

Bodem en Bos in Someren en Lieshout

Verkenning van de relatie tussen bodem en bosvitaliteit in twee waterwingebieden

Bas van Delft, Anjo de Jong, Pieter Dijk en Paul Gerritsen



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Bodem en Bos in Someren en Lieshout

Verkenning van de relatie tussen bodem en bosvitaliteit in twee waterwingebieden

Bas van Delft, Anjo de Jong, Pieter Dijk en Paul Gerritsen

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van Brabant Water (projectnummer 5200047638).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, september 2023

Gereviewd door:

C.M.A. Hendriks, Onderzoeker Natuurlijk Kapitaal en Duurzaamheid (WENR)

Akkoord voor publicatie:

M.J.D. Hack-ten Broeke, teamleider van team Bodem, Water en Landgebruik

Rapport 3288
ISSN 1566-7197

Van Delft, Bas, Anjo de Jong, Pieter Dijk en Paul Gerritsen, 2023. *Bodem en Bos in Someren en Lieshout, Verkenning van de relatie tussen Bodem en bosvitaliteit in twee waterwingebieden*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3288. 88 blz.; 32 fig.; 21 tab.; 55 ref.

In opdracht van Brabant Water heeft WENR de relatie tussen bodemeigenschappen en de vitaliteit van zomereik onderzocht in twee waterwingebieden, Someren en Lieshout. Verdeeld over beide gebieden zijn twaalf meetbomen geselecteerd waarvan de helft een redelijke vitaliteit heeft en de andere helft een slechte. Bodemkundig en qua beheergeschiedenis zijn de gebieden goed vergelijkbaar. Door metingen aan de bomen (vitaliteit, chemie blad en hout) te combineren met metingen aan de bodem (bodem-, humus- en pH-profiel, grondwaterstandsverloop, chemie van strooiselpakket en drie lagen in de bodem), is geprobeerd een verklaring te vinden voor verschillen in vitaliteit. Geconcludeerd wordt dat alle groeiplaatsen erg droog zijn en door het vroegere heidebeheer en recentere verzuring een zeer lage basenbezetting en fosfaatgehalte hebben. Verschillen in vitaliteit vallen deels samen met bodemkundige verschillen tussen de waterwingebieden. In Lieshout is de vitaliteit van de bomen vaak wat beter dan in Someren. Door een iets groter vochtleverend vermogen van de bodem is de groeiverwachting voor eik in Lieshout normaal en in Someren slecht. Verder blijkt de verminderde vitaliteit een gevolg van o.a. te hoge stikstofdepositie waardoor verzuring versterkt is en een disbalans met andere nutriënten optreedt. Dat is vooral merkbaar in het strooiselpakket en de laag van 0-10 cm. Om de vitaliteit van het bos als geheel te herstellen, kan gedacht worden aan het toevoegen van mineralen om het evenwicht in de bodem te herstellen, maar die mogelijkheden zijn beperkt. Daarnaast kan ook gestreefd worden naar een ander, meer natuurlijk bostype met een kleinere rol voor zomereik

Trefwoorden: Bos, zomereik, vitaliteit, stikstof, bodem, humus, pH-profiel, chemie

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/636082> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2023 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Doel en opzet	14
2 Materiaal en Methode	16
2.1 Achtergrondinformatie	16
2.2 Opzet bemonstering	19
2.3 Methode vitaliteit, groei en chemie bomen	20
2.3.1 Vitaliteit en groei	20
2.3.2 Chemie blad en hout	20
2.3.3 Verjonging	20
2.4 Methode bodemopnamen	21
2.4.1 Bodemgesteldheid en grondwaterstandverloop	21
2.4.2 Humusprofielen	21
2.4.3 pH-profielen	21
2.4.4 Bodemchemie en stikstofdepositie	22
2.4.5 Bodemgeschiktheid	27
3 Resultaten	29
3.1 Ligging van de meetlocaties	29
3.2 Groei en vitaliteit van de meetbomen	30
3.2.1 Vitaliteit	30
3.2.2 Groei	31
3.2.3 Chemie blad en hout	31
3.3 Bodem en humus	33
3.3.1 Bodemgesteldheid	33
3.3.2 Humusprofielen	35
3.3.3 pH-profielen	36
3.3.4 Bodemchemie en stikstofdepositie	37
3.3.5 Bodemgeschiktheid	59
4 Synthese	62
4.1 Belangrijkste conclusies	62
4.2 Beantwoording onderzoeksvragen	66
4.3 Herstelopties	70
Literatuur	72
Bijlage 1 Grondwaterstanden Someren	75
Bijlage 2 Diktegroei van de bomen	77
Bijlage 3 Elementgehalten in blad	83
Bijlage 4 Elementgehalten in spinhout	85
Bijlage 5 Vitaliteitskenmerken van de meetbomen en plot	87



Verantwoording

Rapport: 3288

Projectnummer: 5200047638

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker Natuurlijk Kapitaal en Duurzaamheid

naam: C.M.A. Hendriks

datum: 11 september 2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: M.J.D. Hack-ten Broeke

datum: 19 september 2023

Woord vooraf

"Kan de slechte vitaliteit van zomereiken in waterwingebied Someren begrepen worden vanuit (verslechterde) bodemkwaliteit?" Dit was de vraag waarmee Brabant Water bij WENR aanklopte om een goed onderbouwd advies te krijgen over de vraag hoe het beste omgegaan kan worden met het beheer van het bos in dit waterwingebied, maar natuurlijk ook in vergelijkbare gebieden. Het idee was om het onderzoek zo integraal mogelijk aan te pakken, door zo veel mogelijk aspecten van de boomvitaliteit en bodemkwaliteit gezamenlijk te onderzoeken en met elkaar in verband te brengen. Voor ons als onderzoekers was dat een uitgelezen kans om onze expertise als bosonderzoeker en bodemkundigen te bundelen, zoals wij dat ook eerder al gedaan hadden bij onderzoek naar oude eikenbossen in Drenthe.

In goede samenspraak met de opdrachtgever hebben wij een onderzoeksopzet uitgewerkt om alle aspecten zo goed mogelijk samen te brengen. Daarbij kwam Brabant Water met de vraag of we het niet in twee waterwingebieden konden uitvoeren, zodat er meer mogelijkheden zijn om meer en minder vitale bomen met elkaar te vergelijken en de toepasbaarheid van de onderzoeksresultaten vergroot zou worden. Dit heeft geresulteerd in een uitvoerig onderzoek waar dit rapport verslag van doet. Het was voor ons ook een boeiende reis die ons weer meer kennis heeft opgeleverd over het bodem-humussysteem en de relatie met het bos.

Wij bedanken Brabant Water voor de opdracht en Valerie Janssen, Martin de Haan en Boy Possen voor de begeleiding en de positieve feedback op het rapport.

Wageningen,
Augustus 2023

Bas van Delft, Anjo de Jong, Pieter Dijk en Paul Gerritsen

Samenvatting

Problemen met de vitaliteit en sterfte van zomereik (*Quercus robur*) in het waterwingebied Someren waren aanleiding voor Brabant Water om door WENR een onderzoek te laten doen naar de relatie tussen bodem en bosvitaliteit. Om een beter inzicht te krijgen in verschillen in groeiplaatsen met bomen met een betere vitaliteit, is het onderzoek uitgebreid met het waterwingebied Lieshout. Daarmee worden de resultaten breder toepasbaar. Het doel van dit onderzoek is om een beeld te krijgen van de oorzaken van verschil in vitaliteit en mogelijke oplossingen die kunnen leiden tot herstel van de bosopstanden. Op basis van gebiedskennis en algemene kennis over oorzaken van verminderde vitaliteit is door de opdrachtgever een aantal onderzoeksvragen geformuleerd met betrekking tot de vitaliteit en chemie van de bomen, de bodemgesteldheid en externe factoren, zoals verdroging en stikstofdepositie. Verderop in deze samenvatting komen wij terug op die vragen. Om deze te kunnen beantwoorden, hebben wij voor twaalf meetbomen de bodemgesteldheid, bodemgeschiktheid, bodemchemie en vitaliteit en chemie van het hout in onderlinge samenhang beoordeeld.

Bodemkundig komen de beide waterwingebieden vrij goed met elkaar overeen, met landduinen en dekzandruggen waarin droge humuspodzolgronden (Hn21, Hd21) en duinvaaggronden (Zd21) voorkomen. In deze droge gronden zijn de bomen afhankelijk van zogenaamd hangwater, waardoor grondwaterstanddaling geen effect heeft gehad op de vitaliteit. Ook de bosgeschiedenis is vergelijkbaar, beide gebieden zijn halverwege de 20^{ste} eeuw bebost vanuit heide. In beide waterwingebieden komt een aanzienlijke stikstofdepositie voor die beoordeeld wordt als 'Midden' voor de kritische depositiewaarde voor het hier geldende SNL-beheertype N16.03 'Droog bos met productie'. In Someren (1777 mol/ha/jr) is deze wel hoger dan in Lieshout (1518 mol/ha/jr). Samen met de opdrachtgever zijn in beide waterwingebieden zes meetbomen geselecteerd, waarbij gestreefd is naar voldoende variatie in vitaliteit en bodemgesteldheid. Aan deze meetbomen en de bodem van de groeiplaats hebben wij vervolgens een groot aantal bepalingen en metingen verricht:

- Aan de bomen:
 - Vitaliteit en groei
 - Chemie van blad en hout
 - Verjonging
- Aan de bodem:
 - Bodemgesteldheid en grondwaterstandverloop op basis van bodemprofielbeschrijvingen;
 - Humusprofielen in drie steken bij elke boom;
 - pH-profielen bij elk bodemprofiel;
 - Chemie van:
 - Ectorganische horizonten (strooiselpakket)
 - Bodem in de lagen 0-10, 10-30 en 100-120 cm -mv
 - De bodemgeschiktheid voor boomsoorten.

Chemie van zowel de bomen als de bodem hebben wij ook vergeleken met referenties van vergelijkbare locaties uit andere onderzoeken. Om inzicht te krijgen in mogelijk bodemkundige oorzaken van de verschillen in vitaliteit, hebben wij de bodemchemische eigenschappen statistisch vergeleken tussen zes bomen met een normale vitaliteit en zes bomen met een slechte vitaliteit. In deze samenvatting bespreken wij de resultaten bij de relaties tussen bodem en bomen en de beantwoording van de onderzoeksvragen.

Belangrijkste conclusies

Verschillen in bodemchemie worden vooral gevonden in het strooiselpakket en in de laag 0-10 cm -mv. Voor de diepere lagen zien wij weinig verschillen, wat betekent dat de groeiplaatsen in principe vergelijkbaar zijn. Daarnaast is er een aantal kenmerken die voor alle bomen en groeiplaatsen min of meer gelijk zijn en relevant zijn voor een gezonde bosopstand met zomereik:

- Calciumgehalten in blad zijn overal te laag en N-gehalte in hout is lager dan gemiddeld voor het Nederlands bos. Dat geldt ook voor Fe in vergelijking met bossen in Drenthe.

- Alle groeiplaatsen zijn zeer droog en de pH-profielen wijzen op ondiep verzuurd, basenarm moedermateriaal (pH-profieltype InAo).
- In de meeste locaties is het P-totaalgehalte lager dan gemiddeld en te laag voor zomereik als wordt beoordeeld op basis van Van den Burg en Schaap (1995). Ook de fosfaatverzadigingsgraad (PSI) is meestal lager dan gemiddeld. Uitzondering vormen enkele locaties op iets afwijkende groeiplaatsen.
- Net als in het hout zijn de ijzergehaltes in de bodem erg laag en is aluminium dominant in de fosfaatbuffer.
- De basenverzadiging is overal zeer laag, waardoor zuurbuffering vooral plaatsvindt door het evenwicht met aluminium(hydr)oxiden.

Op basis van de kenmerken die wel verschillen tussen bomen en groeiplaatsen kunnen wij een aantal conclusies trekken:

- Verschillen tussen waterwingebieden:
 - In Lieshout hebben vier van de zes meetbomen een normale vitaliteit, tegen twee van de zes in Someren. De groei verschilt sterk: enkele bomen laten al jarenlang een lage diktegroei zien, enkele hadden een goede groei maar is in de laatste jaren sterk afgenomen en bij enkele is de groei hersteld na een dip in 2018-2019.
 - De bodems van beide waterwingebieden zijn qua geomorfologie, bodemopbouw en hydrologie redelijk goed vergelijkbaar, maar door verschillen in bewortelbare diepte, organischestofgehalte en lemigheid is het vochtleverend vermogen en daarmee de groeiverwachting voor eik gunstiger in Lieshout in vergelijking met Someren, wat een deel van het verschil in vitaliteit kan verklaren.
 - Het verschil in stikstofdepositie tussen beide waterwingebieden komt in de bodem ook tot uiting in een lagere N-totaal en N-beschikbaarheid in Lieshout en verschillen in de C/N-ratio. Maar het komt niet terug in de gehalten in hout en blad.
- Verschillen tussen vitaliteitsklassen:
 - Alleen voor de stikstofhuishouding zijn er verschillen gevonden in de bodemchemie van de groeiplaats van bomen in verschillende vitaliteitsklassen. Het strooisel onder bomen met een lage vitaliteit is relatief stikstofrijk (C/N is laag), terwijl het in de bodem op 0-10 cm -mv relatief armer is. In het blad van laag vitale bomen is de spreiding van het stikstofgehalte groter (normaal tot zeer hoog) dan bij de bomen met een normale vitaliteit (hoog).
 - Bij bomen met een lage vitaliteit blijkt de beschikbaarheid van aluminium (uit de aluminiumbuffer) significant hoger te zijn dan bij een normale vitaliteit.
 - De geschiktheidsbeoordeling van de bodem geeft voor de bomen met een normale vitaliteit over het algemeen een betere groeiverwachting voor zomereik dan bij een slechte vitaliteit.
- Verschillen tussen bodemeenheden:
 - De bodemeenheden binnen de beide waterwingebieden verschillen weinig, behalve op één locatie (B08), waar door de inrichting van het terrein een bodem met een dikke, humeuze bovengrond is ontstaan (bodemeenheid zEZ53). Diverse bodemchemische parameters scoren hier beter dan elders en ook de meetboom (en de rest van de opstand) heeft een normale vitaliteit.
- Relaties met humusvormen:
 - In welke mate een ectorganisch pakket (strooisellaag) tot ontwikkeling komt, hangt af van zowel de bodemeigenschappen (medebepalend voor boomgroei, strooiselhoeveelheid en -kwaliteit en samenstelling en activiteit van het bodemleven) als van de boomsoort en het daarvan afkomstige strooisel. Als de afbraak van strooisel achterblijft bij de input, vindt accumulatie plaats in de strooisellaag. Met de ontwikkeling van humusprofielen verschuift het belang van de bodemeigenschappen voor het functioneren van de groeiplaats naar het humusprofiel. Het blijkt dat bij humusvormen die sterk bepaald worden door de bodem (zandxeromullmoders) de nutriëntengehaltes in de bovengrond (0-10 cm -mv) hoger zijn dan bij de humusvormen waarin het ectorganische deel dominant is (xeromormoders). In de laatste groep is het ectorganische deel belangrijker voor de nutriëntenvoorziening. Dat komt ook tot uiting in de nutriëntengehaltes in het blad.
- Relaties bodem-bomen:
 - Door de hoge stikstofdepositie zijn stikstofgehalten overal hoog in bodem, humuslagen en blad. Deze zijn hoger en hebben een grotere spreiding bij bomen met een lage vitaliteit.
 - Bomen met een normale vitaliteit komen vooral voor bij dikkere humuslagen, die dan ook de belangrijkste bron voor nutriënten zijn, waardoor het kaliumgehalte in het blad het hoogst is bij de humusvormen met de dikste ectorganische lagen (holtxeromormoder).
 - Het calciumgehalte in blad is overal laag als gevolg van een lage basenverzadiging in de bodem.
 - Het ijzergehalte in het hout is overal laag door de lage ijzergehaltes in de bodem.

Beantwoording onderzoeksvragen

1. *Ligt de oorzaak van de slechte kwaliteit van de opstand en het ontbreken van natuurlijke verjonging aan de bodemkwaliteit?*

a. *Wat is de bodemgeschiktheid voor de aangeplante boomsoorten?*

De groeiverwachting voor eik is in Lieshout over het algemeen normaal en in Someren slecht, wat we deels ook terugzien in de gemeten groei in de jaarringen. Voor dennen is de groeiverwachting in Lieshout goed en in Someren normaal.

b. *Welke rol speelt het vroegere heidebeheer in een mogelijk ongunstige bodemvruchtbaarheid?*

Beide waterwingebieden zijn relatief lang als heide in gebruik geweest; dit kan voor een deel de lage nutriëntengehaltes van de bodem verklaren.

2. *Kunnen weersomstandigheden (droogte, incidentele wateroverlast) een rol gespeeld hebben?*

Incidentele wateroverlast, zoals bij de buien in juni 2016, heeft geen rol gespeeld voor de verslechterde vitaliteit, dat jaar lijkt eerder relatief gunstig geweest te zijn. Droogte, met name droge zomers, geeft op veel plaatsen wel aanleiding tot verminderde vitaliteit of zelfs sterfte van eiken.

3. *Is de bodemkwaliteit mogelijk ongunstig beïnvloed door de toegepaste boomsoorten?*

Het strooisel van eik werkt licht verzurend op de bodem, bij grove den is dat sterker en berk is minder verzurend dan eik. Omdat de bodem door het heidebeheer al sterk verschraald was, heeft dat waarschijnlijk beperkte invloed.

4. *Welke rol spelen omgevingsfactoren, zoals atmosferische depositie van vooral stikstof?*

Door de hoge stikstofdepositie is de beschikbaarheid van stikstof, net als veel andere bossen op arme zandgronden, veel te hoog, zeker in vergelijking met de beschikbaarheid van andere nutriënten waardoor een disbalans in nutriëntenvoorziening optreedt. Dit komt het sterkst tot uiting bij de bomen met een lage vitaliteit, waarbij B07 eruit springt omdat deze aan de rand van het bos dicht bij een stal staat.

5. *In hoeverre is de bodem door uitloging (natuurlijk en door depositie) ongeschikt geworden voor de bomen?*

Uitloging, waarbij nutriënten en kationen (van belang voor de zuurbuffer) uitspoelen, is een natuurlijk proces op droge, arme zandgronden. Het lage nutriëntengehalte in de bodem is echter wel versterkt door het vroegere heidebeheer en verzurende depositie.

a. *Aantasting zuurbuffer en daardoor verzuring*

Het pH-profieltype wijst op een basenarme uitgangssituatie die ondiep, maar niet geheel verzuurd is. Verzuring in de bovengrond is voor een deel toe te schrijven aan de stikstofdepositie die hier vooral uit ammonium bestaat, wat bij nitrificatie een sterk verzurend effect heeft.

b. *Uitspoeling nutriënten*

De meeste nutriënten vinden wij boven in het bodemprofiel en in de humuslagen.

- Stikstofuitspoeling lijkt vooral oppervlakkig uit het strooisel en de laag 0-10 cm plaats te vinden en minder uit diepere lagen.
- Door de lage fosfaatgehalten en de sterke binding aan aluminium-hydroxiden spoelt fosfaat hier niet uit.

Kalium spoelt in zandgronden snel uit, waardoor de gehalten in de bovengrond laag zijn. Bij dikke humuslagen wordt het wel beter vastgehouden in het strooisel en is dan ook meer beschikbaar voor de bomen.

6. *Hoe is het gesteld met de vitaliteit van de bomen?*

Een belangrijk deel (zes) van de bomen heeft duidelijke stresskenmerken, enkele bomen groeien al zeker tien jaar slecht, terwijl enkele andere sterk in groei zijn afgenomen. Diverse andere bomen hebben maar beperkte stresskenmerken en groeien normaal.

7. *Wat zien we terug in de chemie van bladeren en hout en hoe kunnen we dat relateren aan de bodemkwaliteit?*

In blad zijn gehalten van nutriënten vaak (te) laag, behalve van stikstof, waarvan gehalten juist (extreem) hoog zijn. Stikstof- en kaliumgehalten in het blad vertonen een duidelijke relatie met gehalten in de bodem en het humusprofiel. Voor hout gelden dezelfde conclusies, maar in mindere mate.

8. *Waarom blijft verjonging uit?*

Lichtgebrek en dikke strooisellagen lijken de belangrijkste reden voor het uitblijven van natuurlijke verjonging. Voor zomereik zal gebrek aan licht de belangrijkste factor zijn.

9. *Wat is het herstellend vermogen van de bodem gerelateerd aan bijvoorbeeld de diepte van uitloging en welke maatregelen (abiotisch en biotisch) zijn hiervoor voorhanden?*

Er is vooral sprake van oppervlakkige verzuring en uitspoeling van nutriënten waardoor, in combinatie met een overmaat aan stikstof, sprake is van een disbalans in de nutriëntenhuishouding en mobilisatie van het toxisch aluminium. Bij verdere vermindering van de stikstofdepositie zal de overmaat aan stikstof afnemen, maar beschikbaarheid van andere nutriënten is afhankelijk van depositie en verwerking en zal slechts langzaam toenemen. Daarbij worden nutriënten ook opgeslagen in de biomassa (hout) als deze blijft toenemen.

10. *Is er sprake van een invloed van bodemprocessen op de samenstelling van het grondwater?*

Er zijn in de metingen geen aanwijzingen gevonden voor een wezenlijke uitspoeling van stoffen naar het grondwater.

Herstelopties

De slechtere vitaliteit van eiken, met name in Someren, kan deels toegeschreven worden aan een minder gunstige bodemgeschiktheid, maar is versterkt door de gevolgen van verzuring en stikstofdepositie. Bij herstelopties kan dan gedacht worden aan maatregelen die het gebrek aan nutriënten en zuurbuffer kunnen compenseren, bijvoorbeeld door het toedienen van stoffen, zoals kalkmeststoffen, schelpengruis of steenmeel. Een tekort aan fosfaat zou met gerichte bemesting aangevuld kunnen worden.

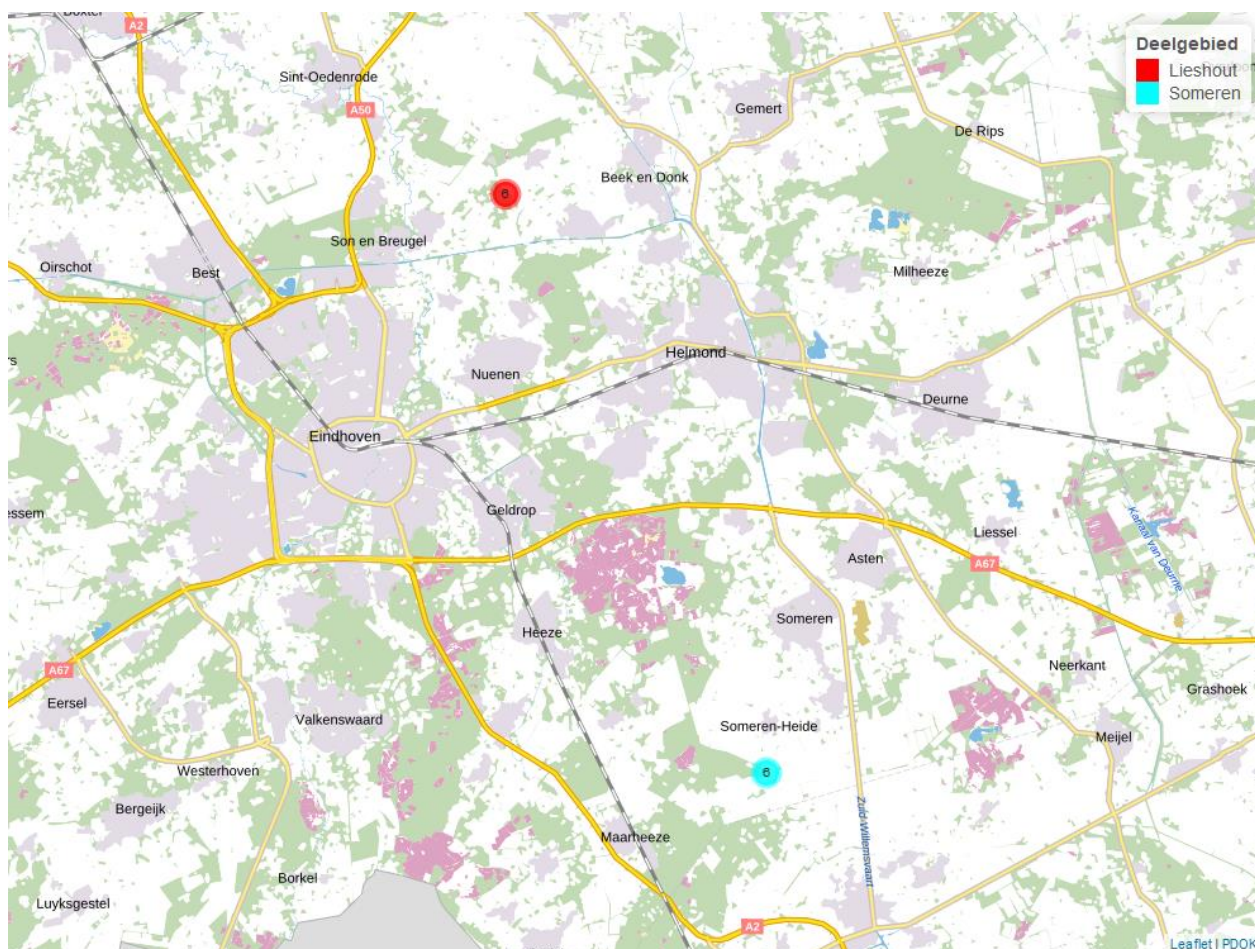
Daarnaast kan gedacht worden aan aanpassingen in het beheer, gericht op een andere bosontwikkeling met andere, eventueel aan te planten soorten. Toepassingsmogelijkheden van boomsoorten met een goede strooiselvertering beperken zich goeddeels tot berk (*Betula*), omdat de bodems voor veel andere soorten niet geschikt zijn. Een meer natuurlijk bostype op deze gronden zou bestaan uit een bos met grove den (*Pinus sylvestris*) en ruwe berk (*Betula pendula*) met ondergroei van blauwe bosbes (*Vaccinium myrtillus*) en op open plekken struikhei (*Calluna vulgaris*), eventueel met bremsoorten en jeneverbes (*Juniperus communis*). Voor de ontwikkeling van heide zal de begroeiing wel opgehouden moeten worden. Een mogelijkheid om het bos beter klimaatbestendig te maken (minder gevoelig voor extreme droogte), bestaat uit het inbrengen van minder droogtegevoelige (uitheemse) soorten. Voor veel van deze soorten zijn de bodems in de waterwingebieden echter minder geschikt. Enkele soorten, zoals boomhazelaar (*Corylus colurna*) of elsbes (*Sorbus torminalis*), zouden op kleine schaal toegepast kunnen worden.

1 Inleiding

In dit project is de relatie tussen bodem en bosvitaliteit in twee waterwingebieden van Brabant Water onderzocht. Het gaat om de gebieden Someren, waar de bomen een relatieve slechte vitaliteit kennen, en Lieshout. In dit tweede gebied hebben de bomen een overwegend redelijke vitaliteit.

1.1 Aanleiding

Eind 2020 werd geconstateerd dat in waterwingebied Someren veel zieke en dode bomen aanwezig zijn, zonder enige verjonging of ondergroei. Er staan zomereiken (*Quercus robur*) van veertig jaar oud, die mettertijd amper zijn gegroeid. Dit beeld ziet Brabant Water ook terug op het terrein van de gemeente, grenzend aan het waterwingebied. Op het terrein van Brabant Water sterft een deel van de bomen af, waarschijnlijk als gevolg van de droge jaren, in combinatie met de letterzetter. In het voorjaar van 2021 zijn de dode en ernstig zieke bomen op het bedrijfsterrein gekapt om onveilige situaties te voorkomen.



Figuur 1.1 Ligging van de beide waterwingebieden waar het onderzoek is uitgevoerd (Rood: Lieshout, Blauw: Someren).

Brabant Water heeft behoefte aan informatie over mogelijke oorzaken van de slechte vitaliteit van de opstand in Someren en adviezen die kunnen helpen bij een eventuele herplant. Daarom heeft Brabant Water aan Wageningen Environmental Research (WENR) gevraagd onderzoek te doen naar mogelijke oorzaken en

vervolgens oplossingsrichtingen voor de verminderde vitaliteit. Daarbij wordt gedacht aan de volgende factoren:

- Bodemgesteldheid en grondwaterstandverloop en daaraan verbonden geschiktheid van de standplaats voor de aangeplante bomen;
- Veranderingen in de bodemkwaliteit als gevolg van omgevingsfactoren (verdroging, stikstofdepositie, incidentele vernatting als gevolg van noodweer in mei en juni 2016);
- Invloed van het strooisel van de aangeplante bomen op de bodemkwaliteit;
- Vitaliteitskenmerken van de opstand.

Om deze adviezen breder te kunnen toepassen en te onderbouwen, is het nodig om een vergelijking te kunnen maken met vitalere bomen. Daarom is waterwingebied Lieshout aan het project toegevoegd. Het bos in waterwingebied Lieshout heeft, op basis van veldkennis van de beheerder, over het algemeen een betere vitaliteit dan het bos bij Someren en is qua geomorfologie, bodem en grondwaterregime vergelijkbaar (zie § 2.1). Zo is het mogelijk een vergelijking te maken tussen locaties waar het slecht gaat en waar het beter gaat. Vanuit onze expertise kunnen wij daaraan een bijdrage leveren op het gebied van bodemgesteldheid, bodemgeschiktheid, bodemchemie en vitaliteit en chemie van het hout. Door deze aspecten zo veel mogelijk in onderlinge samenhang te onderzoeken, kunnen wij aangeven wat de waarschijnlijkste factoren zijn die de slechte vitaliteit veroorzaken en een inschatting kunnen maken van mogelijke oplossingen. De ligging van beide waterwingebieden staat in figuur 1.1.

1.2 Doel en opzet

Het doel van het onderzoek is te achterhalen wat de oorzaak is van het verschil in vitaliteit van de onderzochte opstanden en het aanreiken van oplossingsrichtingen. Afhankelijk van de resultaten zullen deze adviezen ook in andere opstanden met vergelijkbare problematiek toegepast kunnen worden.

Onderzoeksvragen

De in § 1.1 geschetste aanleiding en mogelijke factoren zijn door de opdrachtgever vertaald naar onderzoeksvragen. Hieronder volgt nog een opsomming van de belangrijkste vragen:

1. Hoe is het gesteld met de vitaliteit van de bomen?
2. Wat zien we terug in de chemie van bladeren en hout en hoe kunnen we dat relateren aan de bodemkwaliteit?
3. Waarom blijft verjonging uit?
4. Ligt de oorzaak van de slechte kwaliteit van de opstand en het ontbreken van natuurlijke verjonging aan de bodemkwaliteit?
 - a. Wat is de bodemgeschiktheid voor de aangeplante boomsoorten?
 - b. Welke rol speelt het vroegere heidebeheer in een mogelijk ongunstige bodemvruchtbaarheid?
5. Kunnen weersomstandigheden (droogte, incidentele wateroverlast) een rol gespeeld hebben?
6. Is de bodemkwaliteit mogelijk ongunstig beïnvloed door de toegepaste boomsoorten?
7. Welke rol spelen omgevingsfactoren, zoals atmosferische depositie van vooral stikstof?
8. In hoeverre is de bodem door uitloging (natuurlijk en door depositie) ongeschikt geworden voor de bomen?
 - a. Aantasting zuurbuffer en daardoor verzuring
 - b. Uitspoeling nutriënten
9. Wat is het herstellend vermogen van de bodem gerelateerd aan bijvoorbeeld de diepte van uitloging en welke maatregelen (abiotisch en biotisch) zijn hiervoor voorhanden?
10. Is er sprake van een invloed van bodemprocessen op de samenstelling van het grondwater? Denk daarbij aan stikstofuitspoeling, maar ook aan vrijkomend aluminium. Dit in het licht van het streven van Brabant Water naar minimalisatie van niet-natuurlijke beïnvloeding van grondwaterkwaliteit in waterwingebieden. Dit proberen wij af te leiden uit de bodemanalyses. Eventuele invloed op de waterkwaliteit zou op basis van grondwatermonsters achterhaald moeten worden. Daarin hebben wij niet voorzien.

Om de bovenstaande onderzoeksvragen te beantwoorden, hebben wij samen met de opdrachtgever op basis van een eerste inschatting van de vitaliteit en spreiding over de beide waterwingebieden, twaalf bomen geselecteerd: zes met een normale vitaliteit en zes met een lage vitaliteit (§ 2.2). Vervolgens hebben wij aan

deze bomen aspecten van groei, vitaliteit en chemie (§ 2.3) en de aspecten van bodem en humus op de groeiplaats (§ 2.4) bij de boom onderzocht. De resultaten hebben wij opgenomen in hoofdstuk 3, waarna we in hoofdstuk 4 proberen de onderzoeksvragen te beantwoorden.

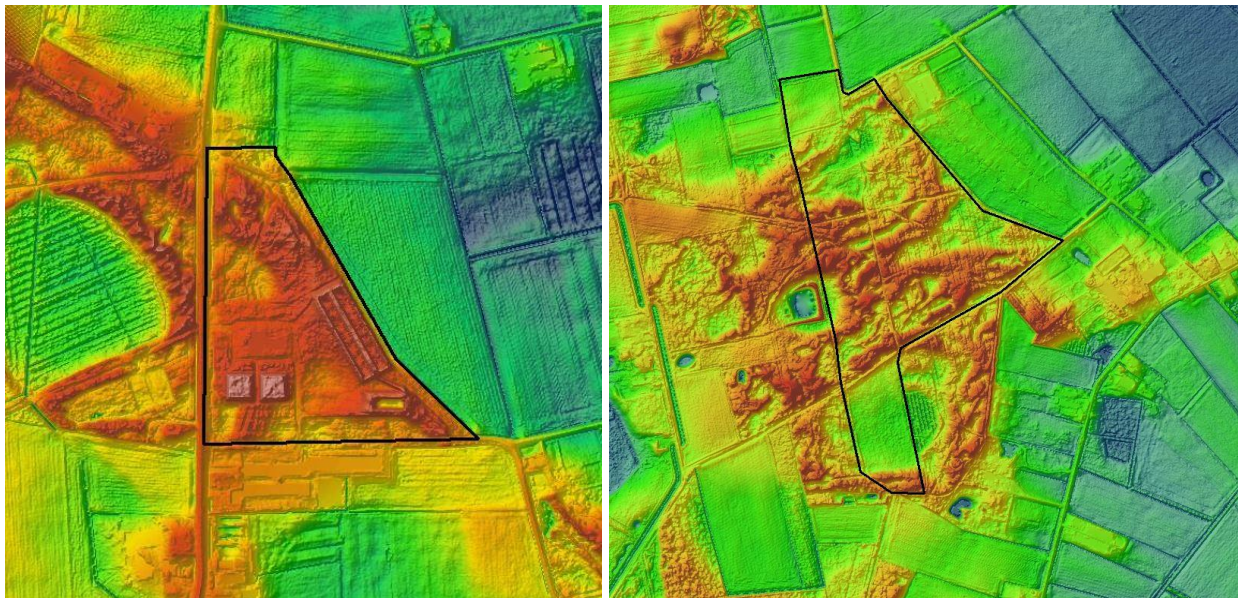
In dit rapport worden vooral methoden, resultaten en de synthese besproken en een deel van de data geleverd in bijlagen. Daarnaast hebben wij aan de opdrachtgever als afzonderlijke bijlagen geleverd:

- Rapportage over de bodem-, humus- en pH-profielen (Dijk et al., 2022);
- Excelbestand met gegevens over de boringen en profielbeschrijvingen '*Data_8423_Bodem en Bos in Someren en Lieshout.xlsx*'. Hiernaar verwijzen wij als: '*Bijlage Profielbeschrijvingen*';
- Excelbestand met de bodemchemische analysegegevens en interpretatie daarvan '*Analyseresultaten Rapport.xlsx*'. Hiernaar verwijzen wij als: '*Bijlage Bodemchemie*'.

De resultaten van het onderzoek aan de bomen zijn opgenomen in bijlagen in het rapport.

2 Materiaal en Methode

2.1 Achtergrondinformatie



Figuur 2.1 Reliëfkaarten van de twee studiegebieden: links Someren, rechts Lieshout (bron: AHN).

Als achtergrondinformatie bij het offertezoek is door de opdrachtgever onderstaande korte beschrijving over Someren gegeven. Wij hebben dit verder aangevuld, ook voor Lieshout.

Geomorfologie en Bodem

Op de geomorfologische kaart van Nederland (zie <https://bodemdata.nl/basiskaarten> kies Geomorfologie) is te zien dat Someren en Lieshout voornamelijk bestaan uit landduinen met bijbehorende vlakten en laagten (L54), dekzandruggen en dekzandwelingen (L51). Deze vormen zijn ook herkenbaar op de reliëfkaarten in Figuur 2.1. Op de bodemkaart van Nederland (zie <https://bodemdata.nl/basiskaarten> kies Bodem) is voor Someren bodemtype Hn21 weergegeven, dit zijn leemarme veldpodzolgronden met een dunne humushoudende bovengrond, voor Lieshout duinvaaggronden en haarpodzolen (Zd21 en Hd21). Het reliëf in Someren doet vermoeden dat er meer variatie in de bodem aanwezig is dan op de bodemkaart is weergegeven. Mogelijk komen hier ook haarpodzolgronden en duinvaaggronden voor. Opvallend is dat het voormalige ven aan de westzijde van de Kerkendijk in Someren op de bodemkaart niet apart wordt onderscheiden. Dit kan indiceren dat er meer variatie in bodemtype aanwezig is dan op de landelijke kaart (schaal 1: 50.000) weergegeven kan worden.

Historisch en huidig grondgebruik

Tot circa 1950 is het terrein in Someren onderdeel van een open heidelandschap geweest, met in het westen geïsoleerde vennen in de landduinen en/of dekzandruggen en in het vlakke gebied (zie Figuur 2.1), ten oosten van het terrein, natte heiden met stagnerend regenwater en/of uittredend (lokaal) grondwater. Op topografische kaarten in Figuur 2.2 is te zien dat het gebied omstreeks 1950 is beplant met naaldbos. Rond 1980 is het waterproductiebedrijf gebouwd en werd het zuidelijke deel van het terrein ingericht als bedrijfsterrein, het noordelijke deel als waterwingebied. Na de bouw is een groot gedeelte van het naaldbos op het bedrijfsterrein omgevormd naar loofhout met hoofdzakelijk zomereik. Hierbij is een aantal grove dennen en Corsicaanse dennen (*Pinus nigra v. laricio*) behouden.



Figuur 2.2 Historische kaarten Someren. Van links naar rechts de situatie rond 1900 en 1950, onder de huidige situatie.

In de huidige situatie bestaat de opstand in waterwingebied Someren voor een groot gedeelte uit berk (*Betula spec.*) en zomereik (*Quercus robur*), met een enkele grove den (*Pinus sylvestris*). In de ondergroei is o.a. krentenboompje (*Amelanchier lamarckii*) aanwezig.

Op het bedrijfsterrein bestaat de opstand voor een groot gedeelte uit zomereik met op enkele locaties een grove den. De randen in het oosten zijn aangeplant met Corsicaanse den, waarvan een groot gedeelte in het voorjaar van 2021 is gekapt. Aan de zuidzijde komt Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) op.

In Lieshout is het bos grotendeels na 1940 vanuit heide aangeplant (Figuur 2.3). Over de bosgeschiedenis hebben wij minder kunnen achterhalen dan voor Someren, maar tijdens het veldbezoek voor de selectie van de meetpunten bleken de opstanden vergelijkbaar met die in Someren.

Het beheertype volgens het Natuurbeheerplan van de provincie Noord-Brabant is in beide gebieden N16.03 – Droog bos met productie.



Figuur 2.3 Historische kaarten Lieshout. Van links naar rechts de situatie rond 1900 en 1950, onder de huidige situatie.

Grondwaterstanden

Door Brabant Water zijn voor Someren meetdata beschikbaar gesteld van nabijgelegen peilbuizen, via het dinoloket is nog een peilbuis toegevoegd (B57F0062) om een beter beeld van de grondwaterstanden in de omgeving te zien.

De ligging van deze grondwaterstandbuizen staat in figuur 2.4. In Bijlage 1 zijn de grondwaterstanden sinds 2013 van deze buizen weergegeven. De Grondwaterspiegeldieptekaart (<https://bodemdata.nl/basiskaarten> kies Grondwater) geeft in beide waterwingebieden grondwatertrap VIIId (GHG > 140 cm -mv GLG > 180 cm -mv) aan; het betreft dus zeer droge gronden.



Figuur 2.4 Peilbuizen in de buurt van Someren (dinoloket.nl).

Conclusie

Uit de vergelijking van geomorfologie, bodem, grondwater en geschiedenis in deze paragraaf kunnen wij concluderen dat de abiotische basis en de geschiedenis van beide grondwaterwingebieden goed vergelijkbaar zijn. Het verschil tussen veldpodzolgronden in Someren en haarpodzolgronden in Lieshout (beide humuspodzolgronden) geeft geen aanleiding grote verschillen te verwachten, zeker niet gezien de zeer diepe grondwaterstanden die hier voorkomen.

2.2 Opzet bemonstering

Om zo goed mogelijk verband te kunnen leggen tussen de verschillende waarnemingen aan het bodemsysteem en de bomen worden deze zo veel mogelijk gecombineerd. Uit het reliëf in **Figuur 2.1** kan opgemaakt worden dat er duidelijk sprake is van hogere en lagere delen, wat mogelijk samengaat met verschillen in profielopbouw en bodemvorming. Deze verschillen zullen van invloed kunnen zijn op de bodemgeschiktheid voor bomen, omdat in lagere delen het grondwater ondieper voorkomt en er daardoor wellicht meer vocht beschikbaar is. Daarnaast kunnen hogere ruggen ontstaan zijn door zandverstuiving, waardoor duinvaaggronden (Zd21) voor kunnen komen. Dat hebben wij betrokken in de bemonsteringsstrategie door bomen te selecteren in hogere en lagere terreindelen. Of deze verschillen ook echt voorkomen, zal blijken bij de beschrijving van de bodem (§ 3.3.1).

Op basis van het reliëf en verschillen in vitaliteit zijn, samen met de opdrachtgever, op 22 juni 2022 in het veld twaalf meetlocaties geselecteerd: zes dominante met bomen met een slechte vitaliteit op basis van uiterlijke kenmerken (vooral bladbezetting, bladkenmerken, waterlot, waterlotkenmerken) en zes dominante met bomen met een redelijke vitaliteit.

Omdat de selectie van de meetlocaties gebaseerd is op verschillen in vitaliteit tussen bomen, bespreken wij hieronder eerst de methoden voor het beoordelen van vitaliteit, groei en chemie van de bomen en vervolgens de bodemopnamen. In hoofdstuk 3, waar de resultaten gepresenteerd worden, gebruiken wij dezelfde volgorde, zodat bij het bespreken van de bodemresultaten al duidelijk is welke bomen meer of minder vitaal zijn. In hoofdstuk 4 bespreken wij de resultaten in gezamenlijkheid.

2.3 Methode vitaliteit, groei en chemie bomen

2.3.1 Vitaliteit en groei

Er zijn verschillende visuele kenmerken van bomen die kunnen wijzen op een verminderde vitaliteit. De verminderde vitaliteit, met als gevolg verminderde groei, zal gedurende meerdere jaren plaats moeten hebben, waardoor de bomen inboeten op reserves, verzwakken en uiteindelijk kunnen sterven (Andersson et al., 2011). Meerdere jaren monitoring van deze kenmerken is niet (meer) mogelijk. De huidige toestand van de kenmerken kan wel een goede indruk van de vitaliteit geven. Kenmerken die relevant zijn en in dit onderzoek zijn vastgesteld, zijn:

1. Bladbezetting: een lage bladbezetting duidt op verlaagde vitaliteit.
2. Insectenvraat: veel vraat kan duiden op zwakte, maar kan ook zwakte tot gevolg hebben.
3. Bladkenmerken (grootte, kleurafwijking, eikenmeeldauw): klein blad of verkleuring (gelig, bruin) kan duiden op aantastingen of gebreken.
4. Waterlot (vooral aan takken) en de kenmerken daarvan, evenals de vertwijging in de kroon, geven daarnaast een indicatie of een boom aan het aftakelen is of dat er juist herstel optreedt na eerdere (tijdelijke) verzwakking gedurende een periode van ongunstige condities (bv. tijdelijke droogte of juist vernatting, aantasting).
5. Aantastingen van schimmels (m.n. sombere honingzwam, *Armillaria ostoyae*) of kevers (m.n. eikenprachtkever, *Agilus biguttatus*) aan de stam (boorgaten, leksporen).
6. Groei: analyse van jaarringen kan vervolgens aangeven of er een trend is in de groei (bv. geleidelijke afname, sterke afname door droogte (2018-2019), herstel na droogte (2020-2021)). Daarvoor zijn per meetboom twee boorkernen, op 1,3 m hoogte, haaks op elkaar genomen waarvan de gemiddelde jaarringbreedte is gemeten.

