



# Vitaliteit van eiken in de duinbossen van Walcheren en Schouwen

## - Eindrapport -



Opdrachtgever: [redacted] Provincie Zeeland • Projectnummer: PR 21.141

Rapportnummer: RP-21.141.22.122 • Auteurs: [redacted] Datum: 13.12.2022



Niets uit deze rapport mag worden gereproduceerd, opnieuw vastgelegd, vermenigvuldigd of uitgegeven door middel van druk, fotokopie, microfilm, langs elektronische of elektromagnetische weg of op welke andere wijze dan ook zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

Foto voorpagina: Eik omringd door korstmosrijk duingrasland in de Manteling op Walcheren

**Informatie:**

**Bezoekadres**

B-WARE Research Centre  
Radboud Universiteit Nijmegen  
Toernooiveld 1  
6525 ED Nijmegen  
Tel: 024-3652816  
info@b-ware.eu

**Postadres**

B-WARE Research Centre  
Radboud Universiteit Nijmegen  
Postbus 6558  
6503 GB Nijmegen

© B-WARE Research Centre, Nijmegen, 2022.

## Inleiding

Het eikenstruweel in het Natura 2000-gebied de Manteling op Walcheren gaat de laatste jaren in vitaliteit achteruit. Dit eikenstruweel valt binnen het habitatype H2180A Duinbossen - type A (droog). Vooral de lage eiken op de overgang naar het open duin aan de noordzijde van het duinbos zijn er slecht aan toe. Een deel is zelfs afgestorven. Cultuurhistorisch gezien zijn dit bijzondere eikenstruwelen en -bossen, waarvan de oudste delen dateren uit het einde van de 18<sup>de</sup> eeuw.

De vraag is, waar die achteruitgang door veroorzaakt wordt? Op de Veluwe, waar sprake is van massale eikensterfte, is onderzoek gedaan naar de invloed van de hoge stikstofdepositie (■■■■■ & ■■■■■ (B-WARE), lopend onderzoek). Daarbij is onder andere de nutriëntenbalans in de bladeren van de eiken gemeten. Kort samengevat blijkt uit dit onderzoek, dat inderdaad de hoge stikstofdepositie, in combinatie met droogte, geleid heeft tot de achteruitgang en de sterfte van de eiken. Door een hoge stikstofdepositie verzuurd de bodem sterker, de buffering neemt af en bladeren hebben een lagere concentratie van calcium, magnesium en kalium. Verder neemt de vermesting toe en de gehalte van stikstof in eikenbladeren is zeer hoog. Beide processen zorgen voor een hogere ratio van de elementen met elkaar met gevolgen voor de vitaliteit van de bomen en verder ecosysteemprocessen.

Ook in de Manteling en in de Kop van Schouwen ligt de stikstof depositie hoger dan de kritische depositie waarden en is de gemeten ammoniak concentratie in de lucht sinds 2015/2016 jaren nog toegenomen (MAN Netwerk <https://man.rivm.nl/#detailpopup>).

Het doel van het onderzoek is, om via de bladchemie, visuele vitaliteitsbeoordeling van de bomen en bodembemonstering een eerste indicatie te geven over de oorzaken voor de achteruitgang van de vitaliteit van de eiken. Dit onderzoek is in het Natura 2000-gebied de Manteling en de Kop van Schouwen uitgevoerd. De volgende onderzoeksvragen zullen beantwoord worden:

### Onderzoeksvragen

- I. In hoeverre lijkt de achteruitgang in vitaliteit van de eiken veroorzaakt te worden door de hoge stikstofdepositie?
- II. Is er sprake van een nutriënten onbalans in het blad?
- III. In hoeverre kunnen zware metalen een verklaring bieden voor de gevonden verschillen in vitaliteit?

## Materiaal & methoden

Begin september 2021 (12. & 13.09.2021) zijn in de Manteling en op de Kop van Schouwen de zomerbladeren van eiken bemonsterd. Tegelijk is ook de vitaliteit van de bemonsterde eikenbomen beoordeeld en de bodem op drie dieptes bemonsterd. In de Manteling zijn twee transecten, ieder op 3 punten bemonsterd. Deze transecten lopen van het open duin, dwars door het bos via de middenduinen naar de binnenduinrand (zie figuur 1.1). Tegelijk zijn nog drie meetpunten uit het Landelijke meetnet Flora (LMF) gemeten. Op Schouwen gaat het om vier monsterlocaties, waarbij twee in de boswachterij, één in het duingebied Zeepe

liggen en eentje in het Gadrabos, aan de rand van de Vroongronden (zie figuur 1.2). In bijlage 3 zijn foto's van iedere locatie opgenomen met een korte beschrijving.

## Bemonstering bladeren

Bij de bemonstering van de bladeren was het soms noodzakelijk, om in de boom te klimmen. De meeste bomen waren te hoog, om van de grond de zon-bladeren in het kroondak te bemonsteren. ██████████ is deze bomen ingeklimmen. Van iedere boom zijn ongeveer 30 bladeren meegenomen om verder in het lab te analyseren.

## Vitaliteit bomen

In het veld is de vitaliteit van de eiken beschreven met percentages bladbezetting van de kroon, necrose van de bladeren en andere opvallende indicaties in de groei, op de schors of aan de bladeren. Verder zijn andere kenmerken als de hoogte en groeivorm, opvallende standplaatscondities opgenomen. De vitaliteit van de boom en schade aan het blad is onafhankelijk door twee personen beoordeeld, om tot een goed gewogen beeld te komen. Het gaat bij de vitaliteitsparameter om schattingen en niet om metingen.

## Bodembemonstering

Op iedere locatie is een bodemprofiel tot 1m diepte opgenomen en is het calciumcarbonaatgehalte met 10 % zoutzuur in het hele profiel in het veld bepaald. Hiermee is de opbouw van de bodem per monsterlocatie bepaald. Verder is de waterstand en het vochtpercentage tot ca. 1,20 m opgenomen. Al deze parameters geven relevante informatie over de lokale standplaatsfactoren van de eiken.

Verder zijn op iedere locatie bodemmonsters genomen: van de humuslaag, van 0-10 cm en van 30-40 cm. De monsters zijn als mengmonsters van 5 steken met een bodemguts verzameld. Deze monsters zijn gekoeld getransporteerd en tot de analyse in het laboratorium in de koelcel van het onderzoekcentrum B-WARE bewaard.

