstel.

5.2 Van oude referentiebeelden naar ontwikkelingsrichting

Eerder onderzoek in Nederland (Hommel et al., 2002) toonde aan dat op matig voedselrijke, verzuringsgevoelige bodem de kwaliteit van het strooisel bepalend kan zijn voor het ontstaan van een 'rijk' dan wel een 'arm' bostype, vergelijkbaar met hetgeen we hier in de buitenlandse bossen vinden. Het moge echter duidelijk zijn dat de bodems van de bossen in Polen (Bialowieza) en Holt Krat in Denemarken zeer rijk zijn in vergelijking met de Nederlandse bodems. Vergelijkbare bosbeelden met eenzelfde floristische rijkdom als in Bialowieza of eenzelfde biochemische rijkdom in de A horizont zijn niet haalbaar in Nederlandse zandbodems. De bodems van het Duitse Colbitz zijn wel enigzins vergelijkbaar met de Nederlandse situaties en ook de arme bodems van New Forest en Honning krat zijn bruikbaar voor een vergelijking met Nederlandse bodems. De bomen in deze bossen zijn oud (200 à 250 jaren) en dienen daarmee als referentie voor bosontwikkeling op de lange termijn.
Ondanks dat de rijkdom van de bodem zoals die in de bossen uit Polen en de rijke bossen uit Denemarken en New Forest niet kan voorkomen in Nederlandse zandbodems en ondanks dat de Duitse bossen en de arme bossen van New Forest of Denemarken zeer oude boslocaties betreft met oude bosopstanden kunnen we toch heel veel leren van de verschillen tussen eiken en linden. De uniformiteit van de ontwikkelrichting die we waarnemen toont ons de ontwikkeling die we mogen verwachten op lange termijn. Het vaststellen van deze termijn (in jaren) is lastig omdat de historie van de bossen niet bekend is en de uitgangssituaties van de bossen bij aanplant van linde zeker anders was dan die van de huidige Noord-Brabantse situatie. De vraag is daarbij of we de rijkdom van een oude bosbodem zoals we deze aantroffen in Honning krat of Colbitz terugkrijgen na aanplant van rijk-strooiselsoorten. Een Hongaarse studie naar verschuivingen in pollen in de bodem en rijkdom (basische kationen) toont ons dat een omslag van naaldbos naar rijk-loofbos mogelijk is op zandbodems in een relatief korte tijdspanne van ongeveer 100-200 jaar. De vorming van een rijke bruine bosbodem vanuit een zure podzol duurt echter heel lang en bleek in Hongarije ongeveer 1000 jaar te duren (Willis et al., 1997).

De bodems in Nederland zijn sterk gedegradeerd en daardoor missen zij een bulk aan mineralen die voor de levering van nutriënten als calcium en magnesium moeten zorgen. Bij ontwikkeling van eiken-linde bossen in Nederland zullen aanwezige leemlagen een enorme bijdrage leveren aan de rijkdom in de bovengrond. Metingen laten zien dat deze leemlagen even rijk zijn als de ondergronden/ leemlagen in de buitenlandse referenties. Echter de totale hoeveelheid kationen in de A en B horizonten in Duitsland en Denemarken is zeer hoog omdat de A en B horizont zo goed zijn ontwikkeld. In tegenstelling tot de Nederlandse bodems waar een A horizont vaak aanwezig is maar een B horizont vaak dun en onder een uitspoelingslaag E of Ae ligt. Door het gemis aan een bulk aan mineralen en kationen zullen veel verzuurde bodems niet de potentie hebben die ze ooit gekend hebben en zijn wellicht additionele herstelmaatregelen zoals steenmeel toedieningen nodig om tot volledig herstel en het doorbreken van de hysterese (figuur 57) te komen.

De gegevens uit ons onderzoek laten zien dat de ontwikkelrichting op relatief arme en rijke gronden vergelijkbaar is. We zien wel dat het effect van de linde groter is naarmate de bodem rijker is (figuur 58). Desie (2020) gaf al in een eerder onderzoek aan dat de effectgrootte van rijk-strooiselsoorten (strooiseldikte, basen, nutriënten) groter is naarmate zandbodems een hogere CEC hebben (dus meer klei of leem bevatten). Men kan dit interpreteren als dat rijk-strooiselsoorten beter functioneren als nutriëntenpomp wanneer er daadwerkelijk ook iets te pompen is of als er meer bindingsplaatsen zijn voor kationen in de bodem om ''opgeslagen'' te worden (figuur 2). Desie gaf ook aan dat bij zeer rijke bodems (klei) het effect van de rijk-strooiselsoorten minder is ten opzichte van arm-strooiselsoorten en dit komt omdat in een rijke kleibodem ook arm-strooiselsoorten nog kunnen fungeren als nutriëntenpomp. In onze data zien wij een vergelijkbaar effect voor de arme zandbodems en de zandbodems met een hogere CEC (figuur 58). In dit onderzoek zijn zandbodems geselecteerd en zijn er geen kleibodems geanalyseerd. We zien in de zandbodems dat het verschil tussen linde en eik (de grootte van het rijk-strooiseleffect) groter wordt naarmate het moedermateriaal van de bodem (gemeten in de C horizont) rijker is (figuur 58).



Figuur 58. Effectgrootte van de rijk-strooiselsoorten op de basische kationen (gemeten als het verschil in basische kationen tussen eiken plots en linde plots) uitgezet tegen de rijkdom (CEC) van het moedermateriaal.

Bij het uitvoeren van de maatregel aanplant rijk-strooiselsoorten mogen we op lange termijn verwachten dat:

- Er een menging optreedt van humus in de A horizont en dat de E horizont geleidelijk omgezet gaat worden in een B;
- Strooisel wordt afgebroken waardoor Moders ontstaan
- de buffering is gestegen in de A en onderliggende horizont;
- en pH van de bodem is gestegen;
- het aandeel basische kationen in de A horizont en onderliggende B horizont is gestegen;
- Het aantal soorten in grondflora significant is gestegen.

5.3 Jonge referentiebeelden

Voor de effecten van rijk-strooiselsoorten op de korte termijn zijn de beschrijvingen van de Nederlandse bossen, randen van bossen en houtwallen in de leeftijd van 70 tot 100 jaar bruikbaar. Hier zien we dat de ontwikkeling erg traag gaat en dit past in het beeld van een relatief stabiel zuur milieu met relatief stabiele ontwikkelingsfasen (hysterese, figuur 57). Omdat de aanplanten in de Nederlandse bezochte locaties zijn gedaan in overwegend eikenbossen zien we hier een ontwikkeling in richting van herstel van de verzuring. Dit herstel gaat langzaam, toch zien we belangrijke en significante verschillen in de bodemchemie en de humusontwikkeling in deze jonge bossen. Kennelijk zijn de eerste effecten van de input van rijk-strooisel terug te vinden in een verbeterde afbraak van strooisel en een verbeterde (maar diffuse en niet diepe) inmenging van humus in de bovenste lagen van de A horizont. Hierbij komt een betere buffering en een verhoogde pH. De bodems blijven echter zuur met een pH<4. Basenverzadiging lijkt wel flink toe te nemen en dit wordt gezien als een van de belangrijke pijlers van de bosbodemontwikkeling waardoor deze bodems beter bestand zijn tegen input van verzuring en tegelijkertijd een breder voedselweb kunnen ondersteunen.

De grondflora reageert uiterst traag op deze ontwikkelingen in de Nederlandse bossen. In de bosvakken zien we een karige ontwikkeling van de kruidlaag. Alleen de lindelocatie in Doorwerth toont een uitbundige ontwikkeling van bosanemoon en witte klaverzuring maar dit is zeer lokaal en het aangrenzende lindevak in Doorwerth heeft een geringere ontwikkeling van de grondflora. Naast een trage response op de milieucondities is de geringe ouderdom van de bossen hier ook bepalend in de ontwikkeling van de grondflora. Zeker oud-bosplanten hebben een zeer beperkte capaciteit van verspreiding en vestiging in bos (Keersmaeker et al., 2010, Baeten et al., 2011). Er is met de beperkte kolonisatiecapaciteit van soms niet meer dan 10cm/jaar veel tijd nodig willen planten nieuwe locaties koloniseren.

Op korte termijn mogen we na aanplant van linde en andere rijk-strooiselsoorten verwachten dat:

- Er een menging optreedt van humus in de A horizont;
- Strooisel wordt afgebroken waardoor Mormoders ontstaan
- de buffering is gestegen in de A;
- en pH van de bodem is gestegen in de A horizont;
- het aandeel basische kationen in de A horizont substantieel is toegenomen;

5.4 Andere soortgroepen: paddenstoelen

Verzuring en strooiselophoping hebben tot gevolg dat de mycorrhiza-vormende paddenstoelen in aandeel teruglopen en dat de soortensamenstelling van de mycoflora verandert (Weeda 2005). De diversiteit aan paddenstoelen (met name mycorrhiza-vormende paddenstoelen) in zure bossen in Nederland (met name de 'dennen-, eiken- en beukenbossen') kan in potentie zeer groot zijn. Ruim 350 paddenstoelsoorten hebben een voorkeur voor droge bossen op voedselarme zand- of leembodem (Ozinga et al., 2013). Deze rijkdom is echter vaak teruggedrongen tot kleine plekjes met weinig strooiselophoping zoals boswallen en schrale bospaden en circa 20% van de soorten is tegenwoordig vrijwel beperkt tot lanen en schrale bermen met bomen.

Oudere bossen op voedselarme bodem hebben als gevolg van ophoping van stikstofrijk strooisel in het algemeen een soortenarme mycorrhiza flora (Veerkamp 1999). Omvorming van zuur naald- en eikenbos met rijk-strooiselsoorten zal enig effect hebben op de strooisellaag en daarmee op het voorkomen van paddenstoelen. Het is aannemelijk dat aan naaldhout gebonden soorten zullen plaatsmaken voor loofhout-gebonden soorten. In welke mate dit zal plaatsvinden hangt geheel af van de schaal waarop maatregelen getroffen worden. Daarnaast is het nog vrijwel onbekend wat precies de relatie tussen strooiselaccumulatie, strooiselafbraak en voorkomen van paddenstoelen in deze bossen is en hoe deze relatie verschuift als de kwaliteit van het strooisel verandert.
Op langere termijn zal natuurlijk het bos ook ouder worden. Hierbij neemt het aandeel dood hout automatisch toe en zal de gelaagdheid en structuur sterk toenemen. Dit is in de oude referentiebossen zoals Colbitz of Bialowieza duidelijk te zien maar ook duidelijk is dat bij het ontbreken van een struiklaag, als gevolg van bijvoorbeeld overbegrazing, dit zeer lang kan duren (zie het gebrek aan gelaagdheid in de Deense lindebossen of op de stuwwal bij Doorwerth). Met het ouder worden van het bos zullen soortgroepen als paddenstoelen positief reageren (op Akkerhuis et al., 2005, op Akkerhuis et al., 2007). Deze positieve trend wordt vooral waargenomen als gevolg van een toename van het aandeel dood hout. Oude eiken kunnen een hoge rijkdom aan houtafbrekende paddenstoelen herbergen met soorten als bijvoorbeeld biefstukzwam en de zeldzamere eikenvuurzwam.

6 Verfijning van maatregelen

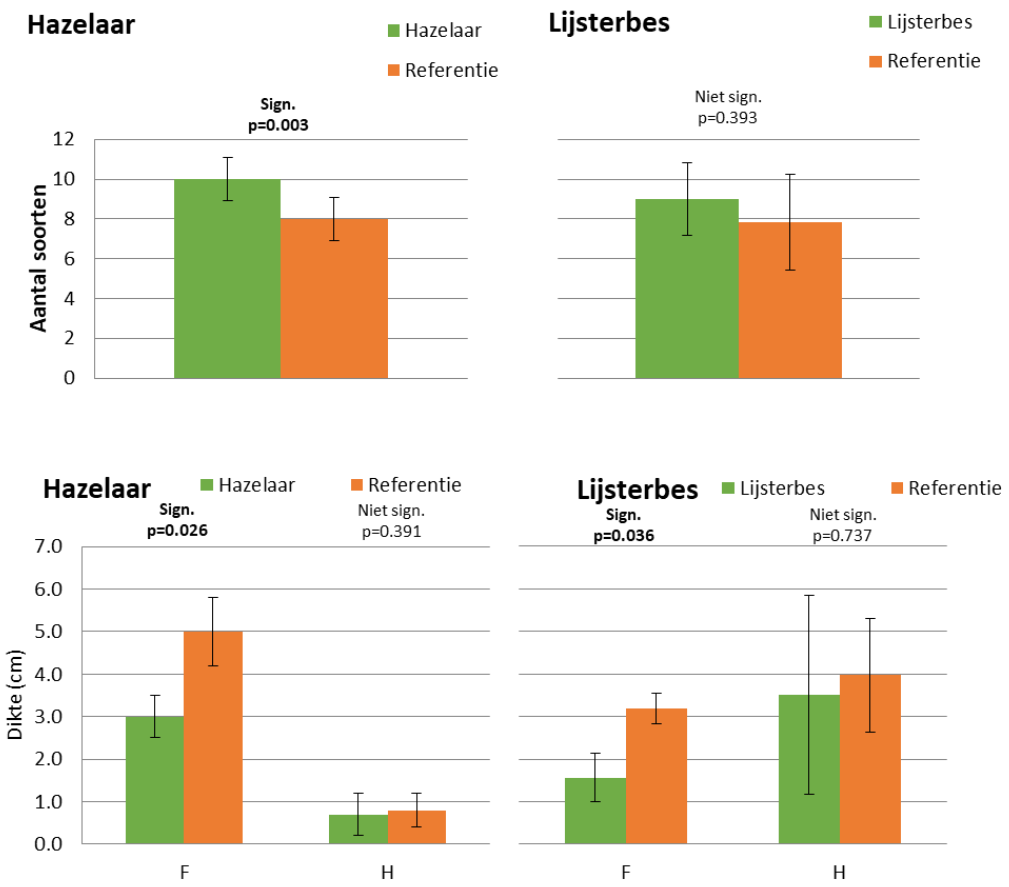
De maatregelen die in de Noord-Brabantse bossen op zandgronden worden genomen beogen de bos-biodiversiteit te herstellen en te versterken middels kortstondige ingrepen met duurzame doorwerking.
Het voorliggende onderzoek poogt inzichtelijk te maken wat de meerwaarde is van de maatregelen voor de biodiversiteit en welke (prioritaire) soorten ervan profiteren. De resultaten moeten bijdragen aan het scheppen van een referentiebeeld en daarmee een bewustwording van de potenties en de effecten op zandgrond. De resultaten moeten ook leiden tot een verfijning van de huidige maatregelen waar dit blijkt dat dit nodig is. In onderstaande paragrafen wordt een verfijning gegeven van enkele maatregelen op basis van de huidige kennis.