Op basis van bovenstaande kenmerken is een inschatting van de vitaliteit van een meetboom per locatie gemaakt. Daarnaast is op basis van bladbezetting en de eerste vier kenmerken een inschatting gemaakt van de eiken rondom de meetboom.

2.3.2 Chemie blad en hout

Chemische analyse van blad en hout kan inzicht geven in de beschikbaarheid van nutriënten voor de bomen. Deze beschikbaarheid is de combinatie van aanwezigheid van nutriënten in de bodem en de mogelijkheid om deze op te nemen (waarvoor goed functionerende wortels en samenwerking met mycorrhiza nodig zijn). Van alle meetbomen zijn daarom mengmonsters genomen van blad en spinhout. Gemeten gehalten zijn vergeleken met datasets die in eerder onderzoek zijn opgebouwd. Voor nutriënten in hout is dit uit data van oude eikenbossen in Drenthe (van Bijlsma et al., 2020A) en onderzoek nutriëntenbalans in bossen van (De Vries et al., 2019). Voor blad zijn de datasets van Mellert en Göttlein (2012, voor macronutriënten N, P, Ca, K, Mg) en Göttlein (2015, voor overige elementen) gebruikt.

2.3.3 Verjonging

Natuurlijke verjonging van eik kan gehinderd worden door de volgende factoren (o.a. Oosterbaan, 2000; Oosterbaan & Van den Berg, 1996; De Waal en Winteraeken, 1999): onvoldoende zaadproductie, lichtgebrek, predatie van eikels en zaailingen, insectenvraat op zaailingen, meeldauwaantasting, concurrerende vegetatie, droogte, verzuring, dikke strooisellagen. Voor zover de informatie die wij in dit project (kunnen) verzamelen daar inzicht in geeft, kunnen wij beoordelen welke factoren hier een rol spelen.

We nemen als mogelijke factoren de volgende mee:

- Droogte
- Verzuring
- Dikte strooisellaag
- Lichtgebrek (bedekking van de boomlaag)

Deze factoren zijn worden opgenomen bij de bodem- en vitaliteitsopnamen.

2.4 Methode bodemopnamen

Hier geven wij kort aan hoe de bodem-, humus- en pH-profielen zijn opgenomen en de bemonstering van de bodemchemie is uitgevoerd. Voor meer informatie verwijzen wij naar de aparte rapportage over de profielen (Dijk et al., 2022) en de bijlage profielbeschrijvingen).

2.4.1 Bodemgesteldheid en grondwaterstandverloop

Allereerst is het belangrijk om inzicht te hebben in de bodemgesteldheid van de terreinen. Hiervoor hebben we op de twaalf meetlocaties boringen gedaan tot maximaal 180 cm -mv. Deze zijn beschreven en geclassificeerd volgens de bij WENR gebruikelijke methoden voor grootschalige karteringen (Ten Cate et al., 1995A). Deze indeling geeft meer informatie over profielopbouw en textuur dan de indeling van de Bodemkaart van Nederland (schaal 1: 50.000). Voor het inschatten van het grondwaterstandsverloop hebben wij — naast de veldkenmerken — de door Brabant Water aangeleverde meetgegevens gebruikt. Dit geeft inzicht in het gemiddelde grondwaterstandsverloop op basis van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).

2.4.2 Humusprofielen

Strooiselvertering wordt voornamelijk gestuurd door enerzijds de strooiselproductie en strooiselkwaliteit, ofwel de verteerbaarheid van het strooisel, en anderzijds door samenstelling en activiteit van het bodemleven, wat weer bepaald wordt door bodemeigenschappen, vochttoestand en milieufactoren (Van Delft et al., 2006; De Waal & Hommel, 2010; De Jong et al., 2015; Bijlsma et al., 2020A). Door de humusprofielen bij de boringen te beschrijven en te classificeren volgens de Nederlandse humusvormclassificatie krijgen we een indruk van het functioneren van de bosgroeiplaats. In combinatie met de chemische analyse van de ectorganische horizonten kan een inschatting gemaakt worden van de voorraad nutriënten (met name stikstof) die geaccumuleerd zijn in het strooisel. Omdat de ruimtelijke variatie van humusprofielen groter is dan voor de bodemprofielen, hebben wij bij elke meetlocatie drie humusprofielen op willekeurige plekken binnen enkele meters (ca. 3) rondom de boring en onder de boomkroon beschreven.

2.4.3 pH-profielen

De geschiktheid van de bodem als bosgroeiplaats hangt mede af van de zuurgraad. Daarnaast geeft het verloop van de zuurgraad met de diepte een indruk in hoeverre verzuring als gevolg van bodemvorming en atmosferische depositie is doorgedrongen in het profiel. Door bij de boringen op ca. 10 dieptes (5, 15, 25, 35, 55, 75, 95, 115, 135, 155 cm -mv) in het veld een pH-bepaling te doen met pH-indicatorstrookjes, is een goede indruk gekregen van de zuurgraad van het moedermateriaal en de diepte van uitloging (o.a. Bijlsma et al., 2020A). De gemeten pH van de bodem is representatief voor de bodemmatrix en daardoor vrijwel niet seizoensafhankelijk, in tegenstelling tot de pH van het bodemwater. De op deze wijze bepaalde pH-waarden komen redelijk overeen met pH-KCl zoals in het laboratorium gemeten wordt, maar liggen wel iets hoger. Ten opzichte van pH-H₂O zijn de veldmetingen iets lager. Bij de interpretatie is daarvoor gecompenseerd, zie tabel 2.1. Momenteel wordt aan een onderbouwing van deze methode gewerkt, met een goede vergelijking tussen de veldbepalingen en de metingen in het laboratorium (Van Delft et al., 2023).

Door de pH-waarden op meerdere dieptes te vergelijken, samen met de GLG en kritieke z-afstand van het bodemmateriaal, kunnen wij een indeling maken in pH-profieltypen (Tabel 2.2). Hiermee krijgen wij een indicatie van de mate waarin de zuurbuffer beïnvloed wordt door het grondwater (via kwel of capillaire

nalevering), maar ook wat de buffereigenschappen van het moedermateriaal zijn en in hoeverre deze veranderd zijn door uitspoeling.

Tabel 2.1 Referentiewaarden voor de zuurklassen bij verschillende methoden van pH-bepaling (Van Delft et al., 2023).

Zuurklasse	Naam	pH-H2O	pH-KCl	pH-Veld
1	Basisch	> 7.5	> 7.5	> 7.9
2a	Neutraal A	7-7.5	6.8-7.5	7.1-7.9
2b	Neutraal B	6.5-7	6.1-6.8	6.3-7.1
3a	Zwak zuur A	6-6.5	5.5-6.1	5.6-6.3
3b	Zwak zuur B	5.5-6	4.8-5.5	4.8-5.6
4a	Matig zuur A	5-5.5	4.1-4.8	4-4.8
4b	Matig zuur B	4.5-5	3.5-4.1	3.4-4
5a	Zuur A	4-4.5	2.8-3.5	2.6-3.4
5b	Zuur B	< 4	< 2.8	< 2.6

Tabel 2.2 Sleutel voor het afleiden van pH-profieltypen (Van Delft et al., 2023).

GLG - Zk < 20	Maximale pH in dieptetraject			pH-profieltype	
	> 20 cm	20 cm - GLG	0 - 20 cm	Code	Omschrijving
Ja	≥ 5,6	≥ 5,6	≥ 4,8	Kw	Kwel-invloed in wortelzone
			< 4,8	Ro	Kwel-invloed aanwezig, ondiepe regenwaterlens
		< 5,6		Rd	Kwel-invloed aanwezig, diepe regenwaterlens
	< 5,6	≥ 4,8		Lo	Mogelijk lokaal kwelwater, of lateraal toegestroomd, zwak gebufferd
			≥ 4,0	InAa	Basenarm infiltratieprofiel
		4,0 - 4,8	< 4,0	InAo	Ondiep verzuurd basenarm infiltratieprofiel
			>= 3,4	InZ	Zuur infiltratieprofiel
		< 4,0	< 3,4	InZz	Zeer zuur infiltratieprofiel
	Nee	≥ 6,3	≥ 4,8	InBa	Basenrijk infiltratieprofiel
			< 4,8	InBo	Ondiep verzuurd basenrijk infiltratieprofiel
4,0 - 6,3		≥ 4,0	InAa	Basenarm infiltratieprofiel	
		< 4,0	InAo	Ondiep verzuurd basenarm infiltratieprofiel	
< 4,0		>= 3,4	InZ	Zuur infiltratieprofiel	
		< 3,4	InZz	Zeer zuur infiltratieprofiel	

2.4.4 Bodemchemie en stikstofdepositie

Naast de profieleeigenschappen en grondwatersituatie, al dan niet beïnvloed door droge jaren of tijdelijke wateroverlast, speelt bodemchemie waarschijnlijk een belangrijke rol bij de verminderde vitaliteit. Uitspoeling van nutriënten en toename van beschikbaar stikstof in de bodem kunnen leiden tot een onbalans in de beschikbare nutriënten (De Vries et al., 2019). Daarbij kan door verzuring een verandering in de samenstelling van het bodemleven optreden van bacteriën naar schimmels, waardoor meer stikstof wordt

gemobiliseerd (Kemmers, 2011). Daarbij willen wij onderscheid maken tussen de oorspronkelijke bodemvruchtbaarheid en de externe gevolgen van atmosferische depositie.

Het terrein is tot ca. 1950 als heide in gebruik geweest, waarbij mogelijk ook verstuing is opgetreden als gevolg van overexploitatie. Waarschijnlijk zijn de nutriëntenvorraden in de bodem daarmee deels uitgeput. Bij vroegere ontginningen werd dit wel gecompenseerd door een eenmalige mestgift bij aanplant (Van den Burg, 1991). Of dat in de bossen bij Someren en Lieshout, die aan het eind van de periode van heidebebouwingen aangelegd zijn, het geval was, is niet duidelijk. De eerste jaren na de Tweede Wereldoorlog, de periode waarin de opstanden zijn aangeplant, was er een gebrek aan meststoffen. Door bij de chemische analyses de fosfaatgehaltes te beoordelen, kan een indruk gekregen worden in hoeverre deze zijn uitgeput.

Naast problemen met droogte of incidentele vernatting en de verwachte geringe bodemvruchtbaarheid bij bosaanleg, spelen stikstofdepositie en vroegere zwaveldepositie waarschijnlijk een belangrijke rol (o.a. Lucassen et al., 2014; Bobbink, 2021). De zwaveldepositie die in het verleden voor veel verzuring gezorgd heeft (zure regen) is weliswaar grotendeels gestopt en de stikstofdepositie is de laatste decennia ook sterk afgenomen, maar in die periode is de bodem al sterk verzuurd geraakt en dat proces gaat nog door (De Vries et al., 2017; 2019). Door zuurproductie bij de nitrificatie van ammonium kan de basenverzadiging afgenomen zijn en kan de bodem zijn verzuurd. In de verzuurde bodem kan uiteindelijk ook aluminium in oplossing gegaan zijn, wat toxisch is voor de wortels en mycorrhiza-schimmels, waardoor de P-opname beperkt wordt. Het uitspoelen van basische kationen kan leiden tot gebrek aan Ca, Mg en K in blad en hout.

Voor een indruk van de stikstofdepositie hebben wij de recentste depositiecijfers van het RIVM geraadpleegd (<https://www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten/depositiekaarten>) en vergeleken met de kritische depositiewaarden voor beheertypen volgens de Index natuur en Landschap van BIJ12 (<https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/>).

2.4.4.1 Bodemchemische analyses

Door het analyseren van bodemmonsters kunnen we inzicht krijgen in de accumulatie van stikstof in de ectorganische en endorganische horizonten en het effect op basenbezetting, pH, beschikbaarheid van Ca, Mg, K en P en de mobilisatie van Al. Daarvoor hebben we monsters van het strooiselpakket en drie lagen in het minerale deel van het profiel verzameld. Daarbij sluiten we aan op eerder vergelijkbaar onderzoek. De Vries et al. hebben in de jaren 1990 veel bosopstanden in Nederland bodemchemisch bemonsterd (De Vries & Leeters, 2001A en 2001B) en dit is op dezelfde locaties herhaald in 2017 voor de eikenopstanden (De Vries et al., 2017; 2019, hoofdstuk 3). Dezelfde benadering is gevolgd bij het onderzoek aan oude eikenbossen in Drenthe (Bijlsma et al., 2020A). Onze bemonstering sluit hierop aan, wat betekent dat gewerkt is met mengmonsters van drie steken rond het boorpunt waarmee het profiel is beschreven en wel op drie dieptes: 'strooisellaag', 0-10 cm en 10-30 cm. Het steken van de monsters is gecombineerd met de beschrijving van het humusprofiel (zie § 2.4.2). Dit levert kwantitatieve gegevens die goed kunnen worden vergeleken met die uit eikenopstanden elders op de hogere zandgronden (o.a. De Vries et al., 2017; Bijlsma et al., 2020A; Weijters et al., 2020 en 2022; De Jong et al., 2021). De opbouw van de strooisellaag (in feite het ectorganisch humusprofiel) is wel apart beschreven, maar als eenheid bemonsterd (conform werkwijze De Vries & Leeters, 2001A). Aanvullend is nog een bodemmonster uit de ondergrond (100-120 cm -mv) genomen, wat als referentie dient voor het onveranderde moedermateriaal.

De monsters zijn geanalyseerd door het CBLB van Wageningen Universiteit. Alle analyses zijn verricht aan luchtdroog materiaal. Na drogen is het materiaal gezeefd over een 2 mm zeef en zijn de analyses uitgevoerd volgens Tabel 2.3. De resultaten van de bodemchemische analyses zijn opgenomen in de bijlage 'Analyseresultaten Rapport.xlsx' in het tabblad 'Analyseresultaten' (alleen geleverd aan opdrachtgever). De bijbehorende methoden en eenheden staan in tabblad 'Methoden'.

Tabel 2.3 Chemische bepalingen aan bodemmonsters, de resultaten en afgeleide variabelen zijn opgenomen in de bijlage 'Bodemchemie' (Analyseresultaten Rapport.xlsx) die aan de opdrachtgever is geleverd. NB In de bijlage 'Bodemchemie' en de grafieken is om technische redenen geen subscript en superscript gebruikt voor de notatie van bepalingen. Ook is daar in voorkomende gevallen de letter 'μ' (micro) vervangen door 'mu'.

Soort	Groep	Bepaling	Methode	Procedure	Eenheid	
Nutriënten	Algemeen	Humus	Gloeiverlies moffeloven	E0100	%	
		Opneembaar	Al-CaCl ₂	Extractie 0,01M CaCl ₂ ICP-OES	E1301	mg/kg
	K-CaCl ₂		E1301		mg/kg	
	Mg-CaCl ₂		E1301		mg/kg	
	P-CaCl ₂		E1301		mg/kg	
	N-NH ₄ -CaCl ₂		Extractie 0,01M CaCl ₂ SFA-CaCl ₂		NB	mg/kg
	N-NOX-CaCl ₂				E1409	mg/kg
	Potentieel	Al-OX	Extractie ammoniumoxalaat - oxaalzuur ICP-OES	E1351	mg/kg	
		Fe-OX		E1351	mg/kg	
		P-OX		E1351	mg/kg	
	Totaal	Nt	Destructie H ₂ SO ₄ -H ₂ O ₂ -Se SFA-Nt/Pt	E1407	g/kg	
		Pt		E1407	g/kg	
Zuurbuffer	Buffer	Al-UITo	CEC ongebufferd ICP-OES	E1302	cmol(+)/kg	
		Ca-UITo		E1302	cmol(+)/kg	
		CECo		E1302	cmol(+)/kg	
		Fe-UITo		E1302	cmol(+)/kg	
		K-UITo		E1302	cmol(+)/kg	
		Mg-UITo		E1302	cmol(+)/kg	
		Na-UITo		E1302	cmol(+)/kg	
	pH	pH-KCl	pH-KCl pH-meter	E0106	bij 20±1 °C	

Op basis van de analyseresultaten hebben wij ook een aantal afgeleide variabelen berekend voor de nutriënten in tabblad 'Afgeleide bepalingen Nutriënten' en voor de zuurbuffer in tabblad 'Afgeleide bepalingen Zuurbuffer'. De verklaring van de namen voor de afgeleide bepalingen staan, samen met de berekeningswijze en eenheden, in tabblad 'Methode Afgeleide bepalingen'. De volgende afgeleide bepalingen zijn uitgevoerd op één of meer bepalingen:

- Koolstofgehalte CE uit $10 * \text{Humus}/2$ in g/kg;
- CN- en CP-ratio's uit $\text{CE} / (\text{Nt of Pt})$ als ratio;
- N/Org (g/kg OS) en P/Org (mg/kg OS) als deel van het organisch materiaal dat bestaat uit N of P. In navolging van De Vries & Leeters (2001B);
- Totaal beschikbaar stikstof N-CaCl₂ uit $\text{N-NH}_4\text{-CaCl}_2 + \text{N-NOX-CaCl}_2$ in mg/kg;
- Fosfaatbuffer (P_buf) en fosfaatverzadigingsgraad (PSI) als maat voor potentieel beschikbaar fosfaat, berekend uit $\text{P-OX}/(\text{Fe-OX} + \text{Al-OX})$ in mmol/mmol (fractie);
- Al/Fe, de verhouding tussen Al-OX en Fe-OX binnen de fosfaatbuffer in mmol/mmol (fractie);
- Voor het bepalen van de zuurbuffer hebben wij o.a. de calciumverzadiging (Ca-Verz_o), basenverzadiging (B-Verz_o) en de verhouding H/Ca berekend;
- Bulkdichtheid BD op basis van functies van organischestof- en lutumgehalte in kg/l;
- Massa per ha Massa/ha per bemonsterde laag uit BD, dikte van de laag en de oppervlakte van een ha in kg/ha;
- Gehaltes per volume voor diverse bepalingen berekend uit atoomgewicht, gehalte per kg en BD in μmol/l of mmol/l (toevoeging "_l" achter de code van de bepaling);
- Bij lognormaal verdeelde gehaltes (zie § 2.4.4.1) hebben we een logtransformatie uitgevoerd (toevoeging "_L10" achter de code van de bepaling);
- Voor de nutriënten de voorraden per bemonsterde laag uit de Massa/ha en gehaltes in mg/kg, uitgedrukt in kg/ha.

Door de resultaten van de bodemchemische bepalingen en de afgeleiden daarvan te vergelijken voor de verschillende dieptes (met elkaar en eerder onderzoek) krijgen we een indruk van de mate van uitloging en accumulatie in verschillende lagen (zie ook Smits et al., 2016). Als de bodemvormende processen beperkt

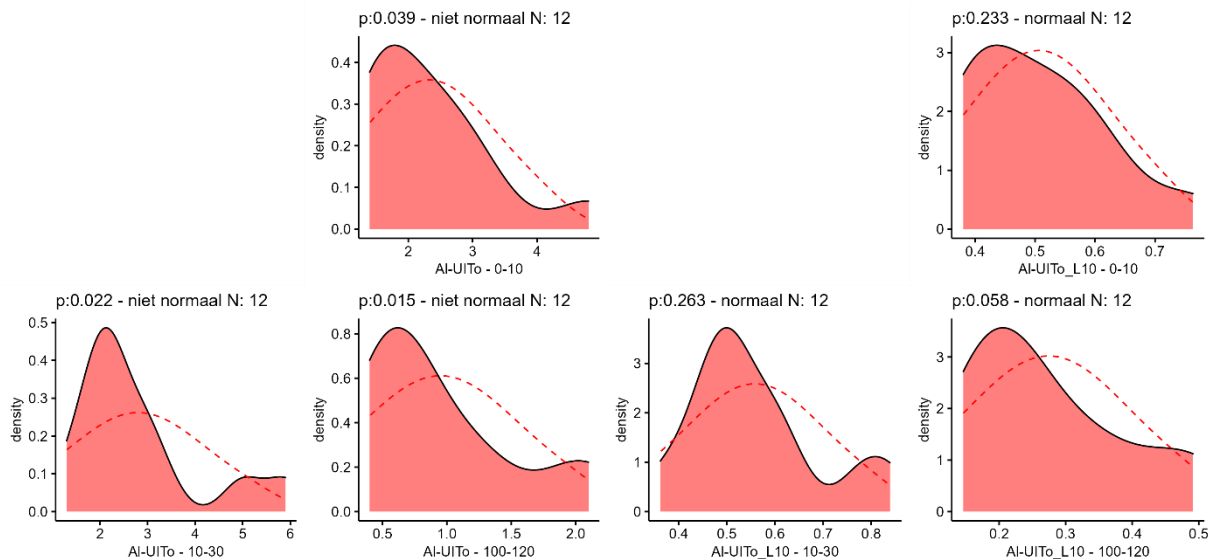
blijven tot de bovenste meter van het profiel kunnen wij laag 4 (100-120 cm -mv) als referentie voor het moedermateriaal beschouwen. De veronderstelling is dat er op die diepte nog relatief weinig veranderd is.

- CEC en uitwisselbare kationen bepalen samen de basenverzadiging en H/Ca-ratio. Samen met de pH-KCl geeft dat een indruk van de zuurbuffer;
- N-totaal en P-totaal geven de totaalgehalten weer, als vergelijking met de individueel gemeten fracties;
- In de CaCl₂-extractie meten we de actuele beschikbaarheid van de belangrijkste nutriënten;
- De oxalaatextractie geeft informatie over de potentieel beschikbare P-fractie (als PSI), maar ook de mate waarin Al-hydroxiden zijn verweerd als gevolg van verzuring. Dat komt tot uiting in de verhouding Al/Fe tussen Al-OX en Fe-OX. Een hoge waarde duidt op veel Al-verwering;
- Uit het verloop van NO₃- en Al-gehalten met de diepte kan een indruk verkregen worden of uitspoeling van deze stoffen naar het grondwater een rol speelt.

2.4.4.2 Normaliteit van de verdelingen

Voor een statistische vergelijking van verschillen tussen groepen (bijvoorbeeld normale versus lage vitaliteit) veronderstellen wij dat deze 'normaal' verdeeld zijn. Dat hebben wij getoetst met een 'Shapiro-Wilk-test' die beoordeelt of een dataset normaal verdeeld is. De Shapiro-Wilk-test berekent de waarschijnlijkheid dat een verdeling niet normaal verdeeld is. Dat is het geval als p (de kans op een normale verdeling) heel klein is. De gebruikte grenswaarde daarvoor is $p = 0.05$.

In een aantal gevallen bleek dat de verdeling van gemeten waarden hier niet aan voldoet. Dat hebben wij opgelost door een 'logtransformatie' toe te passen volgens $\text{Var_L10} = \text{Log10}(\text{Var} + 1)$, waarbij 'Var' staat voor de chemische bepaling. De waarde hebben we opgehoogd met 1, omdat van waarde 0 geen logaritme bepaald kan worden. Als de log-getransformeerde variabele wel een normale verdeling heeft, wordt besloten dat de variabele 'Lognormaal' verdeeld is. Dat betekent dat er relatief veel waarnemingen voorkomen met lage waarden en een klein deel met hoge waarden. Met name bij gehalten van stoffen is dat vaak het geval. De normaliteit van de verdelingen is gerapporteerd in tabblad 'Normaliteit Verdeling' in bijlage Bodemchemie. Omdat het aantal waarnemingen beperkt is — we hebben twaalf waarnemingen per analyse —, wordt een verdeling op deze manier eerder als niet normaal beoordeeld dan bij meer waarnemingen.



Figuur 2.5 Beoordeling van de verdeling van de waarden voor uitwisselbaar aluminium (Al-UITo in cmol(+)/kg) in drie bemonsterde lagen (0-10, 10-30 en 100-120 cm -mv). Links voor de gemeten waarden, rechts voor de log-getransformeerde waarden (Al-UITo_L10). De vlakken geven de verdeling aan, de rode stippellijn geeft aan hoe de verdeling eruit zou zien als deze perfect normaal was.

Een voorbeeld voor uitwisselbaar aluminium staat in Figuur 2.5. Voor de gemeten waarden van Al-UITo is deze steeds kleiner dan 0.05, bij de log-getransformeerde waarden is de p wel steeds groter dan de grenswaarde. Dan concluderen wij dat Al-UITo lognormaal verdeeld is. Visuele inspectie van de verdelingen (de vlakken) leert dat de verdeling ook na logtransformatie niet perfect normaal verdeeld is. Dat komt door

enkele waarnemingen die duidelijk hoger zijn dan de meeste anderen. Voor AI-UITo geldt dat bijvoorbeeld voor de laag 0-10 cm bij boom B07 (4.8 cmol(+)/kg) en laag 10-30 cm bij boom B09 (5.9 cmol(+)/kg).

2.4.4.3 Vergelijking tussen groepen

Om onderscheid te maken tussen groepen (monsters uit het project en referentieprojecten, vitale en niet-vitale bomen binnen het project en bemonsterde bodemlagen) hebben wij door middel van een variantieanalyse (Anova) getoetst of groepen significant van elkaar verschillen. Daarmee kunnen we bijvoorbeeld beoordelen of de gegevens uit het project vergelijkbaar zijn met de referenties ($p > 0.05$, ze verschillen niet significant) of dat kenmerken bij vitale bomen anders zijn dan bij niet-vitale bomen ($p < 0.05$, ze verschillen wel significant), wat een aanwijzing kan zijn voor een oorzaak van de verminderde vitaliteit. Wij gebruiken de vaak gebruikte grenswaarde van $p = 0.05$ om de significantie te testen, maar door het relatief kleine aantal waarnemingen worden verschillen minder snel als significant beoordeeld dan bij hogere aantallen waarnemingen. Daarom geven wij bij een waarde van $p \geq 0.05$ en < 0.1 aan dat er een mogelijk verschil is (zie onderaan deze paragraaf). Voor de volgende variabelen hebben wij een dergelijke analyse tussen groepen uitgevoerd:

- **Vergelijking gehalten met referenties:** Gehaltes van stoffen tussen de groeiplaatsen van de in dit project onderzochte bomen en van eiken op vergelijkbare groeiplaatsen (qua bodem en grondwatertrap) in eerder onderzoek (referenties):
 - Eikenopstanden in Drenthe (Bijlsma et al., 2020A): vier locaties met monsters van strooisel (L+F+H-horizonten) en de lagen 0-10 en 10-30 cm -mv.
 - Bemonstering van bodem-C in opstanden van NBI (Nederlandse Bosinventarisatie) (De Jong et al., 2021): 24 locaties met monsters van strooisel (L+F en H apart in twee monsters) 0-30 cm en 30-100 cm. De monsters uit de strooisellagen hebben wij niet kunnen vergelijken, omdat daar geen vergelijkbare metingen in gedaan zijn. De laag van 30-100 cm -mv is niet bruikbaar om te vergelijken met de laag van 100-120 cm -mv in dit project, omdat deze een veel groter dieptetraject beslaat. De laag van 0-30 hebben wij vergeleken met de laag van 10-30 cm in dit project, omdat daar de overlap groter is.
 - Daarnaast hebben wij de uitkomsten vergeleken met eerder onderzoek van De Vries (De Vries & Leeters, 2001B; De Vries et al., 2017; De Vries et al., 2019) en van de nulmeting in het steenmeelonderzoek in eikenbossen op de Veluwe (Weijters et al., 2020). Omdat wij daar geen gegevens van individuele monsters hebben, hebben wij onze resultaten vergeleken met de gerapporteerde spreiding voor eiken op droge zandgronden.

Een samenvatting van de bepalingen in de referentiedatasets is in de vorm van gemiddelde en percentielen, opgenomen in tabblad 'Referentie samenvatting' in bijlage Bodemchemie. Hiermee proberen wij inzicht te krijgen in hoe de bodemchemie in de onderzochte opstanden zich verhoudt tot opstanden elders in Nederland.

- **Vergelijking voorraden met referentie:** Voorraden van stoffen tussen de groeiplaatsen van de in dit project onderzochte bomen en van eiken op vergelijkbare groeiplaatsen (qua bodem en grondwatertrap) in eerder onderzoek, zoals hierboven vermeld. Hierbij hebben we niet alle bemonsterde lagen apart vergeleken, maar de 'ectorganische' lagen (strooisel) en de 'endorganische lagen' van 0-30 cm. Hiermee willen wij nagaan of er verschillen zijn in accumulatie van stoffen tussen de locaties in dit project en de referenties.
- **Vergelijking gehalten tussen vitaliteitsklassen:** Gehaltes en voorraden van stoffen tussen de groeiplaatsen van bomen met een normale en lage vitaliteit in de vier bemonsterde lagen. Hiermee proberen wij het verschil in vitaliteit te verklaren.
- **Vergelijking gehalten tussen lagen:** Gehaltes in stoffen tussen de bemonsterde lagen onderling (exclusief het strooisel) voor de standplaatsen met een normale vitaliteit en die met een lage vitaliteit. Hiermee krijgen wij inzicht in hoeverre door bodemvormende processen en verzuring de samenstelling is veranderd ten opzichte van het moedermateriaal (laag 100-120 cm -mv).

Een samenvatting van de vergelijking tussen groepen (Anova) staat in tabblad 'Vergelijking Clusters' in bijlage Bodemchemie. In de kolom 'Thema' is aangegeven binnen welk thema de vergelijking heeft plaatsgevonden, dus welke clusters met elkaar vergeleken zijn, de kolom 'Klasse' geeft aan binnen welke groepen of klasse dat is gebeurd:

- In thema 'Vitaliteit' zijn de groeiplaatsen van bomen met een lage vitaliteit vergeleken met die van bomen met een hoge vitaliteit. De vergelijking is steeds gedaan binnen diepteklassen: 'LFH', '0-10', '10-30' en '100-120', voor zover in beide clusters voldoende waarnemingen beschikbaar waren.
- In thema 'Diep_KI' is de vergelijking gemaakt tussen de diepteklassen, exclusief 'LFH' en binnen de vitaliteitklassen 'laag' en 'hoog'.
- In thema 'Dataset' zijn de groeiplaatsen van bomen in dit project vergeleken met die van bomen in de referentiedatasets met vergelijkbare bodem en grondwatertrap. De vergelijking is steeds gedaan binnen diepteklassen 'LFH', '0-10', '10-30' en '100-120', voor zover in beide clusters voldoende waarnemingen beschikbaar waren. Waar in de referentiedataset alleen de laag van 0-30 cm bemonsterd is, is deze vergeleken met diepteklasse '10-30' binnen het project.

De significantie van de verschillen tussen groepen geven wij aan met de volgende grenswaarden voor p: *** = zeer sterk significant ($p < 0.001$), ** = sterk significant ($0.001 \leq p < 0.01$), * = significant ($0.01 \leq p < 0.05$), - = aanwijzing voor verschil ($0.05 \leq p < 0.1$), ns = niet significant ($p \geq 0.1$).

2.4.5 Bodemgeschiktheid

In het verleden hebben de voorgangers van WENR uitgebreid onderzoek gedaan naar de bodemgeschiktheid voor bosbouw (o.a. Waenink & Van Lynden, 1989; Van Delft & Leeters, 1989; Ten Cate et al., 1995D). Meer recent zijn de daarvoor gebruikte methoden, in aangepaste vorm, opnieuw toegepast (Bonten et al., 2015; Van Delft et al., 2017). Met deze methoden kan een inschatting gemaakt worden van de boomgroei van verschillende veelgebruikte houtsoorten bij verschillende bodems, in relatie tot het grondwaterstandsverloop en andere bodemeigenschappen.

De methode voor de geschiktheidsbeoordeling is gebaseerd op de situatie in 1970 en is, zeker qua groeiverwachting, niet zonder meer van toepassing op de huidige situatie, waarin onder andere het neerslagoverschot is toegenomen en door stijgende temperaturen ook de lengte van het groeiseizoen met ca. 2,5 week is verlengd (De Vries et al., 2019). Ook waren de bosbodems indertijd vaak nog erg jong, omdat deze nog niet zo heel lang geleden (decennia) uit heide ontgonnen waren. De huidige bossen en bosbodems functioneren een halve eeuw later waarschijnlijk anders. Dat betekent dat niet alle relaties tussen bodemeigenschappen en boomgroei waarop dit systeem gebaseerd is nog geldig zijn. De geschiktheidsbeoordeling moet dan ook als indicatief gezien worden. Dat is ook niet zo'n groot probleem, omdat de groeiverwachting in drie klassen wordt gegeven: 1) goede groei, 2) normale groei, 3) slechte groei. Dat lijkt nog steeds geldig, maar de verwachting van de aanwas (in m^3/j) die hieraan verbonden werd, lijkt niet meer bruikbaar.

Wij hebben per locatie een beoordeling gedaan. Hiermee geven wij aan of de bodems geschikt zijn voor de aangeplante boomsoorten, in dit geval is dat overal zomereik, omdat daar de focus van deze studie ligt. Voor herstelopties, waarbij ook naar andere boomsoorten gekeken wordt, zijn de groeiverwachtingen voor andere boomsoorten ook relevant (§ 4.3). Bij zo'n geschiktheidsbeoordeling worden beoordelingsfactoren vastgesteld voor:

- Ontwateringstoestand – op basis van GHG;
- Vochtleverend vermogen – op basis van profielopbouw, bewortelbare diepte en grondwaterstandverloop;
- Voedingstoestand – op basis van bodem en vegetatie;
- Zuurgraad – op basis van metingen in het veld of aan bodemmonsters.

De methode voor het afleiden van de beoordelingsfactoren en klassenindeling wordt meer in detail beschreven in (Ten Cate et al, 1995D). Voor het berekenen van het vochtleverend vermogen hebben wij gebruikgemaakt van de recentste bodemfysische karakterisering van bodemkundige bouwstenen uit de Staringreeks (Bakker et al., 2020). Hiermee hebben wij zowel de kritieke z-afstand als de vochtinhoud van de bewortelingszone uitgerekend, waarna een gradatie voor het vochtleverend vermogen kon worden afgeleid (zie Tabel 3.14). De inschatting van de voedingstoestand vindt in de oorspronkelijke methode plaats op basis van de samenstelling van de ondergroei. Daarvoor werd in het verleden een vegetatiekartering

uitgevoerd volgens de indeling van Bannink Leijs en Zonneveld (1973). Omdat onduidelijk is hoe de relatie van deze vegetatietypen met de voedingstoestand bij veranderde bodemchemie als gevolg van met name stikstofdepositie sinds 1970 is veranderd en hoe dit doorwerkt in de groeiverwachting, zijn wij er niet zeker van in hoeverre deze relaties nog geldig zijn. In plaats van een vegetatiekartering kunnen we proberen op basis van de bodemchemie een inschatting te maken van de voedingstoestand. Hierbij zijn chemische analyse van N, P en K in de bodem mogelijk behulpzaam. Het lastige is dat door Bannink, Leijs en Zonneveld geen duidelijke relaties gevonden werden met bodemchemische parameters die wij hier kunnen toepassen. Zonder dat de vegetatie systematisch opgenomen is, hebben wij toch op basis van veldwaarnemingen en foto's een inschatting proberen te maken. Deze kunnen wij nog wel vergelijken met bodemchemische parameters (§ 3.3.5).

De zuurgraad hebben wij ingeschat op basis van de chemische analyse van bodemmonsters. In de methode voor de geschiktheidsbeoordeling (Ten Cate et al., 1995D) worden op basis van pH-KCl drie klassen onderscheiden voor de zuurgraad. Daarbij wordt opgemerkt dat bij pH-KCl < 3.5 de groei van loofboomsoorten, vooral van populier en es, ernstig wordt belemmerd. Om die reden hebben wij nu de gradatie 3 opgedeeld in een sterk zuur deel (3A: pH-KCl 3.5 – 4.5) en een zeer sterk deel (3B: pH-KCl < 3.5). Bij het toekennen van geschiktheidsklassen volgens de bestaande sleutels heeft dat (nog) geen effect. Wel hebben wij achter de code van de geschiktheidsklasse een toevoeging 'z' geplaatst om aan te geven dat het hier om zeer sterk zure bodems gaat met mogelijk een slechtere groeiverwachting voor sommige loofboomsoorten.

Tabel 2.4 Gradatie in zuurgraad als afhankelijke van de pH-KCl (bron Ten Cate et al., 1995D, uitgebreid voor zeer sterk zure bodems).

Gradatie Code	Benaming	pH-KCl
1	Neutraal	≥ 6.5
2	Zwak zuur	4.5 – 6.5
3A	Sterk zuur	3.5 – 4.5
3B	Zeer sterk zuur	< 3.5

3 Resultaten

3.1 Ligging van de meetlocaties



Figuur 3.1 Ligging van de meetlocaties (B01 t/m B06) in waterwingebied Lieshout.



Figuur 3.2 Ligging van de meetlocaties (B07 t/m B12) in waterwingebied Someren.

Samen met de opdrachtgever hebben wij twaalf meetlocaties geselecteerd, zes in Lieshout (Figuur 3.1) en zes in Someren (Figuur 3.2). Op deze locaties zijn de in hoofdstuk 2 besproken metingen gedaan aan de groei en vitaliteit van de meetbomen (§ 3.2) en bodem en humus (§ 3.3).

3.2 Groei en vitaliteit van de meetbomen

3.2.1 Vitaliteit

De vitaliteit van de meetbomen en plots¹ verschillen sterk van elkaar, ondanks dat ze soms dicht bij elkaar liggen (tabel 3.1, Bijlage 5). Diverse meetbomen hebben wel ten minste lichte kenmerken van stress, zoals waterlot op de takken. Maar dat is veelal niet zorgwekkend en kan ook een teken zijn van herstel, bijvoorbeeld van eerdere droogtestress (vooral waterlot dat normaal vertwijgd is, duidt hierop). Sterke verschillen in vitaliteit tussen bomen die dicht bij elkaar staan, zien we bij meetbomen B10 en B11. Zo is de vitaliteit van meetboom B10 zeer slecht (de minst vitale van alle meetbomen), terwijl die van boom B11 juist goed is. Beide bomen liggen op minder dan 30 m van elkaar. Andere bomen met een duidelijk matige vitaliteit zijn bomen B01 (vlak bij bomen B02 en B03 met een redelijke goede vitaliteit), B05, B07 B09 en B12.

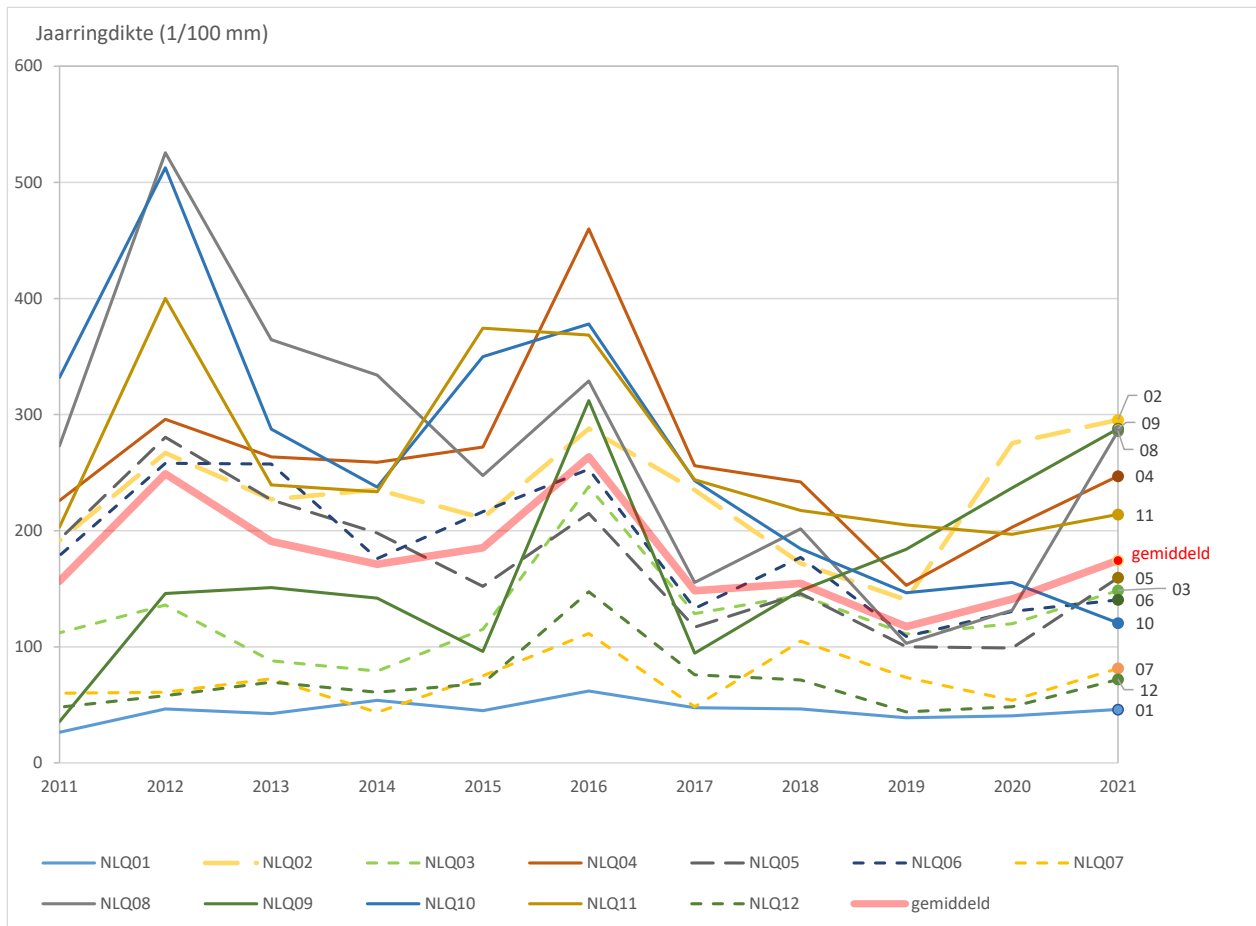
Tabel 3.1 Beschrijving van kenmerken van de meetbomen en de directe omgeving ervan.

Nummer	Beschrijving meetboom	Beschrijving directe omgeving (plot)
B01	Kroon deels ingestorven, veel waterlot op takken, normaal vertwijgd. Veel waterlot op stam, normaal vertwijgd. Lichte vraat. Vorstscheuren op stam.	Opstand met enkele eiken in grove den. Eiken van de opstand deels vergelijkbaar met meetboom, m.u.v. waterlot op stam. Enkele met minder stress. Ondergroei van prunus.
B02	Gezonde boom, wel iets waterlot op takken, normaal vertwijgd (lichte stress gehad).	Groepje eiken ruim opgegroeid (laag betakt), gesloten ondergroei van prunus tot 4 m. Een kleinere eik (wellicht voormalig hakhout) heeft stresskenmerken.
B03	Blad iets gelig aan top, lichte vraat, iets waterlot op takken, normaal vertwijgd, lichte stress (gehad).	Groepje eiken aan rand van grove dennenopstand met enkele berk en Am. eik. Alle eiken hebben lichte stres (gehad?), lichte vraat en iets gelig blad aan de top.
B04	Iets waterlot aan takken, normaal vertwijgd, lichte stress/herstel. Zwaar betakt (ruim opgegroeid).	Mix van enkele eiken met grove den, ondergroei van ca. 80% prunus tot 4 m.
B05	Duidelijke vraat, slecht blad aan de top, maar onderin duidelijk beter blad. Geen waterlot, takken matig vertwijgd (stress).	Jong groepje eiken in opstand met grove den en berk. Dichte ondergroei met vuilboom tot 5 m.
B06	Nauwelijks waterlot, blad wel iets gelig, deels meeldauw, duidelijk aangevreten, verder vitale boom.	Drie eiken in opstand van grove den. Een eik meer onderstandig. Ca. 80% prunus rondom meetboom.
B07	Iets waterlot op takken en stam normaal vertwijgd, blad matig, lichte vraat (EPR). Vertwijging van takken niet optimaal, stress.	Opstand >50% open, veel berken afgestorven. Eiken matig tot goed in het blad.
B08	Waterlot op takken en stam, normaal vertwijgd, lichte vraat (EPR nest).	Opstand 80% gesloten, minder vitale eiken waren geveld (recent was de opstand volledig gesloten), nauwelijks ondergroei.
B09	Waterlot op takken en stam, normaal vertwijgd. Takken deels verarmd vertwijgd.	Opstand 30-50% open, veel berk dood en enkele eiken. Weinig verjonging, geen eik, wel enkele vuilboom.
B10	Zeer lage bladbezetting, blad slecht (onderin matig), sterk aangevreten, waterlot deels gestorven en slecht vertwijgd (ageotroop). Klein lekspoor.	Opstand 30-50% open, diverse dode berken, esdoorn. Ondergroei van prunus en lijsterbes.
B11	Vitale boom, Sint-Janslot nog iets gelig, diepe kroon, lichte vraat.	Opstand van stukje eik, gesloten (> 80% bedekking), ondergroei van prunus, lijsterbes, Am. eik, berk.
B12	Lichte tot matige vraat, kroon matig, niet vol, waterlot op stam normaal vertwijgd, takken deels matig vertwijgd.	Opstand 70% gesloten, diverse dode eiken en berken, verjonging van prunus, lijsterbes en vuilboom.