## Chemische analyse

De bladeren zijn evenals de bodem in het laboratorium van het onderzoekcentrum B-WARE verwerkt en geanalyseerd. Er zijn door een C/N bepaling en een zure destructie de volgende elementen geanalyseerd: C, N, Al, Ca, Mg, Mn, Na, Cl, K, P, S en Zn. Verder zijn verschillende zware metalen (As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb en Sr) meegenomen in de analyse (Een gedetailleerde beschrijving van de methoden is in de bijlage 1 te vinden.).

Voor de bodemanalyse zijn een zure destructie, zout extract (NaCl) en P-Olsen extractie uitgevoerd. Op deze manier kunnen zowel de belangrijke nutriënten (fosfaat, ammonium en nitraat) als ook de totale concentratie van belangrijke elementen en buffering van de bodem in kaart gebracht worden.



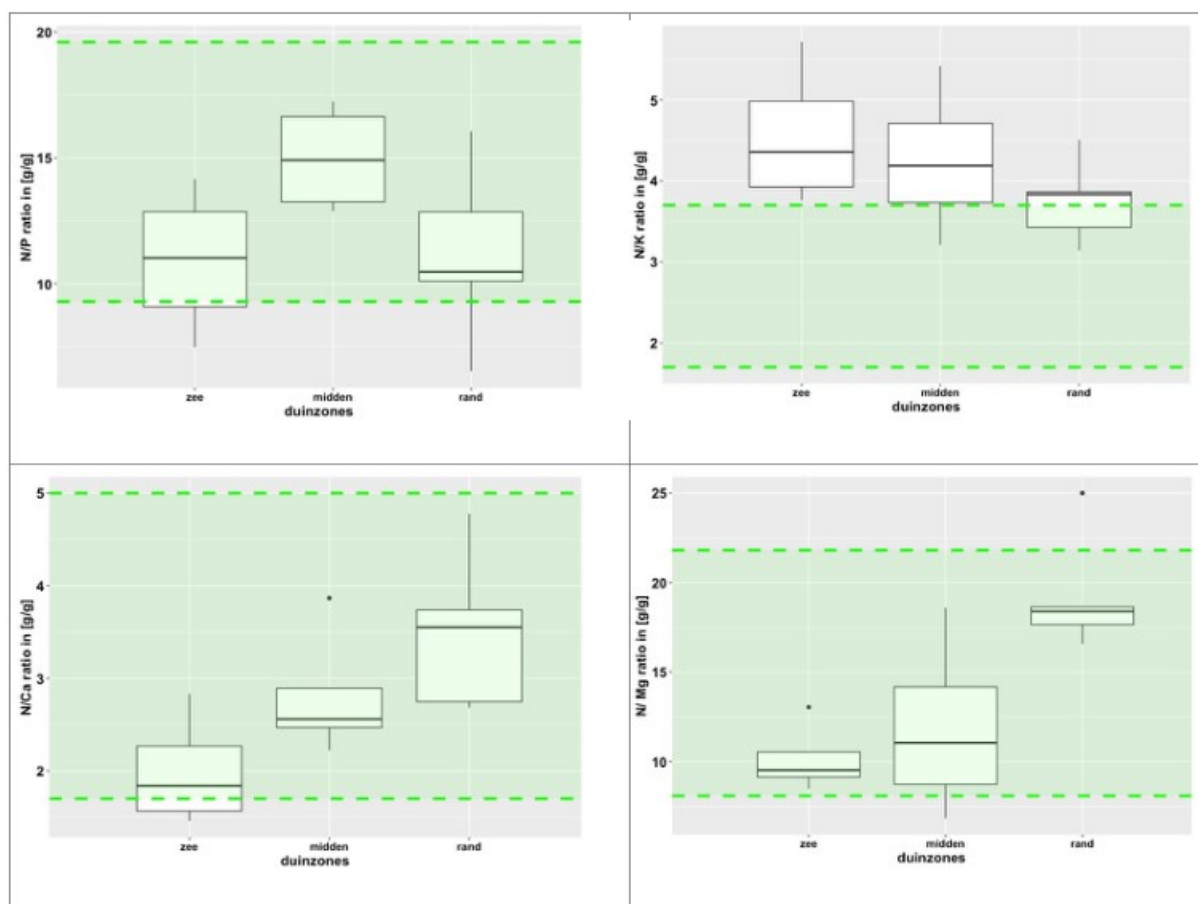
Figuur 1. Locaties transecten Manteling van Walcheren (kaart provincie Zeeland).



Figuur 2. Monsterlocaties Kop van Schouwen (kaart Provincie Zeeland).

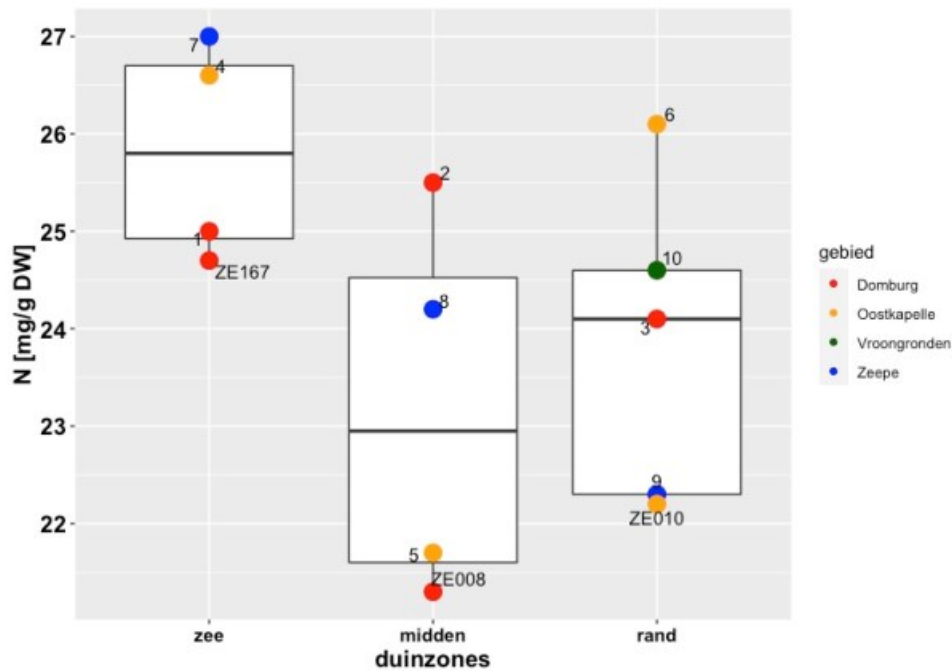
## Chemische samenstelling eikenbladeren