6.1 Intensiteit van aanplant afhankelijk van doel

Bosontwikkeling gaat langzaam, zo ook de overgang van arm-strooiselsoorten naar rijk-strooiselsoorten. Pas wanneer de rijk-strooiselsoorten een substantieel aandeel van het strooisel leveren krijgen zij een waarneembare invloed op de bodemontwikkeling (Landuyt et al., 2020). Meestal wordt deze situatie pas bereikt wanneer de rijk-strooiselsoorten onderdeel van het kronendak uit gaan maken. Deze rijk-strooiselinvloed kan plaatselijk versneld worden door groepen rijk-strooiselsoorten dicht op elkaar aan te planten en ter plekke, vooraf - bij aanplant van licht-behoevende soorten - dan wel achteraf - bij aanplant van schaduwtolerante soorten - de arm-strooiselsoorten uit het kronendak te verwijderen.
Het snel realiseren van de rijk-strooiselimpact kan soms op grotere schaal gewenst zijn. Vooral wanneer nog restpopulaties van oud-bosplanten - die veelal behoefte hebben aan een rijkere bovengrond en dunnere strooisellaag - voorkomen. Vlakdekkende aanplant van rijk-strooisel boom en struiksoorten is dan op zijn plaats waarbij geleidelijk het oorspronkelijke arm-strooiselbestand uitgedund wordt. Behoudt van een bosklimaat (dus vermijden van groepenkap) is voor behoud van oud-bosplanten vaak gewenst waardoor hier met schaduwtolerante rijk-strooiselsoorten gewerkt dient te worden.

6.2 Aandeel rijk-strooiselsoorten verhogen in de struiklaag

Aanplant van rijk-strooiselsoorten heeft een positief effect op de bodembuffering. Naast het aanplanten van rijk-strooiselboomsoorten kunnen ook struiksoorten als hazelaar en lijsterbes in overweging worden genomen. Een onderzoek naar de effecten van oude hazelaar en oude lijsterbes op het aantal plantensoorten en de dikte van de strooisellaag toont dat zowel hazelaar als lijsterbes leiden tot een significant lagere strooiselaccumulatie (F horizont) vergeleken met een eikenreferentie en dat hazelaar ook leidt tot een hoger aantal plantensoorten op de bosbodem (figuur 59). In dit onderzoek werden hazelaar en lijsterbessen onderzocht die zeer groot waren en daarmee een flink aandeel in de totale strooiselinput hadden.



Figuur 59. Effecten van de aanwezigheid van hazelaar (n=8) en lijsterbes (n=6) in eiken-dennen bossen (eiken en dennen zijn dan de referentie waarmee is vergeleken) op het aantal plantensoorten en de dikte van de strooisellaag en H horizont. Data van W. Bosch (Bosch 2000).

Dit onderzoek bevestigt de bevindingen van Desie et al (2020) dat substantiële verbetering in de basenbeschikbaarheid voor de vegetatie mogelijk is wanneer het aandeel rijk strooisel ten opzichte van de totale strooiselproductie groot is. Wanneer de ontwikkeling van rijkere bosbodems in zandgronden gewenst is dient gestreefd te worden naar een dominantie van boom- en struiksoorten met rijk strooisel, zoals linde, berk, esdoorn, iep. ratelpopulier en hazelaar. Hazelaar en lijsterbes zijn makkelijke struiken welke goed bijgemengd kunnen worden in aanplantstrategieën en waarmee zowel gelaagdheid als bodemverbetering worden bewerkstelligd.

6.3 Op arme zandgronden steenmeel overwegen

Rijk-strooiselsoorten versnellen de kringloop aan nutriënten zodat er bij een gelijke hoeveelheid nutriënten in de bodem per tijdseenheid toch meer nutriënten beschikbaar zijn - ze circuleren sneller. Uit bovenstaand onderzoek en eerder onderzoek in Noord-Brabant blijkt echter ook dat dit effect kleiner is naarmate de zandbodem armer is; er zijn dan minder nutriënten op te nemen door de vegetatie. Op veel zandbodems is het verschil tussen het gehalte aan verweerbaare mineralen in de bovengrond ten opzichte van het moedermateriaal groot. Dit is het gevolg van voormalig grondgebruik en verzurende depositie. Het toevoegen van steenmeel kan op deze

zandgronden noodzakelijk zijn om het aandeel verweerbare mineralen weer op sterkte te brengen zodat ook hier bodemherstel door rijk-strooiselsoorten mogelijk is.

6.4 Herintroductie oud-bosplanten overwegen

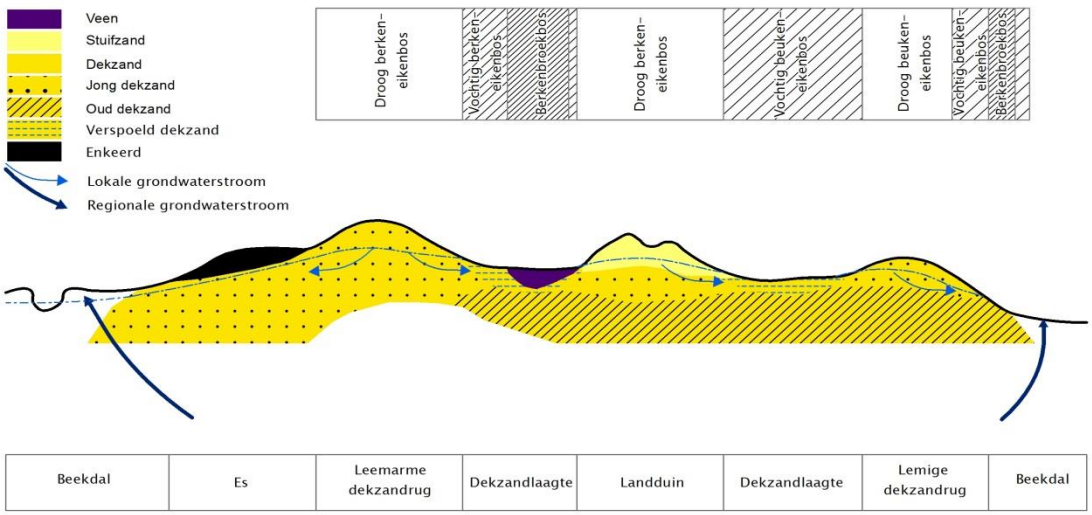
Vele bosplanten in de kruidlaag zijn op zandgronden sterk afhankelijk van de strooiselkwaliteit. Toch worden deze ook onder rijk strooisel boomsoorten vaak niet waargenomen. Meestal is de reden hiervoor dat er geen bronpopulatie meer aanwezig zijn in de jonge heidebebossingen. Herintroductie van deze soorten kan in situaties waarbij de bodem reeds voldoende hersteld is, de biodiversiteit van het bos een snelle impuls geven. Zeker in geïsoleerd liggende bossen is de kans op spontane vestiging van oud-bosplanten zeer klein en nagenoeg nihil (Baeten et al., 2011).

7 Kennislacunes

In dit onderzoek (Fase 1) zijn enkele kennislacunes geïdentificeerd welke in het vervolgonderzoek (Fase 2) worden uitgewerkt.

- Bovenstaande onderzoek richt zich op de bossen op zandgronden. De bossen op leembodems zijn hier niet onderzocht. Deze bossen op leemgronden zijn onderwerp van studie in Fase 2. Referentiebossen zijn hiervoor al geselcteerd en enkele zijn inmiddels ook al bezocht (locaties zijn Sammeroth, Maesseler lindenwald, Hassbruch in Duitsland en IJzerenbosch en enkele leembossen in Nederland).

- In de bossen op zandgronden komen ook vochtige tot natte delen voor (niet per se op leem of klei). Een derde van de bossen op zandgronden liggen op voorheen natte tot vochtige groeiplaatsen. Hier biedt vernatting een uitgelezen mogelijkheid om buffering



Figuur 60: Voorbeeld hoe de waterhuishouding verschillen in standplaatscondities bevorderd. uit van der Burg et al. (2016).

van de bodem te herstellen (zie ook figuur 60). De mate waarin dit mogelijk is is echter nog onbekend en moet geanalyseerd worden in enkele referentielocaties.
Deze referentielocaties zijn niet beschreven in Fase 1 (locaties in Kroondomein het Loo, Laurabossen, Groote heide). De hydrologie en beschrijving van deze bossen wordt verder uitgewerkt in fase 2.

- De historische bossen op zandgronden van Noord-Brabant waren ooit vele malen rijker in soortensamenstelling en ook in bodemchemie. De samenstelling van de bossen op zandgronden is in fase 1 niet onderzocht maar zal in fase 2 worden beschreven aan de hand van pollenanalyse, koolstofdatering en bodemchemie.

Literatuur en websites

Baeten, L., A. De Schrijver & L. De Keersmaeker, 2011. Bosplanten in de tang genomen: landschap en bodem als knelpunten voor de ontwikkeling van soortenrijke jonge bossen. Bosrevue(37): 2-5.

Bergsma, H., J. Vogels, M.J. Weijters, B. R., A. Jansen & L. Krul, 2016. Tandrot in de bodem. Bodem 1: 27-29.

Bosch, W., 2000. Zijn hazelaar, lijsterbes en vuilboom rijk-strooiselsoorten? Onderzoek naar het effect van deze soorten op de vegetatie en bosbodem van bossen op zandgrondAlmere: 46.

Bruinderink, G.G., R. Bijlsma, J. den Ouden, C. van den Berg, A. Griffioen, I. Jorritsma, R. Kluiver, K. Kramer, A. Kuiters & D. Lammertsma, 2004. De relatie tussen bosontwikkeling op de Zuidoost Veluwe en de aantallen edelherten, damherten, reeën, wilde zwijnen, runderen en paarden. 1566-7197. Alterra-Centrum Ecosystemen.

Burmeister, F., 1939. Biologie, Okologie und Verbreitung der europaischen Kafer, Adephaga-Caraboidea. Krefeld.

Den Ouden, J., B. Muys, G. Mohren & K. Verheyen, 2010. Bosecologie en bosbeheer.

Desender, K., 2009. Miskende getuigen: Loopkevers in het Meerdaalwoud. Miradal Erfgoed in Heverleebos en Meerdalwoud. H. Baeté, M. de Bie, M. HermyenP. van den Bremt. Leuven, Davidfonds225-241.

Desie, E., 2020. Litter effects on structures and functions of the belowground forest ecosystemLeuven, KU Leuven: 281.

Desie, E., K. Vancampenhout, B. Nyssen, L. van den Berg, M. Weijters, G.-J. van Duinen, J. den Ouden, K. van Meerbeek & B. Muys, 2019. Litter quality and the law of the most limiting: Opportunities for restoring nutrient cycles in acidified forest soils. Science of The Total Environment: 134383.

Desie, E., K. Vancampenhout, L. van den Berg, B. Nyssen, M. Weijters, J. den Ouden & B. Muys, 2020. Litter share and clay content determine soil restoration effects of rich litter tree species in forests on acidified sandy soils. Forest Ecology and Management 474: 118377.

Faliński, J.B., 1986. Vegetation dynamics in temperate forests (Ecological studies in Białowieża Forest), University of Warsaw: 263.

Faliński, J.B., 1988. Succession, regeneration and fluctuation in the Białowieża Forest (NE Poland). Temporal and Spatial Patterns of Vegetation Dynamics, Springer115-128.

Gran, O. & F. Götmark, 2021. Saproxylic beetles in pre-commercially thinned Norway spruce stands and woodland key habitats: How do conservation values differ? Forest Ecology and Management 479: 118584.

Hobbs, R.J., E.S. Higgs & C. Hall, 2013. Novel ecosystems: intervening in the new ecological world order. West Sussex, John Wiley & Sons.

Hommel, P. & R. de Waal, 2004. Bodem, humus en vegetatie onder verschillende loofboomsoorten op de stuwwal bij Doorwerth. Alterra. Wageningen.

Hommel, P., R. de Waal & T. Spek, 2003. Oude lindenbossen op Jutland: referentiebeelden voor bosontwikkeling in Nederland? Nederlands bosbouwtijdschrift (nl).

Hommel, P., R.W. de Waal, B. Muys, J. Ouden & T. Spek, 2007. Terug naar het lindewoud. Strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer KNNV Uitgeverij, Zeist.

Hommel, P., T. Spek, R. de Waal, P. de Hullu & J. den Ouden, 2001. Terug naar het lindenwoud? alternatieve boomsoortkeuze verhoogt ecologische en recreatieve waarde van bossen op verzuringsgevoelige gronden. Nederlands Bosbouwtijdschrift 73(6): 12-23.

Hommel, P.W.F.M. & R.W. de Waal, 2004. Bodem, humus en vegetatie onder verschillende loofboomsoorten op de stuwwal bij Doorwerth. Alterra. Wageningen.