¹ In dit rapport worden verschillende aanduidingen gebruikt voor de meetobjecten. Uitgangspunt zijn de twaalf bomen die geselecteerd zijn. Een deel van de metingen is gedaan aan de boom, maar er zijn ook waarnemingen gedaan aan de directe omgeving van de boom, andere bomen en struiken. Dat duiden wij aan met plot. Om de groeiplaats van de boom te beschrijven, hebben wij steeds een boring gedaan en drie humusprofielen beschreven op de locatie waar die boom groeit. In alle gevallen gebruiken wij de nummering B01 t/m B12.

3.2.2 Groei

De jaarringbreedte van de meetbomen ligt de laatste jaren gemiddeld iets onder 2 mm (figuur 3.3, Bijlage 2). Dat is een redelijke jaarringbreedte, bijvoorbeeld als deze vergeleken worden met de diktegroei volgens de opbrengsttabellen van (Janssen et al., 2018), die bij de betere boniteiten varieert van ca. 1,5 tot 3 mm per jaar (afhankelijk van leeftijd en dunningsregime). De diktegroei verschilt eveneens sterk tussen de meetbomen. Enkele bomen hebben al jarenlang een lage diktegroei (B01, B07 en B12). Sommige bomen hebben juist al langere tijd een redelijk goede groei, zoals bomen B02, B04 en B08. Bij boom B09 neemt de groei de laatste jaren wat toe.



Figuur 3.3. Verloop van de jaarringbreedte (gemiddelde van twee haaks op elkaar genomen boringen), per meetboom en gemiddeld.

3.2.3 Chemie blad en hout

In de elementgehalten van blad en spinhout zijn enkele opvallende zaken te zien (tabel 3.2, Bijlage 3 en 4). In het blad is het calciumgehalte bijna altijd laag, meestal onder het niveau dat wijst op een tekort. Alleen bij boom B10 is het voldoende. Maar ook van kalium, magnesium fosfor zijn de gehalten veelal laag, en diverse keren te laag. De stikstofgehalten zijn daarentegen diverse keren (boom B01, B05, B07, B08) te hoog. Maar er zijn ook enkele bomen waarbij het stikstofgehalte juist laag is (B09, B10, B12). De N/P-ratio's liggen in de normale range van Mellert en Göttlein (2012). Dat geldt voor de meeste bomen ook voor N/Mg, maar bij B06 en in mindere mate B10 is deze ratio te hoog. De N/K-ratio is voor B05, B07, B09 en vooral B10 te hoog. De N/Ca-ratio is voor de meeste bomen eveneens te hoog, met uitzondering van B03 en B11. De gehalten aan micro-elementen koper, mangaan en zink) zijn meestal aan de lage kant. De elementgehalten in het spinhout (Bijlage 4) laten een grote variatie zien. Voor calcium zijn de gehalten veelal hoger dan de referenties (metingen in Drenthe en overige Nederlandse locaties). Van de andere

macro-elementen liggen de waarden meer rond de referenties. Wat verder opvalt, is dat de ijzergehaltes lager liggen dan in de Drentse bomen, terwijl de gehaltenes zink hoger zijn.

De opvallendste vitaliteitskenmerken en nutriëntgehaltenes zijn in tabel 3.2 samengevat. Een samengevat totaalbeeld is in tabel 3.3 weergegeven.

Tabel 3.2 Samenvatting van vitaliteitsparameters per meetboom of plot. Bij boom of opstandkenmerken (tabel 3.1) is - - een slechte vitaliteit of groei tot + een goede vitaliteit of groei. Bij elementgehaltenes is - - een tekort in blad/erg laag in spinthout, - is laag, +/- normaal en + is hoog.

Onderwerp	Plot-/boomnummer											
	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11	B12
Boomkenmerken	-	+	+/-	+	-	+	-	+	+/-	--	+	-
Opstandkenmerken	-	+	+	+	--	+	--	+/-	-	-	+	-
Groei	--	+	+/-	+	+/-	+/-	--	+/-	+	--	+	--
Elementen in blad												
Ca	--	--	-	--	--	--	--	--	--	--	+	--
K	-	+	+	-	-	-	-	-	--	--	+	-
Mg	-	-	+/-	-	-	--	-	-	--	--	+/-	+/-
N	++	+	+	+	++	+	++	++	+/-	+/-	+	+/-
P	-	-	+/-	+	+	-	-	+	-	-	+	+
S	+/-	+/-	+/-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	-	-	+/-	-
overig laag	Mn Zn	Cu Zn	Cu Zn		Zn	Mn	Cu Zn	Mn	Cu Mn Zn	Cu Mn Zn	Mn	Mn
Elementen in hout												
Ca	-			-				+	-	+	+	-
K	-	+			-				-	+		-
Mg		-		+	+	-		-				-
N	+		-		-	-	+		--		-	--
P		+		+				-	-	+		-
S	+		-		+		+		-			-
overig laag	Mn	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Cu Fe	Fe Mn	Fe Mn	Fe Mn Zn
overig hoog	Al Fe				Al							

Tabel 3.3 Samenvatting van de groei en vitaliteitskenmerken per boom en plot, met indeling op basis van expertinschatting.

Plot-/boomnummer	Indeling vitaliteit	Toelichting/aandachtspunten
B01	laag	Ongunstige vitaliteitskenmerken, lage groei, lage gehaltenes van vooral Ca, K, Mg in blad en hout
B02	normaal	Normale vitaliteitskenmerken en rel. goede groei, wel tekort aan Ca in blad en lage gehaltenes Mg in blad en hout
B03	normaal	Iets matige vitaliteitskenmerken, normale groei, elementgehaltenes meestal normaal, Ca in blad laag
B04	normaal	Normale vitaliteitskenmerken, rel. goede groei, elementgehaltenes meestal normaal, Ca in blad te laag, K en Mg eveneens laag, en Ca in hout laag
B05	laag	Ongunstige vitaliteitskenmerken, gemiddelde groei, elementgehaltenes meestal normaal, Ca in blad te laag, K en Mg eveneens laag, en K in hout laag
B06	normaal	Normale vitaliteitskenmerken en groei, Ca en Mg in blad te laag K eveneens laag, en Mg in hout laag
B07	laag	Ongunstige vitaliteitskenmerken, lage groei, Ca in blad te laag, K, Mg en P eveneens laag
B08	normaal	Normale vitaliteitskenmerken en groei, Ca in blad te laag, K, Mg eveneens laag, Mg en P in hout laag
B09	laag	Matige vitaliteitskenmerken, rel. goede groei (mogelijk mede door ruime stand), Ca, K, Mg in blad te laag, P en S eveneens laag, gehaltenes in hout laag
B10	zeer laag	Zeer ongunstige vitaliteitskenmerken, slechte recente groei (afnemend), Ca, K, Mg in blad te laag, P en S eveneens laag
B11	normaal	Normale vitaliteitskenmerken en rel. goede groei
B12	laag	Ongunstige vitaliteitskenmerken, slechte groei Ca in blad te laag, K en S eveneens laag, lage gehaltenes in hout

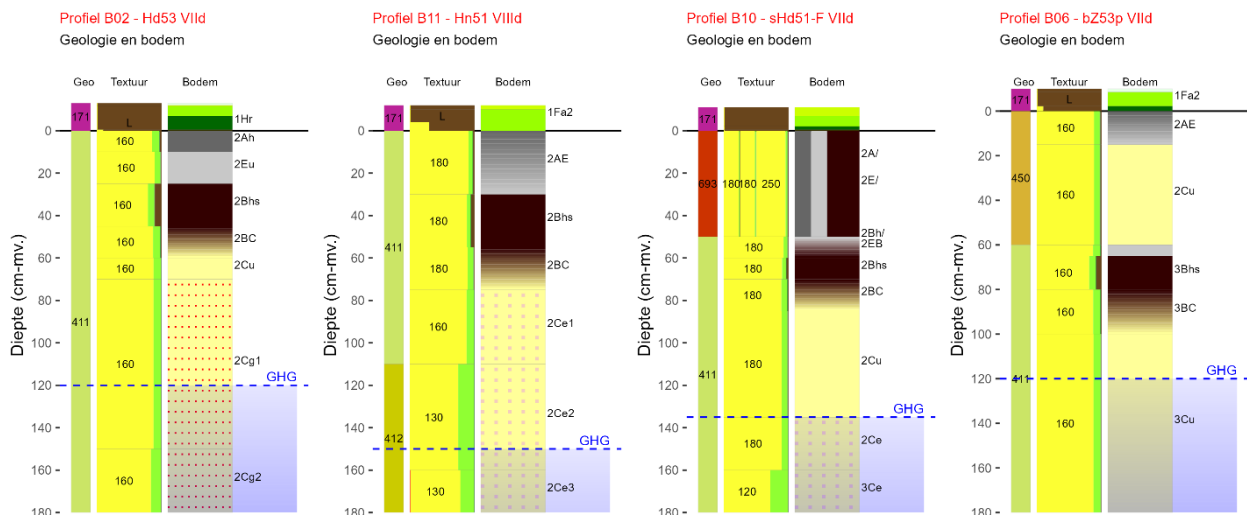
3.3 Bodem en humus

In deze paragraaf geven wij een korte samenvatting van de aangetroffen bodemeenheden, grondwatertrappen, humusvormen en pH-profieltypen. Een uitgebreide rapportage wordt apart aan de opdrachtgever geleverd, met een bijlage per deelgebied waarin voor alle locaties een informatieblad met gedetailleerde informatie gegeven wordt (Dijk et al., 2022 en bijlage 'Profielbeschrijvingen').

3.3.1 Bodemgesteldheid

Tabel 3.4 Aangetroffen bodemeenheden, exclusief toevoegingen en verwerkingen. De intensiteit van de achtergrondkleur in de regels geeft aan welke bodemeenheden het vaakst zijn aangetroffen.

Eenheid	Beschrijving	Aantal
bZ53p	Duinvaaggrond, zeer humusarm in Matig fijn stuifzand, zwak lemig met zand met humuspodzol in de ondergrond	1
bZ53z	Duinvaaggrond, zeer humusarm in Matig fijn stuifzand, zwak lemig met zand zonder podzol in de ondergrond	1
Hd51	Haarpodzolgrond in Matig fijn zand, leemarm	1
Hd53	Haarpodzolgrond in Matig fijn zand, zwak lemig	4
Hn51	Veldpodzolgrond in Matig fijn zand, leemarm	2
Hn53	Veldpodzolgrond in Matig fijn zand, zwak lemig	1
zEZ53	Hoge zwarte enkeerdgrond (als eerdlaag > 80 dzEZ) in Matig fijn zand, zwak lemig	1
Zn53	Vlakvaaggrond in Matig fijn zand, zwak lemig	1



Figuur 3.4 Voorbeelden van enkele bodemprofielen. Voor alle profielen en de betekenis van de codes verwijzen wij naar het ProVIVis-rapport (Dijk et al., 2023).

De verdeling van de bodemeenheden volgens de legenda van de detailkarteringen (Ten Cate et al., 1995A) hebben wij samengevat in Tabel 3.4; in Figuur 3.4 laten wij enkele voorbeelden zien. De bodem bij de meeste meetbomen komt goed overeen met de variatie in bodemeenheden die op de bodemkaart zijn aangegeven (§ 2.1). Van de twaalf meetbomen liggen er acht op humuspodzolgronden in dekzand (Hn of Hd), twee op duinvaaggronden (bZ53) in stuifzand in Lieshout, één op een vlakvaaggrond (Zn) en één op een enkeerdgrond (zEZ), beide in Someren. De enkeerdgrond bij boom B08 is geen 'echte' eerdgrond die ontstaan is door een potstalbemesting, maar bestaat tot 60 cm -mv uit opgebracht humeus zand op een veldpodzolgrond. Dit perceel ligt binnen het bedrijfsterrein en is na 2002 opnieuw ingericht en geëgaliseerd. Dat komt ook tot uiting in een vegetatie die een iets hogere voedselrijkdom indiceert dan in de overige locaties, vooral door het voorkomen van Witbol (zie Dijk et al., (2022) en figuur 3.5 links en midden). De vlakvaaggrond is aangetroffen bij boom B12. Ook hier is geen sprake van een 'echte' vlakvaaggrond zoals

wij die in stuifzandgebieden aantreffen, maar betreft het een wat vreemd profiel dat tot 180 cm geheel uit opgebracht humusarm materiaal bestaat met leembrokjes (zie Figuur 3.5 rechts). De bovenste 10 cm zijn gehomogeniseerd, de rest van het profiel is vrij heterogeen. Vanwege het ontbreken van bodemvorming is deze als vlakvaaggrond geclassificeerd. Deze bodemverstoring lijkt niet tot uiting te komen in de vegetatie en heeft mogelijk al langer geleden plaatsgevonden.

De beide afwijkende profielen laten zien dat er, zeker in Someren, lokaal verstoringen van de bodem voor kunnen komen. Boom B08 staat dan ook binnen het bedrijfsterrein. De humeuze bovengrond bij boom B08 kan relatief veel vocht vasthouden, wat gunstig is in droge perioden, maar de bewortelbare diepte is hier beperkt (80 cm -mv) door de verkitte B-horizont. Dat is minder gunstig voor het vochtleverend vermogen. Boom B12 heeft door de diepe verwerking juist een zeer grote bewortelbare diepte (180 cm -mv). Bij de overige bomen varieert de bewortelbare diepte van 100 tot 150 cm -mv.



Figuur 3.5 Vegetatieaspect en bodemprofiel bij boom B08 in Someren (links en midden), leembrokjes in het opgebrachte materiaal bij boom B12.

Tabel 3.5 Verdeling van de grondwatertrappen over de bodemeenheden, exclusief toevoegingen en verwerkingen.

Bodemcode	VIIId	VIIIId
bZ53p	1	-
bZ53z	1	-
Hd51	1	-
Hd53	4	-
Hn51	1	1
Hn53	1	-
zEZ53	1	-
Zn53	-	1

Alle groeiplaatsen van de meetbomen zijn zeer droog, met op tien locaties grondwatertrap VIIId (GHG 80-140 cm -mv, GLG > 180 cm -mv) en op twee locaties grondwatertrap VIIIId (GHG > 140 cm -mv, GLG > 180 cm -mv). Dat geldt ook voor de beoordeelde meetreeksen in peilbuizen zoals deze in Bijlage 1 zijn opgenomen.

3.3.2 Humusprofielen

De verdeling van de humusvormen per locatie staat in Tabel 3.6, waarbij de diktes van de humushorizonten zijn aangegeven als gemiddelden van de drie steken, ook waarin zij zijn aangetroffen. Dat geeft een indruk welke humushorizonten het belangrijkste zijn op die locatie en daarmee welke processen domineren bij de strooiselomzetting en de ouderdom van de bosgroeiplaats. In Tabel 3.7 hebben wij het voorkomen van humusvormen gerelateerd aan de voorkomende bodemeenheden. Ter illustratie hebben wij in Figuur 3.6 enkele profielschetsen van de aangetroffen humusvormen opgenomen.

Tabel 3.6 Humusvormen (aantal) en de gemiddelde diktes (cm) van humushorizonten per locatie. De gemiddelde diktes gelden voor de drie steken in een locatie, inclusief de steken waar de horizont ontbreekt.

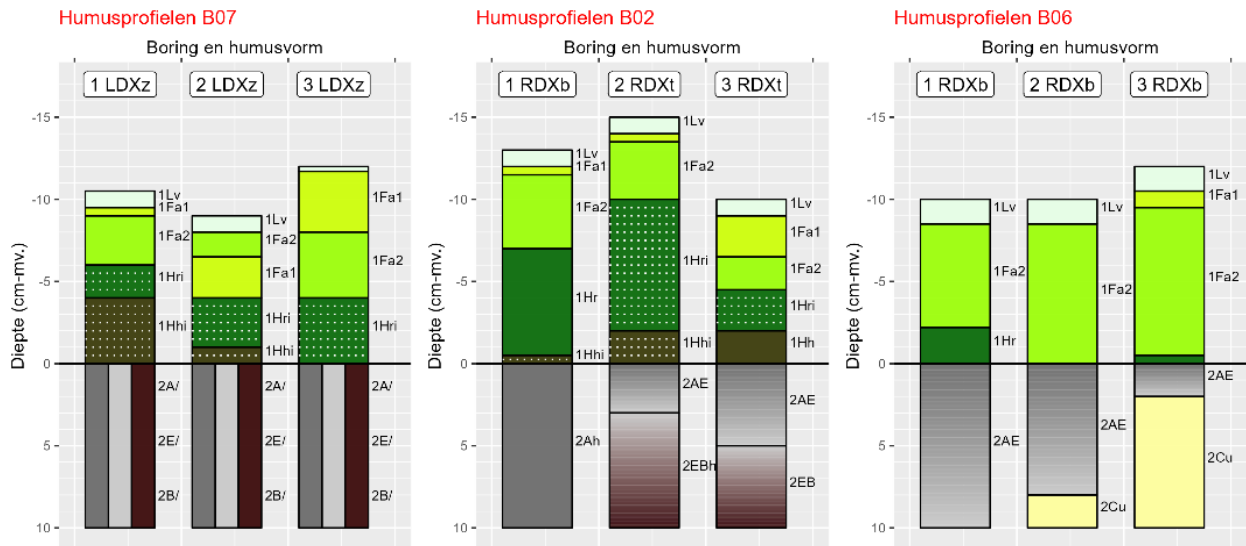
Locatie	Humusvormen					Horizontdiktes (cm)		
	LDXz	RDXb	RDXt	Fa1	Fa2	Hr	Hh	A
B01	3			2.0	6.3	2.2		13.3
B02		1	2	1.2	3.3	5.7	0.8	3.3
B03		1	2	2.7	3.3	5.6	1.2	
B04		3		0.7	5.7	2.4		
B05		3		1.5	3.3	3.2		
B06		3		0.3	7.9	0.9		
B07	3			2.2	2.8	3.0	1.7	33.3
B08	3			3.7				40.0
B09	2	1		1.1	3.6	2.3		8.7
B10	3			2.2	5.6	2.1	0.2	24.2
B11	1	1	1	2.0	7.7		1.3	8.3
B12	3			0.9	3.2	1.7		8.7

Tabel 3.7 Verdeling van de humusvormen over de aangetroffen bodemeenheden, exclusief toevoegingen en verwerkingen. Ter = Terrestrisch (T) of Semiterrestrisch (S). De aantallen zijn gebaseerd op het aantal steken (drie per locatie). De intensiteit van de achtergrondkleur in de regels in de eerste drie kolommen geeft aan welke humusvormen het vaakst zijn aangetroffen, ongeacht het bodemtype. De intensiteit van de achtergrondkleur in de cellen van de overige kolommen geeft aan welke combinaties van humusvormen met bodemeenheden het vaakst zijn aangetroffen.

Code	Naam	Ter	bZ53p	bZ53z	Hd51	Hd53	Hn51	Hn53	zEZ53	Zn53
LDXz	Zandxeromullmoder	T	-	-	3	3	3	3	3	3
RDXb	Bosxeromormoder	T	3	3	-	5	2	-	-	-
RDXt	Holtxeromormoder	T	-	-	-	4	1	-	-	-

Vanwege de diepe grondwaterstanden behoren alle humusvormen tot de terrestrische typen (zie ook Van Delft et al., 2006). De verdeling wordt verder bepaald door de verhouding tussen de F-, H- en Ah-horizonten (Tabel 3.6). Bij de Zandxeromullmoder (LDXz) komt een Ah-horizont voor die dikker is dan de F- en H-horizont gezamenlijk. Deze komen het vaakst voor, in 18 (de helft) van de 36 beschreven humusprofielen, en worden op alle bodemtypen aangetroffen, behalve bij de duinvaaggronden (bZ53) waar geen of slechts een dunne Ah-horizont voorkomt (Tabel 3.7). Omdat in deze horizont meer organische stof is geaccumuleerd dan in de AE- of C-horizonten die bij de andere humusvormen de bovenste minerale laag vormen, zijn nutriëntenvoorraden en de CEC hier ook relatief hoog. Mullmoder-humusvormen beschouwen wij dan ook als overgang tussen de mull- en moder- of mormoder-humusvormen. Vanwege de dominante positie van de Ah-horizont wordt bij de mullmoders geen nader onderscheid gemaakt naar de aard van de F- en H-horizonten, terwijl deze wel een belangrijk deel uitmaken van het humusprofiel (zie ook Figuur 3.6).

De andere helft van de humusprofielen bestaat uit Xeromormoders (RDX) waarin de afbraak van strooisel deels door fauna en deels door schimmels plaatsvindt. Dominante horizonten zijn dan Fa, Hr en Hh. De Fa-horizonten zijn, binnen het humusprofiel, de belangrijkste bron van nutriënten, omdat hier de afbraak van organische stof plaatsvindt (Van Delft et al., 2006; Zanella et al., 2018d). In de Hr-horizont is het strooisel minder ver afgebroken dan in de volledig gehumificeerde Hh-horizont. Omdat de bosopstanden in Someren en Lieshout relatief jong zijn, komt vooral een Hr-horizont voor en in enkele gevallen ook een Hh-horizont. Bij de Holtxeromormoder (RDXt, 5 profielen) is de Hh-horizont dikker dan 2 cm en bij de Bosxeromormoder (RDXb, 13 profielen) ontbreekt deze of is dunner dan 2 cm.

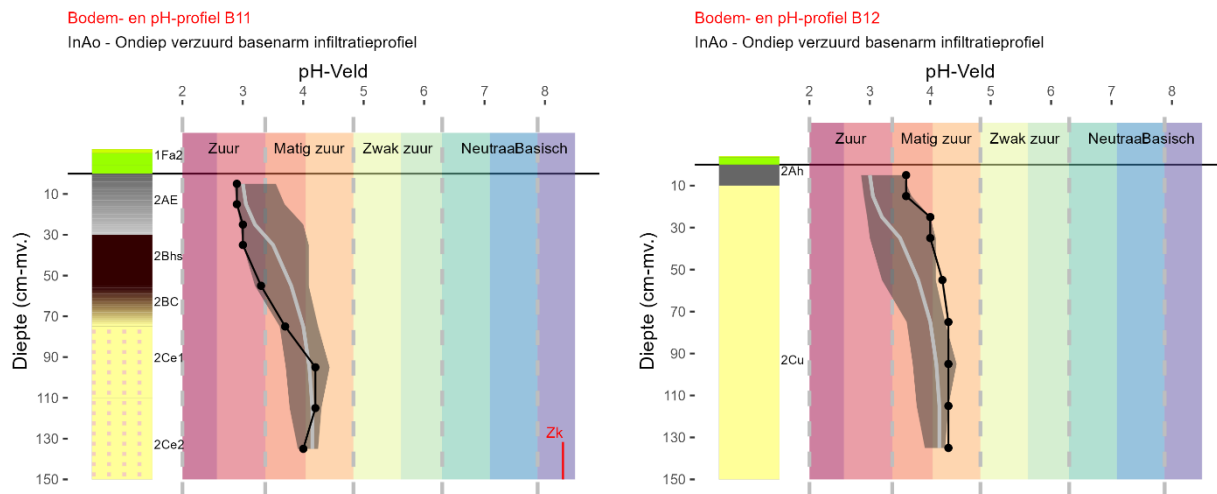


Figuur 3.6 Voorbeelden van de humusprofielen bij enkele bodemprofielen. Voor alle profielen en de betekenis van de codes verwijzen wij naar het ProVIVis-rapport (Dijk et al., 2023).

De dikte van de Hh-horizont is, afhankelijk van het bodemtype, indicatief voor de ouderdom van de bosgroeiplaats, maar lijkt ook van invloed te zijn op de verjonging van eik. Uit een vergelijking van eikenbossen (zomereik en wintereik) met en zonder verjonging bleek dat al bij een Hh-horizont > 10 mm verjonging sterk gehinderd wordt (De Waal & Winternaeken, 1999). Dat is ook het geval bij dikke Fa-horizonten (> 60 mm), vooral onder naaldhout, maar wellicht ook met eikenstrooisel. Bij een deel van de meetbomen speelt grove den ook een rol in de opstand, met name in Lieshout (zie Tabel 3.1). De Waal en Winternaeken geven geen relatie van de Hr-horizonten met verjonging, maar aangezien deze horizont beschouwd moet worden als overgang tussen Fa2 en Hh, is het aannemelijk dat een dikkere Hr-horizont ook beperkend is. Bij vrijwel alle bomen (met uitzondering van B08 en B12) zijn de diktes van Fa-, (Hr-) en Hh-horizonten mogelijk beperkend voor de verjonging van eik.

3.3.3 pH-profielen

Omdat alle bomen op droge groeiplaatsen staan, zijn er alleen infiltratieprofielen onderscheiden. Door het slecht gebufferde moedermateriaal, dat voornamelijk uit dekzand en deels uit stuifzand bestaat, horen alle profielen tot de basenarme infiltratieprofielen met een pH-Veld tussen 20 cm en een GLG (veel) lager dan 6.3 en dieper in het profiel (iets) hoger dan 4.0 (Tabel 2.2). Als gevolg van uitloging is de pH in de bovenste 20 cm een stuk lager dan 4.0 en worden zij alle geclassificeerd als 'Ondiep verzuurd basenarm infiltratieprofiel' (InAo). Omdat de pH-Veld onder in de profielen nooit veel hoger is dan 4.0, vormen zij een overgang naar 'Zuur infiltratieprofiel' (InZ). In Figuur 3.7 hebben wij twee voorbeelden opgenomen, voor alle profielen verwijzen wij naar het ProVIVis-rapport (Dijk et al., 2023).



Figuur 3.7 pH-profielen bij boom B11 en boom B12. De grijze band geeft aan wat de spreiding is van de pH-profielen van het type InAo binnen dit project, de lichtgrijze lijn geeft daarbij de mediane waarden aan. Met de rode lijn rechts bij B11 is de kritieke z-afstand aangegeven. Dat is de afstand ten opzichte van de GLG waarover nog een capillaire flux van 2 mm per dag mogelijk is. In de sleutel voor de pH-profielen wordt dit gebruikt om onderscheid te maken tussen profielen waar mogelijk invloed vanuit het grondwater is en waar niet (Van Delft et al., 2023). Door de diepe GLG bij B12 valt de Zk buiten het bereik van de figuur.

3.3.4 Bodemchemie en stikstofdepositie

De totale (vooral natte bulk-)stikstofdepositie in 2019 bedroeg 1777 mol/ha/jr (24,9 kg/ha/jr) in Someren en 1518 mol/ha/jr (21,3 kg/ha/jr) in Lieshout (bron: [RIVM Geodatasite | Grootschalige Concentratie- en Depositiekaarten Nederland \(GCN en GDN\)](#)). Door invang van depositie door bossen kan de totale depositie 1,5 tot 2 keer groter zijn dan de bulkdepositie (De Schrijver et al., 2007). We hebben als referentiejaar gekozen voor 2019, omdat het RIVM aangeeft dat de depositiekaarten van 2021 beïnvloed zijn door de coronamaatregelen. Bij vier referentiepunten in Drentse eikenbossen op vergelijkbare gronden is de stikstofdepositie van dezelfde orde grootte (Bijlsma et al., 2020A). Over de referentiepunten uit de NBI-punten hebben wij geen gegevens. Ook over de gegevens van De Vries (2001B) en Weijters (2020) hebben wij geen individuele depositiedata verzameld. In beide waterwingebieden is het SNL-Beheertype N16.03 'Droog bos met productie'. De gevonden depositiewaarden komen overeen met een waardering 'Midden' voor de Kritische Depositiewaarde (KDW) van dit beheertype (1420-2060 mol N ha⁻¹ j⁻¹). Er is dus sprake van een aanzienlijke stikstofdepositie, die wel lager is dan enkele decennia geleden (De Vries & Leeters, 2001B). De berekende waarden voor de stikstofdepositie betreffen gemiddelden per ha. Afhankelijk van de positie van bomen binnen de opstand zit hier variatie in. Bomen die dicht bij de rand van een opstand staan, zullen meer stikstof invangen dan op grotere afstand van de rand.

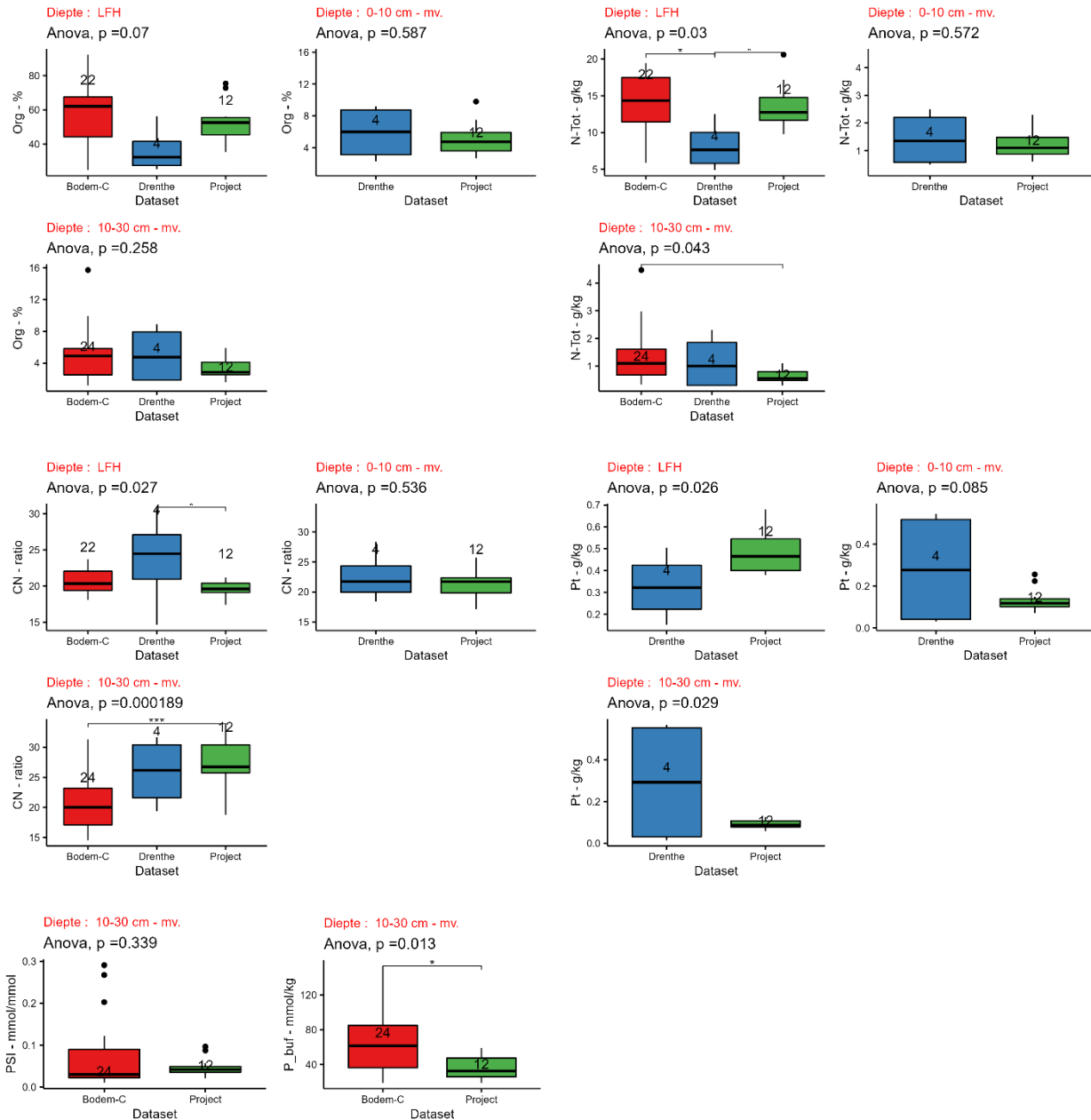
Resultaten chemische analyse en afgeleide bepalingen

Hieronder beoordelen wij de resultaten eerst voor de nutriënten (§ 3.3.4.1) en daarna voor de zuurbuffer (§ 3.3.4.2), waarbij wij steeds eerst de vergelijking met de referenties maken om te zien hoe de hier bemonsterde bodems zich verhouden tot referentiegebieden, vervolgens vergelijken wij de bomen in twee vitaliteitsklassen om te beoordelen of verschillen in biodiversiteit een bodemchemische achtergrond kunnen hebben. Voor de vergelijking met de nulmeting in de steenmeelproef (Weijters et al., 2020) hebben wij gehalten ook omgerekend naar µmol/l grond, omdat B-WARE deze maat gebruikt. Wij vergelijken de gehalten tussen lagen om inzicht te krijgen hoe verwerking en uitspoeling als bodemvormende processen van invloed zijn op de verdeling van stoffen door het profiel en of verzuring daarbij een rol gespeeld kan hebben. Tot slot geven wij voor een aantal relevante bepalingen aan welke waarden bij individuele bodem gevonden zijn en hoe deze zich verhouden tot grenswaarden voor nutriënten en zuurbuffer.

3.3.4.1 Beoordeling nutriënten

Vergelijking gehalten met referenties

In Figuur 3.8 geven wij een vergelijking van een aantal parameters met beschikbare referenties waarbij wij beschikken over de analysegegevens per locatie. De vergelijking met referenties waar wij niet over individuele analysegegevens konden beschikken, zijn gegeven in vorm van tabellen en figuren. Een samenvatting van de vergelijkingen staat in Tabel 3.9.



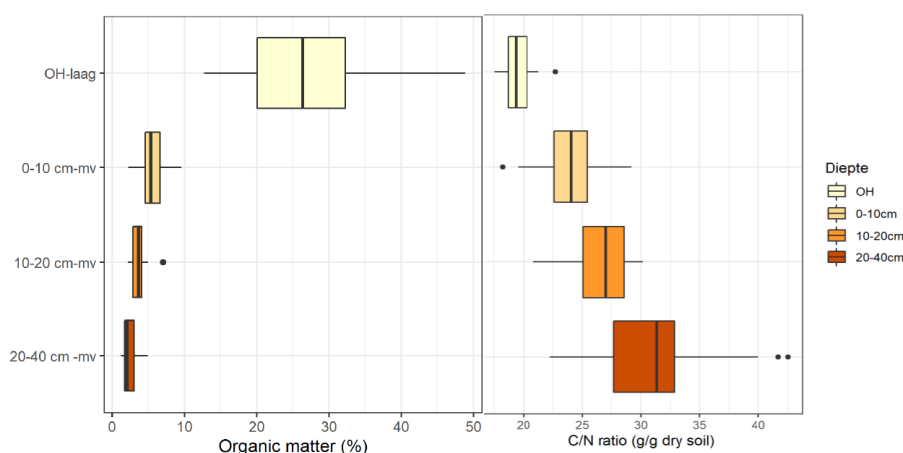
Figuur 3.8 Vergelijking van enkele bodemchemische bepalingen tussen het project en de referentiedatasets. Per bepaling zijn steeds drie grafiekjes opgenomen, één voor het strooiselpakket (LFH) en twee voor de lagen 0-10 cm en 10-30 cm -mv. Voor Pt waren alleen referentiewaarden uit Drenthe beschikbaar. Voor PSI en de bijbehorende P-buffer (Fe-OX + Al-OX) kon alleen een vergelijking gemaakt worden met de Bodem-C-referentie op 10-30 -mv.

Tabel 3.8 Mediane waarden voor de humuslaag en percentielwaarden (5%-50%-95%) voor de minerale toplaag van N-totaal en P-totaal in Nederlandse bossen in 1995, naar De Vries & Leeters (2001B). De minerale toplaag betreft 0-10 en 10-30 cm. Voor de humuslaag zijn de gehalten N en P uitgedrukt in g/kg organische stof, bij de minerale lagen betreft het de gehalten in g/kg droge grond.

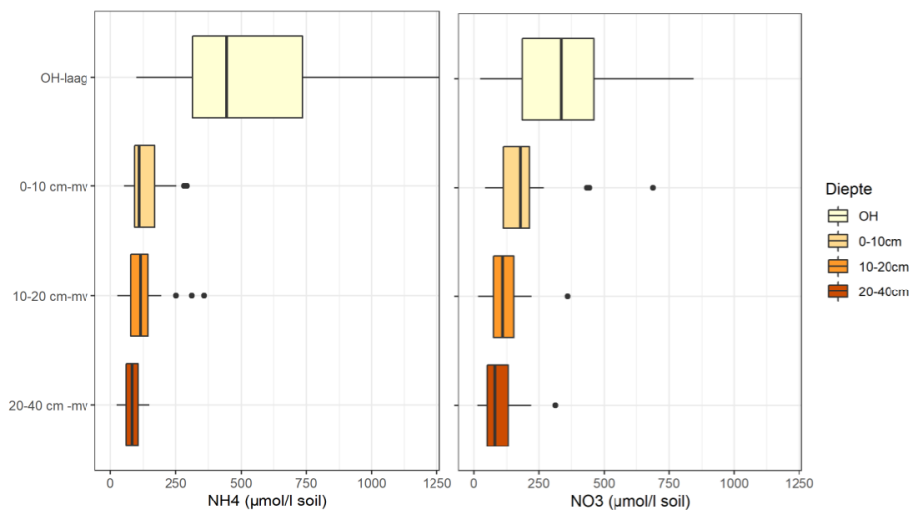
	OS %	Nt g/kg OS	Pt g/kg OS	De Vries & Leeters (2001B)
Humuslaag (LFH) alle boomsoorten	41-65-85	17-22-26	0,63-0,84-1,3	Table 15
Humuslaag (LFH) mediaan onder eik	60	24	0,98	Table 16
	OS %	Nt g/kg	Pt g/kg	
Minerale toplaag 0-10	1,7-5,0-10,2	0,39-1,1-2,2	0,05-0,12-0,45	Table 29
Minerale toplaag 0-10 Zn/Zd	3,5	0,8	0,092	Table 31
Minerale toplaag 0-10 Hn/Hd	5,9	1,2	0,11	Table 31
Minerale toplaag 10-30	0,9-3,2-8,4	0,18-0,64-1,8	0,04-0,10-0,39	Table 30
Minerale toplaag 10-30 Zn/Zd	1,8	0,43	0,079	Table 32
Minerale toplaag 10-30 Hn/Hd	4,6	0,77	0,092	Table 32

In Tabel 3.8 is het bereik van referentiewaarden in percentielen (5%, 50% = mediaan en 95%) opgenomen uit het onderzoek van De Vries en Leeters (2001B). Van 200 in 1995 bemonsterde boslocaties bestonden er 51 uit eikenopstanden, waarvan 87% een redelijk of goede vitaliteit hadden. Verzuring door zwavel- en stikstofdepositie was toen al een groot probleem, maar is in de 25 jaar daarna wel doorgegaan, hoewel de depositiewaarden wel sterk verminderd zijn, zeker voor zwavel. Van de onderzochte eikenopstanden lag toen 59% in een gebied met een stikstofdepositie van meer dan 2500 mol/ha/jr. Gevonden waarden uit 1995 betreffen dus een referentie voor een periode met verzuring die minder ver is gevorderd dan nu. Met name voor de uitloging van bufferstoffen mag verwacht worden dat deze overal op de kalkloze zandgronden is doorgegaan. Door De Vries & Leeters zijn de gehalten nutriënten in de humuslagen omgerekend naar gehalten in g/kg organische stof om een zuivere karakterisering te krijgen van de eigenschappen van het organisch materiaal. Hierdoor lijken hogere gehalten gevonden te worden dan in dit project. Het argument voor deze omrekening was dat mineraal materiaal (zand) in het strooisel een gevolg was van de bemonstering en dus als onzuiverheid beschouwd moet worden. De huidige inzichten geven aan dat mineraal materiaal meestal door natuurlijke processen als bioturbatie en verstuiving in de humuslagen terecht komt en daar dus ook deel van uitmaakt (o.a. De Jong et al., 2021). Om toch een vergelijking te kunnen maken met deze referentie, hebben wij voor de strooisellagen dezelfde omrekening van gehalten N en P naar gehalten per kg organische stof gemaakt (N/Org en P/Org).

De referentiewaarden uit het steenmeelonderzoek op de Veluwe zijn opgenomen als figuren (Figuur 3.9 en Figuur 3.10) die overgenomen zijn uit de beschrijving van de nulsituatie (Weijters et al., 2020). Deze gegevens zijn gebaseerd op de bemonstering in vier lagen van dertig locaties (drie per proefgebied in tien eikenbossen op de Veluwe. In de nulsituatie is nog geen steenmeel toegediend.



Figuur 3.9 Organischestof-percentages en C/N-ratio in de verschillende bodemlagen van tien bossen in de nulsituatie van de steenmeelproef op de Veluwe (bron: Weijters et al., 2020).



Figuur 3.10 Ammonium- (NH_4 , links) en nitraat- (NO_3 , rechts) concentraties gemeten in het zoutextract in $\mu\text{mol/l}$ bodem van tien bossen in de nulsituatie van de steenmeelproef op de Veluwe (bron: Weijters et al. 2020).

Tabel 3.9 Spreiding van een aantal bepalingen in verband met nutriëntgehalten in het project ten opzichte van de referenties. De spreiding per laag is aangegeven in percentielen (5%, 50% = mediaan en 95%) in de eenheid die onder de kop 'Bepaling' tussen haakjes () gegeven is. Bij de referenties geven wij aan hoe deze verschillen ten opzichte van het project: + of ++: de referentie heeft een (veel) hogere waarde dan het project, - of --: de referentie heeft een (veel) lagere waarde dan het project, +/-: de waarden zijn vergelijkbaar. Bij lege cellen is de bepaling niet beschikbaar in de referentie. Referenties betreffen: Bodem-C (De Jong et al., 2021), Drenthe (Bijlsma et al., 2020A), NL 1995 (De Vries & Leeters, 2001B), Veluwe (Weijters et al., 2020).

Bepaling	Laag	Project	Referenties ten opzichte van Project			
			Bodem-C	Drenthe	NL 1995	Veluwe
Org (%)	LFH	38-53-74	+	-	+/-	-
	0-10	3,1-4,5-8,5		+/-	+/-	+
	10-30	1,8-2,9-5,6	+/-	+/-	+/-	+/-
N-Tot (g/kg)	LFH	10-13-19	+/-			
	0-10	0,66-1,10-1,97		+/-	+/-	
	10-30	0,36-0,55-0,94	+	+/-	+/-	
CN (ratio)	LFH	18-20-21	+/-	++		+/-
	0-10	18-22-25		+/-		+
	10-30	22-27-33	--	+/-		+/-
N/org (g/kg OS)	LFH	24-26-28			+/-	
N-NH4-CaCl2_I ($\mu\text{mol/l}$)	0-10	126-247-840				--
	10-30	114-132-321				-
N-NOX-CaCl2_I ($\mu\text{mol/l}$)	0-10	11-99-401				++
	10-30	26-40-225				++
Pt (g/kg)	LFH	0,39-0,47-0,62		--		
	0-10	0,08-0,12-0,24		+	+/-	
	10-30	0,06-0,09-0,12		++	+/-	
P/Org (mg/kg OS)	LFH	730-975-1123			+/-	
PSI (mmol/mmol)	10-30	0,023-0,042-0,092	+/-			
P-Buf (mmol/kg)	10-30	19-33-58	+			

Conclusies over nutriëntgehalten vergeleken met referenties

Organische stof

- Het organischestofgehalte is over het algemeen goed vergelijkbaar met de referenties, behalve voor de LFH-laag waar in Bodem-C wat hogere waarden gevonden worden, terwijl in Drenthe en op de Veluwe

lagere gehaltenes gevonden worden. Voor Bodem-C is het organischestofgehalte niet rechtstreeks bepaald, maar afgeleid uit het koolstofgehalte (CE), waarbij ervan uitgegaan wordt dat organische stof voor de helft uit C bestaat. In werkelijkheid is het aandeel C in de organische stof van humuslagen wat hoger, 50 tot 55% (Christensen & Malmros, 1982), zodat bij een gegeven gehalte aan CE een lager organischestofgehalte hoort dan hier berekend. In Drenthe kan het lagere organischestofgehalte verklaard worden door de dikke H-horizonten die een veel lager organischestofgehalte hebben dan de L- en F-horizonten. In het steenmeelproject op de Veluwe is niet helemaal duidelijk wat bedoeld wordt met de OH-laag.