Voor de vitaliteit van eiken is de voorziening met voedingsstoffen zoals stikstof, fosfor en kalium belangrijk, maar ook de voorziening met mineralen die essentieel zijn voor vele fysiologische processen zoals fotosynthese, transportstromen van de wortels naar de bladeren of bijvoorbeeld het openen en sluiten van stomata voor de vochtregulatie. In een grote meta-analyse van Europees bomen is daarom niet alleen naar de concentratie maar vooral ook naar de ratio van elementen onderling gekeken (Mellert & Göttlein, 2012). De ratio's van stikstof ten opzichte van calcium, magnesium, fosfor en kalium zijn hierbij de belangrijkste. In figuur 3 worden deze ratio's voor de 13 eiken in de Manteling en op Schouwen weergegeven. Groen gearceerd zijn de ratio's van elementen in bladeren van eiken die vitaal zijn, buiten deze ratio's waren de eiken minder vitaal of aan het afsterven. Het valt op, dat voor de ratio's [g/g] van N/Ca, N/Mg en N/P de verhoudingen grotendeels binnen deze ranges liggen, alleen de verhouding van stikstof met kalium is grotendeels hoger dan de range met vitale eikengroei. Verder valt een duidelijk verschil tussen de duinzones op: achter de zeereep ("zee"), midden in het duingebied ("midden") en aan de binnenduinrand ("rand") van het duingebied. De N/Ca en N/Mg ratio stijgen vanaf de zeereep naar het binnenduinrand en de N/K ratio neemt af. Voor de N/P ratio is de ratio in het midden van het duingebied het hoogst, en dichtbij de zeereep en het binnenduinrand even laag.

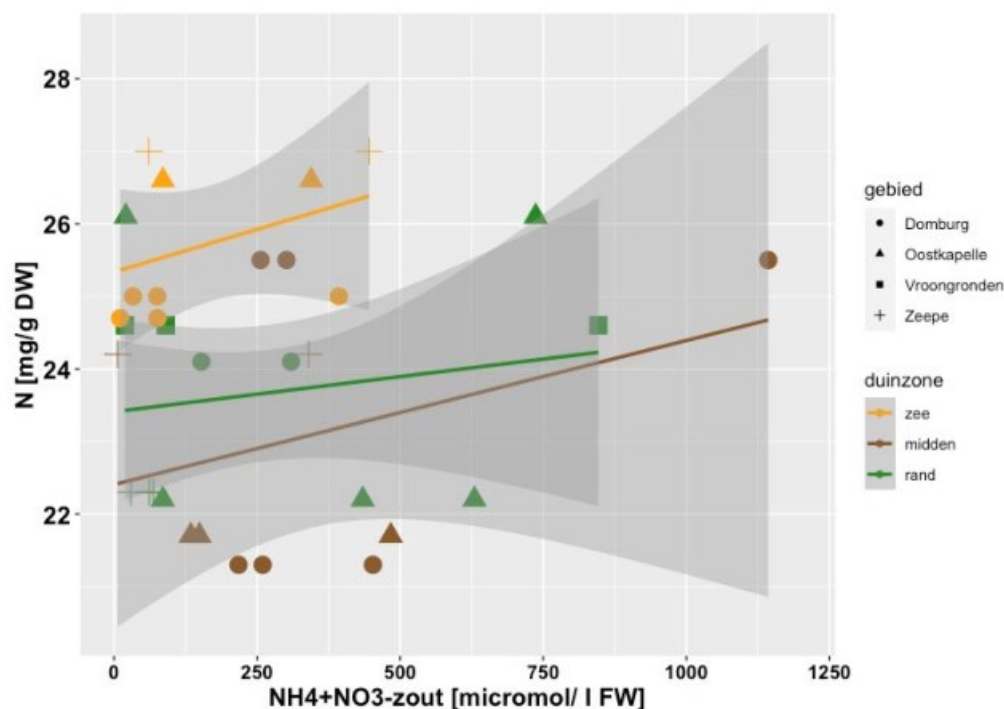


figuur 3. Elementen ratio's - N/Ca, N/Mg, N/P en N/K in [g/g] - van eikenbladeren van 13 eiken in de duinen van de Manteling en op Schouwen, opgedeeld in duinzones. Groen gearceerd de range van bladeren met een vitale groei van eiken (ranges uit Mellert & Göttlein, 2012 en zie tabel 2).

De vraag is waardoor deze hoge N/K ratio's in eikenbladeren veroorzaakt worden: door hoge stikstof concentraties of te lage kalium concentraties in de eikenbladeren. Voor stikstof geldt, dat de concentraties in de bladeren dichtbij de zeereep hoger zijn dan in het midden van de duingebieden of aan de binnenduinrand (zie figuur 4). De stikstofgehalten aan de rand lijken licht te stijgen ten opzichte van het midden van het duingebied. De concentraties bevinden zich in de normale (centrale tot hoge gedeelte) en luxurieuze oftewel overvloedige range voor stikstofgehalten in eikenbladeren in midden-Europa (zie tabel 1, uit Meyer & Göttlein, 2012). De hoge stikstofconcentraties in de eikenbladeren dichtbij de zee wordt zowel door de atmosferische stikstofdepositie vanuit zee maar ook door de beschikbaarheid van ammonium en nitraat in de bodem beïnvloed (figuur 5). Duidelijk te zien is wel, dat alle locaties dichtbij zee hoger liggen dan de rest en de invloed van de bodem minder groot is.



figuur 4. Concentraties van stikstof [mg/g DW] in de eikenbladeren in de duinen van de Manteling en op Schouwen. De labels verwijzen naar monsterlocaties die in figuur 1 en 2 weergegeven worden.