Jonson, J.E., J. Bartnicki, K. Olendrzynski, H.A. Jakobsen & E. Berge, 1998. EMEP Eulerian model for atmospheric transport and deposition of nitrogen species over Europe. Environmental-Pollution 1998;@102 Suppl.@1: 289-298.

Keersmaeker, L.d., J. Cornelis & L. Baeten, 2010. Oudbosplanten in Vlaanderen. Bosrevue 34: 17-21.

Kristiansen, S.M. & K. Dalsgaard, 2000. Soil evolution in the remnants of natural forest vegetation: An example from an old oak-lime coppice wood in Denmark. Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography 100(1): 27-36.

Landuyt, D., E. Ampoorter, C.C. Bastias, R. Benavides, S. Müller, M. Scherer-Lorenzen, F. Valladares, S. Wasof & K. Verheyen, 2020. Importance of overstorey attributes for understorey litter production and nutrient cycling in European forests. Forest Ecosystems 7(1): 1-11.

Liira, J. & T. Sepp, 2009. Indicators of structural and habitat natural quality in boreo-nemoral forests along the management gradient. Annales Botanici Fennici, BioOne.

Newton, A.C., E. Cantarello, D. Appiah, L. Perrella, A. Newton, A. Lovegrove & I. Rotherham, 2013. The influence of grazing animals on tree regeneration and woodland dynamics in the New Forest, England. Trees, Forested Landscapes and Grazing Animals—A European Perspective on Woodlands and Grazed Treescapes Routledge Oxford: 163-179.

Nijssen, M., J. Bouwman, M. Weijters, R. Bobbink, J. Noordijk, B. de Wit, H. Sierdsema, C. E.O. & T. Heijerman, 2020. Biodiversiteit en duurzaamheid van oude bosreservaten. Rapport Stichting Bargerveen, B-WARE, EIS-Neerland, Kroondomein het Loo en Sovon Vogelonderzoek Nederland. Nijmegen.

Nijssen, M., A. van den Burg, A. van Kleunen & W. van Manen, 2020. Leefgebied van de zwarte specht. Stichting Bargerveen, Sovon Vogelonderzoek Nederland en Stichting BioSFeer. Nijmegen/Otterlo.

Nyssen, B.J.M. & L.J.L. Van den Berg, 2017. Bosontwikkeling op droge zandgronden. Natuurgebieden in Noord-Brabant. J. Straaten, E. J. Van Haaften, W. Van KruijsbergenenJ. Hemndriks.

op Akkerhuis, G.J., L. Moraal, M. Veerkamp, R. Bijlsma, O. Vorst & K. van Dort, 2007. De rol van doodhoutspots voor de biodiversiteit van het bos: veldonderzoek naar de rol van doodhoutspots bij de vestiging van zeldzame insecten, paddenstoelen en mossen. Alterra.

op Akkerhuis, G.J., S. Wijdeven, L. Moraal, M. Veerkamp & R. Bijlsma, 2005. Dood hout en biodiversiteit; een literatuurstudie naar het voorkomen van dood hout in de Nederlandse bossen en het belang ervan voor de duurzame instandhouding van geleedpotigen, paddenstoelen en mossen. Alterra.

Ozinga, W., E. Arnolds, P. Keizer & T.W. Kuyper, 2013. Paddenstoelen in het natuurbeheer: OBN preadvies paddenstoelen. Bosschap.

Ponge, J.-F., 2012. L'Humus Index: un outil pour le diagnostic écologique des sols forestiers.

Ponge, J.-F., 2013. Plant-soil feedbacks mediated by humus forms: a review. Soil Biology and Biochemistry 57: 1048-1060.

Ramirez, J.I., P.A. Jansen & L. Poorter, 2018. Effects of wild ungulates on the regeneration, structure and functioning of temperate forests: A semi-quantitative review. Forest Ecology and Management 424: 406-419.

Reemer, M., W. Renema, W. van Steenis, T. Zeegers, A. Barendregt, J.T. Smit, M.P. van Veen, J. van Steenis & L.J.J.M. van de Leij, 2009. De Nederlandse zweefvliegen (Diptera: Syrphidae).-Nederlandse Fauna 8. Leiden, Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis/EIS-Nederland/KNNV.

Reich, P.B., J. Oleksyn, J. Modrzynski, P. Mrozinski, S.E. Hobbie, D.M. Eissenstat, J. Chorover, O.A. Chadwick, C.M. Hale & M.G. Tjoelker, 2005. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. Ecology letters 8(8): 811-818.

Roth, N., I. Doerfler, C. Bässler, M. Blaschke, H. Bussler, M.M. Gossner, A. Heideroth, S. Thorn, W.W. Weisser & J. Müller, 2019. Decadal effects of landscape-wide enrichment of dead wood on saproxylic organisms in beech forests of different historic management intensity. Diversity and Distributions 25(3): 430-441.

Sandström, J., C. Bernes, K. Junninen, A. Lõhmus, E. Macdonald, J. Müller & B.G. Jonsson, 2019. Impacts of dead wood manipulation on the biodiversity of temperate and boreal forests. A systematic review. Journal of Applied Ecology 56(7): 1770-1781.

Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke & B. Walker, 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. Nature 413(6856): 591-596.

Sierdsema, H., 1995. Broedvogels en beheer. Het gebruik van broedvogelgegevens in het beheer van bos- en natuurterreinen. SBB/SOVON. Driebergen/Beek-Ubbergen.

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, Rijksuniveristeit Groningen.

Tubbs, C.R., 2001. The New Forest. History, Ecology & Conservation. Lyndhurst, New Forest Ninth Centenary Trust.

Turin, H., 2000. De Nederlandse loopkevers, verspreiding en oecologie (Coleoptera; Carabidae). - Nederlandse Fauna 3. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitegverij & EIS-Nederland.

van den Berg, L., B. Nyssen, E. Desie, G.-J. van Duinen, E. Al, M. Weijters, E. Verbaarschot, R. Bobbink & A. van den Burg, 2018. Correlatief onderzoek Rijk-strooiselsoorten in Natuurgericht Bosbeheer-Fase 1. Bosgroep Zuid Nederland. Heeze. 62

van den Berg, L., B. Nyssen, E. Desie, G. van Duinen, E. Al, M. Weijters, E. Verbaarschot, R. Bobbink & A. van den Burg, 2018. Correlatief onderzoek rijk-strooiselsoorten in natuurgericht bosbeheer-Fase 1. Bosgroep Zuid Nederland. Heeze. 62

Van den Burg, A., A. Dees, R. Bijlsma & R. de Waal, 2014. Voedselkwaliteit en biodiversiteit in bossen van de hoge zandgronden. Bosschap, bedrijfschap voor bos en natuur.

Veerkamp, M.T., 1999. De paddestoelenflora van het Berken-Zomereiken-en Wintereiken-Beukenbos. De Levende Natuur 100(5): 173-178.

Vorst, O., K. Alders, R. Beenen, J. Cuppen, B. Drost, H. Edzes, R. Felix, T. Heijerman, H. Huijbregts, J. Muilwijk, J. de oude, C. van de Sande, D. Teunissen, S. Tiemersma & J. Winkelman, 2010. Catalogus van de Nederlandse kevers (Coleoptera). Monografieën van de Nederlandse Entomologische Vereniging. NEV, Amsterdam(11): 1-319.

Weeda, E.J., J.H.J. Schaminée & L. van Duuren 2005. Atlas van plantengemeenschappen in Nederland. Deel 4: Bossen, struwelen en ruigten. Utrecht, KNNV Uitgeverij.

Willis, K.J., M. Braun, P. Sümegi & A. Tóth, 1997. Does soil change cause vegetation change or vice versa? A temporal perspective from Hungary. Ecology 78(3): 740-750.

Zanella, A., B. Jabiol, J.-F. Ponge, G. Sartori, R. De Waal, B. Van Delft, U. Graefe, N. Cools, K. Katzensteiner & H. Hager, 2011. European humus forms reference base.

Zanella, A., B. Jabiol, J.-F. Ponge, G. Sartori, R. De Waal, B. Van Delft, U. Graefe, N. Cools, K. Katzensteiner & H. Hager, 2011. A European morpho-functional classification of humus forms. Geoderma 164(3): 138-145.

Bijlage 1 **Onderzoeksgebieden**

Overzicht van de onderzoeksgebieden: Nederland, Duitsland, Denemarken, Polen en Engeland

Bijlage 2 **Bodem en Humusbeschrijvingen**

Engeland

New Forest

Matley Wood								
4) 30U 0603702/5636264								
Bodemtype: Holtpodzolgrond in zwaklemig zand en zandige leem								
Code		Diepte	µM	leem-/lutumgehalte	pH	µM	Kleurkaart	Chroma
Ah		0-9	180	10-17,5%	4.5	180	10YR	3/2
Bw		9-45	180	10-17,5%	4.0	180	10YR	6/6
Cg		45-80	180	50-85%	4.0	180	10YR	7/6
Beworteling tot 60 cm diepte								
Matley Wood								
5) 30U 0603644/5636221								
Bodemtype: Holtpodzolgrond in leemarm en zwaklemig zand								
Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma	
Ah	0-8		180	0-10	4.5	10YR	3/2	
Bw	8-40		180	0-10	4.0	10YR	5/4	
BwCg	40-65		180	10-17,5	4.0	10YR		
Cg	65-90		180	0-10		10YR	7/6	
Cgr	90-120		180	10-17,5	4.0	10YR		
6) 30U 0603525/5636231								
Bodemtype: Holtpodzolgrond in leemarm en zwaklemig zand								
Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma	
Ah	0-9	Steenhoudend	180	0-10	4,5-5	10YR	3/1	
Bw1	9-70	Steenhoudend	180	0-10	4.5	10YR	4/4	
Bw2	70-90	Steenhoudend	180	0-10		10YR	4/4	
BwCg	90-120		180	10-17,5	4,0-4,5	10YR	6/6	

Denny Inclosure								
9) 30U 0602671/5635248								
Holtpodzolgrond in zwaklemig en leemarm zand								
Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma	
Ah	0-5		180	10-17,5	4	10YR	3/2	
Bw	5-75		180	0-10	4,0 (T)/4,5 (B)	10YR	5/4	
Cy	75-120		250	0-10	5,0 (B)	10YR	7/4	
10) 30U 0602736/5635276								
Holtpodzolgrond in zwaklemig zand								
Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma	
Ah	0-5		180	0-10	4.0	10YR	3/2	
Bw	5-45		180	0-10	4.0	10YR	5/4	
Cy	45-80		180	0-10	4.5	10YR	7/4	
Cg	80-120		180	0-10	4.5			
11) 30U 0602876/5635238								
Holtpodzolgrond in transitie naar haarpodzolgrond (secundaire bodemvorming) zwaklemig zand								
Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma	
AE	0-5		180	0-10	4.0	7,5YR	4/1	
BwBh	5-35		180	0-10	4.0	7,5YR	5/6	
Bw	35-60		180	0-10	4.0	7,5YR	5/4	
BC	60-80		180	0-10		10YR	5/4	
Cy	80-120		180	0-10	4,5 (B)	10YR	7/4	
12) 30U 0603244/5635331								
Holtpodzolgrond in transitie naar veldpodzolgrond (secundaire bodemvorming) zwaklemig zand								

Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma	
Ah	0-4		180	0-10	4.0	7,5YR	2,5/2	
AE	4-8		180	0-10	3.5	7,5YR	5/2	
Bw	8-45		180	0-10	3.5	7,5YR	5/4	
BC	45-70		180	0-10	4,5-5,0 (60 cm)	7,5YR	6/4	
Ce	70-110		180	0-10	4,5 (100 cm)	7,5YR	6/1	
Cg	110-120		180	0-10		7,5YR	6/4	

POLEN **Stikt reservaat Bialowieza**								
1) 34U 0692999/8549744				Vak256 C				
Vegetatietype: Pino-Quercetum								
Bodemtype: Gebleekte Holtpodzol								
Humustype: Humi-mor								
Code	Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma
1	Fzo	6-0		180	0-10		10YR	
1	Hh	5-0		180	0-10			
1	AE	0-5	leemarm dekzand	180	0-10	3.0		3/1
1	E	5-7	leemarm dekzand	180	0-10	4.0		5/1
1	Bw	7-30	leemarm dekzand	180	0-10	4.7		4/6
1	BwBC	30-40	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		
1	Cu	40-60	leemarm dekzand	180	0-10			5/2
1	Cg	60-100	leemarm dekzand	180	0-10			6/6
2	Cer	100-110	zeer sterk lemig dekzand (verspoeld, met wortelresten)	180	32,5-50	4.7		
2	Cgr	110-180	zeer sterk lemig dekzand (verspoeld)	180	32,5-50			
3	Cgr	180-200	fluvioperiglaciaal zand	250-355	10-17,5	4.7		
Stikt reservaat Bialowieza								
2) 34U 0693051/5849737				Vak256 C				
Vegetatietype: Pino-Quercetum								
Bodemtype: Holtpodzol								
Humustype: Hemi-moder								
Code	Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma
1	Ln	4-3		180	0-10		10YR	
1	Fz	1-0		180	0-10			
1	Ah	0-2	leemarm	180	0-10	4.0		2/1

			dekzand					
1	AE	2-3	leemarm dekzand	180	0-10			4/3
1	Bw	3-20	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		4/4
1	BwBC	20-130	leemarm dekzand	180	0-10	5.0		6/8
2	Cg	130-160	zeer sterk lemig dekzand (verspoeld)	180-250	32,5-50	5.0		5/5
2	Cgr	160-220	zeer sterk lemig dekzand (verspoeld)	180-250	32,5-50	4.5		7/1
7) 34U 0691994/5849537				Vak255 C				
Vegetatietype: Melitico-Carpinetum								
Bodemtype: Holtpodzol								
Humustype: Hemi-moder								
Code		Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma
	Ln	4-0					10YR	
	Fz	1-0				4.5		
1	Ah	0-3	leemarm dekzand	180	0-10	4.0		4/3
1	Bw	3-45	leemarm dekzand	180	0-10	4,5 (2x)		5/4
1	Cy	45-110	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		6/3
1	Cg	110-140	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		6/6
1	Cgr	140-180	leemarm dekzand	180	0-10			
1	Cr	180-220	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		7/1
8) 34U 0692006/5849590				Vak255 C				
Vegetatietype: Tilio-Carpinetum (subass. Stachytosum)								
Bodemtype: Gebleekte Holtpodzolgrond								
Humustype: Oligo-Mull								
Code	Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma
	Ln	4-1					10YR	
	Fz	1-0				5.0		