Stikstof

- Voor N-Tot zien we in de LFH-laag alleen afwijkende waarden ten opzichte van Drenthe (veel lager vanwege de dikke H-horizont). In de minerale lagen is er weinig verschil met de referenties, behalve tussen 10 en 30 cm waar N-Tot in de Bodem-C profielen hoger is dan in het project.
- De verschillen in organischestofgehalte en N-Tot komen ook tot uiting bij de C/N-ratio. De C/N-ratio in de LFH-laag is in het project significant lager dan in Drenthe, maar vergelijkbaar met Bodem-C en de Veluwe. Een lage C/N-ratio wijst op een relatief stikstofrijk strooiselpakket met een actief bodemleven en sterke N-immobilisatie (Kemmers et al., 2011). De hogere C/N-ratio in Drenthe komt overeen met de lage gehalten N-Tot in die referentie.
- In de laag van 10-30 cm -mv vinden we in het project juist een veel hogere C/N-ratio en dus stikstofarme organische stof in vergelijking met Bodem-C, maar niet met de andere referenties. De hoge C/N-ratio in deze laag wijst op een weinig actief bodemleven (mediaan 26.7). Dit zou erop kunnen wijzen dat er in de onderzochte groeiplaatsen minder stikstof uit de strooisellaag in de bodem terecht komt. In de bossen in het steenmeelonderzoek worden vergelijkbare waarden voor CN gevonden in de laag 10-20 (mediaan ca 27). De laag 0-10 cm heeft een wat lagere CN (21.7) dan in de steenmeelbossen (ca. 23).
- Een vergelijkbare maat voor de kwaliteit van organische stof die bij de gegevens uit 1995 gebruikt is, is het gehalte N in organische stof, wat uitgedrukt is in g/kg OS. Voor LFH hebben wij deze vergeleken en zij wijken in het project niet wezenlijk af van NL-1995.
- Wij hebben beschikbaar stikstof, zowel als ammonium als nitraat, gemeten in het CaCl₂-extract, voor de bossen in de steenmeelproef is daar NaCl-extract voor gebruikt. Voor ammonium (N-NH₄-CaCl₂) worden in de minerale lagen hogere waarden gevonden dan in de steenmeelproef: 247 µmol/l in 0- 10 cm en 132 µmol/l in 10-30 tegenover ca. 100 µmol/l N-NH₄-NaCl op zowel 0-10 cm als 10-20 cm. Voor nitraat (N-NO₃-CaCl₂) is het juist andersom en worden lagere waarden gevonden dan in de steenmeelproef. Ongeacht verschillen in de extractiemethode lijkt het er dus op dat in de bossen bij Someren en Lieshout het aandeel ammonium groter is dan van nitraat, terwijl dat in de Veluwse bossen in de steenmeelproef andersom is. Er lijkt dus minder ammonium genitrificeerd te worden. In beide datasets nemen gehalten voor zowel ammonium als nitraat af met de diepte.

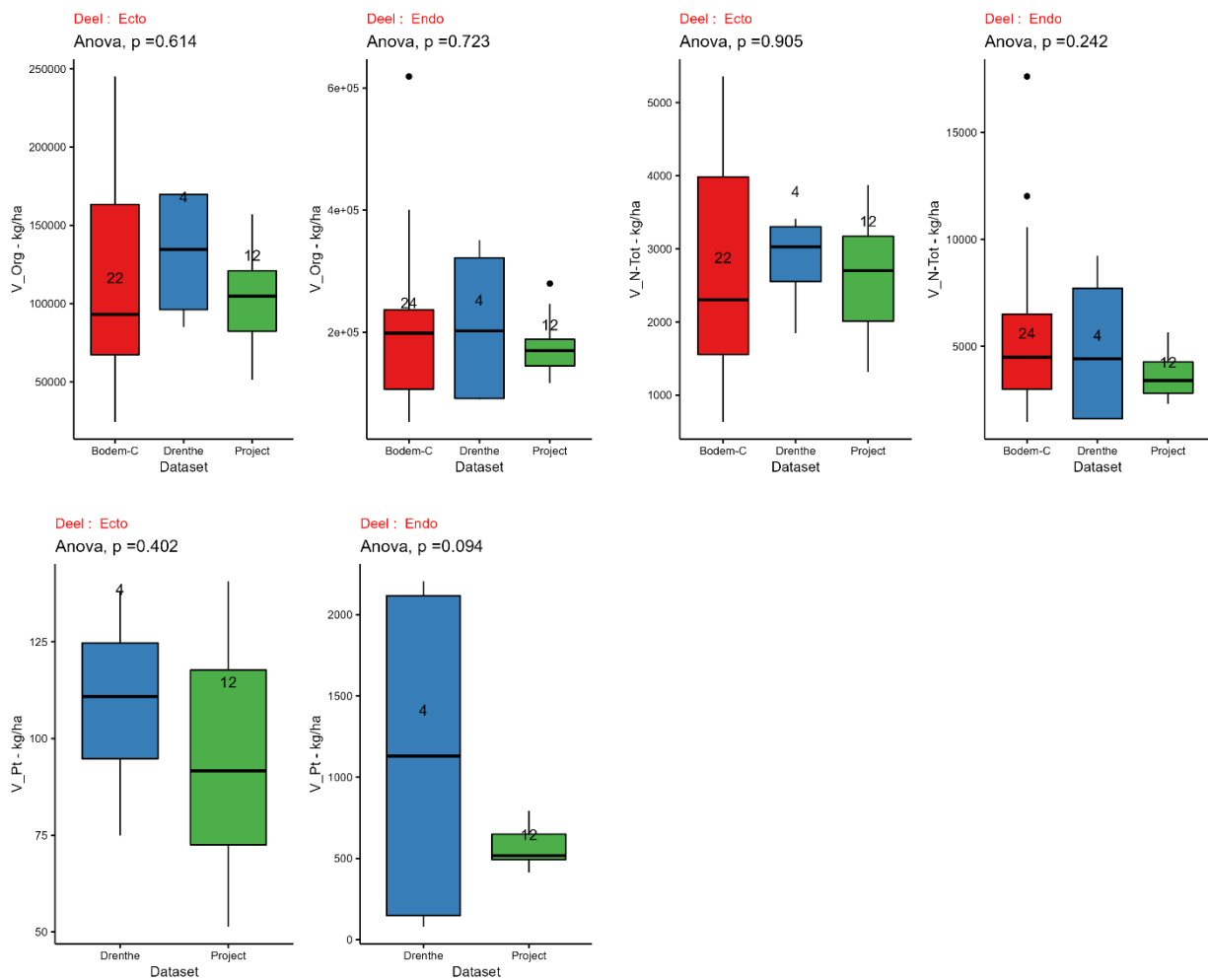
Fosfor

- Pt is binnen de referenties alleen in 1995 en in Drenthe gemeten. Hiervoor blijkt dat de gehalten in LFH in Drenthe significant lager liggen dan binnen het project en in 10-30 significant hoger. In de laag 0-10 zijn de gehalten in Drenthe ook hoger dan in het project, maar niet significant. Voor LFH zijn de gegevens uit Drenthe niet te vergelijken, omdat deze zijn uitgedrukt in gehalten per kg OS. In de minerale lagen komt Pt overeen met deze referentie.
- Voor de gegevens uit 1995 is in LFH het gehalte P in de organische stof vergeleken en die komt overeen.
- De fosfaatverzadigingsgraad of PSI, die een maat is voor potentieel beschikbaar P, hebben wij voor de laag 10-30 cm -mv kunnen vergelijken met Bodem-C, maar verschilt daar niet significant van. Bij Bodem-C wordt wel een aantal hogere waarden gevonden, maar de mediaan komt overeen met die in het project. Deze is voor de meeste groeiplaatsen van de meetbomen normaal verdeeld tussen 0.02 en 0.07, maar er zijn twee uitbijters rond 0.09 (B10 en B11). Waarden lager dan 0.05 passen bij voedselarme groeiplaatsen, waarden tussen 0.05 en 0.1 worden als matig voedselrijk beschouwd.
- De P-buffer (totaal van Fe- en Al-hydroxiden) is wel significant lager dan in Bodem-C.

Vergelijking voorraden nutriënten met referenties

Voor de bepalingen waarvoor zowel in het project als bij Bodem-C en/of Drenthe gegevens beschikbaar waren, hebben wij voorraden vergeleken in Figuur 3.11. In Tabel 3.10 zijn referentiewaarden opgenomen voor de bemonstering uit 1995 (De Vries & Leeters, 2001B). De berekende voorraden in 1995 zijn voor de

humuslaag (LFH) gecorrigeerd naar gehaltenes per kg organische stof en de dichtheid is gecorrigeerd voor minerale delen in het strooisel. Belangrijke verschillen worden niet gevonden.



Figuur 3.11 Vergelijking van voorraden van organische stof, N-Tot en Pt tussen het project en de referentiedatasets. Per bepaling zijn steeds twee grafiekjes opgenomen, één voor het strooiselpakket ofwel het ectorganische deel van het profiel (Ecto, zie ook Van Delft et al., 2006) en één voor de gecombineerde endorganische lagen 0-10 cm en 10-30 cm -mv., samen aangeduid als 'Endo'. Voor Pt waren alleen referentiewaarden uit Drenthe beschikbaar.

Tabel 3.10 Mediane waarden en percentielwaarden (5%-50%-95%) van voorraden in de minerale toplaag van N-totaal en P-totaal in Nederlandse bossen naar De Vries & Leeters (2001B). De minerale toplaag betreft 0-10 en 10-30 cm. Voorraden in de humuslaag kunnen niet vergeleken worden vanwege een afwijkende berekeningswijze.

	OS ton/ha	Nt kg/ha	Pt kg/ha	De Vries & Leeters (2001B)
Minerale toplaag 0-10	25-64-112	524-1464-2550	71-151-543	Table 29
Minerale toplaag 0-10 Zn/Zd	48	1168	125	Table 31
Minerale toplaag 0-10 Hn/Hd	74	1470	137	Table 31
Minerale toplaag 10-30	27-90-195	546-1764-4239	128-267-1046	Table 30
Minerale toplaag 10-30 Zn/Zd	54	1222	227	Table 32
Minerale toplaag 10-30 Hn/Hd	121	2044	233	Table 32

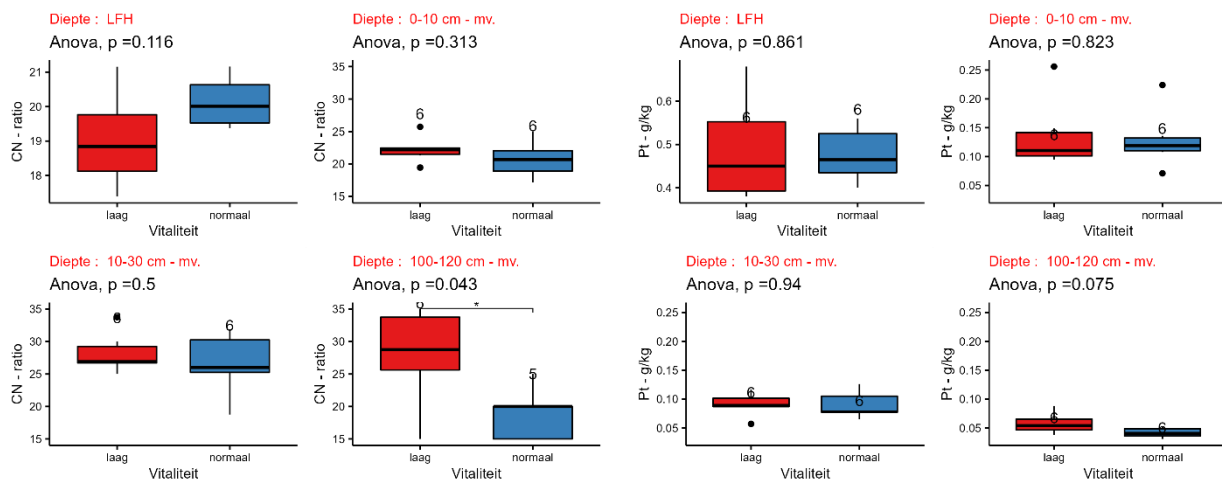
Tabel 3.11 Spreiding van een aantal voorraadbepalingen in verband met nutriëntgehalten in het project ten opzichte van de referenties. De spreiding per laag is aangegeven in percentielen (5%, 50% = mediaan en 95%) in de eenheid die onder de kop 'Bepaling' tussen haakjes () gegeven is. Bij de referenties geven wij aan hoe deze verschillen ten opzichte van het project: + of ++: de referentie heeft een (veel) hogere waarde dan het project, - of --: de referentie heeft een (veel) lagere waarde dan het project, +/-: de waarden zijn vergelijkbaar. Bij lege cellen is de bepaling niet beschikbaar in de referentie. Referenties betreffen: Bodem-C (De Jong et al., 2021), Drenthe (Bijlsma et al., 2020A), NL 1995 (De Vries & Leeters, 2001B)

Bepaling	Laag	Project	Referentie ten opzichte van Project		
			Bodem-C	Drenthe	NL 1995
V_Org (ton/ha)	LFH	62-119-170	+/-	+/-	
	0-10	43-62-99	+/-	+/-	+/-
	10-30	53-79-143	+/-	+/-	+/-
V_N-Tot (ton/ha)	LFH	1656-3063-4134		+/-	
	0-10	902-1436-2325		+/-	+/-
	10-30	1017-1513-2468		+/-	+/-
V_P-Tot (ton/ha)	LFH	59-103-149		+/-	
	0-10	116-151-290		+	+/-
	10-30	173-235-322		+	+/-

Conclusie over voorraden nutriënten vergeleken met referenties

- Voor geen van de voorraden worden significante verschillen gevonden tussen het project en de huidige referenties. Het lijkt er wel op dat de voorraad Pt in de endorganische lagen in het project lager zijn dan in Drenthe.

Vergelijking nutriënten tussen vitaliteitsklassen



Figuur 3.12 Vergelijking van C/N-ratio en Pt tussen de vitaliteitsklassen. Per bepaling zijn steeds vier grafiekjes opgenomen, één voor het strooiselpakket (LFH) en drie voor de lagen 0-10, 10-30 en 100-120 cm - mv.

De meeste nutriënten verschillen niet significant tussen de vitaliteitsklassen. In Figuur 3.12 hebben wij de vergelijking opgenomen voor de C/N-ratio en Pt (Totaal gehalte P), omdat dat de enige bepalingen zijn waar min of meer significante verschillen gevonden zijn.

Conclusies over vergelijking nutriënten tussen vitaliteitsklassen

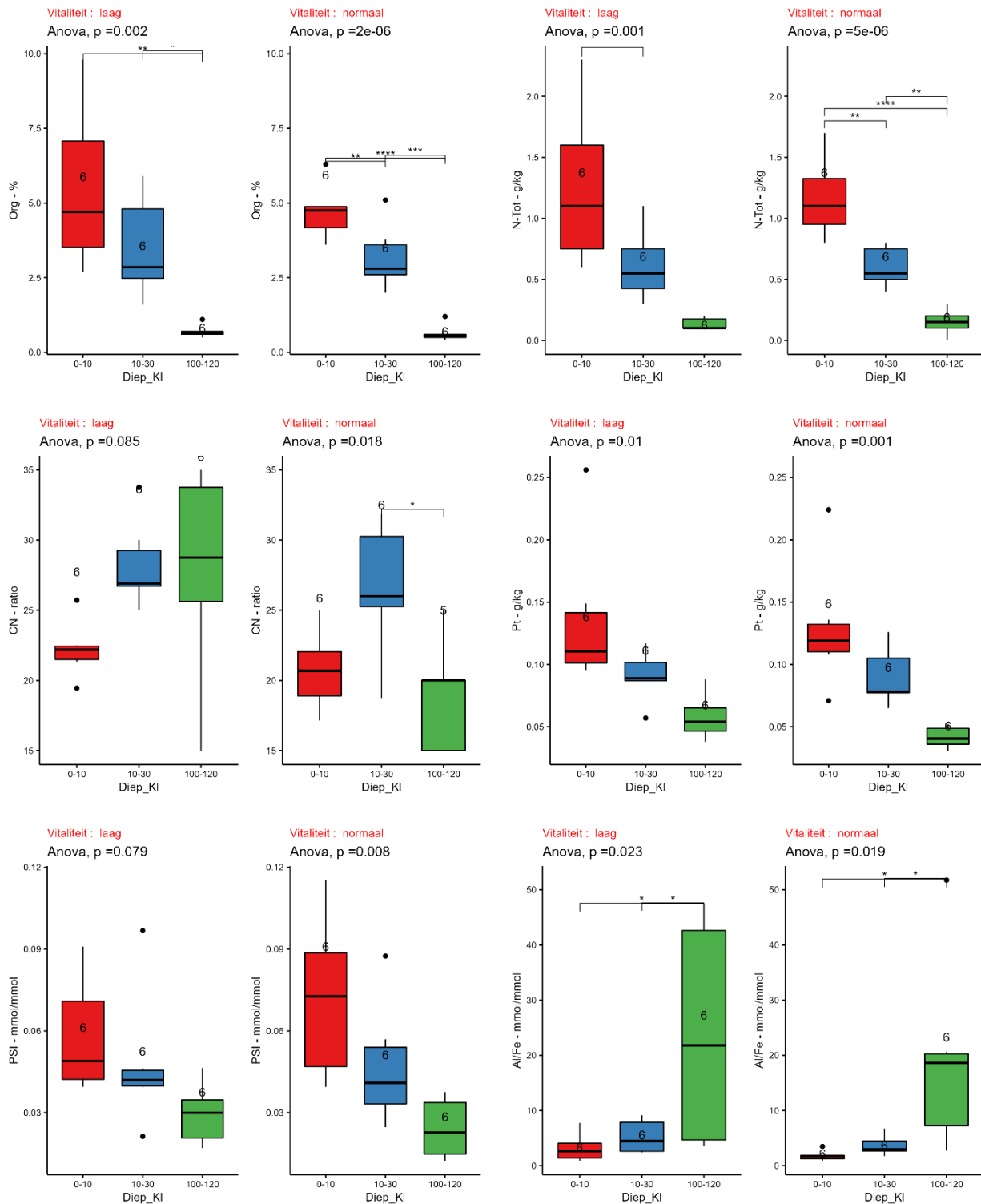
- De C/N-ratio op 100-120 cm diepte is bij een lage vitaliteit significant hoger dan bij een normale vitaliteit. Dat wijst op een armer type organische stof bij een lage vitaliteit. Deze laag is bemonsterd als referentie voor het moedermateriaal, maar organische stof – en dus ook de eigenschappen daarvan (CN) – worden door bodemvorming bepaald. Kennelijk is er toch een verschil in de aard van het organisch materiaal op deze diepte. Een mogelijke verklaring zou gezocht kunnen worden in wortelsterfte, waardoor meer ruw

organisch materiaal met een hoge C/N-ratio gevonden wordt, maar daar hebben wij verder geen bewijs voor.

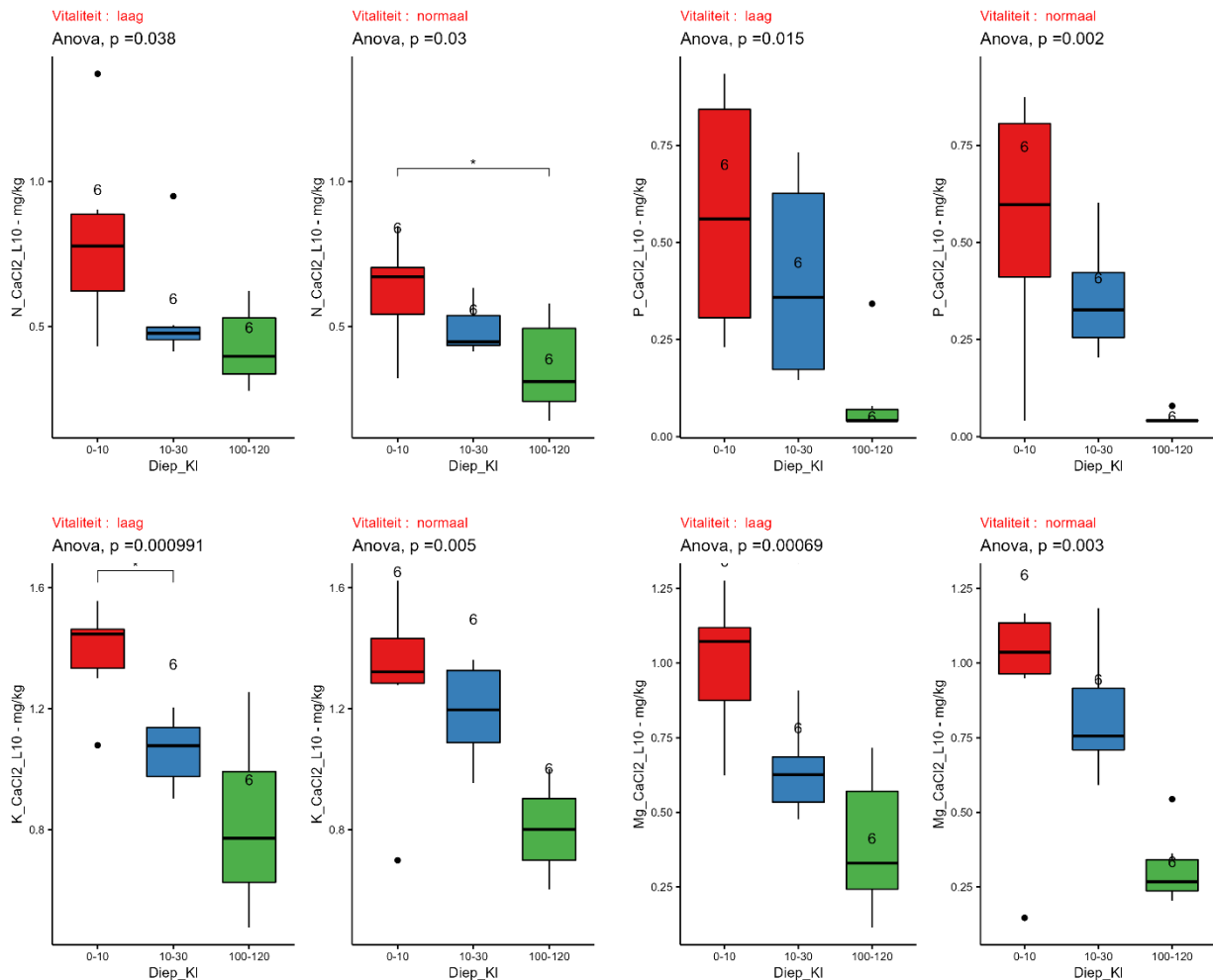
- In het strooisel (LFH) lijkt de C/N-ratio bij de bomen met een lage vitaliteit lager, wat wijst op meer N-accumulatie, maar het verschil is niet significant. Het zou een aanwijzing kunnen zijn dat uitgespoelde humus onder de minder vitale bomen minder N bevat, omdat het geaccumuleerd is in de LFH-lagen.
- Bij Pt zijn nergens significante verschillen gevonden, maar in de diepste laag lijkt het gehalte bij bomen met een lage vitaliteit wat hoger dan bij een normale vitaliteit. Het verschil is, vanwege het beperkte aantal waarnemingen, niet significant, maar de p-waarde is relatief laag (0.075), wat wij beschouwen als een aanwijzing voor een verschil.

Vergelijking nutriënten tussen lagen

Als gevolg van bodemvorming verschillen de gehalten aan nutriënten tussen lagen. Stikstofdepositie en verzuring kunnen deze verschillen versterken door een toegenomen uitloging of juist ophoping in de bovenste lagen. Omdat verschillen tussen lagen het gevolg zijn van bodemvormende processen is een vergelijking deels triviaal en vinden we voor veel bepalingen (sterk) significante verschillen. Hieronder staan wij er kort bij stil. In Figuur 3.13 hebben wij voor enkele totaalgehalten een vergelijking gemaakt en in Figuur 3.14 voor beschikbare fracties van nutriënten (in de CaCl₂-extractie). Omdat strooisellagen (LFH) sterk verschillen van het minerale deel van het profiel, zou daar altijd wel een significant verschil gevonden worden. In deze analyse hebben wij de strooisellagen dan ook weggelaten.



Figuur 3.13 Vergelijking van enkele totaalgehalten voor nutriënten tussen de diepteklassen (Diep_Kl) in het minerale deel van het profiel. Per bepaling zijn steeds twee grafiekjes opgenomen, voor bomen met een lage en een normale vitaliteit.



Figuur 3.14 Vergelijking van beschikbaarheid (CaCl_2 -extractie) voor nutriënten tussen de diepteklassen in het minerale deel van het profiel. Omdat de beschikbaarheden vaak lognormaal verdeeld zijn, is hier de log-getransformeerde waarde vergeleken. Per bepaling zijn steeds twee grafiekjes opgenomen, voor bomen met een lage en een hoge vitaliteit.

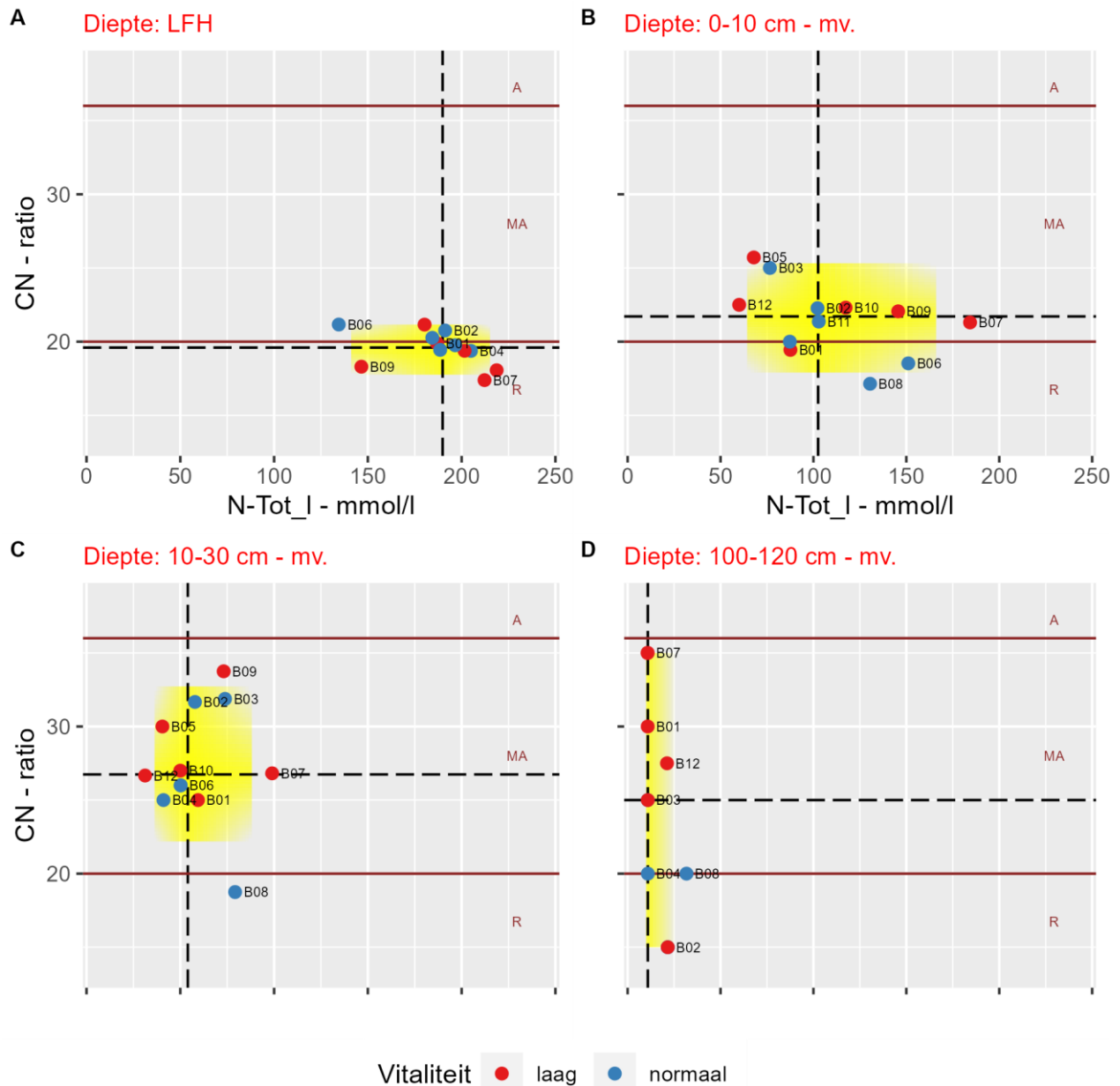
Conclusies over vergelijking nutriënten tussen lagen

- Zoals verwacht mag worden, nemen de totaalgehalten voor organische stof, N en P af met de diepte en zijn deze in de bovengrond, zeker in de laag 0-10 cm -mv significant hoger dan op 100-120 cm, waarbij de waarden overeen zouden moeten komen met het moedermateriaal.
- Hierbij lijkt de spreiding bij de laag vitale bomen wat groter dan bij de normale bomen, waardoor de significantie van de verschillen minder is.
- Voor de C/N-ratio valt juist op dat deze op 100-120 cm -mv voor bomen met een normale vitaliteit significant lager is dan bij de lage vitaliteit (zie ook vergelijking tussen vitaliteitsklassen).
- De fosfaatverzadiging (PSI) neemt overal af met de diepte, wat betekent dat er boven in het profiel relatief meer fosfaat gebonden is aan de ijzer- en aluminiumhydroxiden.
- De grootte van de fosfaatbuffer ($\text{Al-OX} + \text{Fe-OX}$) verschilt niet significant met de diepte, maar er is wel een verschil in de aard van deze buffer. Deze wordt bepaald door de verhouding tussen aluminium- en ijzerhydroxiden ($\text{Al-OX}/\text{Fe-OX} = \text{Al}/\text{Fe}$ (mmol/mmol)) die overal groter is dan 1, wat betekent dat aluminiumhydroxiden de dominante factor zijn in de fosfaatbuffer. Het aandeel van aluminium neemt daarbij sterk toe met de diepte. Al/Fe heeft een mediane waarde van 1.75 in de laag 0-10 cm en 18.6 op 100-120 cm.

Beoordeling nutriënten per boom

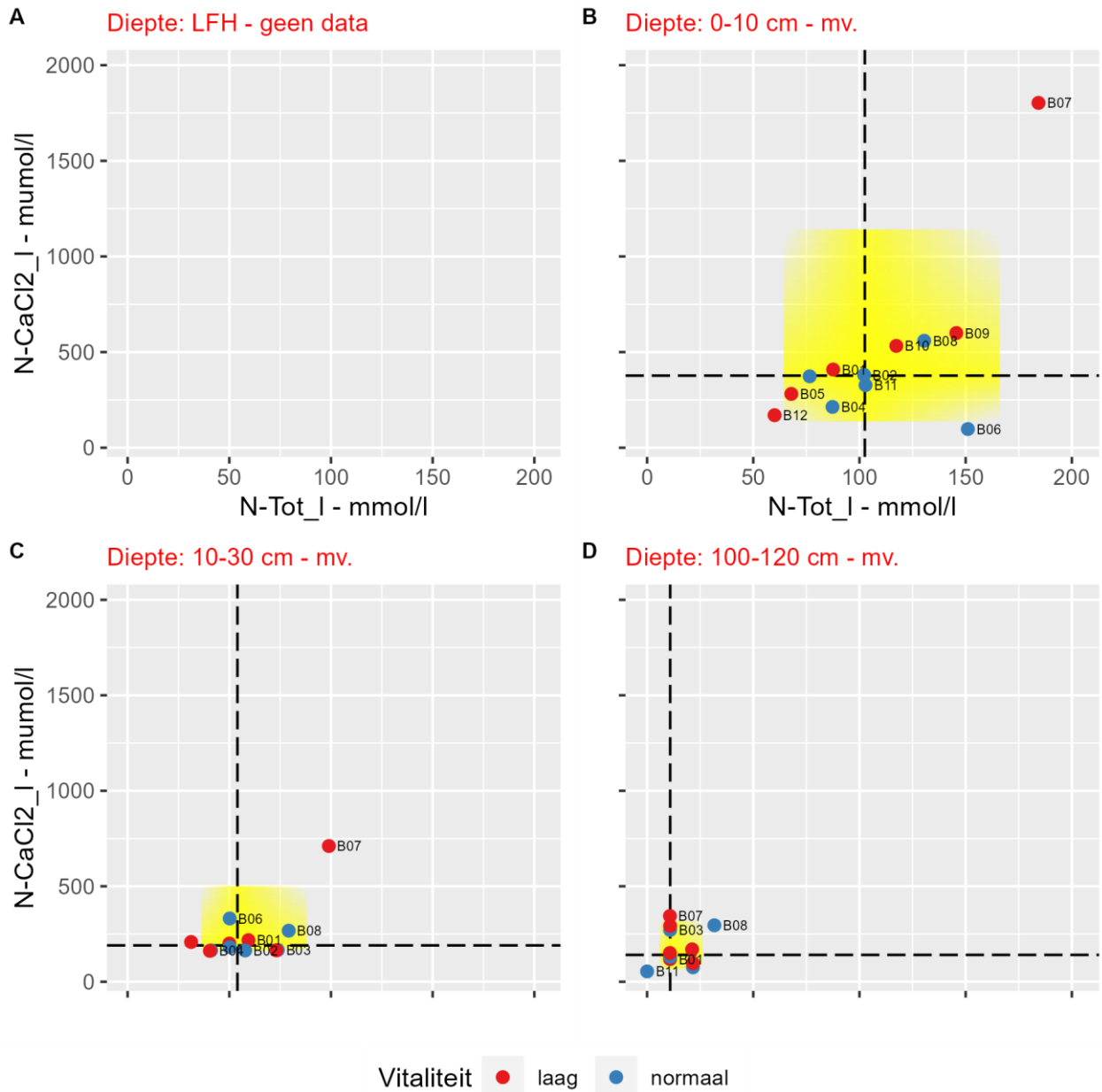
Om een beoordeling te geven van de nutriëntentoestand per boom, vergelijken wij in Figuur 3.15 t/m Figuur 3.16 steeds twee gerelateerde bepalingen met elkaar en het bereik van deze bepalingen binnen het project. Het bereik binnen het project is bepaald aan de hand van de verdeling op basis van percentielen,

met als grenswaarden P05 (5% heeft lagere waarden) en P95 (5% heeft hogere waarden). Dat wordt in de figuren weergegeven door het gele vlak, waarbinnen zich dus 90% van de waarnemingen bevindt. De mediane waarde (P50) geven wij aan met een zwarte streepjeslijn. Indien beschikbaar geven wij met vaste lijnen ook grenswaarden en klassen voor de beoordeling aan. Het onderscheid tussen bomen met een lage of normale vitaliteit is aangegeven met een kleur (rood en blauw). Met deze weergave kunnen wij dus beoordelen hoe de waarden binnen het project zich verhouden ten opzichte van grenswaarden en welke bomen op groeiplaatsen staan met afwijkende waarden.



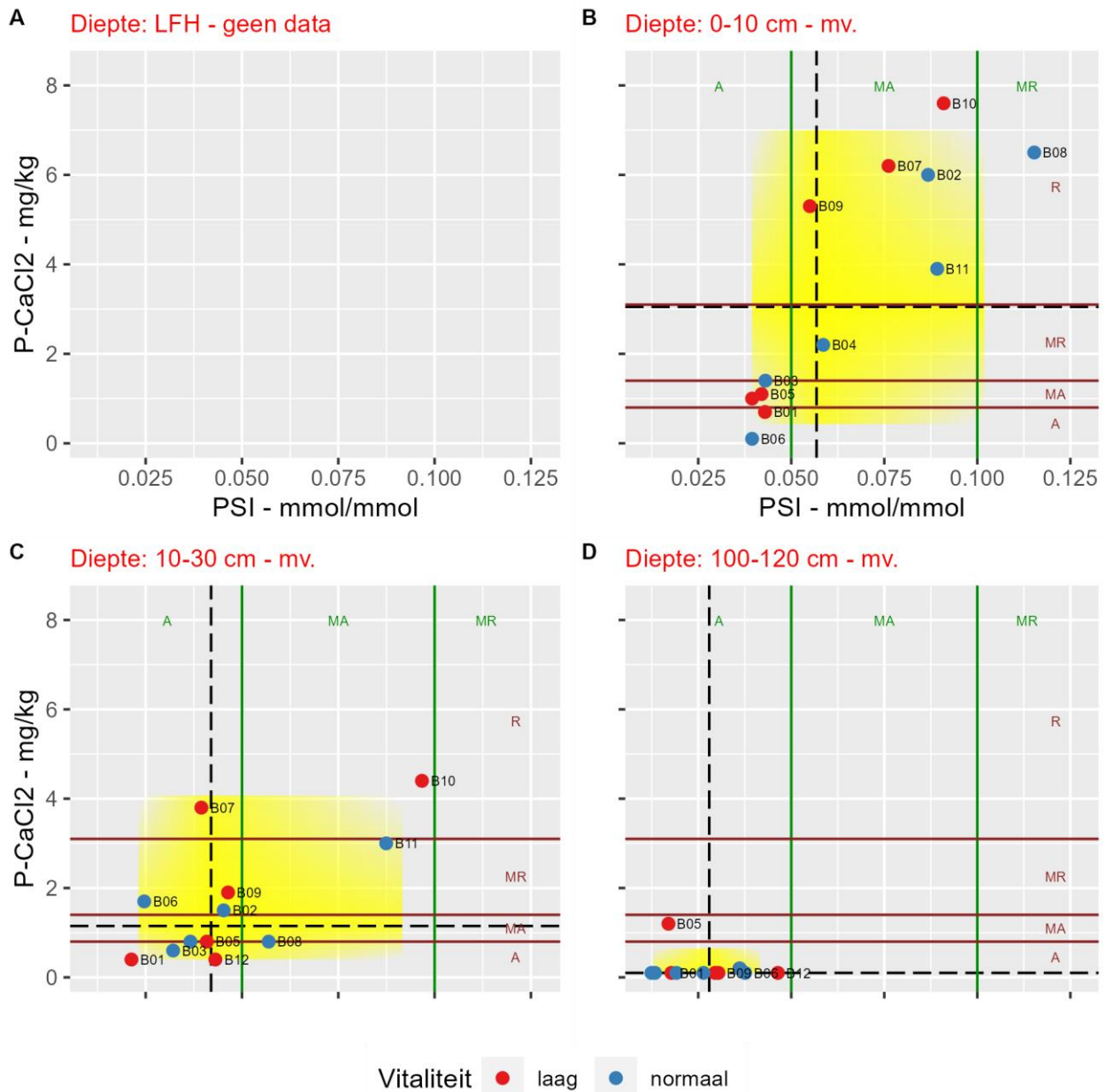
Het gele vlak geeft de spreiding aan voor 90% van de waarnemingen, tussen de percentielen P05 en P95, voor N-Tot_I langs de X-as en CN langs de Y-as. De mediane waarde (P50) wordt aangegeven met een zwarte stippellijn. Klassegrenzen voor de beoordeling zijn aangegeven met vaste lijnen, bruin horizontaal voor CN. Codes voor de klassen zijn: R = Voedselrijk, MA = Matig voedselarm, A = Voedselarm.

Figuur 3.15 Vergelijking van de C/N-ratio van het organische materiaal met de totale hoeveelheid stikstof per liter bodem (N-Tot_I) per boom en per diepteklasse. Grenswaarden C/N-ratio volgens (Runhaar et al., 2003).



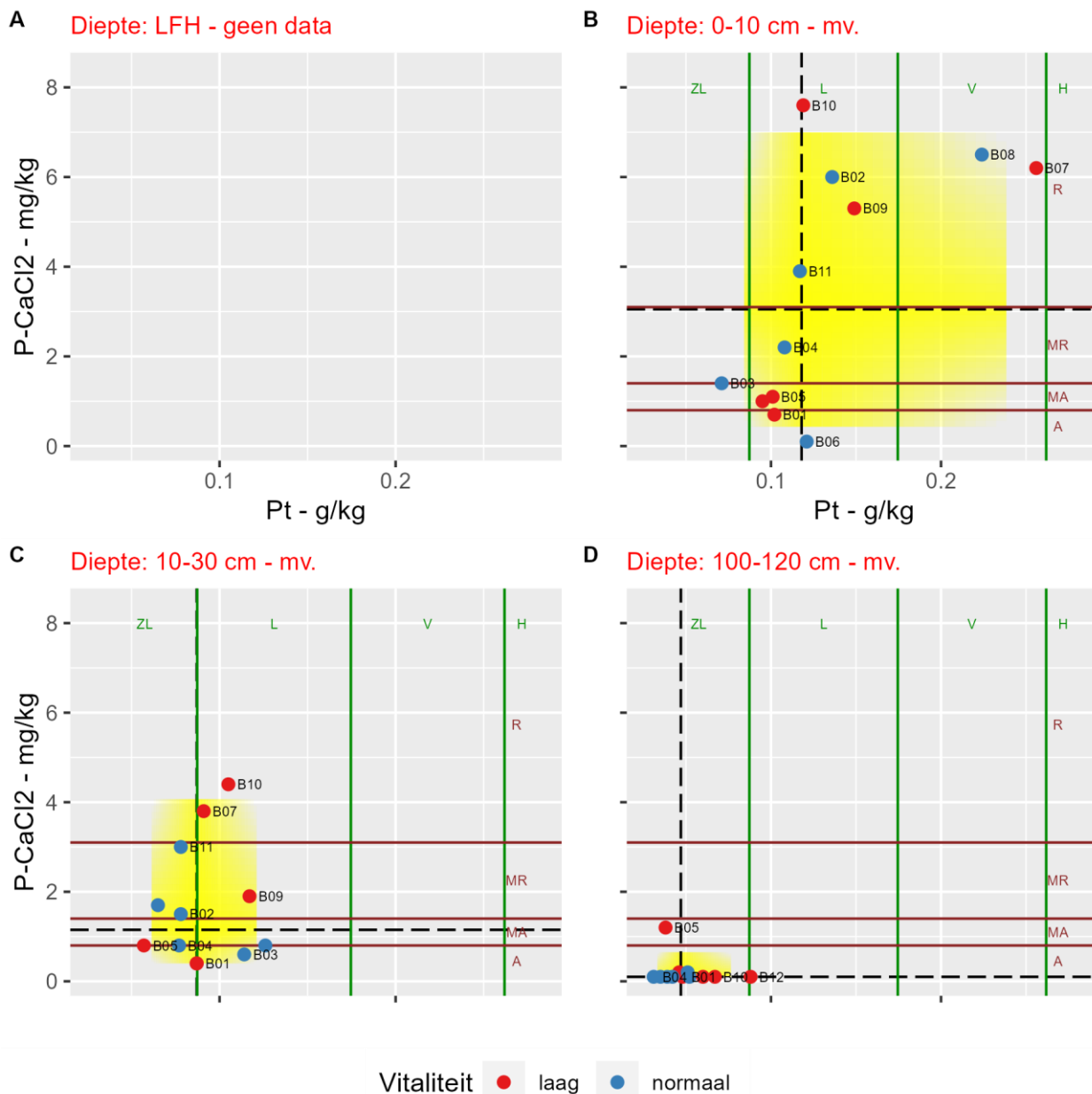
Het gele vlak geeft de spreiding aan voor 90% van de waarnemingen, tussen de percentielen P05 en P95, voor N-Tot_I langs de X-as en N-CaCl2_I langs de Y-as. De mediane waarde (P50) wordt aangegeven met een zwarte stippellijn.

Figuur 3.16 Vergelijking van de beschikbare stikstof per liter bodem (N-CaCl2_I) met de totale hoeveelheid stikstof per liter bodem (N-Tot_I) per boom en per diepteklasse.



Het gele vlak geeft de spreiding aan voor 90% van de waarnemingen, tussen de percentielen P05 en P95, voor PSI langs de X-as en P-CaCl₂ langs de Y-as. De mediane waarde (P50) wordt aangegeven met een zwarte stippellijn. Klassegrenzen voor de beoordeling zijn aangegeven met vaste lijnen, groen vertikaal voor PSI, bruin horizontaal voor P-CaCl₂. Codes voor de klassen zijn: A = Voedselarm, MA = Matig voedselarm, MR = Matig voedselrijk, A = Voedselarm, MA = Matig voedselarm, MR = Matig voedselrijk, R = Voedselrijk.

Figuur 3.16 Vergelijking van de beschikbare hoeveelheid fosfaat per liter bodem (P-CaCl₂_I) met de fosfaatverzadigingsgraad (PSI) per boom en per diepteklasse. Grenswaarden PSI naar (Kemmers et al., 2011) en voor P-CaCl₂, met een vertaalfunctie van (Oenema et al. 2016), afgeleid van grenswaarden voor P_w uit Kemmers et al., (2011).