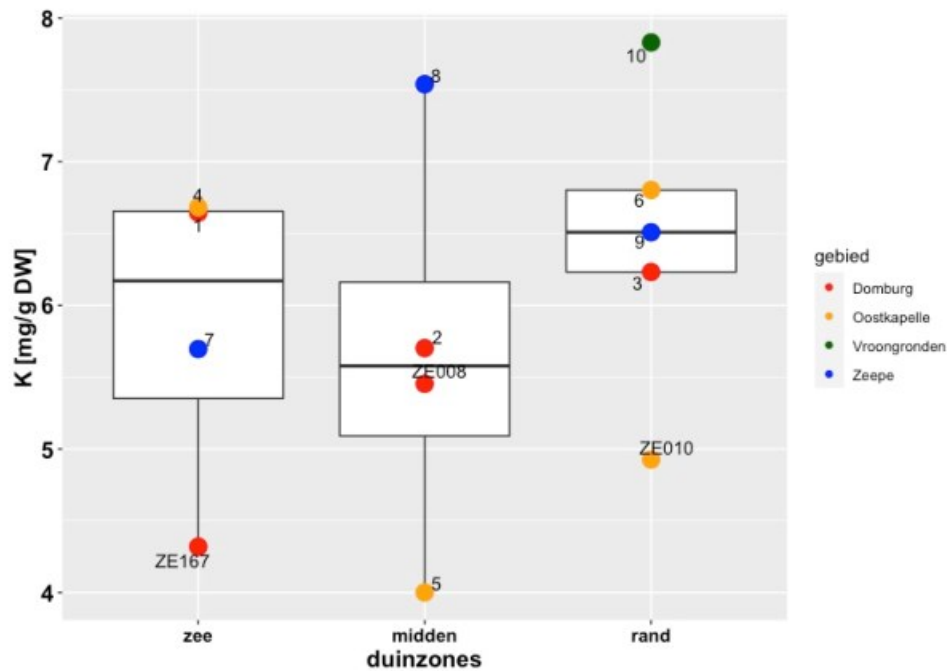
figuur 5. Concentraties van stikstof [mg/g DW] in de eikenbladeren in de duinen van de Manteling en op Schouwen ten opzichte van de concentraties van ammonium en nitraat [micromol/ l FW] in de verschillende .

Voor de kaliumgehalten in de eikenbladeren zijn de verschillen niet zo duidelijk, maar hier is een lichte tendens tot lagere concentraties in het midden van het duingebied te zien (figuur 6). Met meer datapunten zou deze verhouding duidelijker kunnen worden en nog kunnen verschuiven, maar de spreiding van de punten is in deze dataset met 13 monsterlocaties zeer hoog. Vergelijk je de gehalten uit de duinbossen van Walcheren en Schouwen met die van Mellert & Göttlein (2012) dan wordt duidelijk, dat de meeste bemonsterde eiken een tekort aan kalium hebben; de grens voor normale gehalten ligt bij 7,2 mg/g drooggewicht. In de dataset van de duinen in de Manteling en op Schouwen liggen slechts twee locaties binnen deze normale range, locatie 8 in het Zeepe en locatie 10 op de Vroongronden.

De calcium-, magnesium- en fosforgehalten in de eikenbladeren zijn hoger langs de zeereep en lager naar mate je in richting binnenduinrand komt (zie bijlage 2). De invloed van de seaspray op de concentraties in het eikenblad is ook weerom duidelijk. De invloed van de beschikbaarheid van calcium en magnesium (zout extract Mg en Ca, P-Olsen) in de bodem op de concentraties in eikenbladeren is minder groot of bestaat nauwelijks (bijlage 2). Maar ook hierbij moet weerom duidelijk gezegd worden, dat het om een kleine dataset gaat en de zekerheid hiermee niet groot is.

Samenvattend kan worden gezegd dat de bladeren een hoge concentratie stikstof hebben, maar tegelijkertijd een tekort aan kalium. De gehalten van calcium, magnesium en fosfor komen in normale tot luxurieuze/ overvloedige concentraties voor (Voor P is alleen één locatie op de rand van een tekort; zie bijlage 2 voor grafieken van enkele elementen en elementen ratio's.).



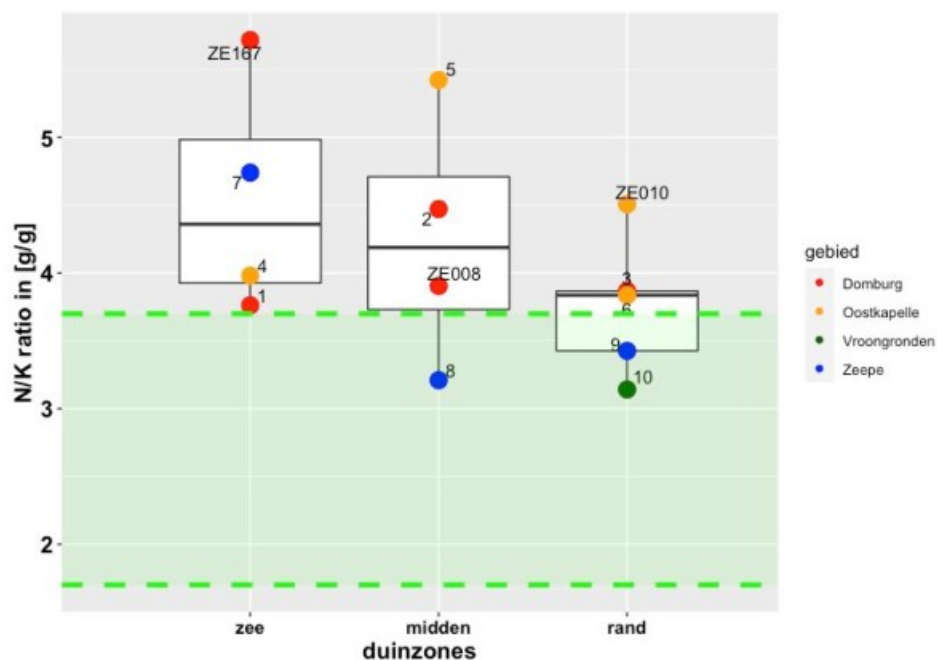


figuur 6. Concentraties van kalium [mg/g DW] in de eikenbladeren per duinzone in de duinen van de Manteling en op Schouwen. De labels verwijzen naar monsterlocaties die in figuur 1 en 2 weergegeven worden.

Tabel 1. Kritische concentraties van macronutriënten in eikenbladeren (uit Mellert & Göttleim, 2012, tabel 4).