1	AEh	0-8	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		3/1
1	Bw	8-50	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		4/1
1	Cy	50-110	leemarm dekzand met wortelresten	180	0-10	4.5		5/4
1	Ce	110-170	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		7/1
1	Cr	170-250	leemarm dekzand	180	0-10	5.0		7/1
9) 34U 0692021/5850544				Vak255 A				
Vegetatietype: Tilio-Carpinetum								
Bodemtype: Holtpodzol								
Humustype: Oligo-Mull								
Code	Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma
	Ln	1-0.5					10YR	
	Fz	0.5-0				3.5		
1	Ah	0-10	leemarm dekzand	180	0-10	3.5		2/1
1	Bw	10-50	leemarm dekzand	180	0-10	4.0		4/3
1	BC1	50-90	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		6/3
1	BC2	90-100	zwak lemig dekzand (leembanden)	180	17,5-32,5	4.5		7/4
1	Cg1	100-140	leemarm dekzand met zwakke gley	180	0-10	4.5		7/2
1	Cg2	140-160	leemarm dekzand met sterke gley	180	0-10			
1	Cgr	160-250	zwaklemig dekzand	180	10-17,5			
1	Cer	250-290	zwaklemig dekzand	180	10-17,5			
1	Cr	290-300	zwaklemig dekzand	180	10-17,5	4.5		
11) 34U 0692089/5850461				Vak255 A				
Vegetatietype: Pino-Quercetum								
Bodemtype: Holtpodzolgrond in transitie naar Haarpodzolgrond								
Humustype: Mor								

Code	Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma
1	Ln	4-2,5					7,5YR	
1	Fa	2.5-1						2,5/1
1	Hh	1-0				3.5		3/2
1	AE	0-3	leemarm dekzand	180	0-10	3.5		4/3
1	BhsBw	3-20	leemarm dekzand	180	0-10	3.5		4/4
1	Bw	20-50	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		6/4
1	BC	50-60	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		7/1
1	Cu	60-85	leemarm dekzand	180	0-10	4,5-5		
1	Cg	85-120	zwaklemig dekzand	180	10-17,5	4.0		
1	Cgr	120-140	zwaklemig dekzand	180	10-17,5			
1	Cg	140-165	leemarm dekzand	250	0-10	4.5		6/6
1	Cer	165-190	leemarm dekzand	180	0-10			
1	Cr	190-200	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		
12) 34U 0692089/5850461				Vak255A				
Vegetatietype: Pino-Quercetum								
Bodemtype: Holtpodzolgrond in transitie naar Haarpodzolgrond								
Humustype: Hemi-Mor								
Code	Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma
1	Ln	6-3					10YR	
1	Fa	3-0						
1	Ah	0-8				3.5		2/2
1	Bhs	0-3	leemarm dekzand	180	0-10	4.0		4/3
1	Bw	3-20	leemarm dekzand	180	0-10	3.5		4/6
1	BwBCy	20-50	leemarm dekzand	180	0-10	4.0		5/6
1	Cg1	50-60	leemarm dekzand, fossiele gley	180	0-10	5.0		7/2
1	Cer	60-85	leemarm dekzand	180	0-10			7/1
1	Cg2	85-120	leemarm dekzand, actieve gley	180	0-10	4.5		7/1

1	Cr	120-140	leemarm dekzand, fijnzandige bijmenging	180	0-10	4.5		
NB door zwijnenactiviteit is de bodem plaatselijk gemengd en daardoor een EU-moder aanwezig.								
14) 34U 0692257/5849968				Vak255 C				
Vegetatietype: Tilio-Carpinetum, typicum								
Bodemtype: Gebleekte holtpodzolgrond								
Humustype: Hemi-Moder								
Code	Code	Diepte	beschrijving	µM	leem-/lutumgehalte	pH	Kleurkaart	Value/Chroma
1	Ln	4-3					10YR	
1	Fz	1-0				4.5		
1	AE	0-8				4.0		3/1
1	Bw	8-35	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		4/3
1	BCy	35-75	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		5/6
1	Cy	75-165	leemarm dekzand	180	0-10	4.5		7/4
1	Cg1	165-180	leemarm dekzand	180	0-10			
1	Cg2	180-230	zwak lemig dekzand (leemband)	180	17,5-32,5	4.5		
1	Cg3	230-250	leemarm dekzand	180	0-10			

Duitsland

Colbitz							
1	Linde						
	Humus	cm	omschrijving			Bodem	cm
	L	0.5	niet dekkend	type 1	type 2	A	0–10
	F	0.5	niet dekkend	mesomull	dysmull	B	10–70
	Ah					C1	70–240
						C2	240–
2	Eik						
	Humus	cm	omschrijving			Bodem	cm
	Lv	1	niet dekkend	type 1	type 2	A	0–15
	F	0,5–1,5	niet dekkend	dysmoder		B	15–80
	H	2–3cm	continue	relatief harde scheiding tussen H en Ah maar veel zand gemengd in H		C1	80–
3	Grove den						
	Humus	cm	omschrijving			Bodem	cm
	Lv	2–3cm		type 1	type 2	A	0–10
	F	2–4cm		Eumoder		B	10–40
	H	<1cm				C1	40–70
						C2	70–
4	Linde						
	Humus	cm	omschrijving			Bodem	cm
	L	1cm		type 1	type 2	A	0–7
	F	0,5–1		Hemimoder		B	7–35
	H	0,5cm				C1	35–60
						C2	60–190
						C3	190–
5	Eik						
	Humus	cm	omschrijving			Bodem	cm

	Lv	1-2cm		type 1	type 2	A	0-7
	F	2cm		Eumoder tot Dysmoder		B	7-25
	Oh	0,5-3				C1	25-60
						C2	60-
6	Grove den						
	Humus	cm	omschrijving			Bodem	cm
	Lv	1-2cm	continue	type 1	type 2	A	0-15
	F	2-3cm	continue	Hemimor		B	15-30
	H	3-5cm	continue, met zandkorrels			C1	30-75
						C2a	75-210
						C2b	210-
7	Grove den						
	Humus	cm	omschrijving			Bodem	cm
	Lv	2cm	continue	type 1	type 2	A	0-10
	F	3cm	continue	Hemimor		B	10-40
	H	4cm	continue met weinig zandkorrels			C1	40-75
						C2	75-
8	Eik		in oud lindebos met oude lindes				
	Humus	cm	omschrijving			Bodem	cm
	L	3cm	continue	type 1	type 2	A	0-5
	F	1cm	continue	Hemimor		B	5-35
	H	2cm	continue, met zandkorrels			C1	35-65
						C2	65-150
						C3	150-
9	Linde		in oud lindebos met oude lindes				
	Humus	cm	omschrijving			Bodem	cm
	L	3cm	continue	type 1	type 2	A	0-10
	F	0,5cm	continue	Eumoder		B	10-30
	H	0,5cm	continue, met veel zandkorrels			C1	30-55
						C2	55-140
						C3	140-160
						C3b	160-210

						C4	210-

Denemarken

Honning Krat

Linde 1 (vak 5E)

	Humus 1			Humus 2			Humus 3		
OL	0.5	1	continu	1	2	continu	1	2	continu
OF	0.5	0.5	continu	0.5	0.5	continu	0	0.5	discontin u
OF2									
OH									
Trans	<3mm			<3mm			<3mm		
Type	OLIGOMULL			OLIGOMULL			MESOMULL		
Comments									

Eik 1 (vak 5E)

	Humus 1			Humus 2			Humus 3		
OL	2	3	continu	2	3	continu	2	3	continu
OF	0.5	1	continu	0.5	1	continu	1	2	continu
OF2							0	0.5	continu
OH	0.5	1	continu	1	2	continu	0	0.5	discontin u
Trans	0.5			1			0.5		
Type	DYSMODER			DYSMODER			HEMIMODER		
Comments									

Linde 1 (vak 101)

	Humus 1			Humus 2			Humus 3		
OL	3	3	continu	3	5	continu	3	5	continu
OF	0.5	1	continu	0.5	1	continu	1	1.5	continu
OF2				0.5	1	continu	0.5	1.5	continu
OH				0	0.5	discontin u	0.5	1	continu
Trans	<3mm			2			1		
Type	OLIGOMULL			HEMIMODER			DYSMODER		
Comments									

Amper Linde in strooisellaag, voornamelijk eik. Hoogste concentratie linde (humus 1) zorgt voor mull. Meest vlakdekkend echter moder.

Eik 1 (vak 101)

Tussen 5 dikke eiken. Ten NO van Linde plot, ten ZW van kers.

	Humus 1			Humus 2			Humus 3		
OL	4	6	continu	3	5	continu	3	5	continu
OF	0.5	1	continu	0.5	0.5	continu	0.5	1	continu
OF2	0.5	1	continu	0.5	0.5	continu	0.5	1	continu
OH	0	0.5	discontin u	0	0.5	discontin u	0	0.5	discontin u
Trans	0.5			0.5			0.5		
Type	HEMIMODER			HEMIMODER			HEMIMODER		
Comments									

Holt krat

Linde 1

	Humus 1			Humus 2			Humus 3		
OL	0	1	discontin u	0	0.5	discontin u	0	0.5	discontin u
OF	0	0.5	discontin u	0	0.5	discontin u	0	0.5	discontin u
OH									
Trans	<3mm			<3mm			<3mm		
Type	MESOMULL			EUMULL			EUMULL		
Comments	A. Calignosa, L. rubellus gevonden								

Eik 1

	Humus 1			Humus 2			Humus 3		
OL	1	2	continu	1	2	continu	1	2	continu
OF	0.5	1	continu	0.5	0.5	continu	1	1	continu
OH	0	2	discontin u				0.5	2	continu
Trans	1			<3mm			1		
Type	HEMIMODER			MESOMULL			EUMODER		
Comments									

Linde 2

	Humus 1			Humus 2			Humus 3		
OL	0.5	2	continu	0	1	discontin u	0.5	1	continu
OF	0.5	1	discontin u	0	0.5	discontin u	0.5	0.5	discontin u
OH									
Trans	<3mm			<3mm			<3mm		
Type	MESOMULL			MESO->EUMULL			MESOMULL		
Comments									

Eik 2

Net langs andere kant weg

	Humus 1			Humus 2			Humus 3		
OL	1	1	continu	1	1	continu	0.5	1	continu
OF	0.5	0.5	discontin u	0.5	1	discontin u	0.5	1	discontin u
OH									
Trans	<3mm			<3mm			<3mm		
Type	MESOMULL			MESOMULL			MESOMULL		
Comments									

Nederland				
Doorwerth				
Zomereik	*cm*	*omschrijving*		
TotO	14.8	Hemimor	zand en lemig zand	podzolizatie
OL	3			
OF	4			
OH	7.8			
Linde	*cm*	*omschrijving*		
TotO	5.7	Eumoder	zand en lemig zand	bruine bosbodem
OL	1.7			
OF	0.5			
OH	3			
Beek				
Zomereik	*cm*	*omschrijving*		
TotO	19	Humimor	zand en lemig zand	oud bos met podzol
OL	6.8			
OF	4.3			
OH	7.7			
Linde	*cm*	*omschrijving*		
TotO	1.7	Oligomull	zand en lemig zand	bruine bosbodem, naast een grasland
OL	1.3			
OF	0.3			
OH	0			
Berg en Dal				
Linde	cm	omschrijving		gemiddelde van 3 monsters
L	0,5 - 1			
F	0,5			
H	afwezig			
A	0-10	donker		grofzand met lossfractie
BW	10-55 cm		pH 4	zandig/grofzand met een fijne fractie. Ook enkele kiezels
C	> 55		pH4	zeer grindig grof zand

				plot onder 12 dikke lindes, strooisel is van esdoorn, eik, beuk maar zeer weinig en onderbroken.
				F is vlakdekkend aanwezig (dus dysmull) maar erg dun.
eik	cm	omschrijving		
L	3			gemiddelde van 3 monsters
F	3			
H	afwezig			
A	0-27	donker		grofzand met lossfractie
BW	27-75			grofzand met een fijne fractie maar veel kiezels
C	>75			zeer lemig materiaal maar ook enkele kiezel
	Moder type EUMODER			plot onder eik en beuk, dik strooiselpakket en geen of nauwelijks een Oh
Heesch				
linde	*cm*	*omschrijving*		
TotO	4.2	Dysmull	zand	bos 40 j
OL	3.7			
OF	0.5			
OH	0			
Eik	*cm*	*omschrijving*		
TotO	5	Dysmoder	zand	podzol, bos 40j
OL	2.7			
OF	1.5			
OH	1			

Bergummer Es				
linde	*cm*	*omschrijving*		
TotO	1.5	Oligomull	zand	Houtwal langs oude Es
OL	1			
OF	0.5			
OH	0			
1 Aap1	0-60	Zwarte plaggenlaag		
1 Aap2	60-200	Bruine plaggenlaag	ijzerconcreties	
1Apb3	200-220	Fossiele akkerlaag met mangaan		
1Ce	220-	Moedermateriaal		
Eik	*cm*	*omschrijving*		
TotO	6	Dysmoder	zand	Houtwal langs oude Es
OL	3			

OF	3			
OH	0-1			
1 Aap1	0-60	Zwarte plaggenlaag		
1 Aap2	60-170	Bruine plaggenlaag		
1Apb	170-180	met mangaan		
1Ce	180-	Moedermateriaal		

Bijlage 3 Methoden bodemchemie

Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid

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

Bodemdestructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bepaalde elementen/nutriënten in het bodemmateriaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen gedroogde bodem afgewogen in teflon destructievaatjes. Aan het bodemmateriaal werd 4 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3^-, 65%) en 1 ml waterstofperoxide (H_2O_2, 30%) toegevoegd en geplaatst in een destructiemagnetron (Milestone microwave type MLS1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestrueerd in gesloten teflon vaatjes en na afkoelen werden het destruaat nauwkeurig overgebracht en aangevuld tot 100 ml met milli-Q water. De monsters werden in polyethyleenpotjes bij 4°C bewaard voor verdere analyse.