Het gele vlak geeft de spreiding aan voor 90% van de waarnemingen, tussen de percentielen P05 en P95, voor Pt langs de X-as en P-CaCl₂ langs de Y-as. De mediane waarde (P50) wordt aangegeven met een zwarte stippellijn. Klassegrenzen voor de beoordeling zijn aangegeven met vaste lijnen, groen vertikaal voor Pt, bruin horizontaal voor P-CaCl₂. Codes voor de klassen zijn: ZL = Zeer laag, ongeschikt voor alle soorten, L = Laag, geschikt voor dennen, V = Voldoende, geschikt voor sparren, beuk en eik, H = Ruim voldoende, geschikt voor Douglas en Lariks, A = Voedselarm, MA = Matig voedselarm, MR = Matig voedselrijk, R = Voedselrijk.

Figuur 3.17 Vergelijking van de beschikbare hoeveelheid fosfaat per liter bodem (P-CaCl₂_I) met het totale fosfaatgehalte (Pt) per boom en per diepteklasse. Grenswaarden Pt naar Van den Brug & Schaap (1995) en voor P-CaCl₂, met een vertaalfunctie van (Oenema et al., 2016), afgeleid van grenswaarden voor Pw uit (Kemmers et al., 2011).

Conclusies over nutriënten per boom

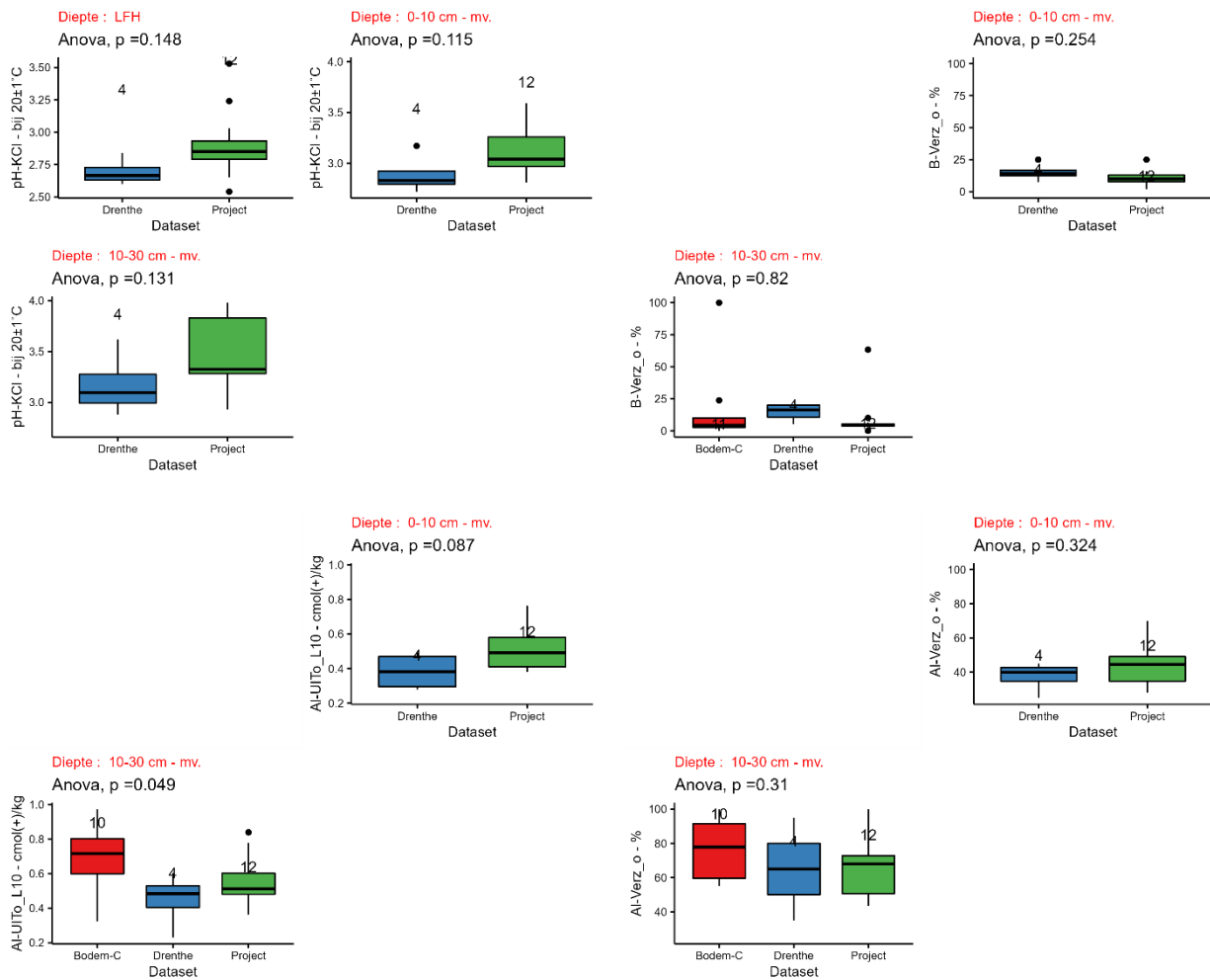
- Het stikstofgehalte, uitgedrukt in gehalte per liter grond, neemt van boven naar onder duidelijk af met een mediane waarde van 190 mmol/l in LFH tot 11 in de laag 100-120 cm. Met de afnemende mediaan neemt ook de spreiding af (Figuur 3.15).
- Het relatieve aandeel stikstof in het organisch materiaal (C/N-ratio) neemt in de bovenste drie lagen toe met de diepte, met in het strooisel (LFH) een mediane waarde (19.6) op de grens tussen voedselrijk en matig voedselarm naar overwegend matig voedselarm in de lagen 0-10 (mediaan 21.7) en 10-30

(mediaan 26.7). In het strooisel (LFH) wordt stikstof door een actief bodemleven geïmmobiliseerd, vooral bij minder vitale bomen. De toenemende C/N-ratio in lagen tot 30 cm wijst op een afname van biologische activiteit en een relatief hoge N-mineralisatie.

- In de onderste laag (100-120 cm) ligt de mediaan (25.0) ook in het matig voedselarme bereik, maar de spreiding is erg groot door de significant hogere waarden voor de bomen met een lage vitaliteit, mogelijk door meer vers organisch materiaal van afgestorven wortels (zie conclusies bij verschillen tussen vitaliteitsklassen).
- De beschikbare hoeveelheid stikstof ($N-CaCl_2 = N-NH_4-CaCl_2 + N-NOX-CaCl_2$) is het hoogst in de laag 0-10 cm en heeft daar ook een vrij grote spreiding, in de lagen 10-30 en 100-120 cm is zowel de beschikbaarheid als de spreiding lager (Figuur 3.).
- Omdat een groot deel van het fosfaat gebonden is aan hydroxiden (in deze bodems vooral aluminium), is de beschikbare fractie ($P-CaCl_2$) sterk gerelateerd aan de fosfaatverzadigingsgraad (PSI) die de potentiële fosfaatbeschikbaarheid indiceert (Figuur 3.16). In de lagen 0-10 en 10-30 cm valt de PSI grotendeels in het matig voedselarme tot voedselarme bereik, met een mediaan op 0.057 en 0.042 mmol/mmol. Op 100-120 cm worden alle monsters als voedselarm beoordeeld. De actuele fosfaatbeschikbaarheid vertoont een grotere spreiding waarbij de laag 0-10 cm voor de helft van de bomen een (matig) rijke groeiplaats indiceert en de andere helft (matig) arm. Dat geldt ook voor de laag 10-30, maar daar zijn de beschikbaarheden wel een stuk lager. Op 100-120 cm is de P-beschikbaarheid zeer laag.
- Hoewel een groot deel van het fosfaat sterk gebonden is in de bodem zijn bomen, door samenwerking met mycorrhiza's, toch in staat deze deels op te nemen (Van den Burg & Schaap, 1995). Daarom is totaal-P-gehalte (Pt) toch geschikt om iets te zeggen over de P-toestand. Van den Burg en Schaap geven als grenswaarde voor eiken een gehalte van 40 mg $P_2O_5/100$ gr grond op. Omgerekend komt dat overeen met 0.175 g P/kg. Figuur 3.17 laat zien dat alleen in de laag 0-10 cm bij twee bomen Pt hoog genoeg is voor eiken (klasse V). Op die diepte vallen de meeste bomen in de klasse L, die alleen voldoende is voor dennen. Op 10-30 cm is het totaal-P-gehalte zelfs zeer laag tot laag, de mediaan ligt op de grens tussen ZL en L.
- De groeiplaatsen van een aantal bomen valt op door wat afwijkende waarden:
 - B07, dicht aan de zuidrand van het productieterrein in Someren, heeft vooral op 0-10 en 10-30 cm en in mindere mate in LFH opvallend hoge gehalten N-Tot. Dat gaat gepaard met sterk verhoogde N-beschikbaarheid ($N-CaCl_2$). De C/N-ratio tussen 100 en 120 cm, die bij de laag vitale bomen waarschijnlijk door wortelsterfte significant hoger is dan bij de bomen met een normale vitaliteit, is hier het hoogst (35). Ook voor de fosfaatbeschikbaarheid ($P-CaCl_2$) scoort de groeiplaats van deze boom vrij hoog. Pt is voldoende voor zomereik. Deze boom staat dicht bij een agrarisch bedrijf.
 - B08 heeft in de lagen 0-10 en 10-30 cm, bij een gehalte N-Tot – wat vergelijkbaar is met de groeiplaatsen van andere bomen – een sterk verlaagde CN-ratio. De fosfaatbeschikbaarheid (zowel Pt, PSI als $P-CaCl_2$) is in de laag 0-10 hoog, maar in de laag 10-30 niet meer. De hogere nutriëntenbeschikbaarheid in de laag 0-10 cm kunnen wij verklaren uit de aard van het opgebrachte materiaal in dit perceel (zie § 3.3.1). Het is wel opmerkelijk dat dat in de laag 10-30 minder duidelijk is. Wellicht komen via het strooisel relatief veel nutriënten weer beschikbaar in de bovenste laag. Het strooiselpakket is relatief dun en een H-horizont ontbreekt, wat wijst op een relatief snelle strooiselafbraak. Het relatief hoge stikstofgehalte in de organische stof en de hoge P-beschikbaarheid zijn ook een verklaring voor het voorkomen van een witbol-vegetatie.
 - B10 heeft zowel in 0-10 als in 10-30 een hoge P-beschikbaarheid, zowel potentieel (PSI) als actueel ($P-CaCl_2$).
 - B12 heeft in 0-10 en 10-30 cm juist de laagste gehalten N-Tot, met een C/N-ratio rond de mediaan. Dit komt ook tot uiting in een zeer lage N-beschikbaarheid ($N-CaCl_2$). Het profiel is opgehoogd met humusarm en dus ook stikstofarm zand. Dat verklaart mede waarom hier geen afwijkende vegetatie is gevonden.

3.3.4.2 Beoordeling zuurbuffer

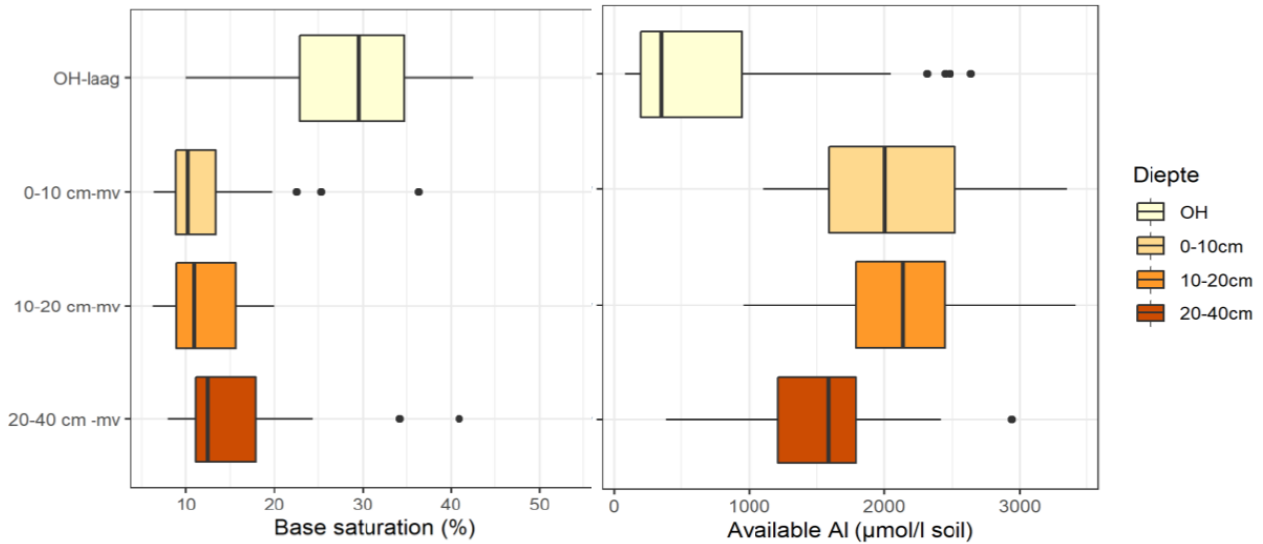
Vergelijking zuurbuffer met referentie



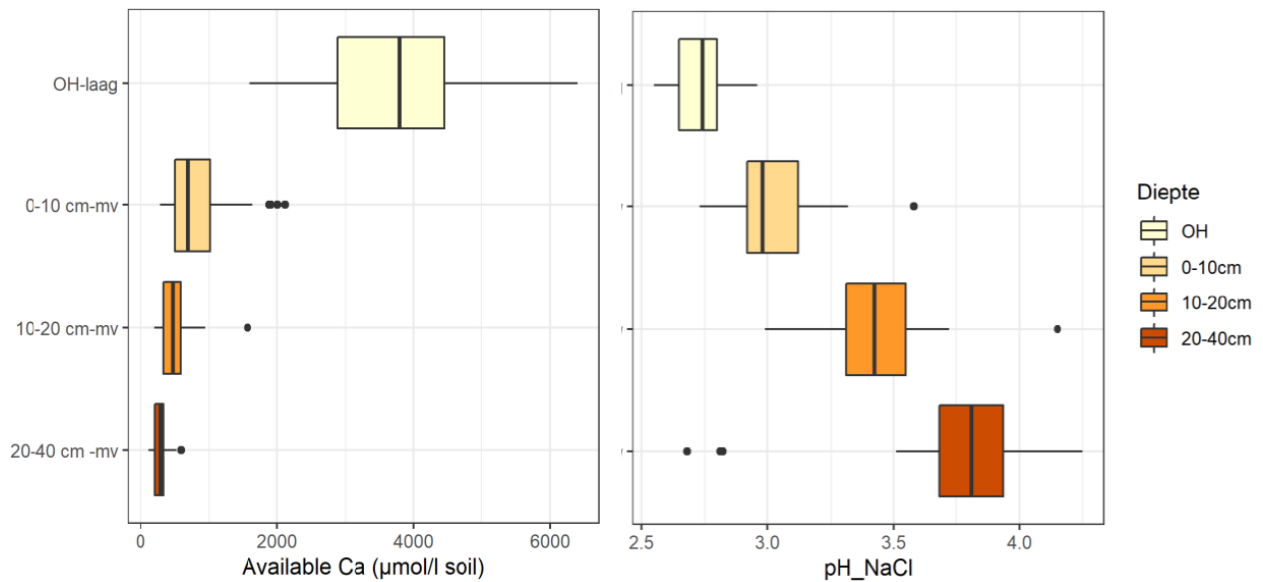
Figuur 3.18 Vergelijking van enkele parameters die verband houden met de zuurbuffering in de bodem tussen het project en de referenties.

Tabel 3.12 Mediane waarden voor de humuslaag en percentielwaarden (5%-50%-95%) voor de minerale toplaag van pH-KCl, CEC en uitwisselbare kationen in Nederlandse bossen naar De Vries & Leeters (2001B). De minerale toplaag betreft 0-10 cm.

	pH-KCl	CEC (cmol+/kg)	Verzadiging (%)		De Vries & Leeters (2001B)
			Al-verz	Ca-verz	
Humuslaag (LFH) alle boomsoorten	2,6-2,8-3,8				Table 19
Humuslaag (LFH) mediaan onder eik	2,9				Table 20
Minerale toplaag 0-10	2,9-3,1-4,7	1,6-3,6-7,7	37-45-75	1,2- 5-32	Table 33
Minerale toplaag 0-10 Zn/Zd	3,3	2,2	49	4,9	Table 34
Minerale toplaag 0-10 Hn/Hd	3,1	3,9	48	5,5	Table 34



Figuur 3.19 Basenverzadiging (links) in % en beschikbare concentratie aluminium (rechts) in $\mu\text{mol/l}$ bodem, gemeten in het zoutextract in vier bodemlagen van tien bossen in de nulsituatie van de steenmeelproef op de Veluwe (Weijters et al., 2020).



Figuur 3.20 Beschikbare Ca-concentratie in $\mu\text{mol/l}$ gemeten in het zoutextract (links) en de bodem-pH gemeten in het zoutextract (rechts) in vier bodemlagen van tien bossen in de nulsituatie van de steenmeelproef op de Veluwe (Weijters et al., 2020).

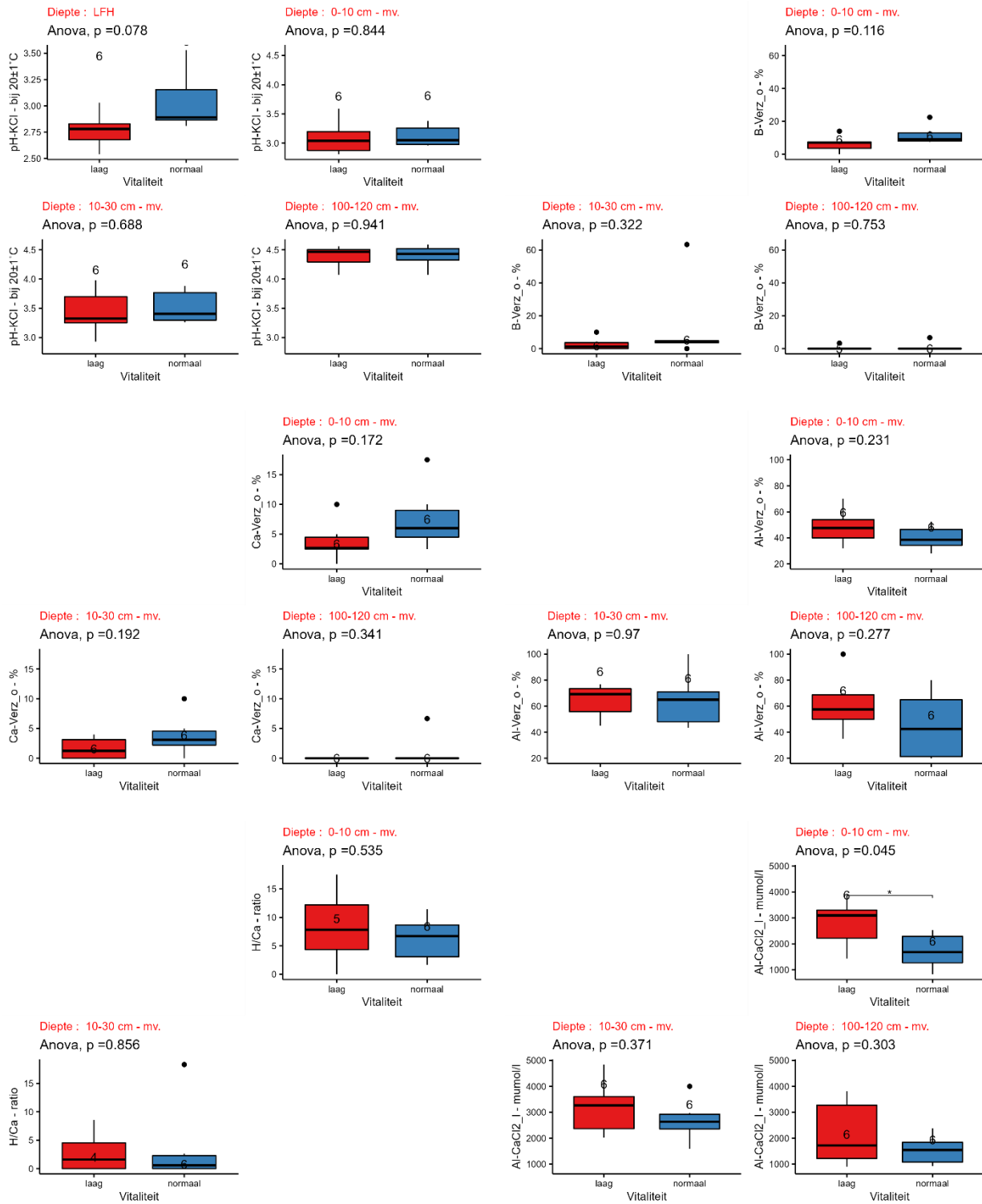
Tabel 3.13 Spreiding van een aantal bepalingen in verband met de zuurbuffer in het project ten opzichte van de referenties. De spreiding per laag is aangegeven in percentielen (5%, 50% = mediaan en 95%) in de eenheid die onder de kop 'Bepaling' tussen haakjes () gegeven is. Bij de referenties geven wij aan hoe deze verschillen ten opzichte van het project: + of ++: de referentie heeft een (veel) hogere waarde dan het project, - of --: de referentie heeft een (veel) lagere waarde dan het project, +/-: de waarden zijn vergelijkbaar. Bij lege cellen is de bepaling niet beschikbaar in de referentie. Referenties betreffen: Bodem-C (De Jong et al., 2021), Drenthe (Bijlsma et al., 2020A), NL 1995 (De Vries & Leeters, 2001B), Veluwe (Weijters et al., 2020).

Bepaling	Laag	Project	Referenties ten opzichte van Project			
			Bodem-C	Drenthe	NL 1995	Veluwe
pH-KCl	LFH	2.60-2.85-3.37		-	+/-	
	0-10	2.82-3.04-3.47		-	+/-	
	10-30	3.10-3.33-3.93		-		
	100-120	4.07-4.47-4.57				
B-Verz_o (%)	0-10	1.4-7.8-18		+/-		+/-
	10-30	0.0-3.7-34	+/-	+		+
	100-120	0.0-0.0-5				
Ca-Verz_o (%)	0-10	1.4-4.5-13.4	+/-	+/-	+/-	
	10-30	0.0-2.7-7.3	+/-	+/-		
	100-120	0.0-0.0-3.0				
Al-Verz_o (%)	0-10	30-44-62	+/-	+/-	+/-	
	10-30	44-68-87	+/-	+/-		
	100-120	20-55-89				
Al-CaCl ₂ _I (µmol/l)	0-10	1018-2200-3578				+/-
(Veluwe Al-NaCl)	10-30	1827-2850-4349				--
	100-120	918-1545-3735				

Conclusies over zuurbuffer vergeleken met referenties

- De pH-KCl is wat hoger dan in Drenthe en vergelijkbaar met de metingen uit 1995.
- De basenverzadiging is op 0-10 cm vergelijkbaar met de referenties, op 10-30 cm is de basenverzadiging iets lager dan in Drenthe en op de Veluwe.
- Calciumverzadiging is zowel in het project als de referenties erg laag.
- Aluminium verzadiging is zowel in het project als de referenties hoog.
- Beschikbaar aluminium is op 0-10 cm vergelijkbaar met de bossen op de Veluwe, maar op 10-30 cm is deze in het project flink hoger. Hier lijkt dus wel sprake te zijn van aluminiummobilisatie.

Vergelijking zuurbuffer tussen vitaliteitsklassen



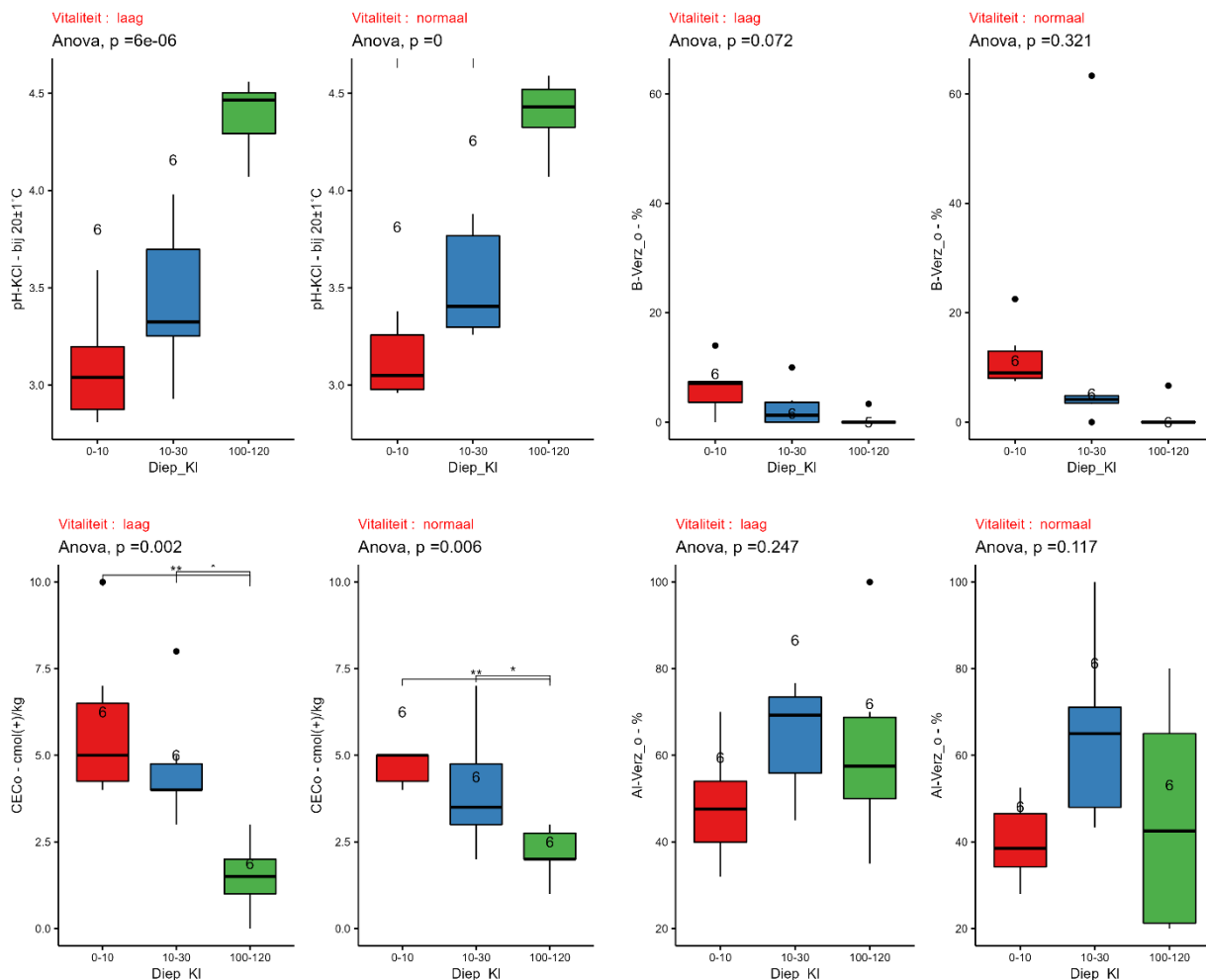
Figuur 3.21 Vergelijking van een aantal parameters die verband houden met de zuurbuffering in de bodem tussen de vitaliteitsklassen.

Conclusies over zuurbuffer tussen vitaliteitsklassen

- Bij de vergelijking van parameters die verband houden met de zuurbuffer tussen de vitaliteitsklassen zijn er nauwelijks significante verschillen (Figuur 3.21).
- Wij vinden wel een wat lagere pH-KCl in de LFH bij bomen met een lage vitaliteit, wat gepaard gaat met een iets lagere basenverzadiging en Ca-verzadiging en een iets hoger Al-verzadiging.

- Dat zien we ook terug in uitwisselbaar aluminium aan het adsorptiecomplex (Al-UITo) en de hoeveelheid opneembaar Al (Al-CaCl₂), die bij de minder vitale bomen duidelijk hoger is en in 0-10 cm zelfs significant hoger.

Vergelijking zuurbuffer tussen lagen



Figuur 3.22 Vergelijking van pH-KCl, basenverzadiging, CEC en Al-verzadiging in de bodem tussen de diepteklassen (Diep_KI) in het minerale deel van het profiel. Per bepaling zijn steeds twee grafiekjes opgenomen, voor bomen met een lage en een normale vitaliteit.

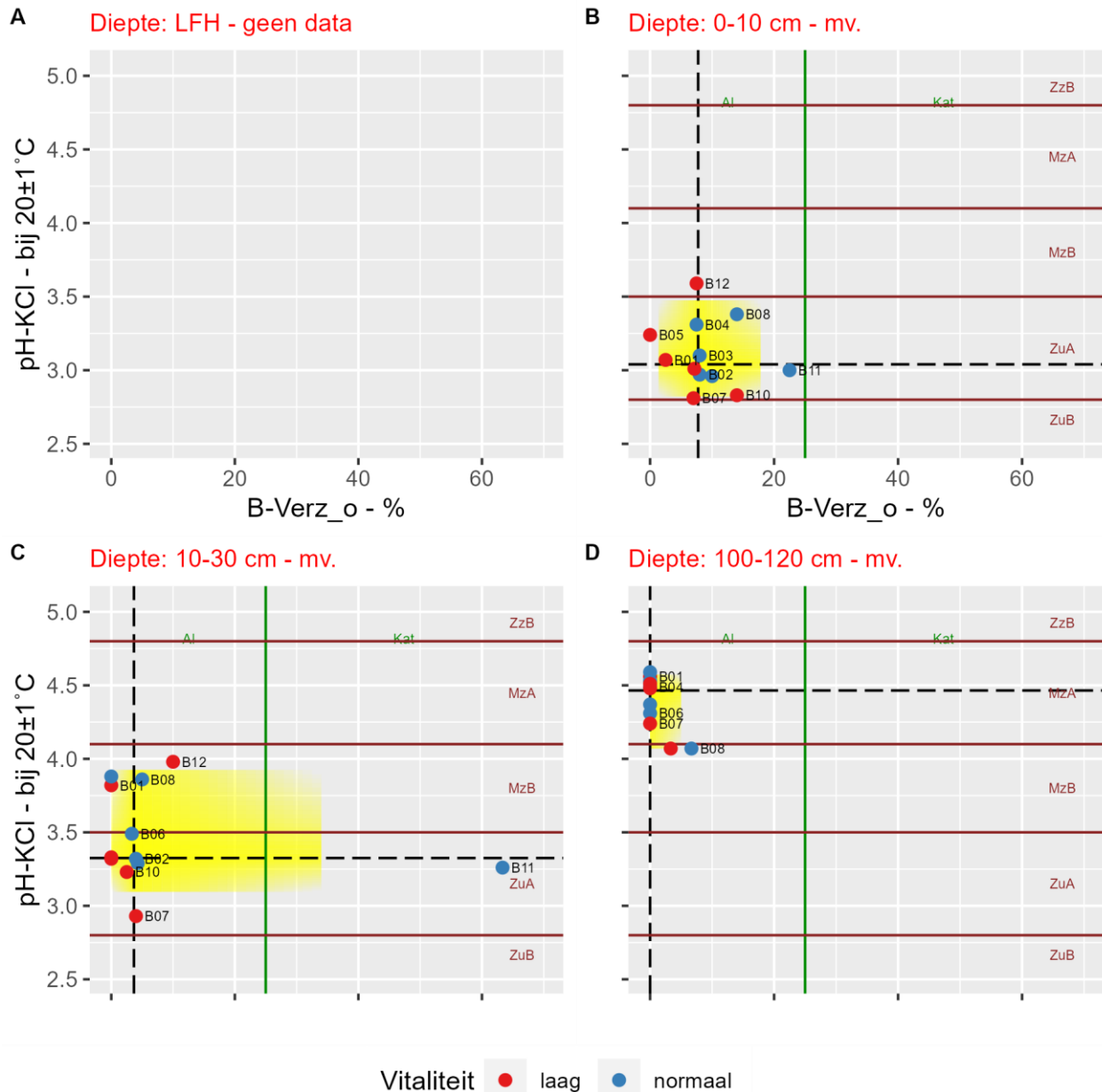
In Figuur 3.22 wordt de zuurbuffer vergeleken tussen de lagen per vitaliteitsklasse.

Conclusies over zuurbuffer tussen lagen

- Voor veel bodemeigenschappen worden significante verschillen gevonden tussen de bemonsterde lagen, die echter grotendeels toegeschreven kunnen worden aan natuurlijke uitloging tijdens de bodemvorming. Deze processen zijn waarschijnlijk wel versneld door de verzuring als gevolg van atmosferische depositie.
- De pH-KCl neemt duidelijk toe van de bovengrond (0-10 cm, via 10-30 cm) tot de ondergrond op 100-120 cm.
- De basenverzadiging is in alle bemonsterde lagen zeer laag (< 15%), zodat de zuurbuffering geheel bepaald wordt door de aluminiumbuffer. Dit blijkt ook uit het feit dat er geen positieve relatie is tussen basenverzadiging en pH-KCl, zoals wij zouden verwachten binnen het kationbuffertraject.
- De CEC neemt ook significant af met de diepte, omdat deze vrijwel volledig bepaald wordt door de organische stof in de bodem.
- Dat aluminium een belangrijke rol speelt, blijkt uit de hoge waarden voor de Al-verzadiging en de beschikbare fractie aluminium (Al-CaCl₂, zie vorige paragraaf).

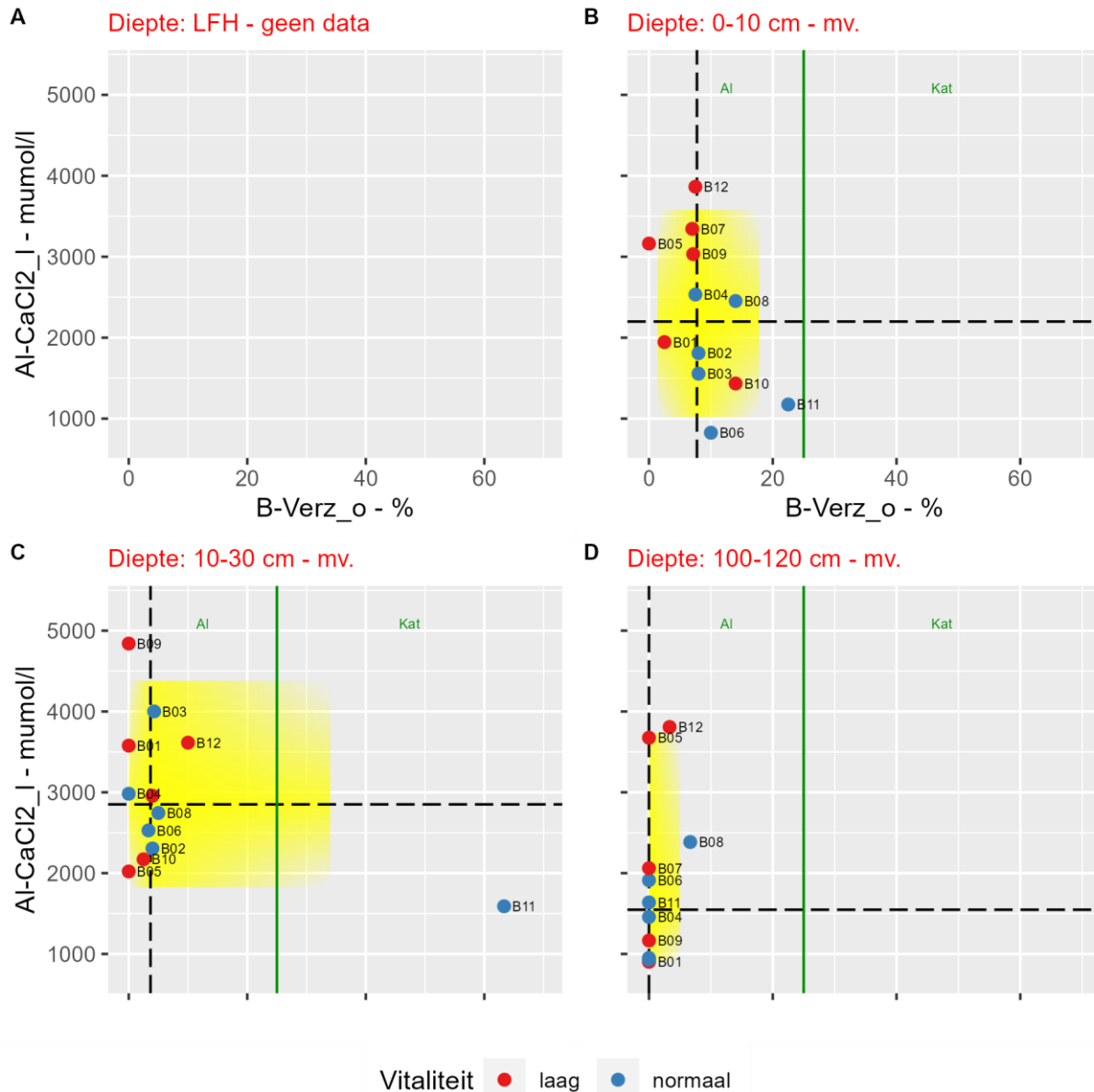
Beoordeling zuurbuffer per boom

Om een beoordeling te geven van de zuurbuffer per boom vergelijken wij in Figuur 3.23 en Figuur 3.24 steeds twee gerelateerde bepalingen met elkaar en het bereik van deze bepalingen binnen het project. Onder kop 'Beoordeling nutriënten per boom' in § 3.3.4.1 leggen wij uit hoe deze figuren gelezen kunnen worden.



Het gele vlak geeft de spreiding aan voor 90% van de waarnemingen, tussen de percentielen P05 en P95, voor B-Verz_o langs de X-as en pH-KCl langs de Y-as. De mediane waarde (P50) wordt aangegeven met een zwarte stippellijn. Klassegrenzen voor de beoordeling zijn aangegeven met vaste lijnen, groen vertikaal voor B-Verz_o, bruin horizontaal voor pH-KCl. Codes voor de klassen zijn: Al = Aluminiumbuffer, Kat = Kationbuffer, ZuB = Zuur B, ZuA = Zuur A, MzB = Matig zuur B, MzA = Matig zuur A, ZzB = Zwak zuur B.

Figuur 3.23 Vergelijking van de pH-KCl met de basenverzadiging per boom en per diepteklasse. Grenswaarden basenverzadiging volgens (De Vries et al., 2019), voor pH-KCl volgens Runhaar & Hennekens (2014).



Het gele vlak geeft de spreiding aan voor 90% van de waarnemingen, tussen de percentielen P05 en P95, voor B-Verz_o langs de X-as en Al-CaCl₂_I langs de Y-as. De mediane waarde (P50) wordt aangegeven met een zwarte stippellijn. Klassegrenzen voor de beoordeling zijn aangegeven met vaste lijnen, groen vertikaal voor B-Verz_o. Codes voor de klassen zijn: Al = Aluminiumbuffer, Kat = Kationbuffer.

Figuur 3.24 Vergelijking van de aluminiumbeschikbaarheid (Al-CaCl₂) met de basenverzadiging per boom en per diepteklasse. Grenswaarden basenverzadiging volgens (De Vries et al., 2019).

Conclusies over de zuurbuffer per boom

- In alle monsters, met uitzondering van 10-30 cm bij boom B11, valt de basenverzadiging in het aluminiumbuffertraject (< 25%) (Figuur 3.23). Bij B11 wordt op deze diepte een opvallend hoge basenverzadiging gevonden van 63%, maar ook op 0-10 cm is de basenverzadiging met 23% een stuk hoger dan bij de andere bomen. In beide lagen is bij B11 de CEC laag en de som van de kationen hoog, vooral door een relatief hoog gehalte uitwisselbaar calcium (Ca-UITo).
- De pH-KCl in de laag 0-10 cm is vrijwel overal zuur (ZuA) en op 10-30 cm iets hoger, waarbij een deel in het matig zure traject (MzB) valt. Onder in het profiel is de bodem overal matig zuur, vooral MzA.
- Hoewel de verschillen tussen de vitaliteitsklassen niet significant zijn (Figuur 3.21), lijkt er in de laag 0-10 cm toch een patroon zichtbaar: vrijwel alle bomen met een lage vitaliteit hebben een basenverzadiging die lager is dan de mediane waarde (7.8%), met uitzondering van boom B10, maar daar heeft de pH-KCl een van de laagste waarden (2.83). De bomen met een normale vitaliteit hebben overwegend een basenverzadiging rond of boven de mediaan. In de laag 10-30 is dit minder duidelijk.

- Een vergelijkbaar patroon zien wij bij de hoeveelheid beschikbaar Al in de laag 0-10 cm (Al-CaCl₂_I, Figuur 3.24). Bij de bomen met een lage vitaliteit lijkt een zeer lage basenverzadiging samen te gaan met een hoge beschikbaarheid van aluminium, terwijl bij de bomen met een normale vitaliteit deze beschikbaarheid wat lager ligt, met een iets hogere basenbezetting. Het verschil in aluminiumbeschikbaarheid in deze laag is wel significant (Figuur 3.21).
- Voor individuele bomen valt het volgende op:
 - B05 heeft zowel in de laag 0-10 als 10-30 cm de laagste basenverzadiging;
 - B07 heeft zowel in de laag 0-10 als 10-30 cm de laagste pH-KCl en in de laag 0-10 cm ook bijna de hoogste aluminiumbeschikbaarheid;
 - B11 heeft zowel in de laag 0-10 als 10-30 cm de hoogste basenverzadiging, wat samengaat met een pH-KCl rond de mediaan en een lage aluminiumbeschikbaarheid;
 - B12 heeft in de laag 0-10 cm een basenbezetting rond de mediaan en op 10-30 cm daarboven, met in beide gevallen de hoogste pH-KCl voor die diepte. Dat gaat echter wel gepaard met de hoogste aluminiumbeschikbaarheid op 0-10 cm en een vrij hoge op 10-30 cm.

3.3.5 Bodemgeschiktheid

3.3.5.1 Beoordelingsfactoren

Ontwateringstoestand

Omdat alle onderzochte bomen op droge gronden liggen met grondwatertrap VIIId of VIIIId (§ 3.3.1), is de ontwateringstoestand ook overal als 'Zeer diep' (GHG \geq 80 cm -mv) beoordeeld.

Vochtleverend vermogen

Tabel 3.14 Beoordeling van het vochtleverend vermogen per locatie van de meetbomen.

Locatie	Beworteling		Grondwater			Vochtleverend vermogen			
	Bewortelbare diepte (cm - mv)	Bewortelingsdiepte (cm - mv)	GVG (cm - mv)	LG3 (cm - mv)	Kritieke z-afstand (cm + GLG)	Profieltype	Hangwater (mm)	Nalevering (mm)	Gradatie
sB01	150	20	116	240	100	Tijdelijk grondwaterprofiel	215	169	1
B02	100	80	135	260	100	Tijdelijk grondwaterprofiel	109	72	3
B03	100	80	135	260	100	Tijdelijk grondwaterprofiel	110	72	3
B04	110	88	155	280	100	Tijdelijk grondwaterprofiel	105	54	3
B05	110	88	126	250	100	Tijdelijk grondwaterprofiel	137	101	3
B06	100	80	135	260	100	Tijdelijk grondwaterprofiel	106	72	3
B07	70	56	116	240	100	Tijdelijk grondwaterprofiel	76	65	4
B08	80	64	145	270	100	Tijdelijk grondwaterprofiel	66	31	4
B09	100	80	145	270	95	Tijdelijk grondwaterprofiel	83	48	4
B10	100	80	150	275	102	Tijdelijk grondwaterprofiel	62	51	4
B11	100	80	164	290	118	Tijdelijk grondwaterprofiel	68	54	4
B12	180	144	291	420		Hangwaterprofiel	76	0	4

Als gevolg van verschillen in bodemopbouw en bewortelbare diepte, verschillen de groeiplaatsen van de meetbomen wel enigszins in de beoordeling van het vochtleverend vermogen (Tabel 3.14). Bij alle bomen (behalve B12) is sprake van een tijdelijk grondwaterprofiel. Dat wil zeggen dat in het begin van het groeiseizoen nog sprake is van aanvulling van de vochtvoorraad door capillaire opstijging uit het grondwater, maar dat deze aanvulling in de loop van het groeiseizoen stopt. Dat is het geval als de GVG-kritieke z-afstand kleiner is dan de bewortelingsdiepte, maar LG3-kritieke z-afstand groter is dan de bewortelingsdiepte. Met LG3 bedoelen wij dan de diepste grondwaterstanden in 10% droog jaar. Bij boom B12 is dat al bij GVG het geval en spreken wij van een hangwaterprofiel.