	Oak ( <i>Quercus robur</i> + <i>Quercus petraea</i> )—Critical foliar concentrations in mg g <sup>-1</sup>							
	Deficiency			Normal range			Surplus	
	Extreme	Deficiency	Latent	Lower	Central	Upper	Luxury	Extreme
N	<18.2	<18.4	18.4–19.8	19.8–21.7	21.7–25.2	25.2–26.8	26.8–29.8	>29.8
P		<1.0	1.0–1.4	1.4–1.6	1.6–2.0	2.0–2.1	>2.1	
K		<4.5	4.5–7.2	7.2–8.4	8.4–10.5	10.5–11.4	11.4–13.0	>13.0
Ca			<5.3	5.3–6.8	6.8–9.2	9.2–10.2	10.2–18.3	>18.3
Mg	<1.3		<1.2	1.2–1.6	1.6–2.2	2.2–2.4		

Voor de N/K ratio liggen de meeste meetpunten buiten de range met vitale eikengroei (zie figuur 7). Alleen de punten 8,9 en 10 op de Kop van Schouwen liggen in de optimale range. Bij de punten 8 en 10 ligt het kaliumgehalte nog net binnen de normale range, hoewel aan de lage kant van die range; bij punt 9 ligt deze net iets onder de normale range (zie figuur 6 & tabel 1).



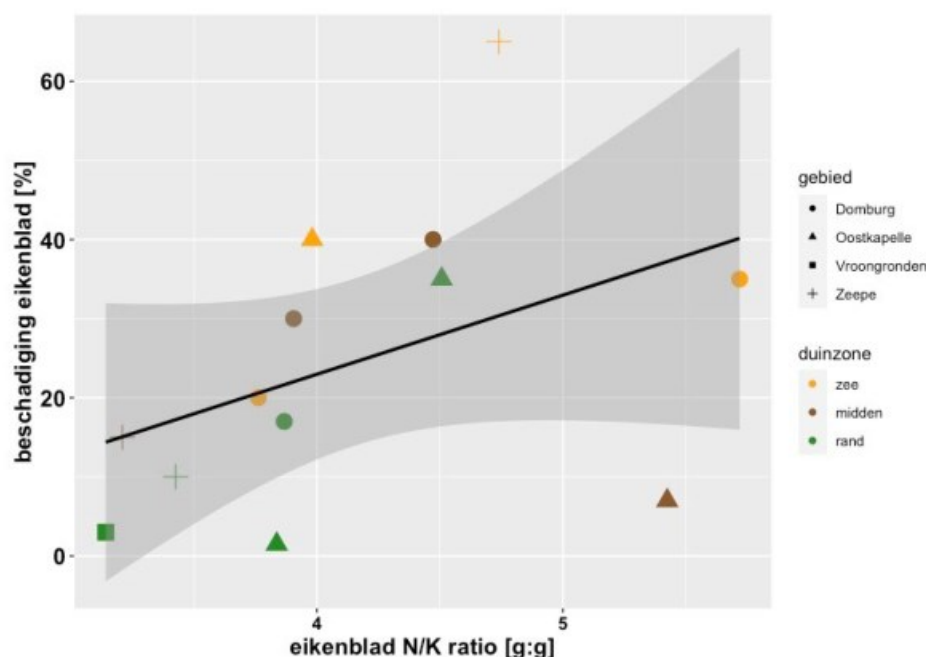
figuur 7. N/K-ratio in [g/g] - van eikenbladeren van 13 eiken in de duinen van de Manteling en op Schouwen, opgedeeld in duinzones (x-as) en monsterlocaties met labels (gekleurde punten) . Groen gearceerd de range van bladeren met een vitale groei van eiken (ranges uit Mellert & Göttlein, 2012, zie ook tabel 2).

Tabel 2. Kritische ratio's van macronutriënten (uit Mellert & Göttlein, 2012 - tabel 6).

Ratio	<i>Scots pine</i>		<i>Norway spruce</i>		<i>European beech</i>		<i>Quercus robur + Q. petraea</i>	
	Lower limit	Upper limit	Lower limit	Upper limit	Lower limit	Upper limit	Lower limit	Upper limit
N/P	7.4	14.1	6.3	11.7	10.0	18.9	9.3	19.6
N/K	2.0	4.0	1.7	3.3	1.9	3.8	1.7	3.7
N/Ca	3.6	9.1	2.1	5.0	1.3	3.5	1.9	5.0
N/Mg	10.8	22.9	10.7	21.0	8.2	21.7	8.1	21.8

## Vitaliteit van eikenbomen

In het veld is ook de vitaliteit van de eikenbomen beoordeeld. Hiervoor is het percentage schade - dood, bruin of anders verkleurd - op de bemonsterde bladeren uit de kroon van de bomen en ook de totale bladbezetting per boom geschat. Verder zijn ziektes zoals meeldauw genoteerd en geschat en de verschillende loten (1<sup>e</sup>, 2<sup>e</sup> of 3<sup>de</sup> lot) beoordeeld. Worden deze vitaliteitsindicatoren met de N/K ratio in de bladeren gecorreleerd, dan lijkt er alleen een correlatie te zijn tussen bladschade en de N/K ratio (figuur 8); met toenemende N/K ratio neemt ook de bladschade in de eikenbladeren toe. Door waarschijnlijk het relatief kleine aantal monsterlocaties is de spreiding van de data nog relatief groot.