Zoutextractie

Bij een natriumchloride(zout)-extractie worden aan het bodemadsorptiecomplex gebonden ionen verdrongen door natrium en chloride. Met deze extractie kan onder andere de pH, ammonium- en nitraatbeschikbaarheid van de bodem bepaald worden. Daarnaast kan op basis van de aluminium/calcium-ratio een goede inschatting gemaakt worden van de buffercapaciteit van de bodem. Voor een zoutextractie werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml 0,2 mol l^{-1} natriumchloride (NaCl) toegevoegd. Gedurende 120 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 r.p.m.) waarna de pH werd gemeten. Het supernantant werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon poriewater-bemonsteraars en bewaard bij 4°C tot verdere analyse.

Bijlage 4 Vegetatieopnamen

New Forest

Opnamenummer		42	1	2	3	4	5	6
Opp. proefvlak (m²)		100	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Bedekking totaal (%)		85	80	95	100	95	80	100
Bedekking boomlaag (%)		80	75	65	40	25	15	80
Bedekking struiklaag (%)		0	20	5	0	0	0	10
Bedekking kruidlaag (%)		85	25	85	100	90	80	95
Bedekking moslaag (%)		15	10	5	15	15	20	40
Object		NF4	NF5	NF6	NF9	NF10	NF11	NF12
Associa_01		42AA02C	43AB01F	43AB01F	42AA02E	42AA02E	42AA02E	42AA02B
Objectnaam		New Forest	New Forest	New Forest	New Forest	New Forest	New Forest	New Forest
Ph_mea_b		4.43	4.43	4.80	4.29	3.44	3.80	3.00
N_mea_b		4.38	4.88	4.36	3.70	4.30	4.40	3.43
Aantal soorten		10	11	15	13	15	9	12
Boomlaag								
Betula pendula	Ruwe berk					r		4
Fagus sylvatica	Beuk				2a	r		
Quercus robur	Zomereik	2b	2a	3	3	2b	2a	
Tilia cordata	Winterlinde	4	4	4				
Struiklaag								
Crataegus monogyna	Eenstijlige meidoorn			r				
Ilex aquifolium	Hulst		1					2a
Kruidlaag								
Acer pseudoplatanus	Gewone esdoorn							r
Agrostis canina	Moerasstruisgras	3	1	1				
Anemone nemorosa	Bosanemoon				1			
Carex spec.	Zegge (G)						r	r
Crataegus monogyna	Eenstijlige meidoorn				r			
Daucus carota	Peen	1			r			
Digitalis purpurea	Gewoon vingerhoedskruid					r	r	
Festuca spec.	Zwenkgras (G)						r	
Ficaria verna s.l.	Speenkruid	1	+	2a				
Hedera helix	Klimop		1	1		1	1	1
Holcus lanatus	Gestreepte witbol			2a	2a	2a		
Hyacinthoides non-scripta s.l.	Wilde hyacint	1	1	1	2b	2b	2a	
Ilex aquifolium	Hulst					r	r	1
Juncus effusus	Pitrus					r		r
Lonicera periclymenum	Wilde kamperfoelie					1		
Lysimachia nemorum	Boswederik			1				
Molinia caerulea	Pijpenstrootje				1			r
Oxalis acetosella	Witte klaverzuring	1	2a	2a	1	1		
Pteridium aquilinum	Adelaarsvaren	2b		2b	2a	4	2b	3
Rubus subgen. Rubus	Braam			1		1		+
Rumex acetosa	Veldzuring		r					
Sorbus aucuparia	Wilde lijsterbes							r
Teucrium scorodonia	Valse salie				+	r		
Viola riviniana	Bleeksporig bosviooltje	1	1	+				
Moslaag								
Dicranum scoparium	Gewoon gaffeltandmos	1		+				
Hypnum jutlandicum	Heideklauwtjesmos							1
Polytrichum commune	Gewoon haarmos		2a	2a	1	2b	2a	2a
Thuidium tamariscinum	Gewoon thujamos				1			

Bialowieza

Opnamenummer		24	25	26	27	28	29	30	31
Opp. proefvlak (m²)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Bedekking totaal (%)		90	50	70	85	85	100	75	100
Bedekking boomlaag (%)		50	40	40	50	50	35	50	95
Bedekking struiklaag (%)		25	25	30	15	15	20	25	15
Bedekking kruidlaag (%)		85	15	50	75	20	95	60	45
Bedekking moslaag (%)		80	5	5	15	5	10	10	0
Object		BI1	BI2	BI7	BI8	BI9	BI11	BI12	BI14
Associa_01		42AA02A	43AA05	42AA02C	43AB01F	43AA05	42AA02C	42AA02C	43AB01F
Objectnaam		Bialowieza	Bialowieza	Bialowieza	Bialowieza	Bialowieza	Bialowieza	Bialowieza	Bialowieza
Ph_mea_b		3.80	5.58	5.42	6.13	5.71	4.00	4.22	5.45
N_mea_b		4.10	5.88	4.92	6.00	5.71	4.50	4.17	5.53
Aantal soorten		17	24	22	28	26	20	18	22
Boomlaag									
Acer platanoides	Noorse esdoorn					2a			
Acer pseudoplatanus	Gewone esdoorn					1			
Carpinus betulus	Haagbeuk			3	3	2b	2a	3	3
Picea abies	Fijnspar	2a	+	+	+	+	+	2b	2a
Pinus sylvestris	Grove den	2a	2a	2b		2a	2b	3	
Quercus robur	Zomereik		+	2a	2a	2b	2a		
Tilia cordata	Winterlinde				3	2a			3
Struiklaag									
Betula pendula	Ruwe berk	r					2a		
Carpinus betulus	Haagbeuk		r	+	+		2m	2b	2a
Corylus avellana	Hazelaar	2a	2b	2b	+	2a	2a	2a	+
Picea abies	Fijnspar							2m	
Quercus robur	Zomereik	+							
Rubus spec.	Braam (G)	1							
Tilia cordata	Winterlinde		2a		2b				
Kruidlaag									
Acer platanoides	Noorse esdoorn	r	r	r	1		r		r
Actaea spicata	Christoffelkruid		r						
Ajuga reptans	Kruipend zenegroen								1
Allium ursinum	Daslook		r			1			
Anemone nemorosa	Bosanemoon		1	2a	2a	2a			2b
Athyrium filix-femina	Wijfjesvaren		r					+	
Carex digitata	Vingerzegge							+	r
Carex spec.	Zegge (G)							r	
Circaea lutetiana	Groot heksenkruid				+				
Convallaria majalis	Lelietje-van-dalen			+	+	1	1	+	r
Corylus avellana	Hazelaar				+				
Dactylorhiza spec.	Handekenskruid (G)								r
Daphne mezereum	Rood peperboompje			r					
Deschampsia flexuosa	Bochtige smele	r							
Dryopteris carthusiana	Smalle stekelvaren	2a	r	1		r	+	2a	+
Dryopteris dilatata	Brede stekelvaren						r		
Euonymus europaeus	Wilde kardinaalsmuts				r				
Fraxinus excelsior	Gewone es				r	r			
Galeopsis speciosa	Dauwnetel	+	r			+			r
Galium odoratum	Lievevrouwebedstro		r		2a	1			
Geranium robertianum	Robertskruid		+		r				
Geum urbanum	Geel nagelkruid				r				
Hepaticae (indet.)	Levermossen (ongedet.)		r	+	1	r			+
Impatiens noli-tangere	Groot springzaad				1	r			
Lamiastrum galeobdolon s. montanum	Grote gele dovenetel		+	+	+	r			+
Lapsana communis	Akkerkool				+				
Luzula pilosa	Ruige veldbies						1	r	
Maianthemum bifolium	Dalkruid	1	+	1	1	2a	2a	1	1
Malus sylvestris	Wilde appel	r							
Milium effusum	Bosgierstgras	r				+		1	+
Moehringia trinervia	Drienerfmuur		r	r		+			1
Mycelis muralis	Muursla		r		1				r
Oxalis acetosella	Witte klaverzuring	1	+	1	2m	1	1	2m	1
Paris quadrifolia	Eenbes		1		1	1			1
Polygonatum multiflorum	Gewone salomonszegel		1	+	+	1			
Pteridium aquilinum	Adelaarsvaren	2b		+			4		
Pulmonaria obscura	Ongevlekt longkruid			r					
Quercus robur	Zomereik							+	
Rubus idaeus	Framboos				r		+	r	
Rubus saxatilis	Steenbraam			r				+	
Sorbus aucuparia	Wilde lijsterbes						+		
Stachys sylvatica	Bosandoorn				r				
Stellaria holostea	Grote muur		1	1	3	2a			1
Stellaria nemorum	Bosmuur				1				
Tilia cordata	Winterlinde			r			+		
Trientalis europaea	Zevenster	1					+	+	
Urtica dioica	Grote brandnetel			+	+		1		r
Vaccinium myrtillus	Blauwe bosbes	3					2b	1	
Viola reichenbachiana x riviniana	Donker- x Bleeksporig bosviooltje					+			

Colbitz

Opnamenummer		15	16	17	18	19	20	21	22	23
Opp. proefvlak (m²)		900.00	450.00	100.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00
Bedekking totaal (%)		90	80	95	95	90	100	100	95	100
Bedekking boomlaag (%)		70	70	80	90	85	90	80	85	95
Bedekking struiklaag (%)		20	20	30	40	2	50	60	20	1
Bedekking kruidlaag (%)		60	10	1	30	20	30	10	30	20
Bedekking moslaag (%)		1	1	1	1	10	40	40	1	1
Object		CL1	CL2	CL3	CL4	CL5	CL6	CL7	CL8	CL9
Associa_01		43AB01F	43AB01F	42AA02C	43AB01F	42AA02C	42AA02C	42AA02C	43AB01F	43AB01F
Objectnaam		Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz
Ph_mea_b		4.19	5.31	3.90	5.27	3.70	3.13	3.41	4.08	5.05
N_mea_b		5.03	5.61	4.85	5.86	4.31	4.29	3.96	4.78	5.06
Aantal soorten		45	29	21	28	33	34	33	33	39
Boomlaag										
Carpinus betulus	Haagbeuk				2a		r	r	r	r
Pinus sylvestris	Grove den			4			3	4		
Prunus serotina	Amerikaanse vogelkers	2a	r							
Quercus petraea	Wintereik		3			4	2b	2b		
Quercus robur	Zomereik	2a	2b	3		3	3	r	4	
Salix caprea	Boswilg									
Tilia cordata	Winterlinde	4	r		5	r	r		2a	5
Struiklaag										
Betula pendula	Ruwe berk							r		
Carpinus betulus	Haagbeuk				3	+	3	4	2a	+
Prunus serotina	Amerikaanse vogelkers	2a	2a					r		
Quercus petraea	Wintereik		+					+		
Quercus robur	Zomereik	r						r		
Rubus spec.	Braam (G)							+		
Tilia cordata	Winterlinde	4	2a	3	r	r	r	r	2a	
Kruidlaag										
Agrostis capillaris	Gewoon struisgras							r		
Agrostis stolonifera	Fioringras					1		1	1	
Alliaria petiolata	Look-zonder-look	r	1							
Anemone nemorosa	Bosanemoon	3	4	2a	5	2m	2m	2m	3	3
Anthoxanthum odoratum	Gewoon reukgras	+				r				
Brachypodium sylvaticum	Boskortsteel	+	r		+	r				+
Calamagrostis epigejos	Duinriet			+	r	1	+	1	2m	
Cardamine flexuosa	Bosveldkers	+								
Cardamine impatiens	Springzaadveldkers									2m
Carex pilulifera	Pilzegge	+		r		1	1	r		
Carex sylvatica	Boszegge					r				
Carpinus betulus	Haagbeuk		+	r	1	2m	2b	1	2b	2a
Cirsium spec.	Vederdistel (G)								r	
Cirsium vulgare	Speerdistel		r							
Convallaria majalis	Lelietje-van-dalen		1					1	+	
Dactylis glomerata	Kropaar		+	r	+				+	1
Dactylis polygama	IJle kropaar	1								1
Deschampsia cespitosa	Ruwe smele	r								r
Deschampsia flexuosa	Bochtige smele	+	r	+		2a	1	1	+	+
Digitalis purpurea	Gewoon vingerhoedskruid									
Dryopteris carthusiana	Smalle stekelvaren	1		r		r	r	1	r	r
Dryopteris dilatata	Brede stekelvaren				r					
Fallopia convolvulus	Zwaluwtong	2m	+		r	r	r		+	+
Festuca gigantea	Reuzenzwenkgras	r	r							r
Festuca rubra	Rood zwenkgras	+	r							r
Gagea spathacea	Schedegeelster									1
Galeopsis tetrahit	Gewone hennepnetel	+	+		+					
Galium aparine	Kleefkruid									r
Geranium robertianum	Robertskruid	2m		r	+					
Hedera helix	Klimop	1	r	r	r					
Hieracium murorum s.l. (excl. glaucinur	Muurhavikskruid								r	
Hieracium spec.	Havikskruid (G)	+	r				+		r	
Holcus lanatus	Gestreepte witbol						2a	1		
Hypericum perforatum	Sint-Janskruid									r
Juncus effusus	Pitrus	r				r	r			
Lapsana communis	Akkerkool	+								
Larix decidua	Europese lork									r
Lathyrus spec.	Lathyrus (G)	r								
Luzula luzuloides	Witte veldbies					r				
Luzula pilosa	Ruige veldbies	+	r		r		+		+	r
Maianthemum bifolium	Dalkruid	1			2m			+	1	1
Melampyrum pratense	Hengel					1	+			
Melica nutans	Knikkend parelgras								1	r
Moehringia trinervia	Drienerfmuur	1	2m	+	2m	+	1	1	2a	2m
Mycelis muralis	Muursla	1	2m		1	1	+	+	1	2m
Oxalis acetosella	Witte klaverzuring	3	2m	r	2b					
Picea abies	Fijnspar						r	r		
Pinus sylvestris	Grove den						r	r		
Poa nemoralis	Schaduwgras					+				r
Poa trivialis	Ruw beemdgras	r			+	+	r			
Prunus serotina	Amerikaanse vogelkers	+	1	+	r	+	+	1	1	r
Prunus spec.	Prunus (G)		r		r					
Quercus petraea	Wintereik		r			2m	+	1		r
Quercus robur	Zomereik	+	+	r	r	2m	2m		+	