Het uiteindelijk vochtleverend vermogen hangt dan af van de maximale hoeveelheid vocht die uit hangwater of capillaire nalevering geleverd kan worden. Voor het hangwater hebben wij dat berekend uit het verschil tussen het vochtgehalte in de bouwsteen aan het begin van het groeiseizoen en bij verwelkingspunt, waarbij

er dus geen vocht meer opgenomen kan worden. Voor de nalevering uit grondwater wordt uitgegaan van het aantal dagen dat deze nalevering plaatsvindt, uitgaande van een flux van 2 mm/dag. Het hoogste aantal millimeters (uit hangwater of nalevering) bepaalt dan de gradatie voor het vochtleverend vermogen. Opvallend is dat in Lieshout (B01 t/m B06) het vochtleverend vermogen (gradatie 1, zeer groot bij B01 en 3, matig bij de andere bomen) hoger is dan in Someren (B07 t/m B12), waar alle bomen staan op een bodem met een vrij gering vochtleverend vermogen (gradatie 4). De goede beoordeling voor boom B01 heeft te maken met de grote bewortelbare diepte (150 cm), waardoor zowel het vochthoudend vermogen van de wortelzone zeer hoog is als de periode waarover nalevering uit grondwater mogelijk is.

Voedingstoestand

Omdat er geen duidelijke criteria zijn om de voedingstoestand af te leiden uit bodemchemische parameters, hebben wij een inschatting gemaakt op basis van waargenomen ondergroei bij de meetbomen. Deze wisselt wel enigszins, maar veelvoorkomende soorten zijn stekelvarens (*Dryopteris spec.*), braam (*Rubus fruticosus*), bochtige smele (*Deschampsia flexuosis*) en de struiken Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*), Lijsterbes (*Sorbus aucuparia*) en sporkenhout (*Rhamnus frangula*). In combinatie met de bodem (humuspodzolgronden en stuifzandgronden) geven wij hier de gradatie 2.4 (vrij laag) aan, behalve bij boom B08, waar het voorkomen van witbol (*Hilcus lanatus*) reden is om gradatie 2.3 (matig hoog) toe te kennen (zie Ten Cate et al., 1995D). De hogere voedingstoestand bij B08 komt ook tot uiting in de chemische analyses, waarbij in de lagen 0-10 en 10-30 cm de C/N-ratio duidelijk lager is dan bij de andere bomen (ca. 18, terwijl de mediane waarden op 22 en 27 liggen). In de laag 0-10 cm worden ook hogere P-gehalten gevonden dan bij de andere bomen. Dat geldt zowel voor de actuele beschikbaarheid (P-CaCl₂) als de potentiële beschikbaarheid (PSI) en het totaal P-gehalte (Pt).

Zuurgraad

Voor het beoordelen van de zuurgraad hebben wij het gemiddelde genomen van de pH-KCl in de lagen 0-10 en 10-30 cm. Deze is overall lager dan 4.5, zodat gradatie 3A (sterk zuur) wordt toegekend, maar in de meeste gevallen – met uitzondering van B08 en B12 – is de pH-KCl lager dan 3.5 en kennen wij gradatie 3B (zeer sterk zuur, zie Tabel 2.4) toe.

3.3.5.2 Geschiktheidsbeoordeling

Met de beoordelingsfactoren hebben wij de bosbouwgeschiktheidsbeoordeling voor de locaties van alle bomen uitgevoerd (Tabel 3.15). Hieruit blijkt dat de onderzochte groeiplaatsen in Lieshout allemaal een normale groeiverwachting (klasse 2) voor zomereik hebben en in Someren, met uitzondering van B08, allemaal een slechte groeiverwachting (klasse 3). De afwijkende groeiplaats bij B08 komt hier dus ook tot uiting in een, ten opzichte van de andere bomen in Someren, betere groeiverwachting.

Een vergelijking van de groeiverwachting voor zomereik, met de gemeten diktegroei in § 3.2.2, is niet eenvoudig te maken. Een deel van de bomen met een normale groeiverwachting volgt min of meer de lijn van de gemiddelden voor de onderzochte bomen of ligt daarboven (B02, B03 vanaf 2016, B04, B05, B06 en B08), terwijl een deel van de bomen met een slechte groeiverwachting ook duidelijk minder diktegroei laten zien (B07, B09 tot 2016, en B12). Daar staat tegenover dat B01, ondanks de verwachting van een normale groei, deze juist het laagst is van alle bomen. De groei bij B10 en B11, met een slechte groeiverwachting, is juist bovengemiddeld, behalve de laatste jaren voor B10.

Tabel 3.15 Geschiktheidsbeoordeling voor bosbouw (zie Ten Cate et al., 1995D). OT = Ontwateringstoestand, VL = Vochtleverend vermogen, VT = Voedingstoestand. ZG = Zuurgraad. Groeiverwachting per boomsoort: 1 = goede groei, 2 = normale groei, 3 = slechte groei.

Locatie	Beoordelingsfactoren				geschiktheidsklasse	Groeiverwachting per boomsoort(groep)									
	OT	VL	VT	ZG		populier, wilg, es	els	esdoorn	eik	beuk	grove den	Cors. en Oost. den	Douglasspar	Japanse lariks	fijnspar en sitkasspar
B01	1	1	2.4	3B	2.1.0.1z	3	3	3	2	2	1	1	2	2	2
B02	1	3	2.4	3B	2.1.0.1z	3	3	3	2	2	1	1	2	2	2
B03	1	3	2.4	3B	2.1.0.1z	3	3	3	2	2	1	1	2	2	2
B04	1	3	2.4	3B	2.1.0.1z	3	3	3	2	2	1	1	2	2	2
B05	1	3	2.4	3B	2.1.0.1z	3	3	3	2	2	1	1	2	2	2
B06	1	3	2.4	3B	2.1.0.1z	3	3	3	2	2	1	1	2	2	2
B07	1	4	2.4	3B	3.1.0.2z	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3
B08	1	4	2.3	3A	2.2.2.4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
B09	1	4	2.4	3B	3.1.0.2z	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3
B10	1	4	2.4	3B	3.1.0.2z	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3
B11	1	4	2.4	3B	3.1.0.2z	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3
B12	1	4	2.4	3A	3.1.0.2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3

4 Synthese

4.1 Belangrijkste conclusies

De vitaliteit van de bomen is beoordeeld op basis van een aantal kenmerken van de bomen en de vitaliteit wordt beïnvloed door meerdere bodemparameters. In Tabel 4.1 hebben wij de belangrijkste informatie uit de voorgaande hoofdstukken bij elkaar gezet om een totaalbeeld te krijgen per waterwingebied en per locatie of boom en eventuele relaties daartussen. Zijn verschillen tussen bomen te verklaren uit bodemeigenschappen van de locaties? Voor de bodemchemie hebben wij ons hier beperkt tot de strooisellagen (LFH) en de bovenste minerale laag (0-10 cm), omdat daar de verschillen het best tot uiting komen. In de laag 10-30 cm is de spreiding tussen bomen over het algemeen veel geringer. Factoren die voor alle bomen min of meer gelijk zijn, hebben wij hier buiten beschouwing gelaten, zoals:

- Calciumgehalte in blad is overal laag, meestal onder het niveau dat wijst op een tekort;
- De N-gehalten in hout zijn in het algemeen lager dan gemiddeld in het Nederlandse bos, met uitzondering van boom B07;
- IJzergehaltes in hout zijn lager dan in Drenthe;
- Alle locaties zijn zeer droog, met grondwatertrap VIIId en VIIId, waardoor er geen invloed is van grondwater en grondwaterstanddalingen;
- De pH-profielen wijzen allemaal op een basenarm moedermateriaal, dat ondiep verzuurd is (pH-profieltype InAo);
- De Pt-gehalten zijn in het algemeen lager dan gemiddeld voor eikenopstanden in Nederland (gemiddeld 45 mg P₂O₅ per 100 g, of 0,196 g P/kg) en meestal te laag voor eik;
- PSI-waarden zijn in het algemeen ook lager dan gemiddeld in Nederland, met uitzondering van de locaties B08, B10 en B11;
- Aluminium is overal dominant in de fosfaatbuffer (Al/Fe > 1) en neemt sterk toe met de diepte. Er is dus heel weinig ijzer aanwezig in het profiel (wat het verschil in gehalten in hout met Drenthe verklaart);
- De basenverzadiging (B-verz_o) is overal zeer laag en valt bijna overal in het aluminiumbuffertraject, de waardering in Tabel 4.1 betreft alleen de onderlinge verschillen;
- De beoordelingsfactor ontwateringstoestand (OT) voor de bosbouwgeschiktheidsbeoordeling is overal gradatie 1 'Zeer diep'.

Naast de bovenstaande conclusies die geldig zijn voor de meeste onderzochte locaties en bomen, valt een aantal zaken op waarin locaties of bomen verschillen.

Tabel 4.1 Samenvatting van alle thema's per locatie of boom binnen de beide waterwingebieden. Per waterwingebied zijn de bomen gesorteerd naar afnemende vitaliteit. Waarderingen zijn aangeduid met: -- = zeer laag, - = laag, +/- = normaal, + = hoog, ++ = zeer hoog (zie voor bomen ook Tabel 3.2). Voor bodemchemische parameters zijn de gehalten gewaardeerd op basis van de relatieve waarde ten opzichte van de verdeling in percentielen binnen het project. 0 = de minimale waarde, 100 de maximale waarde en 50 komt overeen met de mediaan (P50). In een aantal gevallen zijn de bodemchemische parameters vertaald naar beoordelingen voor de voedselrijkdom van de bodem met de codes A = Voedselarm, MA = Matig voedselarm, MR = Matig voedselrijk, R = Voedselrijk (zie o.a. Figuur 3.16). Voor Pt is een aparte beoordeling opgenomen: ZL = Zeer laag, ongeschikt voor alle bomen, L = Laag, geschikt voor dennen, V = Voldoende, geschikt voor sparren, beuk en eik (zie Figuur 3.17). De waarderingen voor de geschiktheitsbeoordeling komen overeen met Tabel 3.15. De waarderingen zijn ondersteund met kleuren van rood (zeer laag) tot donkergroen (zeer hoog), voor de dikte van de humushorizonten zijn de cellen ingekleurd in toenemende intensiteit blauw.

Gebied		Lieshout						Someren					
N-depositie 2019		1518 mol/ha/jr						1777 mol/ha/jr					
		Locatie/Boom											
		B02	B04	B06	B03	B05	B01	B11	B08	B09	B12	B07	B10
Bomen	Vitaliteit	normaal	normaal	normaal	normaal	laag	laag	normaal	normaal	laag	laag	laag	zeer laag
	Boomkenmerken	+	+	+	+/-	-	-	+	+	+/-	-	-	--
	Opstandskkenmerken	+	+	+	+	--	-	+	+/-	-	-	--	-
	Groei	+	+	+/-	+/-	+/-	--	+	+/-	+	--	--	--
Chemie blad	K	+	-	-	+	-	-	+	-	--	-	-	--
	Mg	-	-	--	+/-	-	-	+/-	-	--	+/-	-	--
	N	+	+	+	+	++	++	+	++	+/-	+/-	++	+/-
	P	-	+	-	+/-	+	-	+	+	-	+	-	-
Chemie hout	K	+				-	-			-	-		+
	Mg	-	+	-		+			-				
	N			-	-	-	+	-		--	--	+	
	P	+	+						-	-	-		+
Bodem en humus	Bodem	Hd53	bZ53z	bZ53p	Hd53	Hd53	Hd53	Hn51	zEZ53	Hn51	Zn53	Hn53	Hd51
	Dikte Fa+Hr (cm)	10.2	8.8	9.1	11.6	8.0	10.5	9.7	3.7	7.0	5.8	8.0	9.9
	Dikte Hh (cm)	0.8			1.2			1.3				1.7	0.2
	Dikte Ah (cm)	3.3					13.3	8.3	40.0	8.7	8.7	33.3	24.2
Nutriënten	CN	MA	R	MA	MA	MA	R	R	R	R	R	R	R
humushorizonten	N-Tot_I	53	79	0	29	24	38	63	45	8	100	90	73
	Pt_I	25	44	73	37	61	11	55	79	100	25	82	0
Nutriënten 0 - 10	CN	MA	MA	R	MA	MA	R	MA	R	MA	MA	MA	MA
	N-CaCl₂-I	51	17	0	49	29	55	39	76	77	10	100	74
	N-Tot_I	50	29	86	17	8	29	50	72	82	0	100	62
	P-CaCl₂	R	MR	A	MR	MA	A	R	R	R	MA	R	R
	PSI	MA	MA	A	A	A	A	MA	MR	MA	A	MA	MA
	Pt	L	L	L	ZL	L	L	L	V	L	L	V	L
	K-CaCl₂	100	26	0	37	26	11	24	75	89	64	75	75
Zuurbuffer 0-10	B-verz_o	52	40	67	52	0	9	100	84	26	40	25	84
	Al-CaCl₂-I	36	60	0	26	79	41	11	57	74	100	86	21
Geschiktheitsbeoordeling	VL	3	3	3	3	3	1	4	4	4	4	4	4
	VT	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4
	ZG	3B	3B	3B	3B	3B	3B	3B	3A	3B	3A	3B	3B
	Groeiverwachting eik	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3
	Groeiverwachting den	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2

Verschillen tussen de waterwingebieden

Bij de opzet van het project was ervan uitgegaan dat in Lieshout de vitaliteit van de eiken beter was dan in Someren. Dat blijkt wel genuanceerder te liggen, omdat er in beide gebieden bomen voorkomen met een normale en een lage vitaliteit. Het is wel zo dat in Lieshout meer (vier van de zes) bomen met een normale vitaliteit gevonden zijn, tegen twee in Someren, waarbij één boom (B10) zelfs een zeer lage vitaliteit heeft.

Bodemkundig komen de beide waterwingebieden goed met elkaar overeen: de onderzochte locaties liggen overwegend op humuspodzolgronden (Hn/Hd), met in Lieshout twee duinvaaggronden (bZ53p/z) en in

Someren twee verwerkte/opgehoogde profielen waarvan er een als enkeerdgrond (zEZ) is geclassificeerd en een als vlakvaaggrond (Zn). De bodems zijn overwegend zwak lemig (textuurcode 53), maar in Someren komen ook drie leemarme profielen voor. Vooral vanwege verschillen in bewortelbare diepte, organischestofgehalte en lemigheid is het vochtleverend vermogen van de bodems groter in Lieshout dan in Someren. Daardoor is de groeiverwachting voor eik en den beter dan in Someren, wat een deel van de betere vitaliteit kan verklaren.

Hoewel de stikstofdepositie in beide gebieden te hoog is, is deze in Lieshout wat lager dan in Someren. Dat zien we terug in een lager gehalte N-Totaal en stikstofbeschikbaarheid (N-CaCl₂) in Lieshout, zowel in LFH als op 0-10 cm. In het strooisel lijkt dat ook tot uiting te komen in het relatieve stikstofgehalte, de C/N-ratio. De C/N-ratio is in Lieshout meestal hoger (beoordeling MA – matig arm) dan in Someren, waar dus relatief meer N in het strooisel is opgenomen en de CN als R – Rijk is beoordeeld. Een lage C/N-ratio wijst op een relatief stikstofrijk strooiselpakket met een actief bodemleven en sterke N-immobilisatie (Kemmers et al., 2011), maar zou hier ook het gevolg kunnen zijn van meer stikstofdepositie. Deze verschillen komen niet tot uiting in de stikstofgehaltenes in blad en hout.

Verschillen tussen de vitaliteitsklassen

Bodemchemische verschillen zijn er niet gevonden tussen de locaties met bomen met een lage of normale vitaliteit, behalve voor de C/N-ratio in LFH, die lager is bij een lage vitaliteit, terwijl die op 0-10 cm mogelijk iets hoger is (niet significant). Op 100-120 cm is dit verschil wel significant. Dit kan deels samenhangen met het verschil in stikstofdepositie tussen beide waterwingebieden. Het valt wel op dat bij de bomen met een normale vitaliteit het stikstofgehalte in het blad als hoog is gewaardeerd, terwijl het bij een lage vitaliteit ofwel zeer hoog ofwel normaal is. De spreiding is dus groter tussen bomen met een lage vitaliteit dan bij een normale vitaliteit.

Door kleine verschillen in de mate van verzuring verschilt ook de aluminiumbeschikbaarheid (Al-CaCl₂) tussen de locaties, waarbij in de laag 0-10 cm de beschikbaarheid significant hoger is op locaties waar bomen een lage vitaliteit hebben dan op locaties met bomen met een normale vitaliteit.

De geschiktheidsbeoordeling wijst op een betere groeiverwachting voor zowel eik als voor den bij de bomen met een normale vitaliteit.

Verschillen tussen bodemeenheden

Er zijn geen duidelijke verschillen tussen bodemeenheden te zien, behalve dat de enkeerdgrond (zEZ53) bij boom B08 op veel punten goed scoort. De meeste nutriënten in de bodem hebben gehalten boven de mediane waarde binnen het project en worden als rijk (R) of matig rijk (MR) beoordeeld. Ook is dit een van de twee locaties waar Pt voldoende is voor eik. Dat zien we ook terug in de beoordelingsfactor voedingstoestand (VT), die als enige als matig hoog beschouwd kan worden. Ook de waardering van de zuurgraad is net iets beter dan bij de andere bomen.

Relaties met humusvormen

De humusprofielen die beschreven zijn in de drie steken op de locaties van de bomen kunnen gerangschikt worden naar het relatieve belang van de humuslagen voor het functioneren van de bosgroeiplaatsen (Tabel 4.2). Dat komt ook tot uiting in de humusvormen waaraan deze op basis van de humusvormclassificatie (Van Delft et al., 2006) worden toegedeeld. Zo is bij de zandxeromullmoder (LDXz) de Ah-horizont dikker dan de humushorizonten F en H samen. In de Ah-horizont liggen door het hogere organischestofgehalte meer nutriënten opgeslagen en is de zuurbuftercapaciteit (CEC) groter dan in andere horizonten aan maaiveld (AE- of Cu). Daardoor is het belang van de bodem bij deze humusvorm belangrijker dan bij de andere humusvormen. Naarmate de humushorizonten dikker worden, neemt het relatieve belang daarvan voor de nutriëntenvoorziening en zuurbufter toe (zie ook Bijlsma et al., 2020A). De dikte van de humushorizonten neemt toe met de tijd en is afhankelijk van de strooiselininput (blad- en naaldval) en de activiteit van het bodemleven (schimmels, bacteriën en bodemfauna in het strooisel en de bodem). Die activiteit is dan weer afhankelijk van de strooiselkwaliteit (boomsoorten) en bodemeigenschappen (o.a. Van Delft et al., 2006; Hommel et al., 2007). Dat zien wij terug in de humusvormen voor de profielen met een dunnere of geen Ah-horizont, met achtereenvolgens de bosxeromormoder (RDXb, Fa2 + Hr ≥ 5 cm, Hh < 2 cm) en de holtxeromormoder (RDXt, Fa2 + Hr ≥ 5 cm, Hh ≥ 2 cm).

Deze verschillen zien we terug in verschillende eigenschappen in Tabel 4.2. Bij de zandxeromullmoder zijn de nutriëntengehaltes in de bovengrond (0-10 cm) overwegend wat hoger dan bij de xeromormoders en lijken wat af te nemen met een afnemende dikte van de Ah-horizont. In de LFH komen bij de zandxeromullmoders ook wel hoge nutriëntengehaltes voor, maar de spreiding lijkt groter dan bij de xeromormoders. Dat verschil in spreiding geldt ook voor de nutriënten in het blad. Opvallend is dat de vitaalste bomen en opstanden juist gevonden worden bij de xeromormoders, met uitzondering van B08, waar de Ah vooral voor P wat rijker is dan bij de andere zandxeromullmoders.

Tabel 4.2 Samenvatting van alle thema's per locatie of boom. De locaties zijn gesorteerd naar afnemende dikte van de Ah-horizont en toenemende dikte van de humushorizonten. De humusvormen in de drie steken zijn hier toegevoegd.

		Locatie/Boom												
		B08	B07	B10	B12	B01	B09	B05	B04	B06	B11	B02	B03	
Bodem en humus	Bodem	zEZ53	Hn53	Hd51	Zn53	Hd53	Hn51	Hd53	bZ53z	bZ53p	Hn51	Hd53	Hd53	
	Dikte Fa+Hr (cm)	3.7	8.0	9.9	5.8	10.5	7.0	8.0	8.8	9.1	9.7	10.2	11.6	
	Dikte Hh (cm)		1.7	0.2							1.3	0.8	1.2	
	Dikte Ah (cm)	40.0	33.3	24.2	8.7	13.3	8.7				8.3	3.3		
	Humusvormen	LDXz	LDXz	LDXz	LDXz	LDXz	LDXz	RDXb	RDXb	RDXb	LDXz	RDXb	RDXb	
		LDXz	LDXz	LDXz	LDXz	LDXz	RDXb	RDXb	RDXb	RDXb	RDXt	RDXt		
		LDXz	LDXz	LDXz	LDXz	LDXz	RDXb	RDXb	RDXb	RDXt	RDXt	RDXt		
Bomen	Vitaliteit	normaal	laag	zeer laag	laag	laag	laag	laag	normaal	normaal	normaal	normaal	normaal	
	Boomkenmerken	+	-	--	-	-	+/-	-	+	+	+	+	+/-	
	Opstandskmerken	+/-	--	-	-	-	-	--	+	+	+	+	+	
	Groei	+/-	--	-	--	--	+	+/-	+	+/-	+	+	+/-	
	Chemie blad	K	-	-	--	-	-	--	-	-	-	+	+	+
	Mg	-	-	--	+/-	-	--	-	-	--	+/-	-	+/-	
	N	++	++	+/-	+/-	++	+/-	++	+	+	+	+	+	
	P	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+/-	
Chemie hout	K			+	-	-	-	-				+		
	Mg	-			-			+	+	-		-		
	N		+		--	+	--	-		-	-		-	
	P	-		+	-		-		+			+		
	Nutriënten Humus-horizonten	CN	R	R	R	R	R	R	MA	R	MA	R	MA	MA
N-Tot_I		45	90	73	100	38	8	24	79	0	63	53	29	
Pt_I		79	82	0	25	11	100	61	44	73	55	25	37	
Nutriënten 0 - 10		CN	R	MA	MA	MA	R	MA	MA	MA	R	MA	MA	MA
		N-CaCl₂-I	76	100	74	10	55	77	29	17	0	39	51	49
	N-Tot_I	72	100	62	0	29	82	8	29	86	50	50	17	
	P-CaCl₂	R	R	R	MA	A	R	MA	MR	A	R	R	MR	
	PSI	MR	MA	MA	A	A	MA	A	MA	A	MA	MA	A	
	Pt	V	V	L	L	L	L	L	L	L	L	L	ZL	
	K-CaCl₂	75	75	75	64	11	89	26	26	0	24	100	37	
Zuurbuffer 0-10	B-verz_o	84	25	84	40	9	26	0	40	67	100	52	52	
	Al-CaCl₂-I	57	86	21	100	41	74	79	60	0	11	36	26	
Geschiktheidsbeoordeling	VL	4	4	4	4	1	4	3	3	3	4	3	3	
	VT	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	
	ZG	3A	3B	3B	3A	3B	3B	3B	3B	3B	3B	3B	3B	
	Groeiverwachting eik	2	3	3	3	2	3	2	2	2	3	2	2	
	Groeiverwachting den	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	

Relaties bodem-bomen

De hoge stikstofdepositie in beide gebieden vertaalt zich in hoge stikstofgehaltes in de bodem, humuslagen en blad. Dat zien wij vooral terug bij de bomen met een lage vitaliteit, waar deze gehalten hoger zijn dan bij bomen met een normale vitaliteit, maar ook in het blad meer spreiding vertonen. Mogelijk spelen de dikkere humuslagen bij de bomen met een normale vitaliteit hierbij een rol, waarbij het humusprofiel een bufferende werking heeft. De humushorizonten, met name de Fa-horizont, is hier de belangrijkste bron van nutriënten. De kaliumbeschikbaarheid (K-CaCl₂) in de laag 0-10 cm is overwegend het hoogst bij de zandxeromullmoder

(LDXz), maar het kaliumgehalte in het blad is daar (en bij de bosxeromormoders – RDXb) overal te laag. Alleen bij de dikste humusprofielen, de holtxeromormoders (RDxt), is het kaliumgehalte in het blad voldoende. Dat komt dan waarschijnlijk vooral uit het strooisel. Mogelijk houdt dit verband met het feit dat kalium, wat zeer mobiel is in de bodem, gemakkelijk uitspoelt, maar in dikkere humusprofielen goed behouden blijft. Alleen bij B02 wordt op 0-10 cm een hoge kaliumbeschikbaarheid gevonden. Voor magnesium en fosfor zijn deze relaties minder duidelijk te leggen.

Het lage calciumgehalte in het blad bij alle bomen (§ 3.2.3) is goed te verklaren uit de zeer lage gehalten in de bodem, waar de basenverzadiging vrijwel overal lager is dan 25% en waarbij de zuurbuffer in het aluminiumbuffertraject valt. De calciumverzadiging is, behalve in de laag 0-10 cm bij boom B11, nergens hoger dan 10%. Er is zeer weinig ijzer beschikbaar in de bodem, wat ook blijkt uit de verhouding tussen aluminium- en ijzerhydroxiden in de oxalaatextractie (Al/Fe). Deze is overal hoger dan 1 (Al dominant) en neemt toe met de diepte. Dat kan een verklaring zijn voor de lage ijzergehaltes in de houtmonsters.

Opvallend is dat boom B01, ondanks een relatief goede groeiverwachting een heel slecht groei laat zien (§ 3.3.5.2). De nutriëntengehaltes en basenverzadiging in de laag 0-10 cm zijn over het algemeen erg laag en dat geldt ook voor P in de humuslagen. Dat zien wij ook terug in de gehalten in blad en hout die, met uitzondering van N, laag of zeer laag zijn.

4.2 Beantwoording onderzoeksvragen

1. *Ligt de oorzaak van de slechte kwaliteit van de opstand en het ontbreken van natuurlijke verjonging aan de bodemkwaliteit?*

a. *Wat is de bodemgeschiktheid voor de aangeplante boomsoorten?*

De bodemgeschiktheidsbeoordeling voor eik laat over het algemeen in Lieshout een normale groeiverwachting zien en in Someren (met uitzondering van B08) een slechte. Voor dennen (zowel de grove den als de Corsicaanse den) is de groeiverwachting goed in Lieshout en normaal in Someren. Deze verschillen zijn deels terug te zien in de gemeten groei in de jaarringen, maar er zijn ook verschillende afwijkingen (§ 3.3.5.2). Het is wel zo dat bij vijf van de zeven locaties met een normale groeiverwachting de vitaliteit als normaal is beoordeeld en er bij vier van de vijf locaties met een slechte groeiverwachting ook een lage vitaliteit geregistreerd is.

b. *Welke rol speelt het vroegere heidebeheer in een mogelijk ongunstige bodemvruchtbaarheid?*

Beide waterwingebieden zijn relatief lang als heide in gebruik geweest, Lieshout tot ca. 1940, Someren tot ca. 1950. Heidebeheer, met begrazing en strooiselroof door plaggensteken, leidt tot uitputting van de nutriëntenvoorraden en een versnelde verzuring. Dit kan voor een deel de lage gehalten verklaren. Het is lastig te beoordelen in hoeverre dat in deze gebieden tot een sterkere verschraling heeft geleid dan elders, omdat deze beheergeschiedenis voor heel veel bossen op zandgronden geldt.

2. *Kunnen weersomstandigheden (droogte, incidentele wateroverlast) een rol gespeeld hebben?*

We verwachten niet dat incidentele wateroverlast, zoals bij de buien in juni 2016, een rol heeft gespeeld bij de verminderde vitaliteit, omdat het grondwater daarvoor te diep zit en het niet waarschijnlijk is dat dit langere tijd tot hoog in de wortelzone heeft gezeten, wat tot wortelsterfte geleid zou kunnen hebben. Het lijkt er eerder op dat 2016 voor veel bomen een relatief goed jaar was (§ 3.2.2).

Droogte is wel een factor die waarschijnlijk een rol geeft gespeeld. Droge zomers lijken een grote rol te spelen bij de verminderde vitaliteit van eikenbossen (Oosterbaan, 2014; De Vries et al., 2019). Het is in lijn met bevindingen bij de monitoring van steenmeelproeven bij het Mastbos en de Hoge Veluwe (soms tijdelijk slecht blad aan het eind van de zomer, verminderde groei de laatste droge jaren). Een groot deel van de bomen heeft lichte tot sterke stresskenmerken. Bomen kunnen hiervan herstellen als de omstandigheden weer verbeteren. Soms kan het uitvallen van concurrerende bomen daarbij helpen. Zo zien we een toegenomen groei bij bomen B08 en B09, die door uitval van bomen in de directe omgeving meer groeiruimte hebben gekregen.

3. Is de bodemkwaliteit mogelijk ongunstig beïnvloed door de toegepaste boomsoorten?

Bij strooiselafbraak speelt zowel de activiteit van het bodemleven als de kwaliteit van het strooisel een grote rol. Zeker in de overgangssituaties tussen arme en rijkere bodems kan de boomsoort de bodemontwikkeling sturen (Hommel et al., 2007). De beide waterwingebieden liggen echter op zeer arme zandgronden die mogelijk door langdurig heidebeheer verder verschaald zijn. Hier zal de invloed van de boomsoorten dan minder doorslaggevend zijn, maar verzuring kan wel versterkt worden door verschillen in strooisel. Het strooisel van eik werkt licht verzurend op de bodem, bij den is dat sterker en berk is minder verzurend. Dit onderzoek heeft zich beperkt tot eik, zodat onderlinge vergelijking niet mogelijk is.

4. Welke rol spelen omgevingsfactoren, zoals atmosferische depositie van vooral stikstof?

Locatie B07 wijkt duidelijk af van de andere plots: hier is het gehalte stikstof in de bodem, en dan vooral ammoniak, duidelijk hoger dan bij de andere plots of de referenties. Lokale depositie kan hierbij een rol hebben gespeeld. Voor de andere plots lijkt de rol van stikstof niet anders te zijn dan bij andere bossen op de droge kalkarme zandgronden in Nederland. Bij stikstof speelt echter aan de ene kant de totale voorraad, zoals die gebonden is in de bodem (meestal dus niet te hoog). Maar daarnaast is er de hoeveelheid die direct beschikbaar komt, deels door omzetting vanuit organische stof, maar ook direct vanuit depositie. En die toevoer van stikstof (ca. 21-25 kg/ha/jr voor Lieshout en Someren) is veel hoger dan wat een eikenopstand gemiddeld netto nodig heeft (ca. 12 kg N/ha/jr bij groeiklasse 6; op basis van De Jong et al., 2015). Dat zien wij terug in stikstofgehalten die bij bomen met een lage vitaliteit hoger zijn dan bij bomen met een normale vitaliteit, terwijl juist de beschikbaarheid van andere nutriënten (met name kalium) te laag is. Hierdoor treedt een disbalans op in de nutriëntenvoorziening.

5. In hoeverre is de bodem door uitloging (natuurlijk en door depositie) ongeschikt geworden voor de bomen?

In droge bodems, waar infiltratie van neerslagwater plaatsvindt, zal altijd uitspoeling van stoffen optreden, waardoor de bovengrond verarmd wordt. Dit wordt versterkt door zuurproducerende processen bij de afbraak van organische stof uit strooisel en afgestorven wortels. Omdat daarbij ook de zuurbuffer wordt uitgeput, vooral door uitspoeling van calciumionen, zal er op kalkloze zandgronden altijd verzuring optreden, waardoor andere chemische evenwichten in de bodem ook worden beïnvloed. Deels worden de voorraden van nutriënten weer aangevuld uit vertering van mineralen, maar dat is op de arme zandgronden in de waterwingebieden maar zeer beperkt het geval (Bonten et al., 2015; De Vries et al., 2019). Deels wordt het aangevuld door depositie. Voor een deel is dit dus een natuurlijk proces, wat ook afhankelijk is van het bodemgebruik (heide, bos, landbouw), maar de verzurende depositie van zwavel (vroeger) en stikstof (nu) versnelt dit proces aanzienlijk (De Vries et al., 2017).

a. Aantasting zuurbuffer en daardoor verzuring

De beschikbare stikstof in de bodem (N-CaCl₂) komt vooral voor in de vorm van ammonium (N-NH₄-CaCl₂), net als de stikstofdepositie, die hier vooral van de landbouw afkomstig is. Deze stikstofverbinding geeft bij nitrificatie een sterk verzurend effect. Dat zien wij terug in de verzuring van de bovengronden. De zuurbuffer in beide waterwingebieden is zeer laag. De basenverzadiging is lager dan 25% en aluminiumvertering is het belangrijkste zuurbufferende proces. Dat komt ook tot uiting in de zeer lage pH-waarden in de bovengronden. In diepere lagen is de verzuring minder ver voortgeschreden (§ 3.3.3 en 3.3.4.2). Het pH-profieltype is overal 'Ondiep verzuurd basenarm infiltratieprofiel' (InAo), wat wijst op een basenarme uitgangssituatie die ondiep, maar niet geheel verzuurd is. De basenverzadiging op 100-120 cm is weliswaar zeer laag, maar dat komt ook door de zeer lage CEC in het humusarme en vaak zwak lemige of leemarme zand op die diepte.

b. Uitspoeling nutriënten

Voor de nutriënten blijkt dat zowel de actuele beschikbaarheid (in CaCl₂-extractie) als de potentiële beschikbaarheid van P (PSI) sterk afneemt met de diepte. Boven in het profiel (0-10 en 10-30 cm) komen de nutriënten vooral vrij uit organische stof. Dat geldt ook voor de humuslagen (LFH). In hoeverre nutriënten uitspoelen, hangt af van de gehalten en de mate waarin deze gebonden zijn aan bodemdeeltjes. Fosfaat is in kalkarme bodems door adsorptie sterk gebonden aan de Fe- en - hier vooral - Al-hydroxiden en zal bij een lage fosfaatverzadigingsgraad (PSI), zoals in de onderzochte bodems, niet uitspoelen.

Bij een stikstofdepositie > 10 kg/ha/jr en C/N-ratio's lager dan 25, is uitspoeling van stikstof te verwachten (De Vries et al., 2019). In de waterwingebieden is de stikstofdepositie overal hoger dan 10 kg/ha/jr en in de

LFH-laag en de laag 0-10 cm is de C/N-ratio vrijwel overal lager dan 25, maar in de laag 10-30 cm wordt op de meeste locaties een hogere C/N-ratio gevonden. Dat wijst erop dat stikstof alleen oppervlakkig uitspoelt.

Kalium is een zeer mobiel element dat in zandbodems snel uitspoelt. De gehalten in de bodem zijn dan ook laag, waardoor snel een kaliumgebrek optreedt. Alleen bij de locaties met een dik humusprofiel, de holtmormoders (RDxt), is geen kaliumtekort in het blad gevonden. Daar wordt het vastgehouden in het organisch materiaal en nageleverd door de afbraak van het strooisel en blijft zo in de cyclus.

6. *Hoe is het gesteld met de vitaliteit van de bomen?*

Een belangrijk deel van de bomen heeft duidelijke stresskenmerken. Soms zo erg dat de boom bijna sterft (boom B10) en soms uit het zich in een zeer slechte groei (boom B01, boom B07, ondanks voldoende groeiruimte en boom B12), wat uiteindelijk ook fataal kan worden. Diverse andere bomen hebben maar beperkte stresskenmerken en groeien normaal.

7. *Wat zien we terug in de chemie van bladeren en hout en hoe kunnen we dat relateren aan de bodemkwaliteit?*

Over alle bomen gezien zijn de gehalten van belangrijke nutriënten op verschillende onderdelen (te) laag, vooral bij calcium (alleen bij boom B11 in orde). De gehalten aan stikstof zijn regelmatig juist aan de hoge kant, bij de laag vitale bomen soms extreem. Stikstof- en kaliumgehalten in het blad vertonen een duidelijke relatie met gehalten in de bodem, maar ook in het humusprofiel (zie § 4.1). Bij de micro-elementen zien we regelmatig lage mangaangehaltes, maar ook enkele keren van zink en koper.

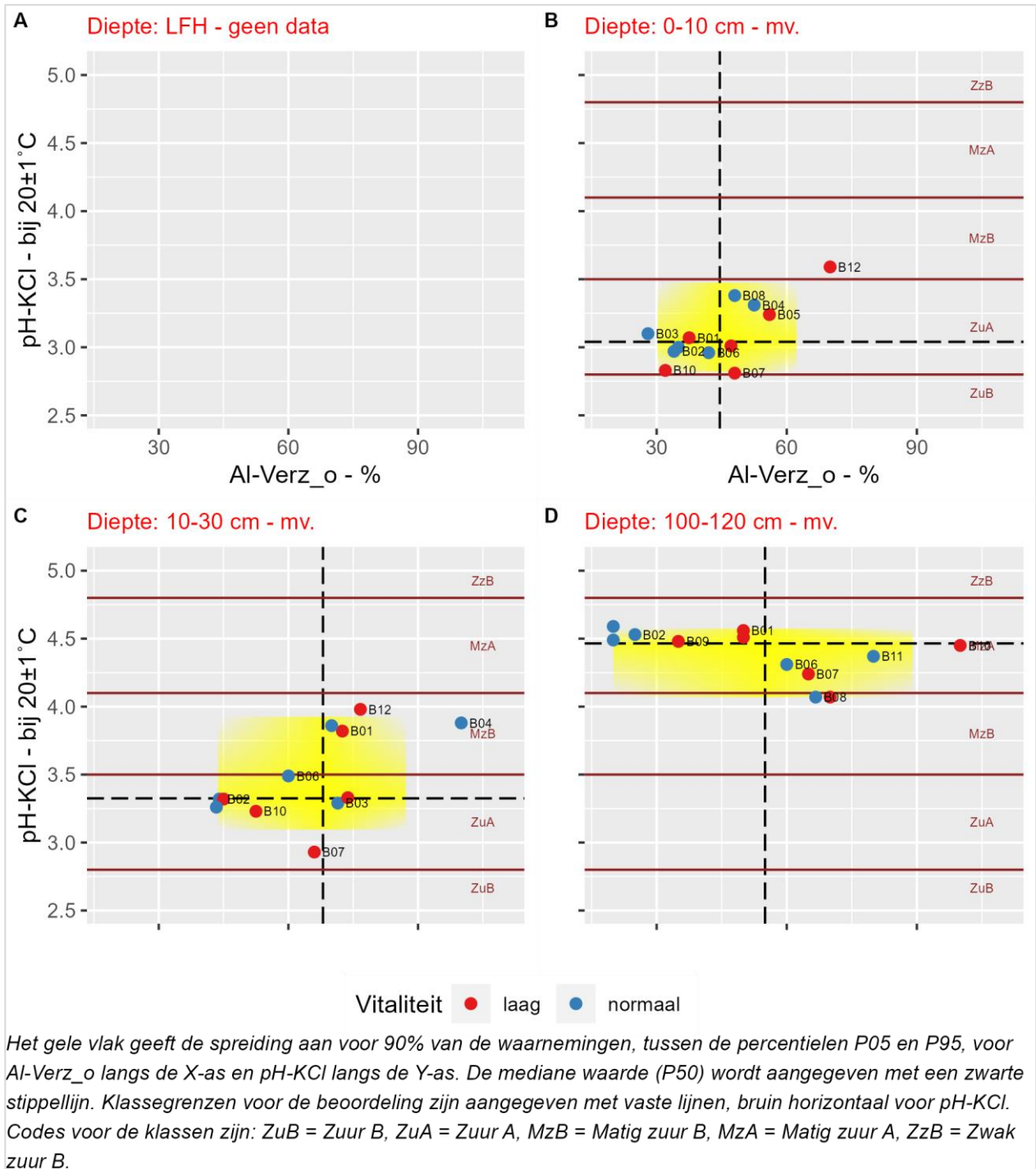
In het hout zien we verschillende keren relatief lage gehalten van basische kationen vergeleken met de referenties (die vergeleken met buitenlandse waarnemingen al laag zijn; De Jong et al., 2022). Gehaltes van ijzer zijn bijna altijd lager, maar ook die van mangaan zijn regelmatig lager. Ook zijn de stikstofgehalten soms lager dan de referenties, maar die zijn bij de referenties wel duidelijk hoger dan in de buitenlandse literatuur vermeld (De Jong et al., 2022). Voor het (spint)hout hebben we alleen gekeken naar andere metingen in Nederland. Er zijn geen richtlijnen voor gehalten in hout.

8. *Waarom blijft verjonging uit?*

Een belangrijke factor voor succesvolle verjonging van zomereik is de beschikbaarheid van licht. Op verschillende locaties is er duidelijk gebrek aan licht (locatie B02 – B06, B08, B11, B12). Op andere plekken lijkt er voldoende licht te zijn voor eik in de eerste jaren na kieming.

De dikte van strooisellagen, de ectorganische humushorizonten Fa en Hh, lijkt bij de meeste bomen ook een rol te spelen. Alleen bij B08 en B12 zijn deze lagen dunner dan de door De Waal en Winternaeken (1999) genoemde grenswaarden (§ 3.3.2).

Over wildvraat door reeën, muizen etc. waardoor eikels en zaailingen verdwijnen, hebben wij geen gegevens, maar het is goed mogelijk dat dat ook een rol speelt.



Figuur 4.1 Vergelijking van de pH-KCl met de aluminiumverzadiging per boom en per diepteklasse. Grenswaarden voor pH-KCl volgens Runhaar & Hennekens, 2014.

9. Wat is het herstellend vermogen van de bodem gerelateerd aan aspecten als de diepte van uitloging en welke maatregelen (abiotisch en biotisch) zijn hiervoor voorhanden?

Het lijkt erop dat de verzuring en uitloging vooral van invloed zijn geweest in het bovenste deel van de bodem, met name van 0-10 cm. Ook het pH-profieltype 'Ondiep verzuurd basenarm infiltratieprofiel' (InAo) wijst in die richting. Deze oppervlakkige verzuring en uitspoeling van nutriënten geven, samen met een overmaat aan stikstof, een disbalans in de nutriëntenbeschikbaarheid. Daarnaast wordt de vitaliteit negatief beïnvloed door de mobilisatie van aluminium. Mits de overdadige stikstofdepositie verder gereduceerd wordt, zal door stikstofmineralisatie en nitraatuitspoeling de overmaat aan stikstof teruggebracht kunnen worden. Herstel van de andere nutriënten om de beschikbaarheid weer in balans te brengen, zonder verdere beheermaatregelen, is afhankelijk van depositie en verwerking van mineralen en zal zeer lang duren. Daarbij dient bedacht te worden dat we te maken hebben met een bos waarvan de biomassa toe zal/kan nemen.

Daarbij worden nutriënten vastgelegd in het hout. Hiervoor zal een belangrijk deel van de nutriënten die beschikbaar komt door depositie en verwerking worden gebruikt.

10. Is er sprake van een invloed van bodemprocessen op de samenstelling van het grondwater?

Er zijn geen aanwijzingen voor een wezenlijke uitspoeling van stoffen naar het grondwater. De kans op nitraatuitspoeling lijkt, gezien de vrij hoge C/N-ratio's op 10-30 cm, vrij gering (zie ook vraag 6b). Incidentele uitspoeling vanuit de humuslaag bij hevige regenval na langdurige droogte moet niet uitgesloten worden. In droge heide blijkt dat risico aanwezig te zijn (Bobbink et al., 2019; Bijlsma et al., 2020B).

Als gevolg van de verzuring in de bovengrond zien wij een toename van beschikbaar aluminium (Al-CaCl_2 , zie Figuur 3.24). Hierdoor zou aluminium kunnen uitspoelen. In Figuur 4.1 vergelijken wij de pH-KCl in de bemonsterde dieptes met de aluminiumverzadiging. De aluminiumverzadiging is overal vrij hoog en gecombineerd met een lage pH-KCl zou dat tot uitspoeling van aluminium kunnen leiden. Op 100-120 cm is de pH-KCl aanmerkelijk hoger (4,0-4,5) dan in de bovengronden en valt daarmee buiten het aluminiumbuffertraject (Van Delft et al., 2023).

4.3 Herstelopties

De slechtere vitaliteit van eiken, met name in Someren, kan deels toegeschreven worden aan een minder gunstige bodemgeschiktheid, maar is versterkt door de gevolgen van verzuring en stikstofdepositie. Grondwaterstanddaling door waterwinning en/of ontwatering van de omgeving heeft geen invloed gehad, omdat het van oorsprong droge bodems betreft. Bij herstelopties kan dan gedacht worden aan maatregelen die het gebrek aan nutriënten en zuurbuffer kunnen compenseren, bijvoorbeeld door het toedienen van elementen. Daarnaast kan gedacht worden aan aanpassingen in het beheer, gericht op een andere bosontwikkeling, met andere, eventueel aan te planten soorten.