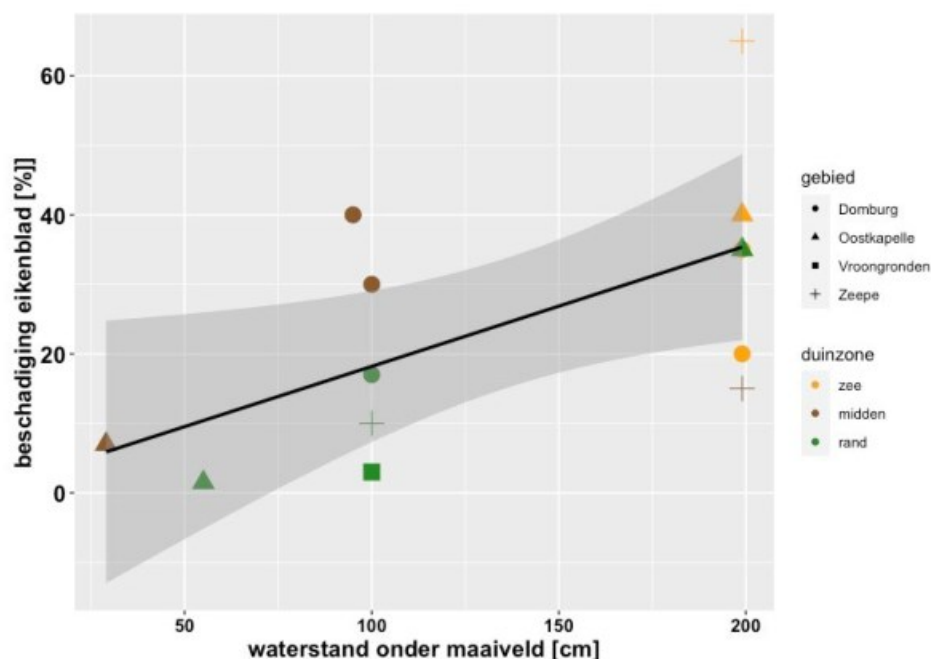
figuur 8. Correlatie van de beschadiging [%] van de eikenbladeren uit de kroontop van de eikenbomen afhankelijk van de N/K ratio [g:g] in de eikenbladeren per duinzone [zee - dichtbij de zeereep, midden - midden in het duingebied, rand - aan de binnenduintrand van het duingebied] en de locatie in de Manteling en op Schouwen.

Kijkt men naar andere, relevante parameters, dan wordt duidelijk dat vooral de grondwaterstanden en hiermee de voorziening met water in droogteperioden belangrijk zijn. Met toenemende afstand van het maaiveld tot het grondwater neemt de bladschade van de eikenbladeren toe (zie figuur 9). Deze verhouding blijft ook bestaan als de eiken van de monsterpunten langs de zeereep die het meest tot seaspray en wind (met zand) bloot gesteld zijn, eruit gehaald worden (bijlage 2).

De waterstanden zijn door één bodemmeting met de bodemguts tijdens de bemonstering in midden september 2021 beoordeeld. 2021 was een relatief nat jaar met 934 mm (station Vrouwenpolder, KNMI). In de droge jaren 2018 en 2019 lag dit bij respectievelijk 715 en 750 mm. Het langjarig gemiddelde ligt voor het station Vrouwenpolder bij 836 mm. De meting in september is een weergave van de lage waterstanden in het hydrologisch jaar (GLG) en berust op een eenmalige meting. De guts is niet dieper dan 1,20 m gegaan. De grotere dieptes van >120 cm zijn een aanname voor de werkelijke grondwaterstand. Op de locaties waar tot 120 cm geen vocht of grondwater gevonden kon worden, is de waterstand standaard op -200 cm gezet. Dat de beschikbaarheid van water een relevante factor voor de vitaliteit van eikenbomen is - zeker op zandgronden, ligt voor de hand. *Quercus robur* kan tot maximaal -250 cm wortelen (Hiege, 1985), maar de opname van water vindt vooral in de organische bovenlaag (humus en Ah) met een intensief, plat fijne wortelnetwerk plaats en niet met de diepe wortelen (Hiege, 1985; Coners, 2001). De aandelen van wateropname in de verschillende laagtes: organische bovenlaag, mineralische laag hieronder of dieper op 1-2 m kan zeer verschillend zijn ook per seizoen (Coners, 2001).

Het tegengaan van verdroging van duingebieden en zeker aan de binnenduintrand is zeer waarschijnlijk een cruciale factor bij het herstel of vitaal houden van eikenbossen. Vooral de locaties bos 2 en bos 5 op Walcheren zijn voorbeelden van bossen die vroeger zeer waarschijnlijk een hogere grondwaterstand kenden. De bodem is organisch rijk tot grote

diepte (40-90 cm), lijkt deels afgebroken, organische grond en in de kruidlaag is veel stekelvaren (*Dryopteris* ssp., meestal *dilatata*) te vinden. Vooral de stekelvaren kunnen op een verdroging duiden. Of dit werkelijk zo is en in welke mate het misschien plaats gevonden heeft, moet in een groter en vooral hydrologisch onderzoek bekeken worden. Hydrologisch herstel oftewel voldoende verzorging met water wordt alleen maar relevanter met de toename van hete zomers en droogteperiodes onder invloed van een veranderend klimaat. Een tekort aan kalium in de bladeren zorgt ook voor een slechtere functionaliteit van de huidmondjes, dus bovenop voor een slechtere vochtregulatie tijdens droog en heet weer.



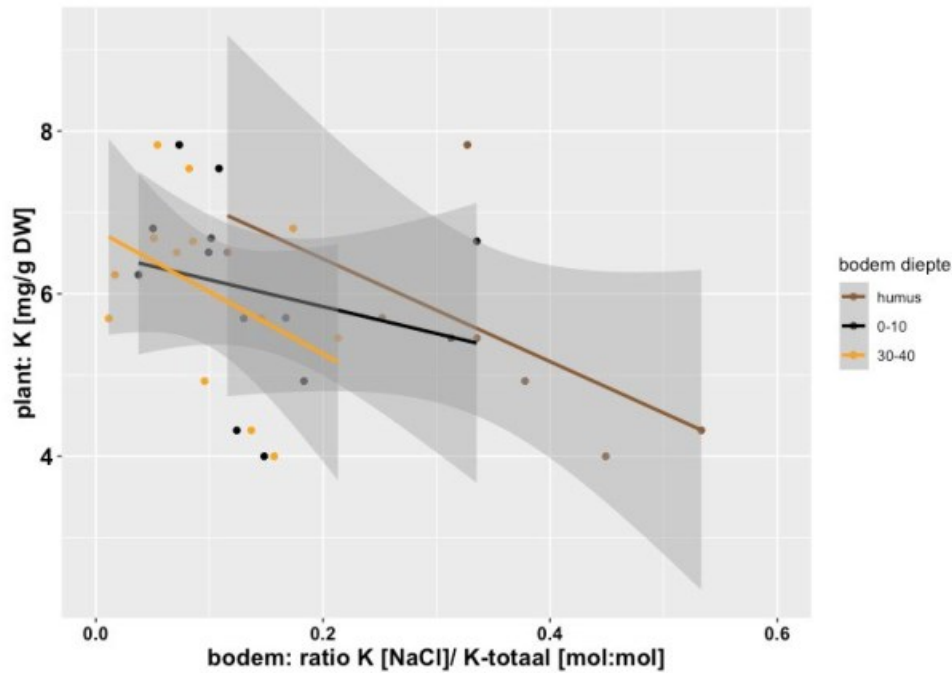
figuur 9. Correlatie van de beschadiging [%] van de eikenbladeren uit de kroontop van de eikenbomen afhankelijk van de waterstand onder maaiveld [cm] op de monsterlocaties [eenmalige meting tijdens bemonstering met de bodemguts] per duinzone [zee - dichtbij de zeepeep, midden - midden in het duingebied, rand - aan de binnenduintrand van het duingebied] en de locatie in de Manteling en op Schouwen.