Colbitz

Opnamenummer		15	16	17	18	19	20	21	22	23
Opp. proefvlak (m²)		900.00	450.00	100.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00
Bedekking totaal (%)		90	80	95	95	90	100	100	95	100
Bedekking boomlaag (%)		70	70	80	90	85	90	80	85	95
Bedekking struiklaag (%)		20	20	30	40	2	50	60	20	1
Bedekking kruidlaag (%)		60	10	1	30	20	30	10	30	20
Bedekking moslaag (%)		1	1	1	1	10	40	40	1	1
Object		CL1	CL2	CL3	CL4	CL5	CL6	CL7	CL8	CL9
Associa_01		43AB01F	43AB01F	42AA02C	43AB01F	42AA02C	42AA02C	42AA02C	43AB01F	43AB01F
Objectnaam		Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz	Colbitz
Ph_mea_b		4.19	5.31	3.90	5.27	3.70	3.13	3.41	4.08	5.05
N_mea_b		5.03	5.61	4.85	5.86	4.31	4.29	3.96	4.78	5.06
Aantal soorten		45	29	21	28	33	34	33	33	39
Kruidlaag vervolg										
Robinia pseudoacacia	Robinia								r	
Rubus spec.	Braam (G)	r	r				r			r
Rumex acetosella	Schapenzuring						1	+		
Scrophularia nodosa	Knopig helmkruid								r	r
Sonchus asper	Gekroesde melkdistel									r
Sorbus aucuparia	Wilde lijsterbes	r	+	r		r		r		
Stellaria holostea	Grote muur	2m	2a		2a			+	+	1
Stellaria media	Vogelmuur	2m								r
Taraxacum spec.	Paardenbloem (G)	r					+		r	r
Tilia cordata	Winterlinde	r	+	+	+	1	+	r	+	r
Urtica dioica	Grote brandnetel			r	r					
Veronica chamaedrys	Gewone ereprijs								+	
Veronica hederifolia	Klimopereprijs				1					
Veronica officinalis	Mannetjesereprijs	+							+	
Viola riviniana	Bleeksporig bosviooltje	2m	1	r	1				1	2a
Moslaag										
Atrichum undulatum	Groot rimpelmos	2m			2m				2a	
Aulacomnium androgynum	Gewoon knopjesmos	2m					2m	2m		2m
Brachythecium rutabulum	Gewoon dikkopmos	2m			2m	2m	2b		2m	2m
Ceratodon purpureus	Gewoon purpersteeltje									+
Dicranella heteromalla	Gewoon pluisjesmos	2m								2m
Dicranum montanum	Bossig gaffeltandmos	1		2m		2m	2m	1	2m	
Dicranum scoparium	Gewoon gaffeltandmos					1		1		
Hypnum cupressiforme/andoi	Gewoon klauwtjesmos	2m	2m	2m	2m	2m	2a	2m	2m	2m
Lophocolea bidentata	Gewoon kantmos					+			1	
Lophocolea heterophylla	Gedrongen kantmos			2m		2m	1	1		
Plagiomnium affine	Rond boogsterrenmos	1	2m		2m	1	1	1		2m
Pleurozium schreberi	Bronsmos					2m	2a	2b		
Pohlia nutans	Gewoon peermos	1				+				
Polytrichum formosum	Fraai haarmos	2m				2a	2b	2m	+	2m
Pseudoscleropodium purum	Groot laddermos						2a	2b		
Tetraphis pellucida	Viertandmos						+			

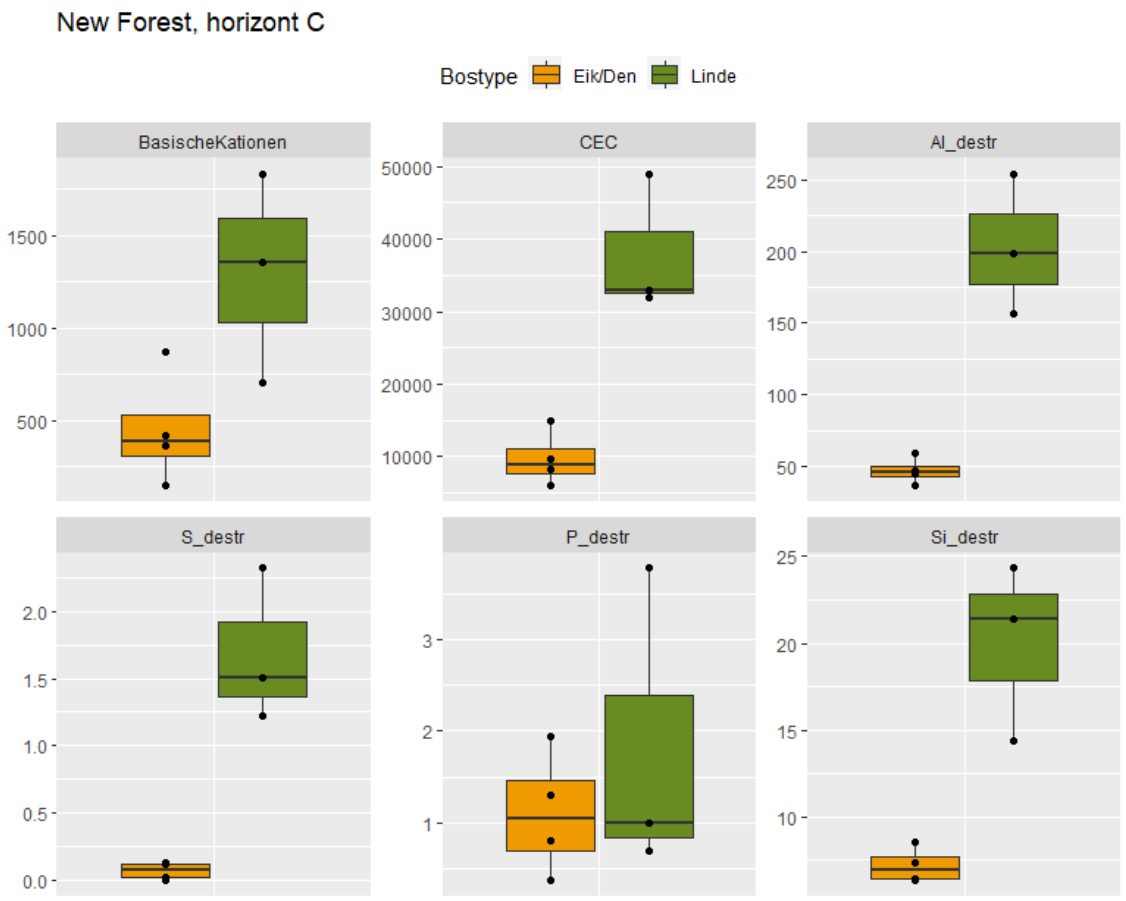
Holt Krat en Honning Krat

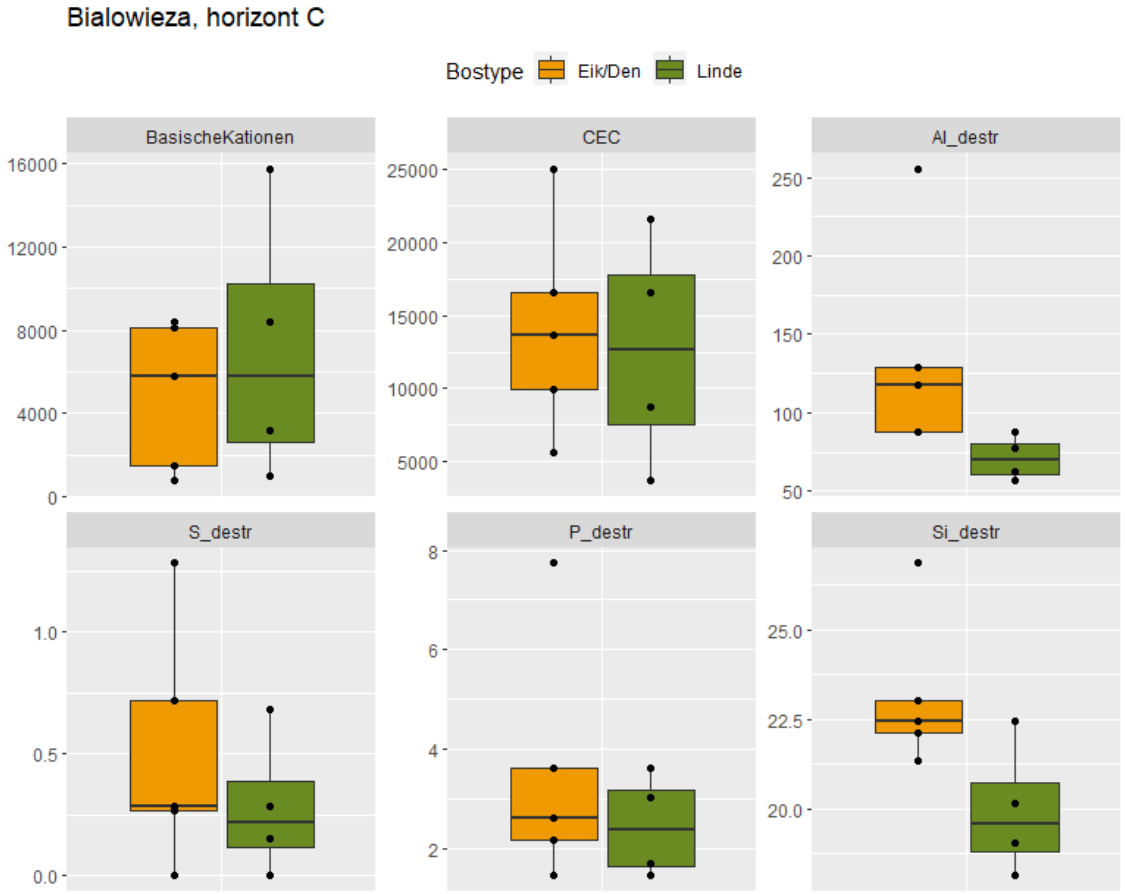
Opnamenummer		7	8	9	10	11	12	13	14
Opp. proefvlak (m²)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Bedekking totaal (%)		90	90	95	95	95	85	90	90
Bedekking boomlaag (%)		70	80	90	90	95	85	90	90
Bedekking struiklaag (%)		25	50	10	10	0	0	5	3
Bedekking kruidlaag (%)		1	10	10	10	60	60	70	60
Bedekking moslaag (%)		1	1	20	20	3	1	1	1
Object		101a	101b	5Eb	5Ea	HK1a	HK2b	HK2a	HK1b
Associa_01		42AA02C	42AA02A	42AA02A	43AB01F	43AB01F	43AB01F	43AB01F	42AA02C
Objectnaam		Honing Krat	Honing Krat	Honing Krat	Honing Krat	Holt Krat	Holt Krat	Holt Krat	Holt Krat
Ph_mea_b		3.38	3.10	3.55	4.47	5.58	3.93	4.64	3.38
N_mea_b		4.18	4.40	4.17	4.89	5.60	4.47	5.00	4.13
Aantal soorten		23	16	30	23	18	23	24	21
Boomlaag									
Betula pubescens	Zachte berk			2a	2a				
Hedera helix	Klimop						r		
Quercus petraea	Wintereik	3	5	5					
Quercus robur	Zomereik					r	5	3	5
Tilia cordata	Winterlinde	3			5	5	r	4	
Struiklaag									
Abies grandis	Reuzenzilverspar				2a				
Betula pubescens	Zachte berk			2a					
Corylus avellana	Hazelaar				2a				r
Fagus sylvatica	Beuk		r	r	2a				
Ilex aquifolium	Hulst		2b						
Lonicera periclymenum	Wilde kamperfoelie	+	1	1					
Picea abies	Fijnspar	r							
Quercus petraea	Wintereik		r	+					
Rhamnus frangula	Sporkehout	2b	3	r					
Sorbus aucuparia	Wilde lijsterbes		r	+					
Tilia cordata	Winterlinde	2a			+			2a	
Kruidlaag									
Abies grandis	Reuzenzilverspar			r					
Acer pseudoplatanus	Gewone esdoorn			r	+				
Agrostis capillaris	Gewoon struisgras						1		
Agrostis spec.	Struisgras (G)				r				
Ajuga reptans	Kruipend zenegroen						1	1	
Anemone nemorosa	Bosanemoon					4	4	4	4
Betula pubescens	Zachte berk				r				
Carex pilulifera	Pilzegge	r							
Dactylis polygama	IJle kropaar						1	1	1
Deschampsia flexuosa	Bochtige smele	1	+	2a	1		r		+
Dryopteris carthusiana	Smalle stekelvaren	r		r	+				
Dryopteris dilatata	Brede stekelvaren			r					
Fagus sylvatica	Beuk	r		r	r				
Ficaria verna s.l.	Speenkruid					2m			
Gagea lutea	Bosgeelster					2m		1	
Galeopsis tetrahit	Gewone hennepnetel							r	
Hedera helix	Klimop				1	r	r	r	r
Holcus lanatus	Gestreepte witbol				2m		2m	2m	2m
Ilex aquifolium	Hulst	+	r		+				
Lonicera periclymenum	Wilde kamperfoelie	2m	2m	2m			r		1
Luzula luzuloides	Witte veldbies								
Luzula pilosa	Ruige veldbies	+		1	+	1		+	
Maianthemum bifolium	Dalkruid						+	1	1
Melica uniflora	Eenbloemig parelgras				1	1	2m	2m	2m
Oxalis acetosella	Witte klaverzuring	2m			2m	1	2m	2m	1
Picea abies	Fijnspar			r					
Polygonatum multiflorum	Gewone salomonszegel				1	1			
Prunus avium	Zoete kers				+				
Prunus serotina	Amerikaanse vogelkers	+	+						
Pteridium aquilinum	Adelaarsvaren						1		+
Rubus spec.	Braam (G)		r	1					
Sorbus aucuparia	Wilde lijsterbes	+	1	+					r
Stellaria holostea	Grote muur			+		1	2m	1	1
Stellaria media	Vogelmuur				+				
Trientalis europaea	Zevenster			r					
Vaccinium myrtillus	Blauwe bosbes	2a	2a	+					
Viola riviniana	Bleeksporig bosviooltje							+	
Moslaag									
Atrichum undulatum	Groot rimpelmos					2m	2m	2m	
Aulacomnium androgynum	Gewoon knopjesmos			+					
Brachythecium rutabulum	Gewoon dikkopmos	+	+	2m	2m	1	1	1	2m
Dicranella heteromalla	Gewoon pluisjesmos			+			1		1
Dicranum polysetum	Gerimpeld gaffeltandmos			+					
Dicranum scoparium	Gewoon gaffeltandmos	2m		+			+	+	+
Hypnum cupressiforme/andoi	Gewoon klauwtjesmos	2m	2m	2m		2m	2m	+	2m
Kindbergia praelonga	Fijn laddermos	2m	1	2b	2a	1	1	1	
Lophocolea bidentata	Gewoon kantmos			+	+				
Mnium hornum	Gewoon sterrenmos	2m	1	1	1	1	2m	+	
Oxyrrhynchium hians	Kleisnavelmos					1			
Plagiomnium undulatum	Gerimpeld boogsterrenmos					1		+	
Plagiothecium denticulatum	Glanzend platmos			+			1	1	+
Plagiothecium laetum s.l.	Krom platmos		+					+	+
Plagiothecium undulatum	Gerimpeld platmos	1			2m				+
Polytrichum formosum	Fraai haarmos	2m	+	+					
Pseudoscleropodium purum	Groot laddermos	+		2a					
Rhytidiadelphus squarrosus	Gewoon haakmos			+					