Toedienen van elementen

Het toedienen van elementen is erop gericht om de beschikbaarheid en balans van nutriënten te verbeteren en de zuurbuffer aan te vullen. Daarbij kunnen we denken aan kalkmeststoffen, schelpengruis of steenmeel, elk met eigen voor- en nadelen.

Om de basebezetting te verhogen tot een peil van bijvoorbeeld 15% Ca, is gemiddeld ruim 400 kg Ca per ha nodig, variërend van slechts 50 kg/ha bij plot B11 tot 900 kg/ha bij plot B09. Een lagere dosis zou echter ook al waardevol zijn. Daarbij moeten ook K en Mg toegediend worden, omdat daarvan anders door de afnemende relatieve beschikbaarheid en vervanging aan het uitwisselingscomplex een (groter) tekort kan ontstaan.

Voor het direct toedienen van de basische kationen kan gebruik worden gemaakt van steenmeel, schelpengruis of landbouwmiddelen zoals Dolokal en Patentkali. Toepassing van Dolokal met Patentkali zal in relatief lage hoeveelheden moeten gebeuren, omdat anders de pH te snel stijgt en er versneld stikstof vrijkomt. Er kan gedacht worden aan meerdere lage toedieningen met tussenpozen van meerdere jaren, bijvoorbeeld 200 kg calcium/ha per keer, gemixt met een klein deel kalium en magnesium.

Toepassing van schelpengruis of steenmeel heeft het voordeel dat de basische kationen langzaam vrijkomen en de schok op organische stof wordt voorkomen. Schelpengruis heeft als nadeel dat het naast calcium (carbonaat) geen noemenswaardige hoeveelheden andere elementen bevat. Bijmengen van andere elementen zou daarom wenselijk zijn. Steenmeel heeft als nadeel dat het percentage gewenste bestanddelen relatief klein is, waardoor er een grote hoeveelheid toegepast moet worden. Het bevat veelal ook een deel aluminium. Ook is het effect ervan nog onvoldoende bekend.

Bij de meeste (10 van de 12) bomen is het gehalte P-totaal te laag voor eik (zie Figuur 3.17). Het verhogen van de P-waarden zou bij enkele plots gunstig zijn. Om de P_2O_5 -waarde met beperkte 5 mg/100 g te verhogen, is ca. 80 kg fosfor per ha nodig (ervan uitgaand dat het allemaal in de laag van 0-30 cm terechtkomt). Fosfor kan worden toegediend met Tripelsuperfosfaat dat naast ca. 20% P ook ca. 17% Ca bevat. Daarnaast bevatten enkele soorten steenmeel fosfor, dat dan langzamer vrijkomt.

Aanpassingen van het beheer

Hierbij kunnen we denken aan het aanplanten of door dunning bevorderen van soorten die beter geschikt zijn voor de droge voedselarme zure zandgronden die van nature voorkomen in de onderzochte waterwingebieden, maar ook aan soorten die door een betere strooiselvertering de nutriëntenkringloop bevorderen of soorten die beter bestand zijn tegen de gevolgen van klimaatverandering, met name extreme droogte in de zomer.

Rijkstrooiselsoorten (linde, esdoorn etc.) kunnen in sommige gevallen een bijdrage leveren aan een goede basenbezetting, mits de bodem geschikt voor deze boomsoorten en de ondergrond niet te ver is uitgeoogd. Bij een volledige kroonlaag van rijkstrooiselsoorten met een bladval van 3500 kg/ha en een Ca-gehalte van 2,5% (zoals veelal in literatuur wordt aangegeven), wordt 87,5 kg calcium per ha per jaar aan de strooisellaag geleverd. Dit is echter een bruto levering, aangezien er ook opname zal zijn vanuit de strooisellaag en bovengrond. Daar komt bij dat een volledige kroonbedekking niet gehaald zal worden en ook is niet goed bekend of het gehalte van 2,5% gehaald wordt. De Ca-gehalten bij de gemeten eiken zijn ca. 0,5% tegenover een gehalte van ca. 1% dat in de literatuur wordt vermeld. Aangezien het materiaal van de ondergrond arm is (zie § 3.3.4), lijken de mogelijkheden voor aanlevering vanuit de ondergrond beperkt. Bovendien zijn deze gronden niet geschikt voor de genoemde rijkstrooiselsoorten. De groeiverwachting voor esdoorn is slecht (§ 3.3.5.2), voor linde zijn de bodems te leemarm. (Hommel et al., 2007) noemen voor deze bodems wel berk als soort die de strooiselvertering als geheel kan verbeteren. Ratelpopulier zou eveneens een positieve bijdragen kunnen leveren, evenals lijsterbes in de ondergroei.

Bij de geschiktheidsbeoordeling voor bosbouw is geen inschatting gemaakt van de groeiverwachting voor berk. Door Stiboka is in de jaren 70 van de vorige eeuw ook gewerkt aan een geschiktheidsbeoordeling voor 'semi-spontaan' bos (Bannink, 1977). Volgens die beoordeling zou op de gronden in beide waterwingebieden bossen van het type II.6 'IJl dennen-berkenbos met wat eik en heide op matig droge, zeer voedselarme gronden en zeer droge matig voedselarme gronden (kalkloos)' passen. Deze bossen bestaan uit grove den (*Pinus sylvestris*) en ruwe berk (*Betula pendula*), met bij voldoende dik strooiselpakket blauwe bosbes (*Vaccinium myrtillus*) in de ondergroei. In open plekken kan struikhei (*Calluna vulgaris*) zich vestigen, eventueel met bremsoorten of binnen de duinvaaggronden jeneverbes (*Juniperus communis*), hoewel van de laatste soort bekend is dat deze zich slecht verjongt. Dat sluit ook wel aan bij het beeld dat de bossen nu vertonen. De groeiverwachting voor den is overal normaal of goed.

Afgezien van (beperkte) mogelijkheden voor het toedienen van stoffen kan wellicht ook ingezet worden op een geleidelijke omvorming naar een bostype zoals door Bannink hierboven geschetst wordt. Hierom zou ervoor gekozen kunnen worden lokaal minder vitale eiken te rooien of te ringen vanwege de waarde van staand dood hout voor insecten en vogels. Hiermee kan dan ruimte gemaakt worden voor de vestiging van andere soorten. Voor de ontwikkeling van heide en de daarbij behorende struiken is echter een blijvende open plek nodig om te voorkomen dat verjonging berk- of den-vestiging onmogelijk maakt. Zonder ingrijpen, zullen wellicht meer eiken langzaam afsterven. Daarbij ontstaat een meer open bos waarin vooral ondergroei, die nu ook al hier en daar voorkomt (lijsterbes, ruwe berk, Amerikaanse vogelkers en Amerikaanse eik (*Q. rubra*), en vuilboom), de ruimte opvult. Als het kronendak in korte tijd sterk open wordt – al dan niet mede met behulp van ingrijpen –, kan ook grove den hierin een plek nemen. Om de kiemkansen te vergroten, kan daarbij lokaal strooisel verwijderd of opengebroken worden.

Om het aantal boomsoorten uit te breiden en hiermee het bos weerbaarder te maken, kan ook gekeken worden naar uitheemse boomsoorten. Een overzicht van dergelijke soorten kan gevonden worden op de website van 'de Gereedschapskist Klimaatlim Bos- en Natuurbeheer'. Diverse soorten daarvan passen niet goed bij de groeiplaats van Someren en Lieshout (bv. gewone walnoot, *Juglans regia* en Gewone zilverspar, *Abies alba*) of hebben slecht verteerbaar strooisel waardoor de toestand van de bodem er niet beter van wordt (Tamme kastanje, *Castanea sativa*, Oosterse plataan, *Platanus orientalis*). Soorten als boomhazelaar (*Corylus colurna*) of elsbes (*Sorbus torminalis*) zijn droogtetolerant en hebben gemakkelijk verteerbaar blad, wat gunstig is voor het snel beschikbaar komen van nutriënten. De bodems bij Someren en Lieshout zijn echter niet optimaal voor deze soorten, zodat de groei beperkt zal zijn en er een risico is dat de soorten uitvallen. Indien het gebruik van uitheemse soorten binnen het beleid past, is het te overwegen om deze soorten op kleine schaal toe te passen.

Literatuur

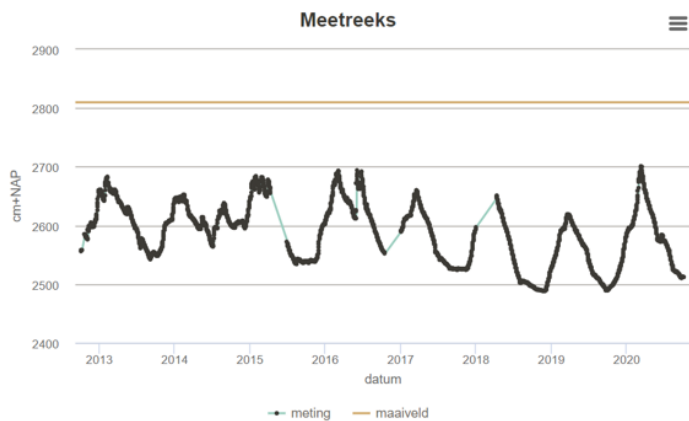
- Andersson, M. & P. Milberg & K. Bergman, 2011. Low pre-death growth rates of oak (*Quercus robur* L.) - Is oak death a long-term process induced by dry years? *Annals of Forest Science* 68, 159 - 168.
- Bakker, G., Heinen, M., Gooren, H.P.A., De Groot, W.J.M & Peters, P.D., 2020. Hydrofysische gegevens van de bodem in de Basisregistratie Ondergrond (BRO) en het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS); Update 2019. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. WOt-technical report 186. 132 p. <https://edepot.wur.nl/526509>
- Bannink, J.F., Leijs, H.N. & Zonneveld, I.S., 1973. Vegetatie, groeiplaats en boniteit van Nederlandse naaldhoutbossen. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering. Bodemkundige Studies 9.
- Bannink, J.F. (1977). "Bodemgeschiktheid voor "semi-spontaan" bos." *Nederlands bosbouw tijdschrift* 49 (2): 93 - 109 <https://edepot.wur.nl/268254>.
- Bijlsma, R.J., Van Delft, S. P. J. & Jong, J.J. de, 2020A. Natura 2000-habitattypen droge bossen in Drenthe; Onderzoek naar de kwaliteit van bodem, vegetatie en stamhout van eik in oude bossen. Wageningen, Wageningen Environmental Research. WENR Rapport 3029. 114 p.
- Bijlsma, R.J., Van Delft, S. P. J., Loeb, R & Bobbink, R., 2020B. Kansen voor oude droge heide in het heidelandschap (OBN 2017-88-DZ). Driebergen, VBNE. OBN rapport 2020/OBN240-DZ. 180 p.
- Bobbink, R., Loeb, R, Bijlsma, R.J. & Van Delft, B. (2019). "Doet extreme droogte stikstofbom in droge heide barsten?" *Vakblad Natuur Bos Landschap*(160): 3-6
- Bobbink, Roland, 2021. Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse. Nijmegen, Onderzoekcentrum B-WARE. B-WARE-Rapport RP-20.135.21.35. 81 p.
- Bonten, L.T.C., Bijlsma, R.J., Delft, S.P.J. van, Jong, J.J. de, Spijker, J.H. & Vries, W. de 2015. Houtoogst en bodemvruchtbaarheid; Een modelstudie naar duurzaamheid van houtoogst op Nederlandse bosgroeiplaatsen. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2618.
- Brouwer, Fokke, Van Delft, Bas, Dijk, Pieter & Harkema, Tom, 2021. pH-profielen als indicator voor zuurbuffering in de bodem. Wageningen, Wageningen Environmental Research. WENR-Rapport CONCEPT
- Christensen, Bent Tolstrup & Malmros, Per Åkesson (1982). "Loss-on-Ignition and Carbon Content in a Beech Forest Soil Profile." *Holarctic Ecology* 5(No. 4 (Oct., 1982)): 376-380 <https://www.jstor.org/stable/3682222>.
- De Jong, J.J., Bloem, J., Van Delft, S. P. J., Hommel, P.W.F.M., Oosterbaan, A. & De Waal, R.W., 2015. Ecologie van bosbodems; Een verkennende studie naar ecologisch functioneren van bosbodems op zandgronden. Wageningen, Alterra-Wageningen UR. Alterra-rapport 2657. 94 p.
- De Jong, Anjo, Van Delft, Bas & Hendriks, Kees, 2021. Koolstof in bosbodems. Wageningen, Wageningen Environmental Research. WENR-rapport CONCEPT.
- De Jong, J.J., W. de Vries, H. Kros en J. Spijker, 2022. Impacts of harvesting methods on nutrient removal in Dutch forests exposed to high nitrogen deposition. In: *Annals of Forest Science*, 79, 33.
- De Schrijver, A., G. Geudens, L. Augusto, J. Staelens, J. Mertens, K. Wuyts, L. Gielis en K. Verheyen, 2007. The effect of forest type on throughfall deposition and seepage flux: a review. *Oecologia*, 153, 663 - 674.
- De Vries, W., J.J. de Jong, J. Kros, J.H. Spijker, 2019. Het effect van houtoogst op nutriëntenbalansen in bossen op zandgronden. Onderbouwing van een adviessysteem. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2923. 78 blz.; 17 fig.; 20 tab.; 51 ref.
- De Vries, W. & E.E.J.M. Leeters. 2001A. Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 150 forest stands in the Netherlands in 1990. Wageningen, Alterra Green World Research. Report 424.1. 113 pp.
- De Vries, W. & E.E.J.M. Leeters. 2001B. Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 200 forest stands in the Netherlands in 1995. Wageningen, Alterra Green World Research. Report 424.2. 106 pp.
- De Vries, W., P. Bolhuis, A. van den Burg & R. Bobbink. 2017. Doorgaande verzuring van Oorzaken en gevolgen voor het boscysteem. *Vakblad Natuur Bos Landschap* september 2017: 32-35.
- De Vries, W., Weijters, M.J., De Jong, J.J., Van Delft, S. P. J., Bloem, J., Van den Burg, A., Van Duinen, G.A., Verbaarschot, E. & Bobbink, R., 2019. Verzuring van loofbossen op droge zandgronden en herstel mogelijkheden door steenmeeltoediening. Driebergen, VBNE. OBN-rapport OBN229-DZ. 141 p.

-
- De Waal, Rein & Winteraeken, René (1999). "Humus en de natuurlijke verjonging van Zomer- en Wintereik." *De Levende Natuur* 100(5): 163-167.
- De Waal, R.W. & Hommel, P.W.F.M., 2010. Humus- en vegetatiereeksen als hulpmiddel voor het natuurbeheer; Enkele voorbeelden op basis van de SBB-referentiepunten. Wageningen, WUR-Alterra. Alterra-rapport 2049
- Dijk, Pieter, Paul Gerritsen & Bas van Delft, 2023. Bodem- pH-, en humusprofielen Bodem en Bos in Someren en Lieshout. Wageningen, Wageningen Environmental Research, ProVIVis-rapport.
- Ehlert, P.A.I., Burgers, S.L.G.E., Bussink, D.W. & Temminghoff, E.J.M., 2007. Deskstudie naar de mogelijkheden voor het aanwijzen van fosfaatarme gronden op basis van P-PAE. Stand van zaken 2006. Wageningen, Alterra-Wageningen UR. Alterra-Rapport 1458. 80 p. <https://edepot.wur.nl/38112>
- Göttlein, A., 2015. Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 186, p 110 - 116.
- Hommel, Patrick., Waal, Rein, Muys, Bart, Ouden, Jan den & Spek, Theo, 2007. Terug naar het Lindewoud; Strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer. Zeist, KNNV.
- Jansen, J.J., A. Oosterbaan, G.M.J. Mohren en J. den Ouden, 2018. Groei en productie van zomereik in Nederland. FEM Groei en Productie Rapport 2018 - 4, 89 p.
- Kemmers, R. H., Van Delft, S.P.J., Van Riel, M.C., Hommel, P.W.F.M., Jansen, A.J.M., Klaver, B., Loeb, R., Runhaar, J. & Smeenge, H., 2011. Landschapsleutel; Leidraad voor natuurontwikkeling. Wageningen, Alterra, onderdeel van Wageningen UR. Alterra-rapport 2140. 83 p. <https://edepot.wur.nl/164977>
- Leeters, E.E.J.M. & W. de Vries. Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 200 forest stands in the Netherlands in 1995. Wageningen, Alterra Green World Research. Report 424.2.
- Lucassen, Esther, Aben, Ralph, Smolders, Alfons, Bobbink, Roland, Van Diggelen, Jose, Van Roosmalen, Michael, Boxman, Dries, Van den Berg, Leon & Roelofs, Jan (2014). "Bodemverzuring als aanjager van eikensterfte: gevolgen voor herstelmaatregelen." *Vakblad Natuur Bos Landschap* maart 2014: 23-27.
- Mellert, K.H. and A. Göttlein, 2012. Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. *Eur J Forest Res* 131:1461-1472
- Kemmers, R. H., 2011. Effecten van verzuring op bodemleven en stikstofstromen+ een verkenning van mogelijkheden voor herstelmaatregelen. Wageningen, Alterra. Alterra/rapport 2204. 87 p. <https://edepot.wur.nl/175621>
- Oenema, O., Mol-Dijkstra, J.P., Voogd, J.C., Ehlert, P.A.I. & Velthof, G.L., 2016. Klassenindelingen voor de fosfaattoestand van de bodem, ten behoeve van de afleiding van fosfaatgebruiksnormen. Wageningen, Alterra-Wageningen UR. Alterra-rapport 2743. 44 p. <https://research.wur.nl/en/publications/klassenindelingen-voor-de-fosfaattoestand-van-de-bodem-ten-behoev>
- Oosterbaan, A. & Van den Berg, C.A. (1996). "Natuurlijke verjonging van zomereik op beekerdgrond." *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 1996: 150-153.
- Oosterbaan, A., Van den Berg, C.A., Maas, G.J. & Moraal, L.G., 2001. Eikensterfte in Nederland: Onderzoek naar omvang en achtergronden. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 236. 54 p.
- Oosterbaan, A. 2014. "Eikensterfte: ernst, oorzaken en beheer." *Vakblad Natuur Bos Landschap* januari 2014: 22-25.
- Oosterbaan, A., 2000. Begeleiding van natuurlijke bosverjonging. Wageningen, Alterra, 44 p.
- Runhaar, J.R., Kuijpers, H., Boogaard, H.L., Schouwenberg, E.P.A.G. & Jansen, P. C., 2003. Natuurgericht Landevaluatiesysteem (NATLES) versie 2. Wageningen, Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 550. p. <http://www.alterra.nl/publ-prod/rapporten/download/AlterraRapport550.pdf>
- Runhaar, Han & Hennekens, Stephan, 2014. 'Hydrologische Randvoorwaarden Natuur' Versie 3; Gebruikershandleiding. Wageningen, Nieuwegein, Utrecht, Alterra Wageningen UR, KWR Watercycle Research Institute, STOWA. 57 p. <https://www.synbiosys.alterra.nl/waternood/>
- Smits, N.A.C., Mucher, C.A., Ozinga, W.A., De Waal, R. W. & Wamelink, G.W.W., 2016. Procesindicatoren PAS; Rapportage 2016. Wageningen, Wageningen Environmental Research. WENR-Rapport 2771. 62 p. <https://edepot.wur.nl/401546>
- Ten Cate, J.A.M., Van Holst, A.F., Kleijer, H. & Stolp, J., 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel A: Bodem. Wageningen, SC-DLO. Technisch document 19A.

-
- Ten Cate, J.A.M., Van Holst, A.F., Kleijer, H. & Stolp, J., 1995D. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik. Wageningen, SC-DLO. Technisch document 19D
- Van Delft, S.P.J. & Leeters, E.E.J.M., 1989. Bodemgesteldheid, vegetatie en bodemgeschiktheid voor bosbouw van "Boswachterij Mastbos": de invloed van de bodemgesteldheid op de groeiverwachting voor 14 boomsoorten. Wageningen, Staring Centrum. Rapport / Staring Centrum 19 161 p.
- Van Delft, Bas, De Waal, Rein, Kemmers, Rolf, Mekking, Peter & Sevink, Jan, 2006. Field guide Humus Forms; Description and classification of humus forms for ecological applications. Wageningen, Alterra.
- Van Delft, S.P.J., De Groot, W.J.M. & Maas, G. J., 2017. Bodemkartering van een deel van Landgoed Twickel; Kartering bodem en grondwater met beoordeling bosbouwgeschiktheid en natuurpotentie. Wageningen, Wageningen Environmental Research. WEnR-rapport 2857. 114 p.
- Van Delft, Bas, Crujisen, Joost, Harkema, Tom, Knotters, Martin & Dijk, Pieter, 2023. pH-profielen als indicator voor zuurbuffering in de bodem. Wageningen, Wageningen Environmental Research. WENR-Rapport CONCEPT. 64 p.
- Van den Burg, J. (1991). "Bemesting in de Nederlandse bosbouw (deel 1)." Nederlands bosbouw tijdschrift 1991: 28-36.
- Van den Burg, J. & W., Schaap., 1995. Richtlijnen voor Mineralentoediening en Bekalking als Effectgerichte Maatregelen in Bossen. Wageningen, Informatie- en KennisCentrum Natuurbeheer. Rapport IKC natuurbeheer 16. 67 p.
- Van Dobben, H.F., Bobbink, R., Bal, D & Van Hinsberg, A., 2012. Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Wageningen, Alterra. Alterra-Rapport 2397. 72 p.
- Waenink, A.W. & Lynden, K.R. van (1989). "Een systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor bos; deel 2: Verificatie en toepassing." Nederlands Bosbouw tijdschrift 61(3): 81-87.
- Waterschap Aa en Maas, 2016. Feitenrapport wateroverlast mei - juni 2016. 's Hertogenbosch, Waterschap Aa en Maas. 36 p.
- Weijters, Maaïke, Bobbink, Roland & Siepel, Henk, 2020. Selectie en uitzetten steenmeeltrials voor herstel van Oude Eikenbossen op arme zandgronden (H9190). Nijmegen, B-WARE Research Centre; Radboud Universiteit Nijmegen. Rapport B-WARE RP-19.167.20.56. 48 p.
- Weijters, Maaïke, Smits, Ludo, Brouwer, Emiel, Bobbink, Roland, Vogels, Joost, Hiddes, Carmen, Verbruggen, Erik, Scherpenisse, Miriam & Siepel, Henk, 2022. Voortgangsrapportage (2022) steenmeeltrials voor herstel van Oude Eikenbossen op arme zandgronden (H9190). Nijmegen, B-WARE Research Centre; Radboud Universiteit Nijmegen. Rapport B-WARE RP-20.172A.22.78. 115 p.
- Zanella, Augusto, Ponge, Jean-François, Jabiol, Bernard, Sartori, Giacomo, Kolb, Eckart, Gobat, Jean-Michel, Bayon, Renée-Claire Le, Aubert, Michaël, Waal, Rein De, Delft, Bas Van, Vacca, Andrea, Serra, Gianluca, Chersich, Silvia, Andreetta, Anna, Cools, Nathalie, Englisch, Michael, Hager, Herbert, Katzensteiner, Klaus, Brêthes, Alain, Nicola, Cristina De, Testi, Anna, Bernier, Nicolas, Graefe, Ulfert, Juilleret, Jérôme, Banas, Damien, Garlato, Adriano, Obber, Silvia, Galvan, Paola, Zampedri, Roberto, Frizzera, Lorenzo, Tomasi, Mauro, Menardi, Roberto, Fontanella, Fausto, Filoso, Carmen, Dibona, Raffaella, Bolzonella, Cristian, Pizzeghello, Diego, Carletti, Paolo, Langohr, Roger, Cattaneo, Dina, Nardi, Serenella, Nicolini, Gianni & Viola, Franco (2018d). "Humusica 1, article 4: Terrestrial humus systems and forms — Specific terms and diagnostic horizons." Applied Soil Ecology 122, Part 1 56-74

Bijlage 1 Grondwaterstanden Someren

B57F0062



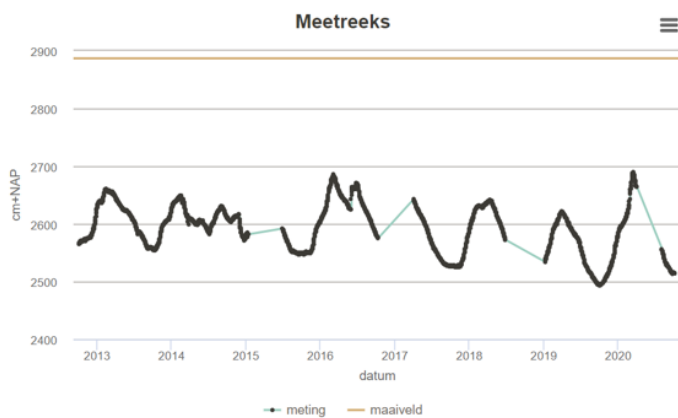
Klimaatrepresentatieve grondwaterdynamiek

	cm+NAP	cm-mv
GHG	2663.1	145.9
GLG	2546.7	262.3
GVG	2651.1	157.9
RHG	2656.9	152.1
RLG	2551.2	257.8
Grondwatertrap	VIII	

Diepte bovenkant filter t.o.v. maaiveld: 4.02 m

Diepte onderkant filter t.o.v. maaiveld: 6.02 m

B57F0133



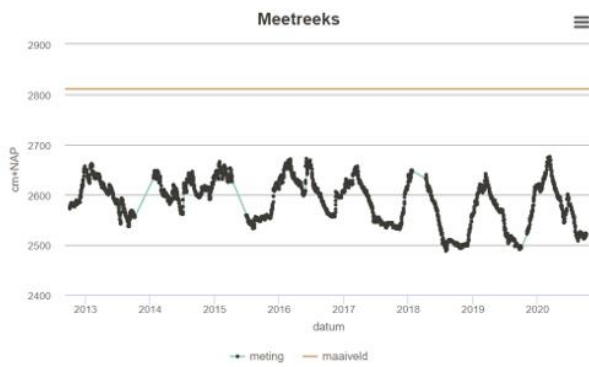
Klimaatrepresentatieve grondwaterdynamiek

	cm+NAP	cm-mv
GHG	2657.3	228.7
GLG	2552.0	334.0
GVG	2648.2	237.8
RHG	2651.6	234.4
RLG	2555.2	330.8
Grondwatertrap	VIII	

Diepte bovenkant filter t.o.v. maaiveld: 2.88 m

Diepte onderkant filter t.o.v. maaiveld: 4.88 m

B57F0134



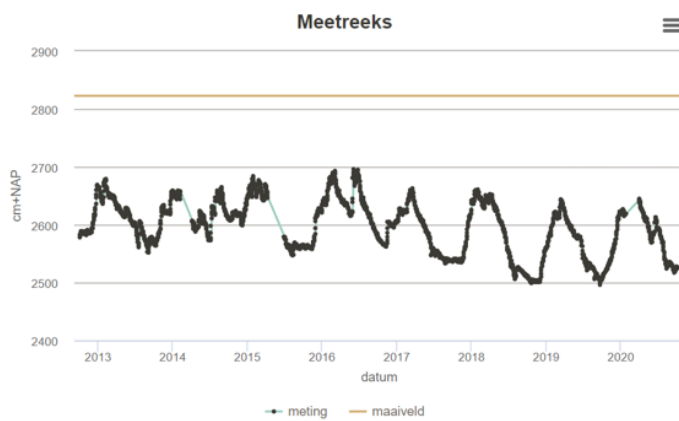
Klimaatrepresentatieve grondwaterdynamiek

	cm+NAP	cm-mv
GHG	2651.8	160.2
GLG	2542.9	269.1
GVG	2636.3	175.7
RHG	2645.8	166.2
RLG	2548.2	263.8
Grondwatertrap	VIII	

Diepte bovenkant filter t.o.v. maaiveld: 5.03 m

Diepte onderkant filter t.o.v. maaiveld: 7.03 m

B57F0130



Klimaatrepresentatieve grondwaterdynamiek

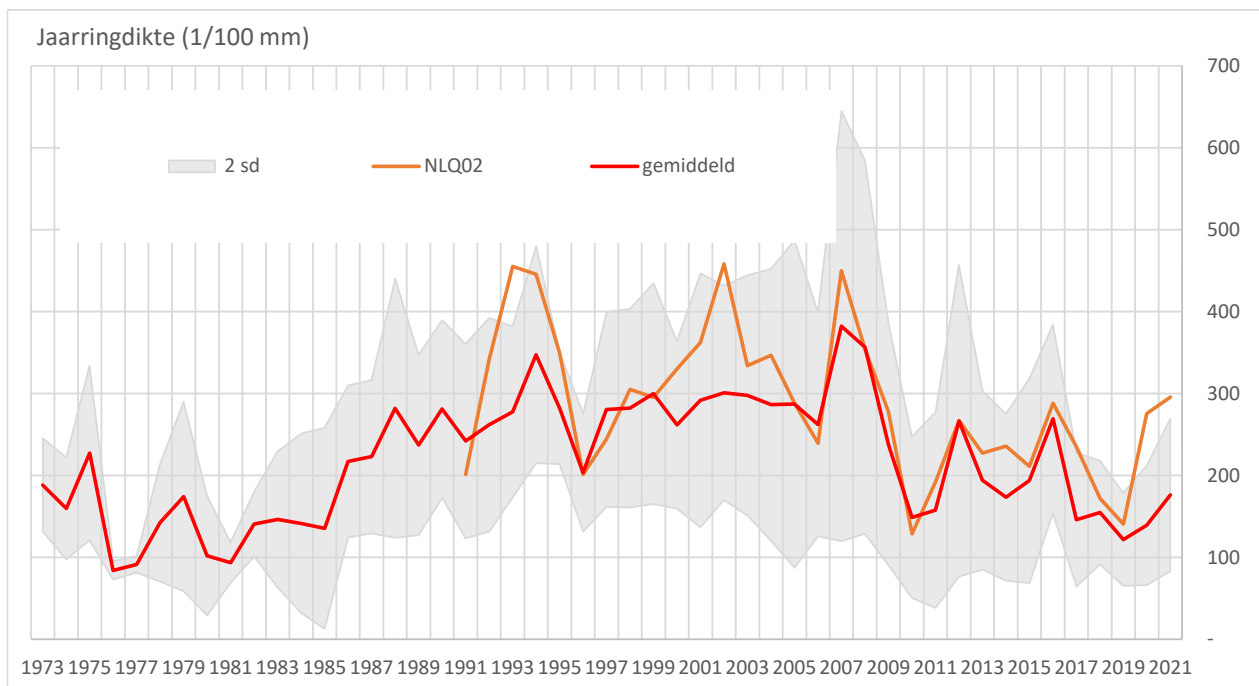
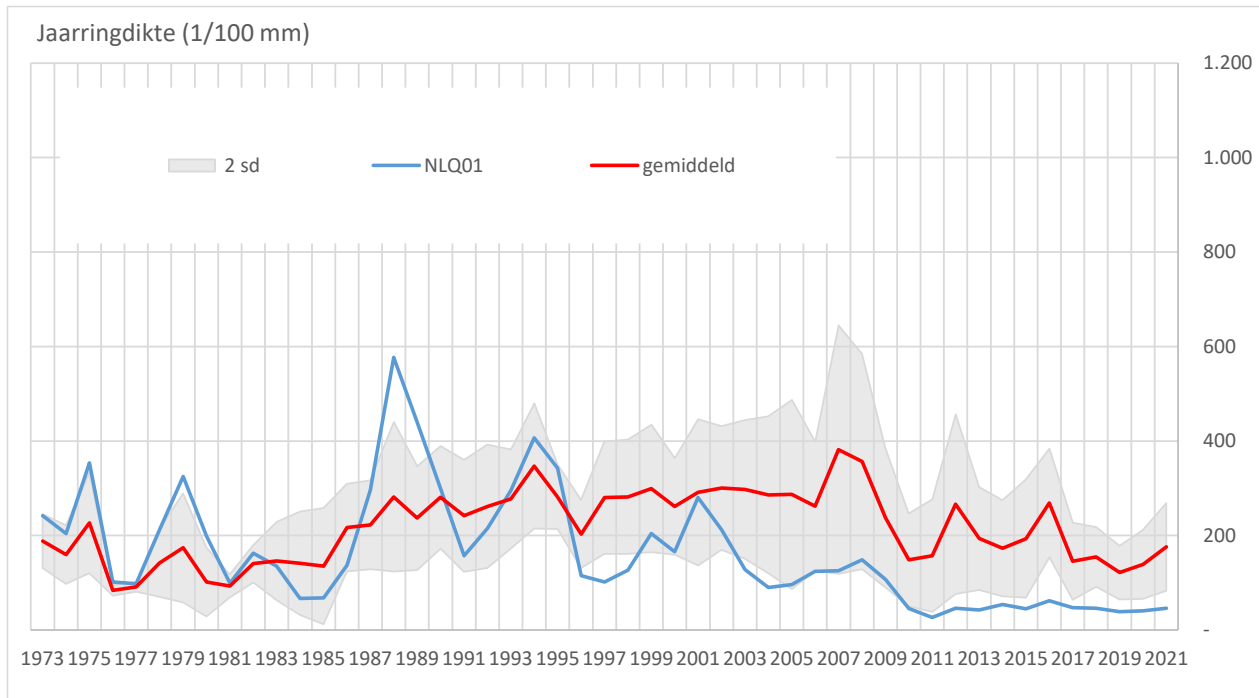
	cm+NAP	cm-mv
GHG	2658.5	164.5
GLG	2555.2	267.8
GVG	2638.5	184.5
RHG	2652.0	171.0
RLG	2560.6	262.4
Grondwatertrap	VIII	

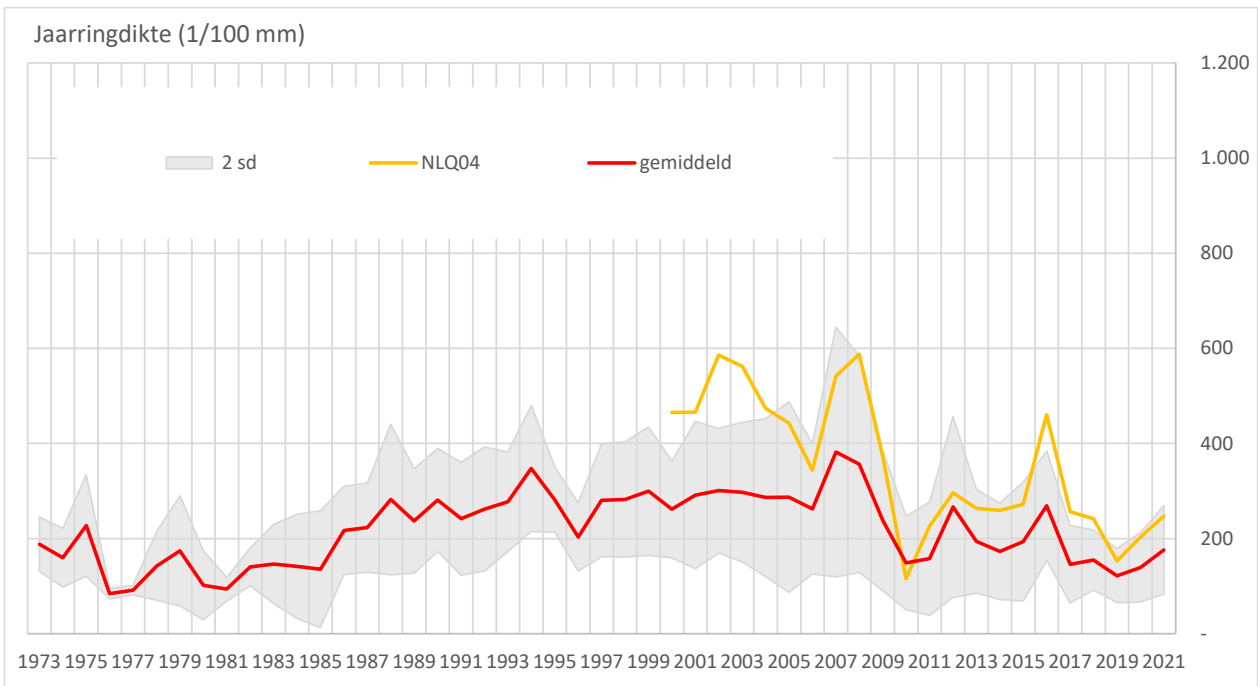
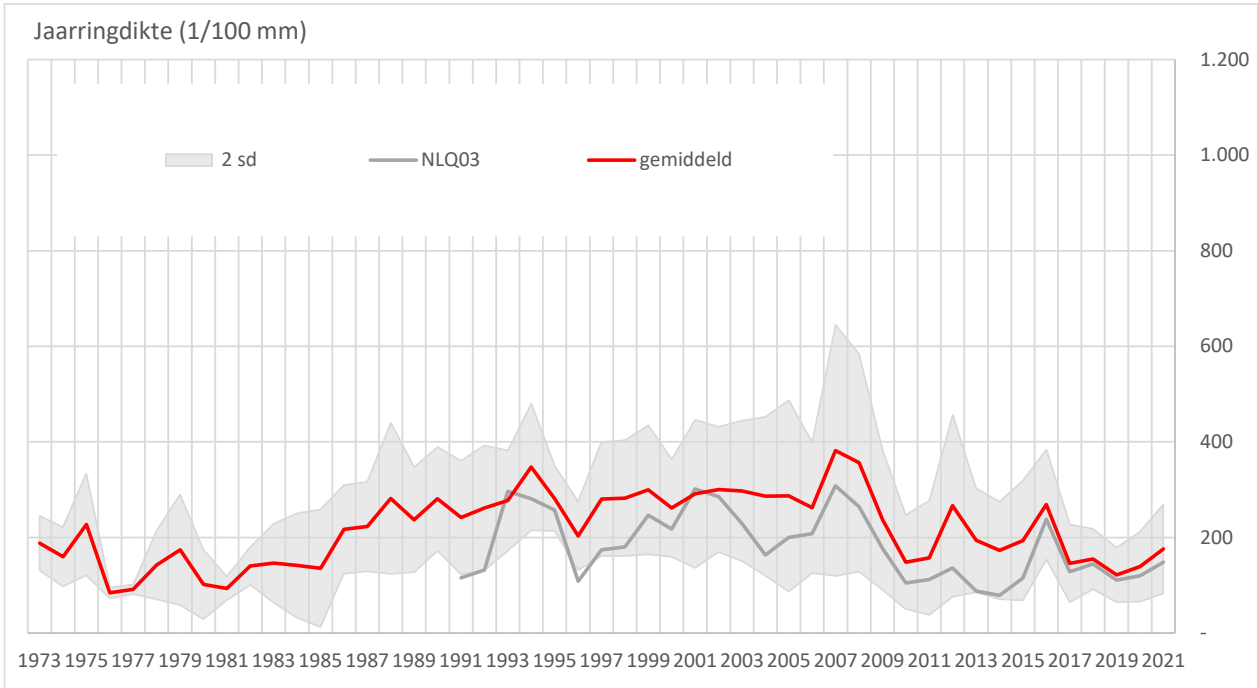
Diepte bovenkant filter t.o.v. maaiveld: 4.94 m

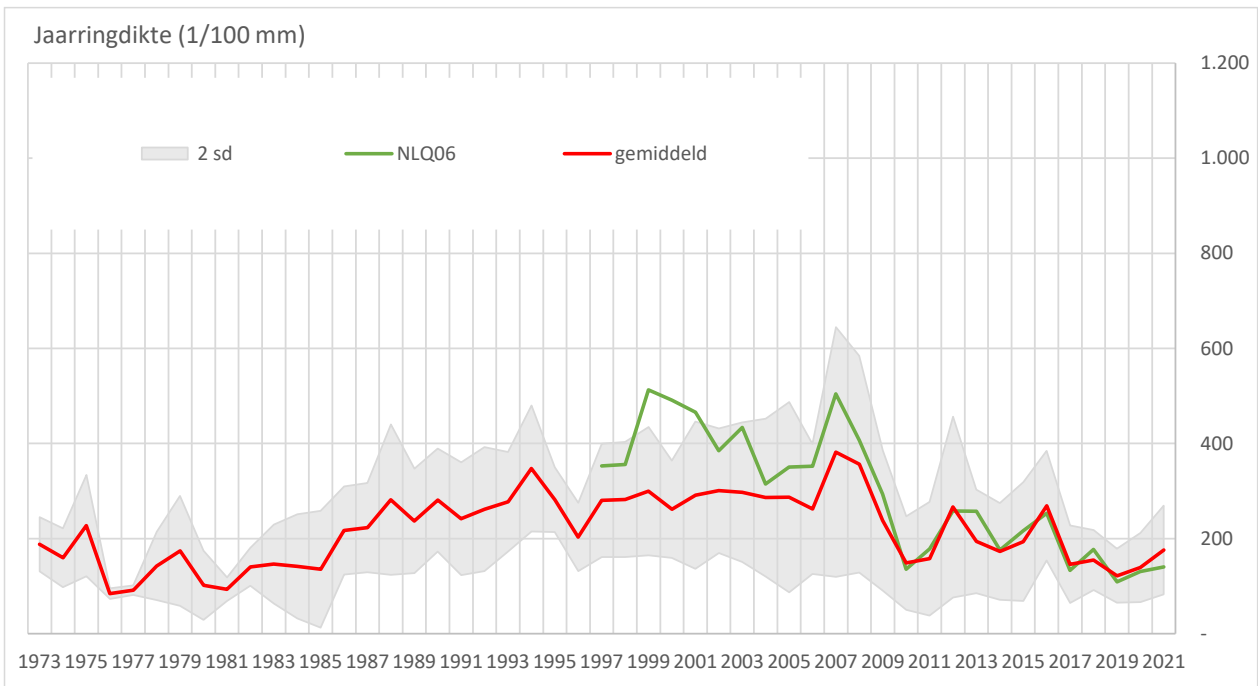
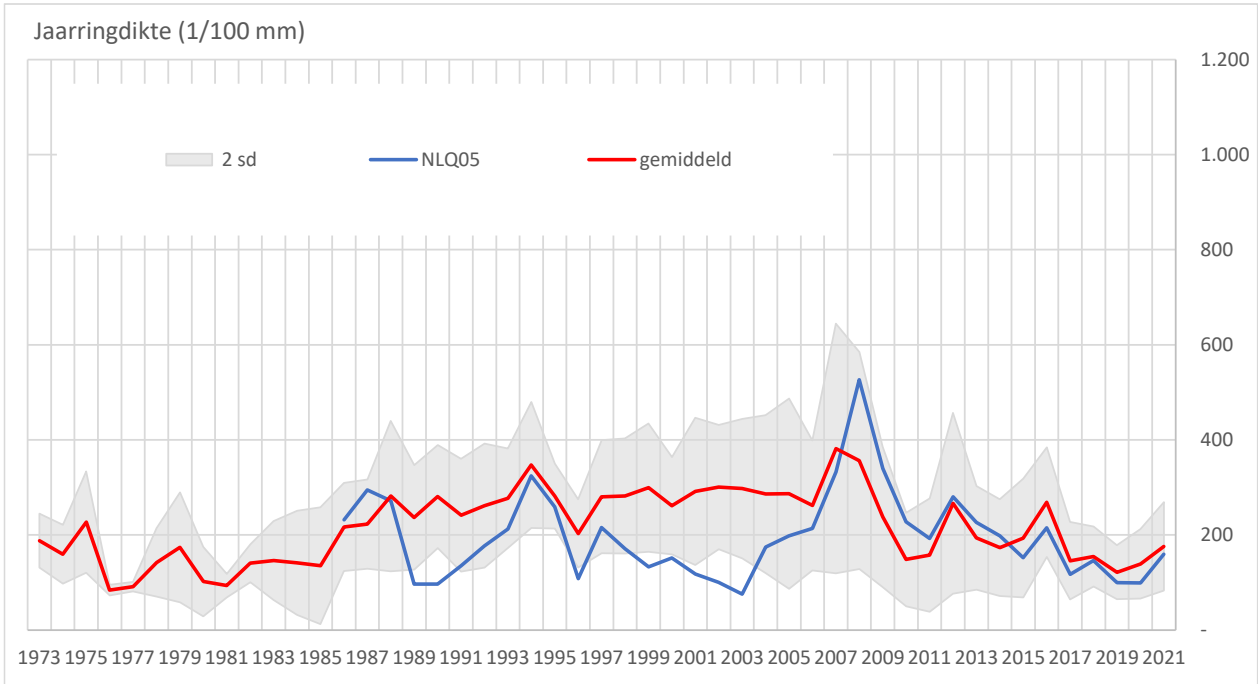
Diepte onderkant filter t.o.v. maaiveld: 6.94 m