## Relevante bodemprocessen & standplaatsfactoren

De vitaliteit van bomen hangt in het algemeen sterk af van de bodem - chemische samenstelling, korrelgrootte, bodemleven etc. - en watervoorziening. In dit project is op iedere locatie de chemische samenstelling van de bladeren en de bodemchemie gemeten. Men kan dus de samenhang van bodemprocessen en bladchemie controleren.

Het zou voor de hand liggen dat bij een hogere concentratie of beschikbaarheid van kalium in de bodem er een toename van kalium in het blad te zien zou zijn. Kijken we naar de absolute concentratie van plant beschikbaar kalium (K-NaCl extract) of naar de totale concentratie van kalium in de bodem dan is er echter geen verband met de concentratie van kalium in het blad te zien. Wordt de relatieve beschikbaarheid van kalium ten opzichte van het totale gehalte, dus de ratio van het K-zout extract met het totale kalium gehalte tegen de concentratie van kalium in de bladeren geplott, dan zien we zelfs een negatieve trend (zie figuur 10). Dit betekent dus, dat hoe meer kalium er relatief beschikbaar is in de bodem, hoe minder kalium er wordt opgeslagen in de eikenbladeren. De verwachte positieve

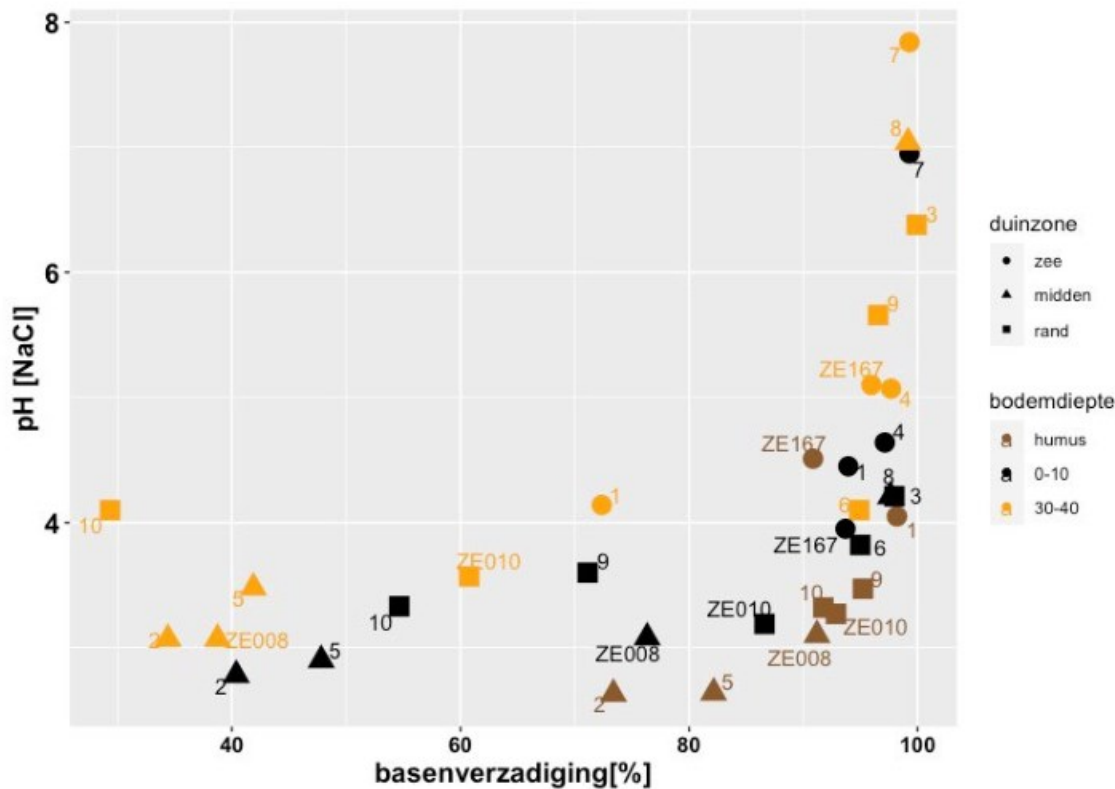
.....  
 correlatie tussen beschikbaar kalium in de bodem en de concentratie van kalium in de bladeren volgt dus niet uit de dataset van deze 13 duinbossen. Sterker nog, de correlatie is negatief. Er moet dus een ander relevant proces zitten achter de geringere kalium concentraties in de bladeren.



figuur 10. Correlaties van kalium concentraties in de eikenbladeren [mg/g DW] met de ratio van K [NaCl extract] met K-totaal [mol:mol] per bodemdikte humuslaag [Of& Oh ca. 2-10 cm], de organisch rijke bovenhorizont Ah 0-10 cm en de mineralische onderliggende grond 30-40 cm [B of C laag].

De vraag is welke processen dit kunnen zijn. Een van de meest waarschijnlijke is de verzuring van de bodem. Door een grotere toevoeging van H<sup>+</sup>-ionen worden meer kationen die in bodemcomplexen aanwezig zijn (minerale of humus deeltjes) uitgewisseld, wordt de bodem uitgeloozd en daalt de buffercapaciteit van de bodem en dus de pH. Kalium is een van de kationen die met verzuring uitgewisseld kunnen worden. Door deze uitwisseling komt meer kalium beschikbaar en stijgt de verhouding van K [zout-extract] met de totale hoeveelheid kalium in de bodem (zie figuur 11). Een hogere getal voor de ratio van kalium [zout-extract] met totaal kalium kan misschien als een weergave van de mate van verzuring in de bodem gezien worden.