Nederlandse bossen

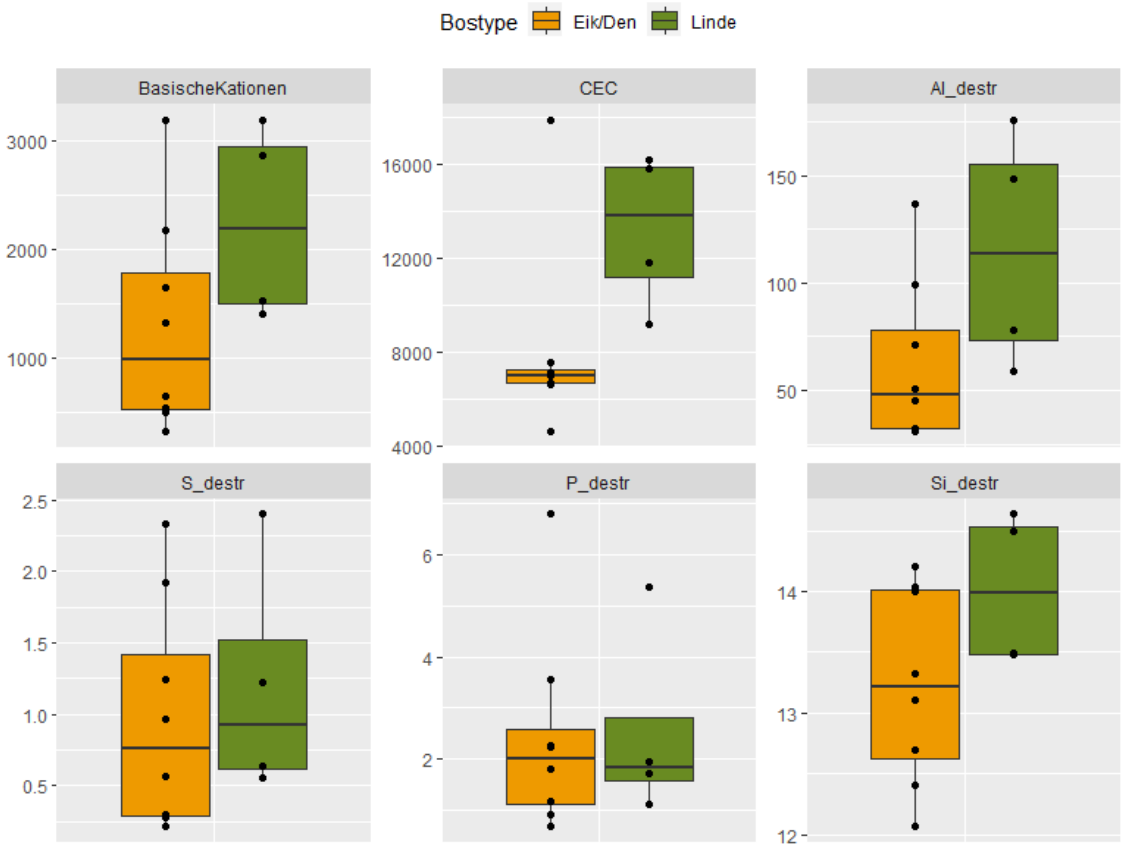
Opnamenummer		32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Opp. proefvlak (m²)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	20.00	30.00
Bedekking totaal (%)		80	75	85	90	85	95	100	100	100	100
Bedekking boomlaag (%)		75	70	80	90	80	95	95	100	100	95
Bedekking struiklaag (%)		10	35	30	50	25	10	0	0	10	25
Bedekking kruidlaag (%)		5	10	80	25	25	5	5	2	100	80
Bedekking moslaag (%)		0	0	15	15	5	5	0	0	5	0
Object		RW1	RW2	DW1	DW2	BK1	BK2	BP1	BP2	Ber1	Ber2
Associa_01		42RG02	43AA02A	43AB01F	42AA02B	43AA01C	42AA02B	18AA02	42AA03C	43AA01B	42RG02
Objectnaam		Randwijk eik	Randwijk Lind	Doorwerth Lir	Doorwerth Eik	Elyseese veld	Elyseese veld	Bomenpark He	Bomenpark Heesch		
Ph_mea_b		3.00	4.25	5.00	3.33	5.40	4.67	4.00	0.00	6.50	5.75
N_mea_b		5.25	5.33	6.00	3.33	6.67	4.33	5.00	7.00	7.00	7.00
Aantal soorten		9	10	19	8	10	7	2	2	10	13
Boomlaag											
Acer platanoides	Noorse esdoorn		r								
Acer pseudoplatanus	Gewone esdoorn	+									
Aesculus hippocastanum	Witte paardenkastanje	r									
Betula pendula	Ruwe berk						r				
Carpinus betulus	Haagbeuk			1							
Fagus sylvatica	Beuk				+		2a		5		
Fraxinus excelsior	Gewone es									r	1
Quercus petraea	Wintereik						5				
Quercus robur	Zomereik	4			4					1	4
Salix caprea	Boswilg									r	+
Tilia cordata	Winterlinde							5		5	
Tilia x vulgaris	Hollandse linde		3	4		r					
Struiklaag											
Acer platanoides	Noorse esdoorn		2a								
Acer pseudoplatanus	Gewone esdoorn	2a	+	+		r					
Carpinus betulus	Haagbeuk	r									
Corylus avellana	Hazelaar					3				1	1
Fagus sylvatica	Beuk	+	+				r				
Ilex aquifolium	Hulst	r	r			2a	2a				
Prunus serotina	Amerikaanse vogelkers				2a						
Quercus robur	Zomereik				1						
Sambucus nigra	Gewone vlier									1	r
Sorbus aucuparia	Wilde lijsterbes				2a	r		2a			+
Tilia platyphyllos	Zomerlinde			2a							
Kruidlaag											
Acer platanoides	Noorse esdoorn		2m								
Acer pseudoplatanus	Gewone esdoorn	1	2m	1							
Anemone nemorosa	Bosanemoon			2b							
Carpinus betulus	Haagbeuk		+								
Dryopteris dilatata	Brede stekelvaren	r							+		
Elytrigia repens	Kweek									1	1
Fagus sylvatica	Beuk			+							
Geum urbanum	Geel nagelkruid			+							
Hedera helix	Klimop			+		1				4	3
Humulus lupulus	Hop										r
Ilex aquifolium	Hulst		r						+		
Impatiens parviflora	Klein springzaad			r							
Moehringia trinervia	Drienerfmuur			+							
Oxalis acetosella	Witte klaverzuring			3							
Phragmites australis	Riet									r	1
Polygonatum multiflorum	Gewone salomonszegel		+	+							
Prunus avium	Zoete kers					1	r				
Pteridium aquilinum	Adelaarsvaren			+	2a		2a				+
Quercus robur	Zomereik									r	
Rubus spec.	Braam (G)								1		
Rubus subgen. Rubus	Braam	r	+	+	3	2b	2a			r	+
Sambucus nigra	Gewone vlier					+					
Scrophularia nodosa	Knopig helmkruid			r							
Sorbus aucuparia	Wilde lijsterbes				+						
Tilia platyphyllos	Zomerlinde					5					
Urtica dioica	Grote brandnetel			1							1
Vaccinium myrtillus	Blauwe bosbes										
Veronica hederifolia	Klimopereprijs					r					
Moslaag											
Brachythecium rutabulum	Gewoon dikkopmos			2a							
Hypnum cupressiforme/andoi	Gewoon klauwtjesmos			2m	2a						
Kindbergia praelonga	Fijn laddermos		+	2m							
Mnium hornum	Gewoon sterrenmos			2a	1						
Polytrichum commune	Gewoon haarmos	+	+								

Bijlage 5 **Vergelijkingen bodemchemie C horizonten**

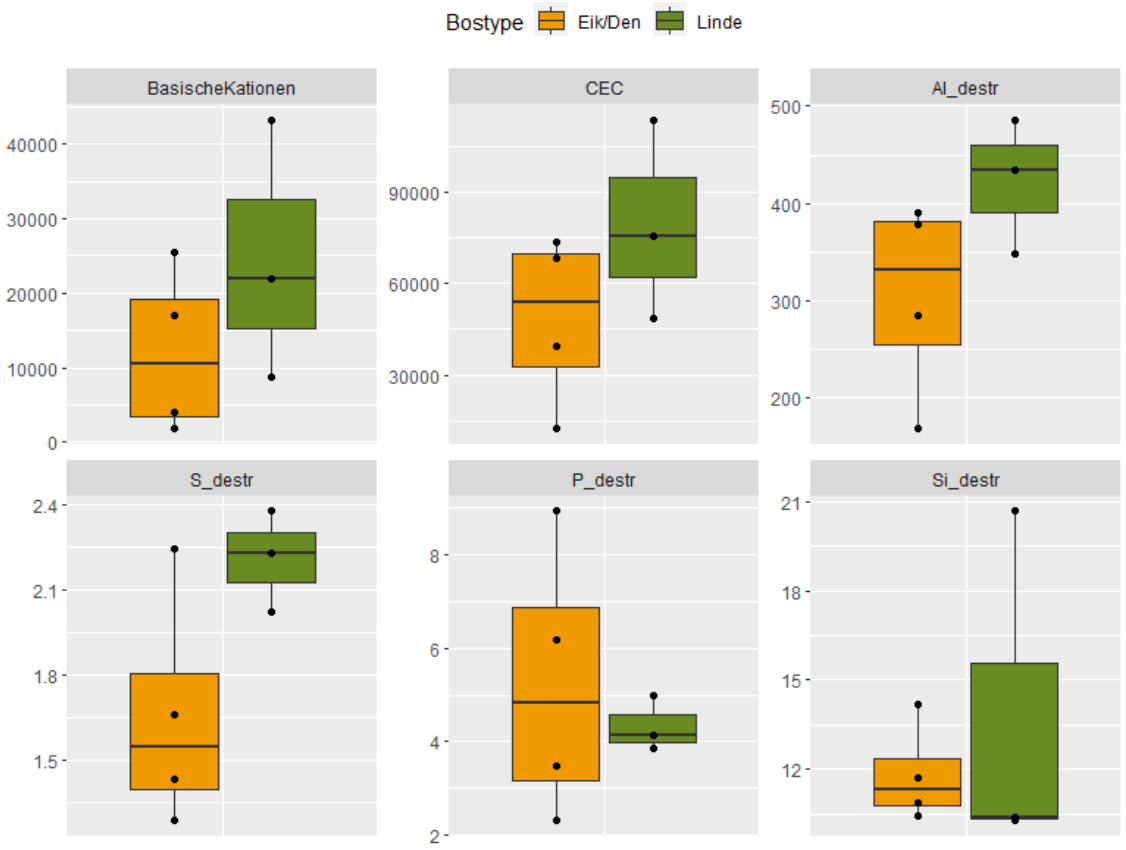



Bialowieza, horizont C
Bostype
Eik/Den
Linde
BasischeKationen
CEC
Al_destr
S_destr
P_destr
Si_destr
16000
12000
8000
4000
0
25000
20000
15000
10000
5000
250
200
150
100
50
1.0
0.5
0.0
8
6
4
2
25.0
22.5
20.0