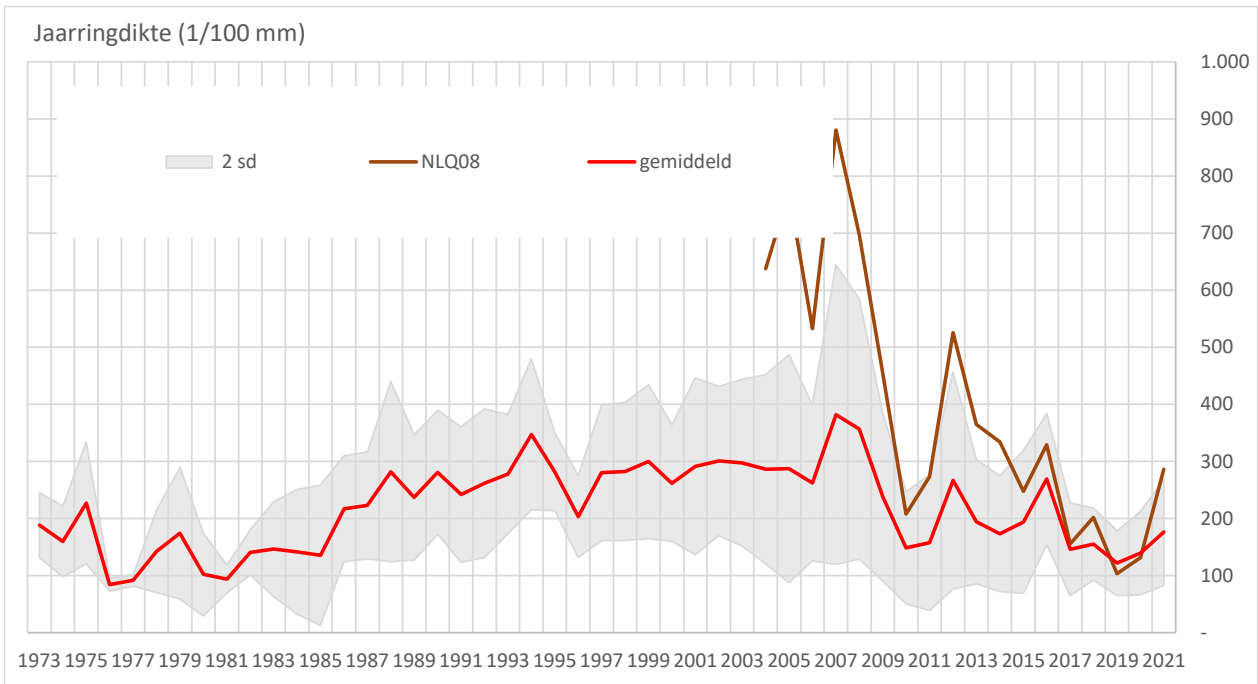
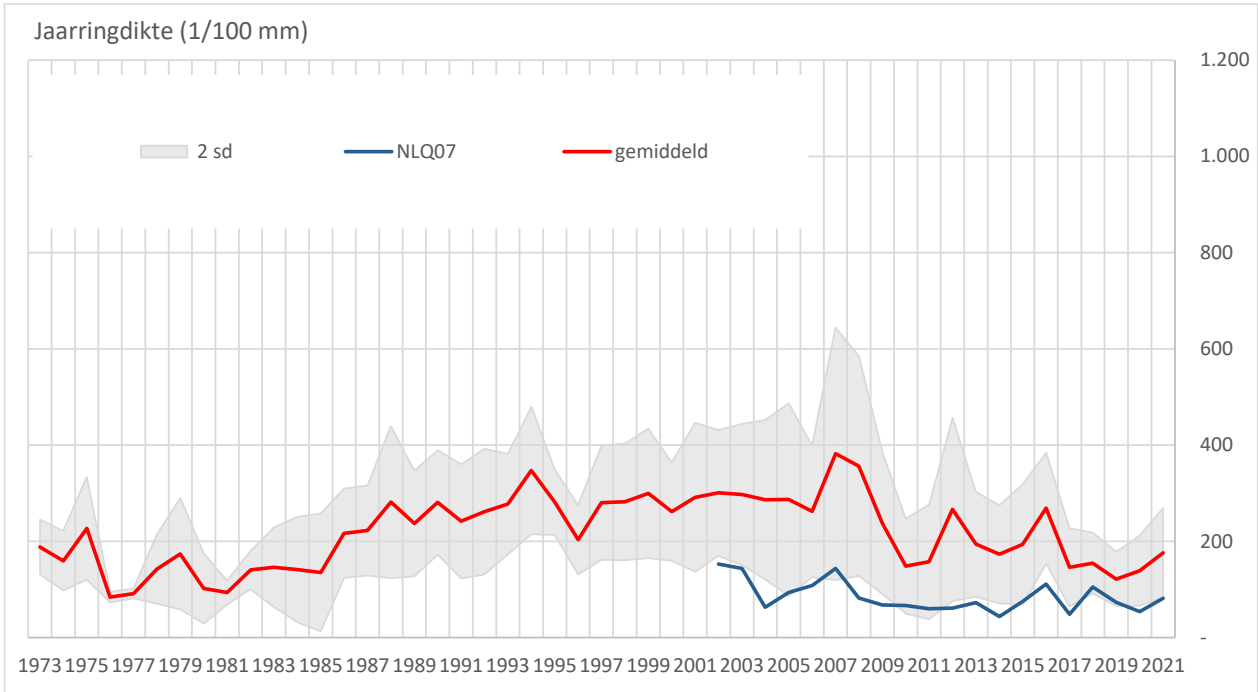
Bijlage 2 Diktegroei van de bomen

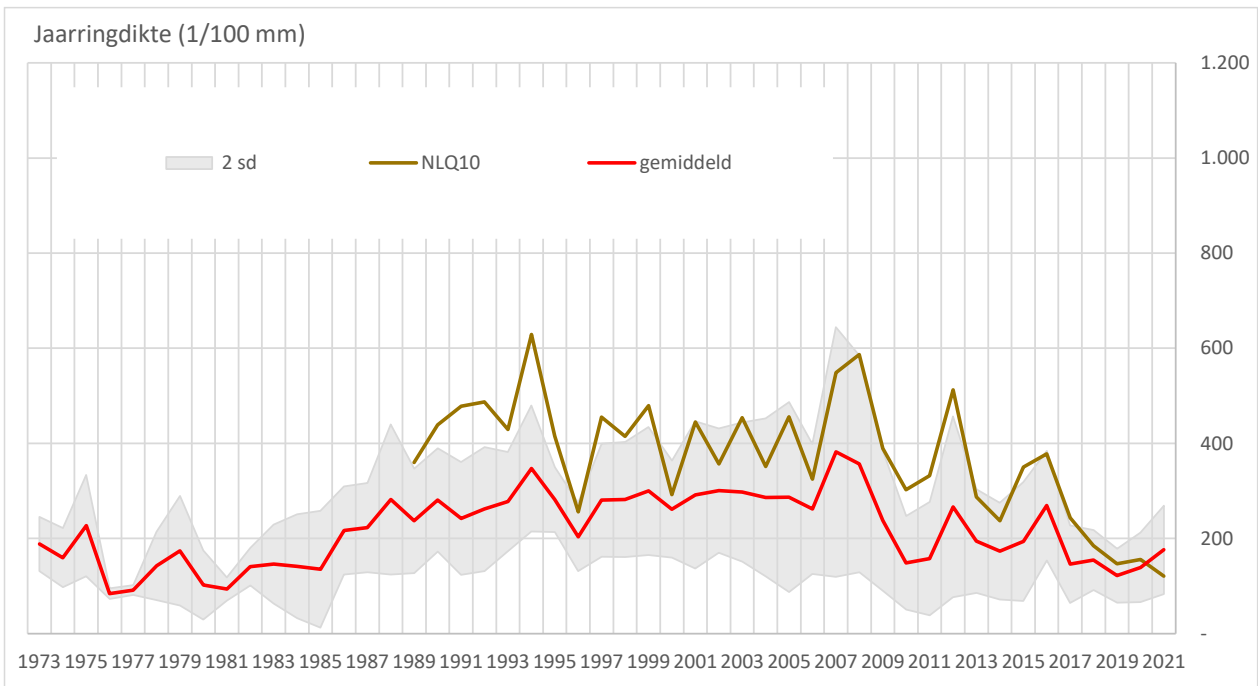
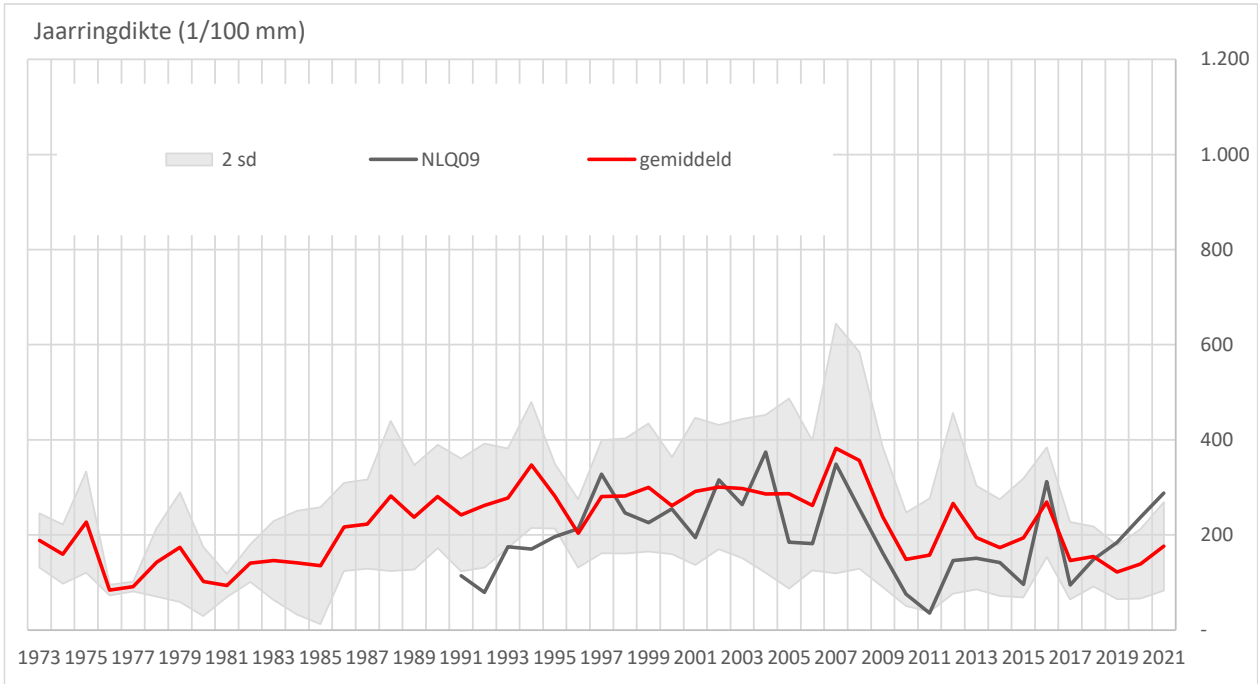
In de onderstaande figuren is de jaarringbreedte van de opeenvolgende bomen weergegeven per jaar. Steeds zijn zowel de gemiddelde ringbreedtes weergegeven, samen met het gemiddelde van alle boorkernen en de variatie, als tweemaal de standaarddeviatie (2 sd).

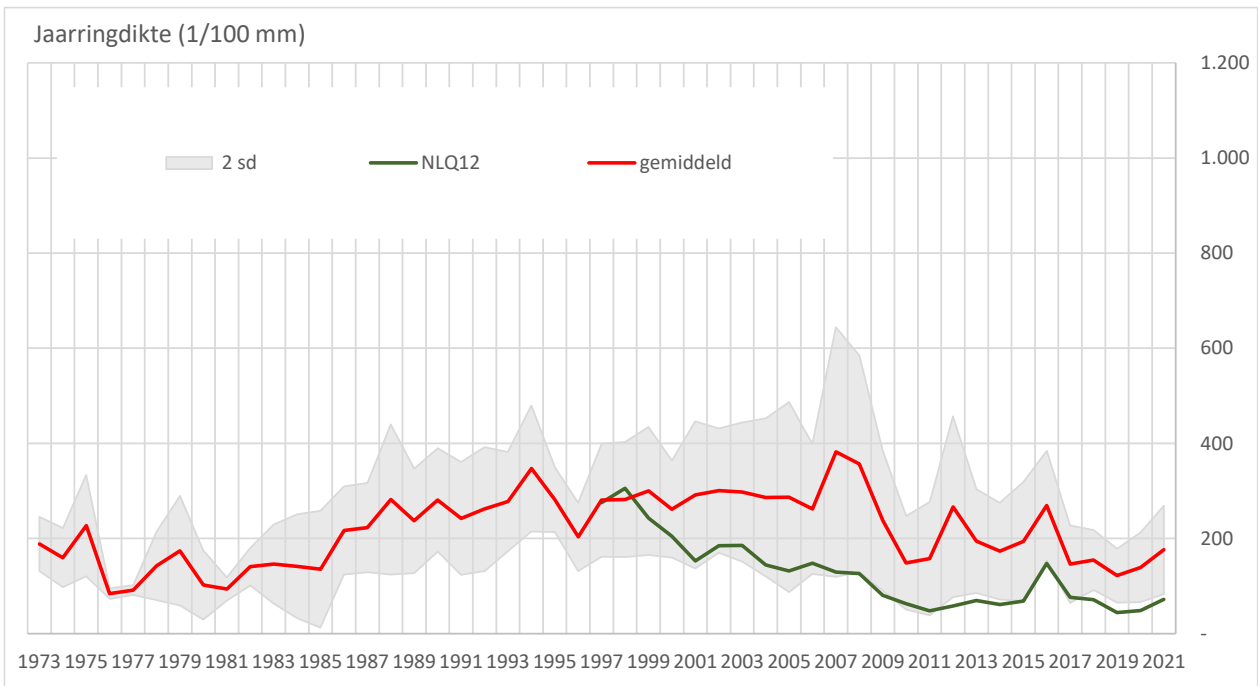
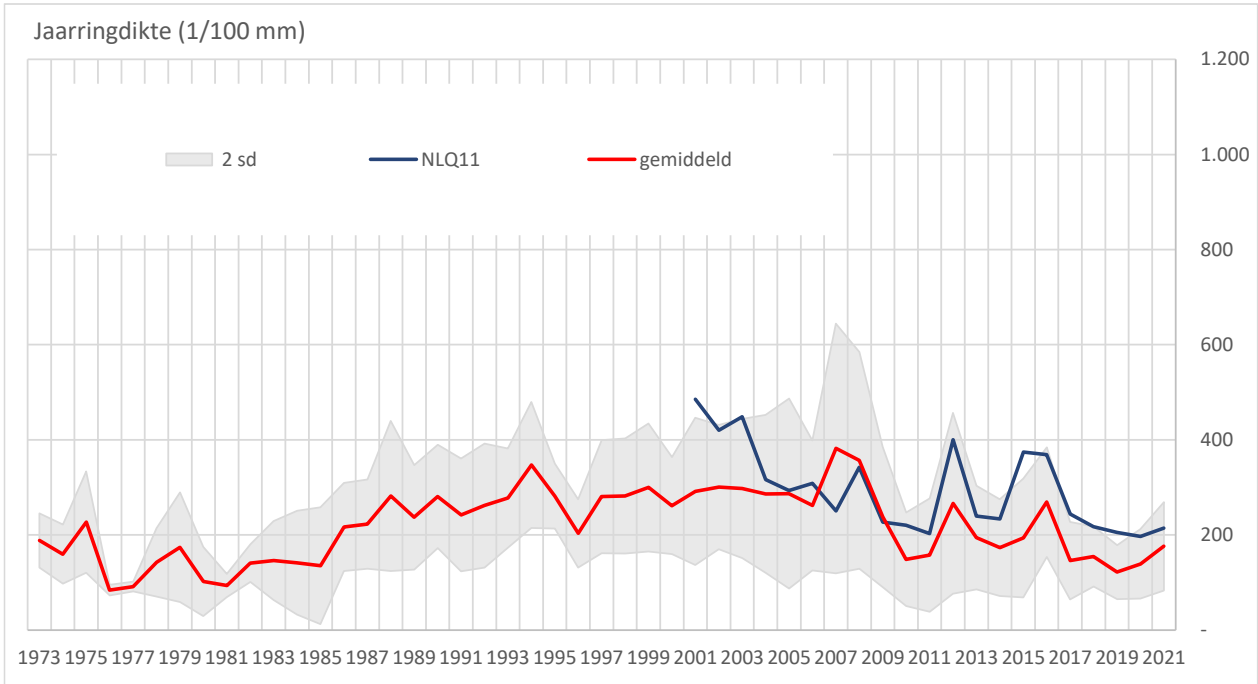






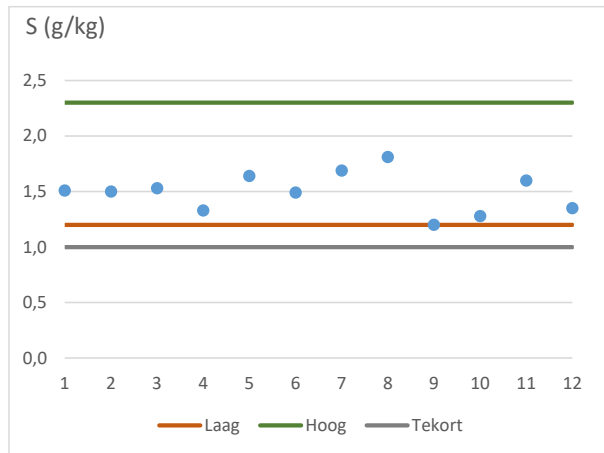
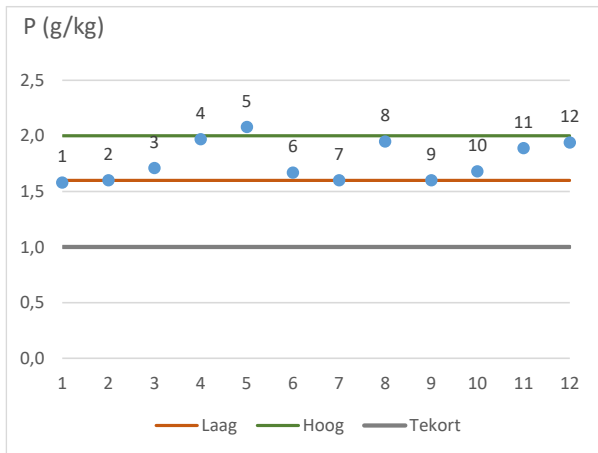
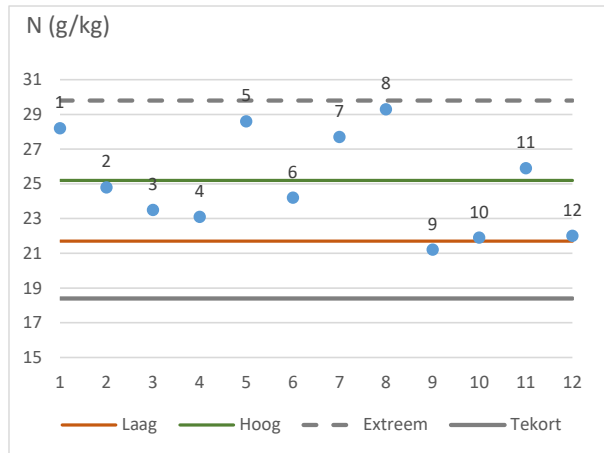
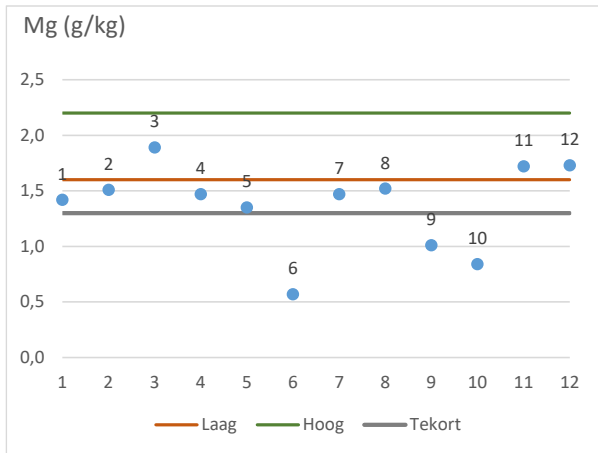
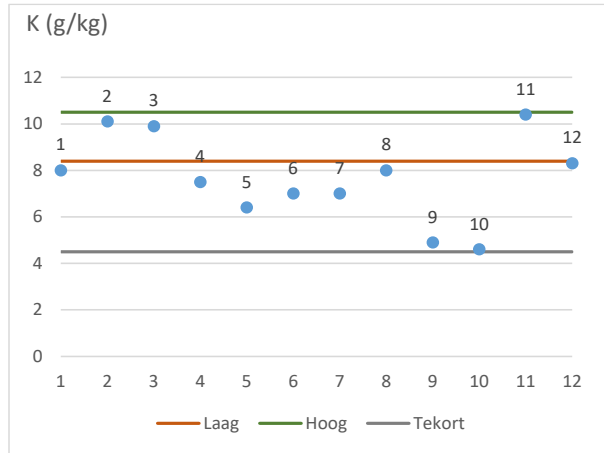
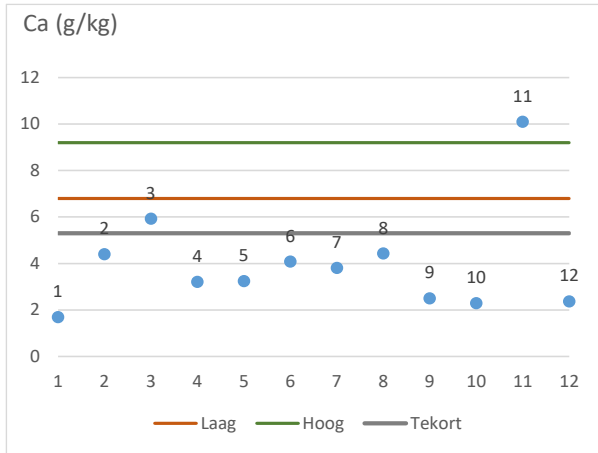


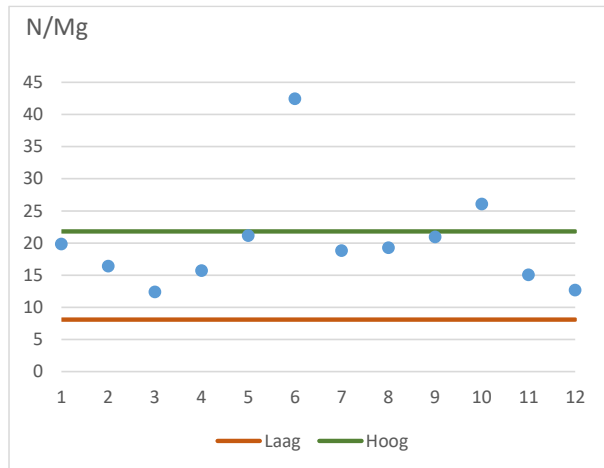
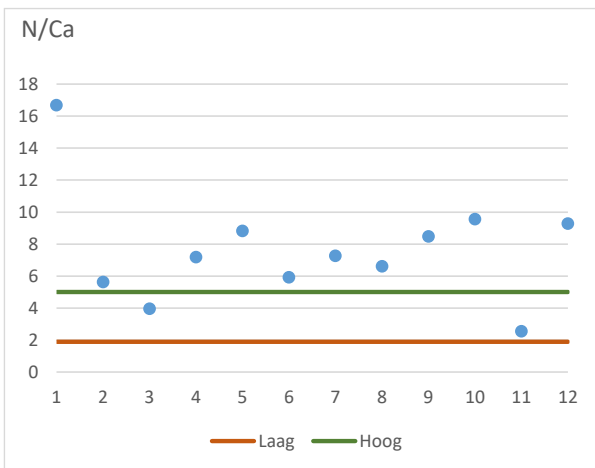
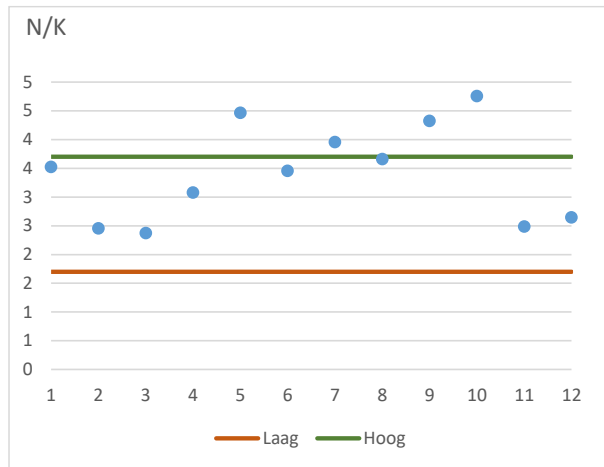
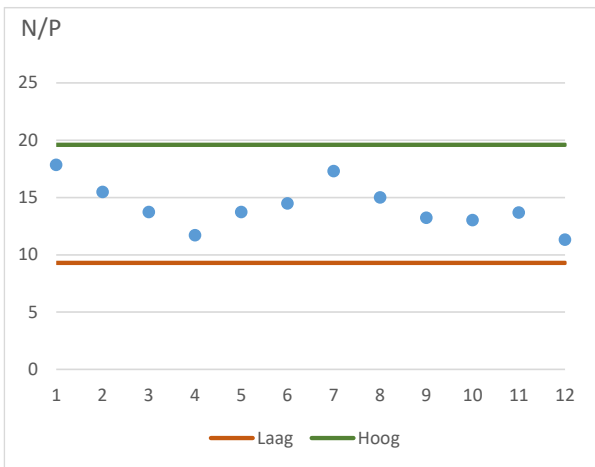
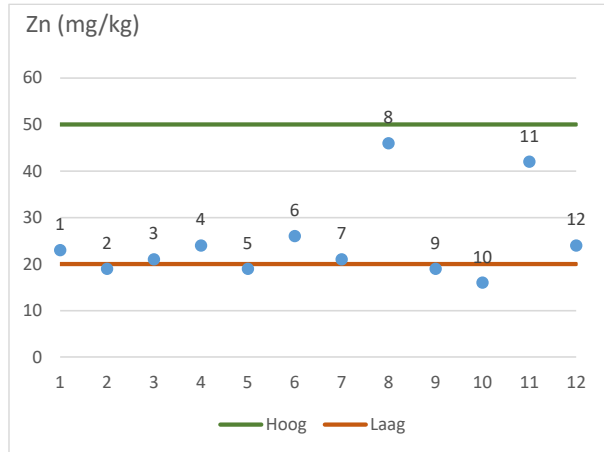
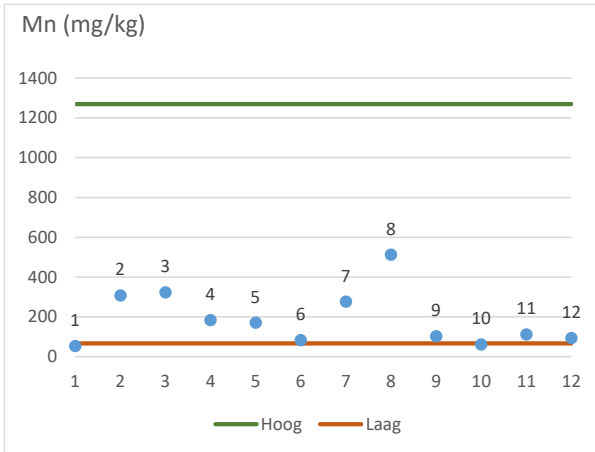
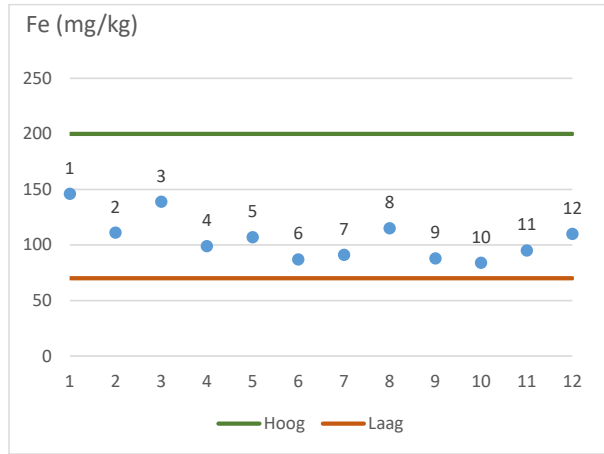
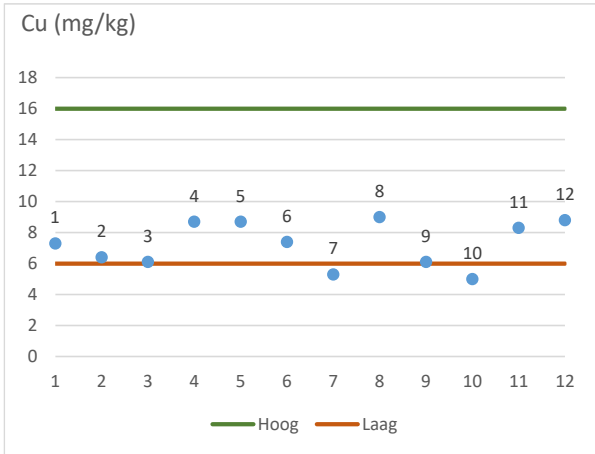




Bijlage 3 Elementgehaltes in blad

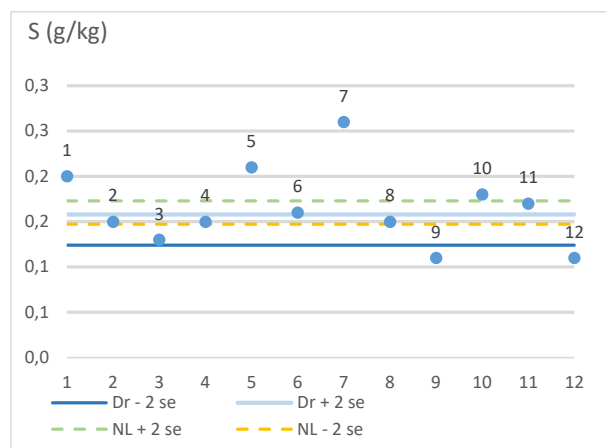
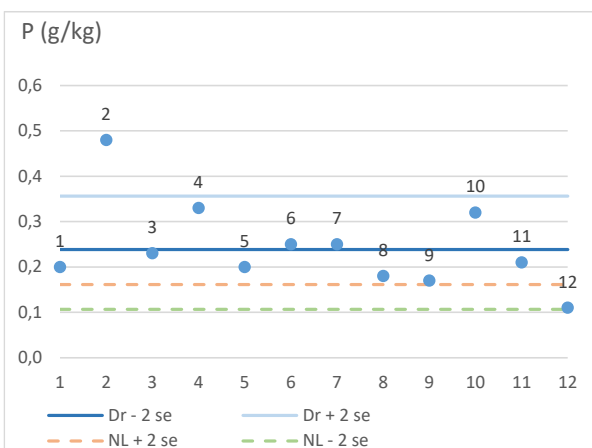
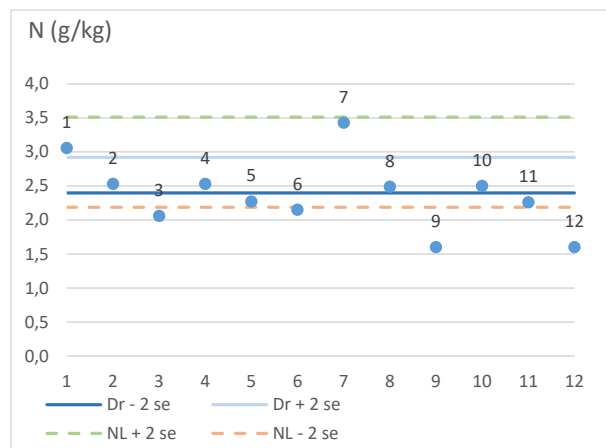
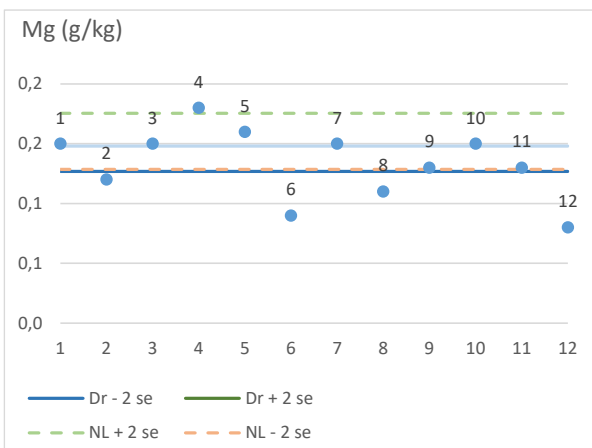
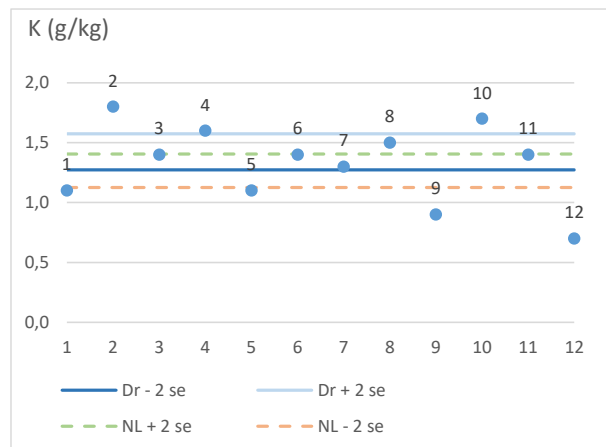
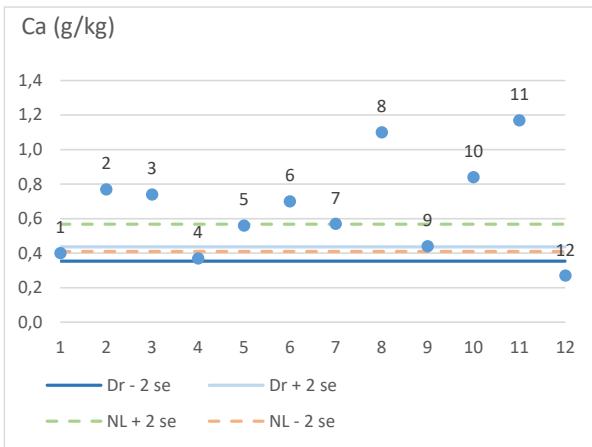
In de onderstaande figuren zijn de elementgehalten in blad van de meetbomen weergegeven (op volgorde van 1 tot 12). Daarnaast zijn – als referentie – de gehalten volgens de datasets van Mellert en Göttlein (2012, voor macronutriënten N, P, Ca, K, Mg) en Göttlein (2015, voor overige elementen) weergegeven.

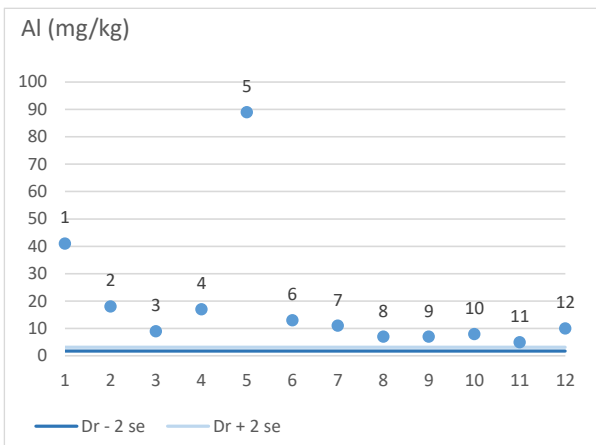
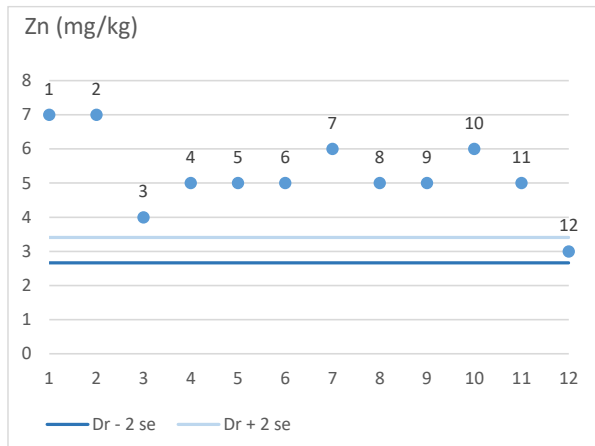
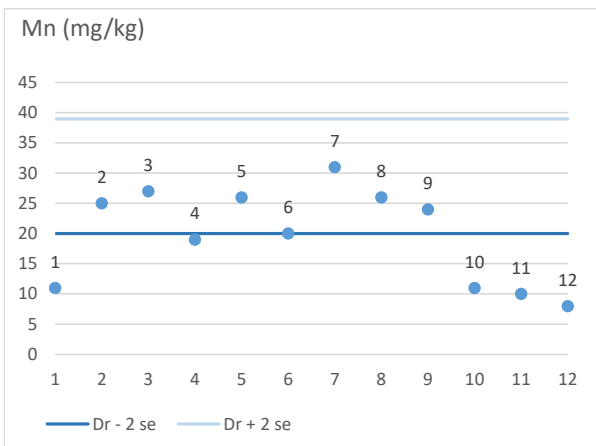
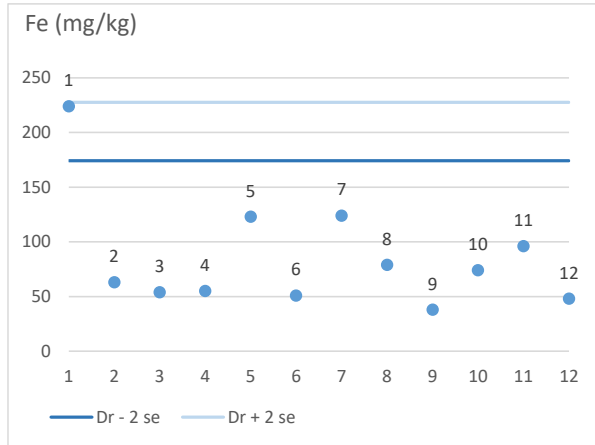
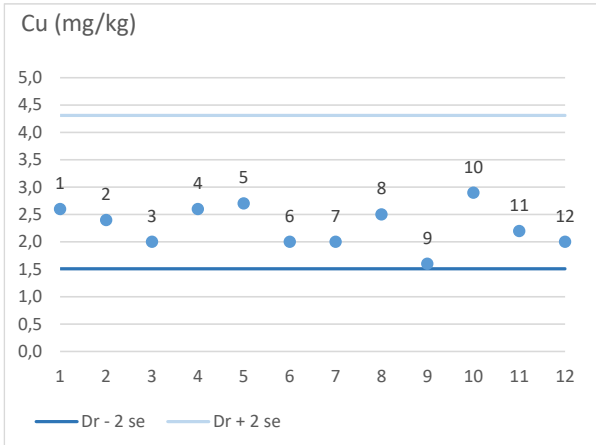




Bijlage 4 Elementgehaltes in spinhout

In de onderstaande figuren zijn de elementgehaltes in spinhout van de meetbomen weergegeven (op volgorde van 1 tot 12). Daarnaast zijn – als referentie – de gehalten volgens de data van oude eikenbossen in Drenthe (van Bijlsma et al., 2020) en onderzoek nutriëntenbalans in bossen (van De Vries et al, 2019) weergegeven.

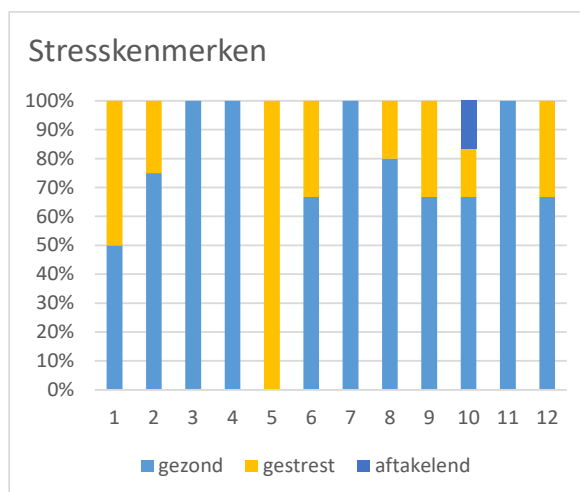
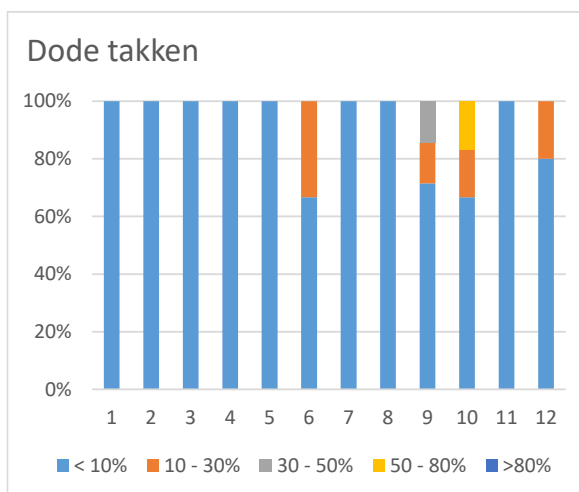
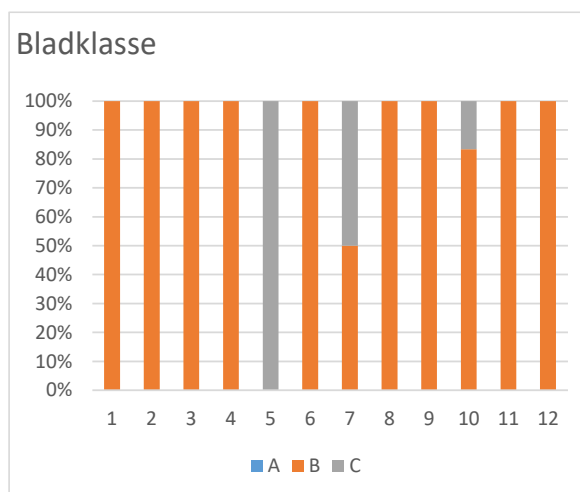
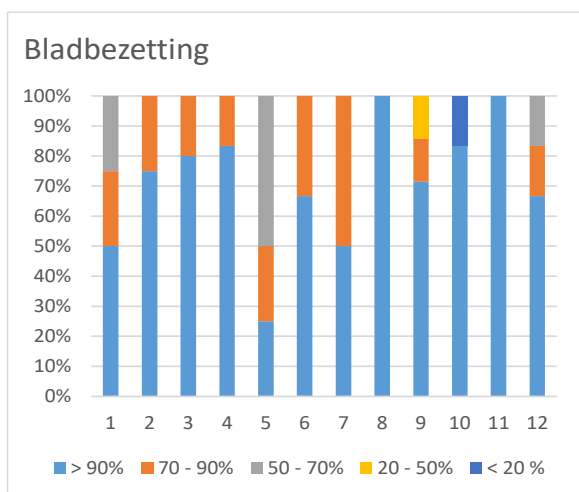




Bijlage 5 Vitaliteitskenmerken van de meetbomen en plot

Kenmerken van de meetbomen.

Nummer	DBH (mm)	Hoogte (m)	Bladbezetting	Bladklasse	Dode takken	Stresskenmerken
1	343	16,5	70-90%	Normaal blad	10-30%	gestrest
2	545	18,0	> 90%	Normaal blad	< 10%	gezond
3	241	15,0	> 90%	Normaal blad	< 10%	gezond
4	434	17,0	> 90%	Normaal blad	< 10%	gezond
5	206	11,0	50-70%	Slecht blad	< 10%	gestrest
6	313/195	17,5	> 90%	Normaal blad	< 10%	gezond
7	294	12,5	70-90%	Slecht blad	< 10%	gestrest
8	209	11,5	> 90%	Normaal blad	< 10%	gezond
9	160	18,8	> 90%	Normaal blad	< 10%	lichte gestrest
10	610	18,8	< 20%	Slecht blad	50-80%	aftakelend
11	524	19,5	> 90%	Normaal blad	< 10%	gezond
12	185	18,8	70-90%	Normaal blad	< 10%	gestrest



Vitaliteitskenmerken van de opstand rond de meetbomen: bladbezetting, bladklasse (A is weelderig, B is normaal, C is slecht (klein, verkleurd), dode takken, stresskenmerken.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3288
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3288
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