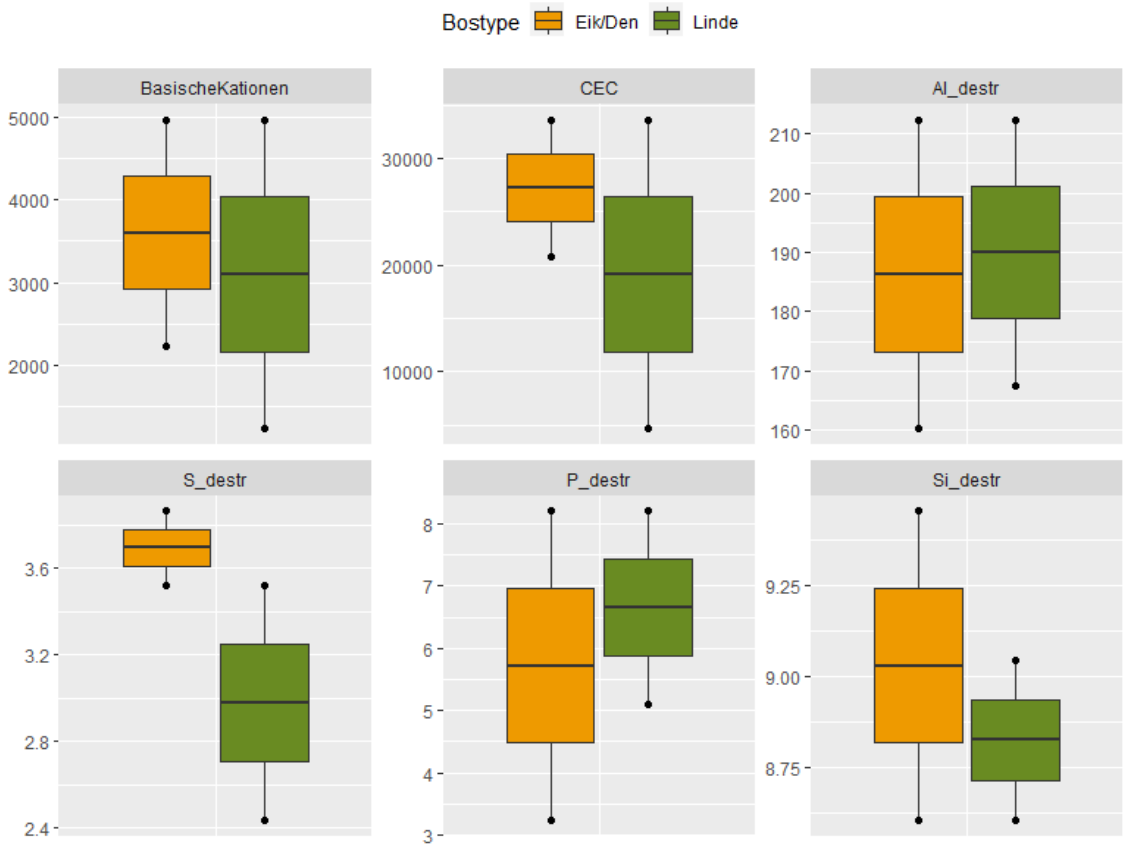
Duitsland, horizont C



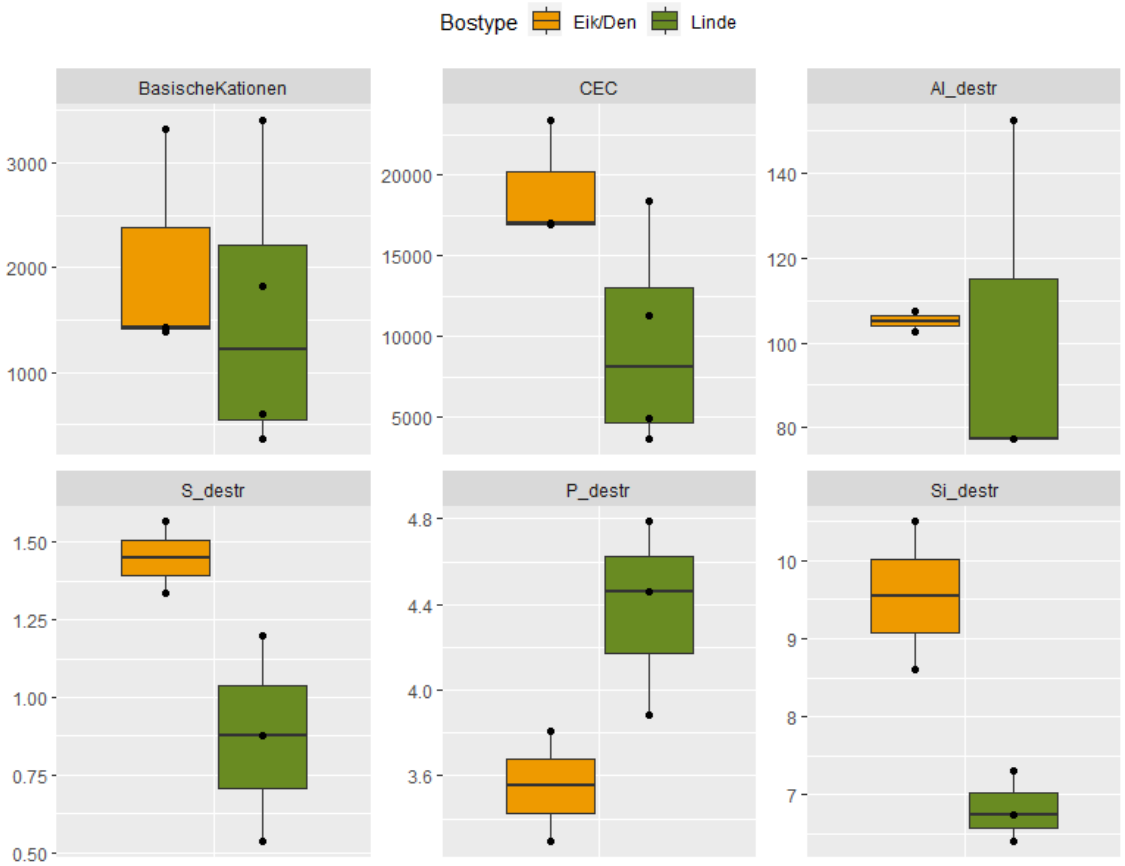
Holt krat, horizont C



Honning krat, horizont C



Nederland, horizont C



Bijlage 6 Beschrijving structuur Colbitz

Hierna volgt een korte beschrijving van de verschillende bemonsterde plots. Genoemde dominante diameters en hoogtes zijn steeds bepaald door meting van drie dikste exemplaren per soort. De beschrijving van de opstanden heeft betrekking op de meetlocatie voor bodemonderzoek en de directe omgeving. Het grondvlak is gemeten vanuit het centrum van de meetlocatie en is bepaald met behulp van een Bitterlich prisma, telfactor 2.

Colbitz 1
Dicht bos gedomineerd door linde met verspreid enkele oude eiken. De kroonlaag is vrijwel gesloten. De dominante linde zijn gemiddeld 52 cm dbh en 23 m hoog. Een tweede boomlaag bestaat vooral uit oudere uitlopers van linde en enkele prunussen. De struiklaag wordt gedomineerd door linde, haagbeuk en vooral prunus. De oude eiken overstaanders zijn tot 1.20 m dik en 27 m hoog.
Grondvlak: Linde 20 m2/ha, Eik 8 m2/ha

Colbitz 2
Gemengd bos van eik en linde met bijmenging van prunus. Aantal zeer dikke eiken, de grootste daarvan met een diameter van 1.20 m. De prunus in de ondergroei is net uit de struiklaag gegroeid (diameters ongeveer 8 cm). Totale kroonbedekking 90%, zeer sterk gedomineerd door eik. Linde en prunus duidelijk lager.
Grondvlak: Linde 10 m2/ha, Eik 6 m2/ha, Prunus 6 m2/ha.

Colbitz 3
Bos van grove den, met een ijle boomlaag gedomineerd door grove den en eik. Dennen 45-55 cm dik en 24-26 m hoog. Eik rond de 70 cm dbh en 21.5 m hoog. De tweede boomlaag bestaat vooral uit linden (15-25 cm dbh) en enkele eiken en prunussen. De zeer ijle struiklaag bestaat vooral uit prunus. De zwaarste eiken zijn rond de 90 cm dbh en 23 m hoog. De totale kroonbedekking bestaat vooral uit linde. Direct boven het gemeten plot is bedekkingsaandeel 75% linde en 25% grove den.
Grondvlak: Grove den 12 m2/ha, Eik 8 m2/ha, Linde 2 m2/ha .

Colbitz 4
Boomlaag bestaat geheel uit linde, met een totale kroonbedekking van 90%. De dominante linden zijn 60-85 cm dbh, waarvan de dikste bomen een hoogte van 28 m bereiken. Een tweede boomlaag bestaat uit natuurlijke verjonging va linde en worteluitlopers, met een dbh van rond de 20 cm. Daarnaast enkele haagbeuken in de tweede boomlaag en struiklaag.
Grondvlak: Linde 28 m2/ha

Colbitz 5
Eikenbos, met de boomlaag vrijwel geheel bestaand uit eik met een enkele linde bijgemengd. Rondom het monsterplot bestaat de kroonlaag volledig uit eik. Dominante eiken zijn rond de 45 cm dbh en 22 m hoog, de overige eiken tussen 25-45 cm dik. Eiken

Een tweede boomlaag is nauwelijks ontwikkeld, bestaande uit enkele eiken en linden. Ook de struiklaag is zeer ijl, en bestaat hoofdzakelijk uit haagbeuk en een enkele prunus. Van de haagbeuken enkele exemplaren tot 7 m aanwezig. Maar de meeste individuen niet hoger dan 50 cm en sterk begraasd.
Grondvlak: Eik 30 m2/ha

Colbitz 6
Eerste boomlaag bestaat vooral uit oude grove dennen van 50-65 cm dbh en eiken zoals in Colbitz 5. Dominante diameter van grove den rond de 60 cm dbh, met een dominante hoogte rond 27 m. dominante eiken rond 40 cm dbh en 23 m hoog. Totale kroonbedekking van de eerste boomlaag ongeveer 80%, met gelijk aandeel grove den en eik. De helft van het plot heeft een tweede boomlaag bestaande uit eik en linden, en een struiklaag met vooral sterk aangevreten haagbeuk en een enkele prunus. Dit plot is sterk vergelijkbaar met Colbitz 5.
Grondvlak: Grove den 12 m2/ha, Eik 14 m2/ha

Colbitz 7
Open grove dennenbos met een totale kroonbedekking van rond de 50%. Eerste boomlaag bestaat vrijwel volledig uit grove den met diameters 35-55 cm. Dominante grove dennen gemiddeld rond de 50 cm dbh en 28 m hoog. De tweede boomlaag bestaat vooral uit eiken (15-20 cm dbh) en haagbeuken (5-15 cm dbh) en is rond de 10 m hoog. De struiklaag is weinig ontwikkeld met vooral haagbeuk en enkele eik, linde en prunus.
Grondvlak: Grove den 26 m2/ha, Haagbeuk 4 m2/ha, Eik 4 m2/ha

Colbitz 8
Eerste boomlaag wordt sterk gedomineerd door eiken tussen 30-60 cm dbh, gemengd met enkele lagere linden rond de 30 cm dbh. Dominante eiken zijn 60 cm dbh en 25 m hoog. Tweede boomlaag is nauwelijks aanwezig en bestaat vooral uit haagbeuken en wat linden. De struiklaag bestaat uit vleksgewijze verjonging van haagbeuk tot 1 m hoog en sterk begraasd.
Grondvlak: Eik 25 m2/ha, Linde 6 m2/ha

Colbitz 9
Oud doorgeschoten lindehakhout met linde in de eerste boomlaag, aangevuld met enkele haagbeuken. Dominante linden gemiddeld 40 cm dbh en 23 m hoog. Dominante haagbeuk rond 45 cm dbh en 21 m hoog. De oude lindestoven zijn tot 4 m in doorsnede, en hebben veel worteluitlopers. De schaarse tweede boomlaag bestaat uit haagbeuk. Een struiklaag ontbreekt vrijwel geheel, op enkele vlekken kleine haagbeuk na.
Grondvlak: Linde 42 m2/ha, Haagbeuk 2 m2/ha

Bijlage 7 Geraadpleegde deskundigen

De gegevens die in dit onderzoek zijn gebruikt zijn, naast de auteurs ook verzameld in het veld door diverse deskundigen:

Dhr. E. van Beek (KU Leuven)
Mevr. K VanCampenhout (KU Leuven)
Mevr. E. Desie (KU Leuven)
Dhr. O. van der Geest (SBB)
Dhr. P. Hommel (WUR
Dhr. B. Jarodzewic (Bialowieza National Park, PL)
Dhr. K van der Laan (SBB)
Dhr. S. Lavrijssen (prov. Noord-Brabant)
Mevr. R. Lucassen (prov. Noord-Brabant)
Dhr. P. Friis Møller (GEUS, DK)
Dhr. B. Muys (KU Leuven)
Dhr. J. den ouden (WUR)
Dhr. T. Paternotte (prov. Noord-Brabant)
Dhr. W. Poelmans (prov. Noord-Brabant)
Dhr. P. Voorn (NMM)
Dhr. R de Waal (WUR)
Dhr. H. Wille (Colbitzer lindenwald, DU)
Dhr. S. Zerbe (Universiteit Bolzano, IT)
Mevr. M. Zwols (prov. Noord-Brabant)

bosgroepen.nl