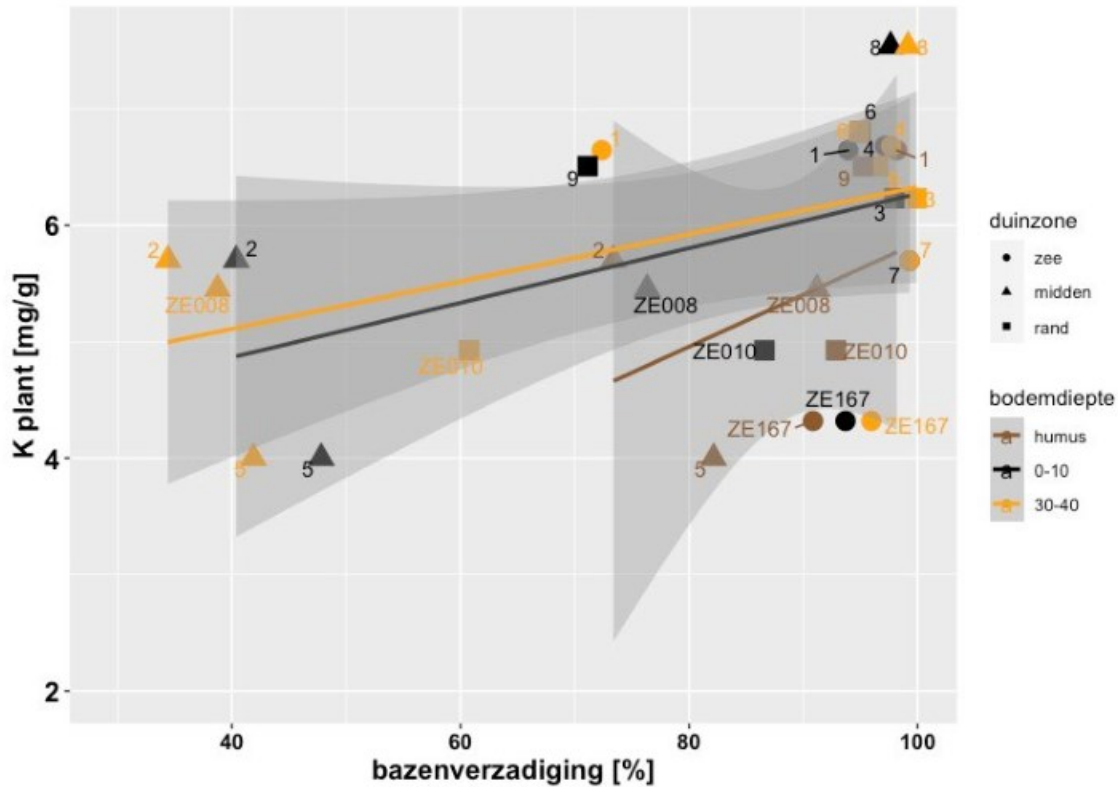




figuur 12. Correlaties van de pH [NaCl] met de basenverzadiging [%] per bodemdiepte humuslaag [Of& Oh ca. 2-10 cm], de organisch rijke bovenhorizont Ah 0-10 cm en de mineralische onderliggende grond 30-40 cm [B of C laag] en duinzone [zee - dichtbij de zeereep, midden - midden in het duingebied, rand - aan de binnenduinrand van het duingebied] in de Manteling en op Schouwen.

De basenverzadiging biedt een veel gedifferentieerder beeld van de samenstelling van de kationen in de bodem dan de pH-waarde (alleen hoeveelheid  $H^+$  /  $OH^-$ ). Duidelijk wordt, dat de basenverzadiging ook een relatief goede samenhang toont met de hoeveelheid kalium in de eikenbladeren (zie figuur 13). De concentraties van kalium in het blad nemen toe als de basenverzadiging hoger is. De spreiding van de datapunten is ook hier weer relatief groot. Een grotere dataset kan dit probleem oplossen en de invloed van enkele uitschieterende datapunten verminderen. (In deze grafiek heeft bijvoorbeeld de humuslaag van punt 2 een grote invloed op de regressielijn. Zonder deze uitschieter was de stijging veel groter geweest.) Het zou ook kunnen, dat de invloed van de minerale lagen van 0-10 cm en van 30-40 cm op de hoeveelheid kalium in het blad niet groot is of zelfs nihil en alleen de humuslaag een belangrijke rol speelt in de voorziening van kalium voor het blad en dus de kaliumconcentratie in het blad bepaald. Deze hypothese kan alleen met een grotere dataset worden getest. In een groot onderzoek in Zwitserland van verzuring in bossen werd gevonden, dat met een basenverzadiging van ca. 30-40 % bomen ernstige schade opliepen (Bundesrat, 2017). De oorzaak voor het causale verband tussen verzuring en kalium gehalten in het blad ligt waarschijnlijk in de wortelgroei. Met toenemende verzuring en daardoor toenemende hoeveelheden opgelost aluminium in de bodem en het bodemvocht neemt de hoeveelheid fijne wortels af (Bundesrat, 2017). Aluminium werkt voor veel planten die aan een gebufferde bodem gebonden zijn toxisch (de Graaf et al, 1997). Er is dan niet voldoende worteloppervlak, om kalium in voldoende mate op te nemen. Het is zeer waarschijnlijk dat ook de Mycorrhizaschimmels afnemen in deze bodems met een lage basenverzadiging en hoge aluminium concentraties. Hiermee wordt het ondergrondse netwerk verder verkleint.

Met een afnemende hoeveelheid wortelen bij een lagere basenverzadiging < 40% neemt bovendien de droogtetolerantie van bomen sterk af en hebben droge jaren een nog sterkere negatieve invloed op bomen (Bundesrat, 2017).



figuur 13. Correlaties van de kalium gehalte [mg/g DW] in de eikenbladeren met de basenverzadiging [%] per bodemdiepte humuslaag [Of & Oh ca. 2-10 cm], de organisch rijke bovenhorizont [Ah 0-10 cm] en de mineralische onderliggende grond [30-40 cm, B of C laag] en duinzone [zee - dichtbij de zeereep, midden - midden in het duingebied, rand - aan de binnenduinrand van het duingebied] in de Manteling en op Schouwen.

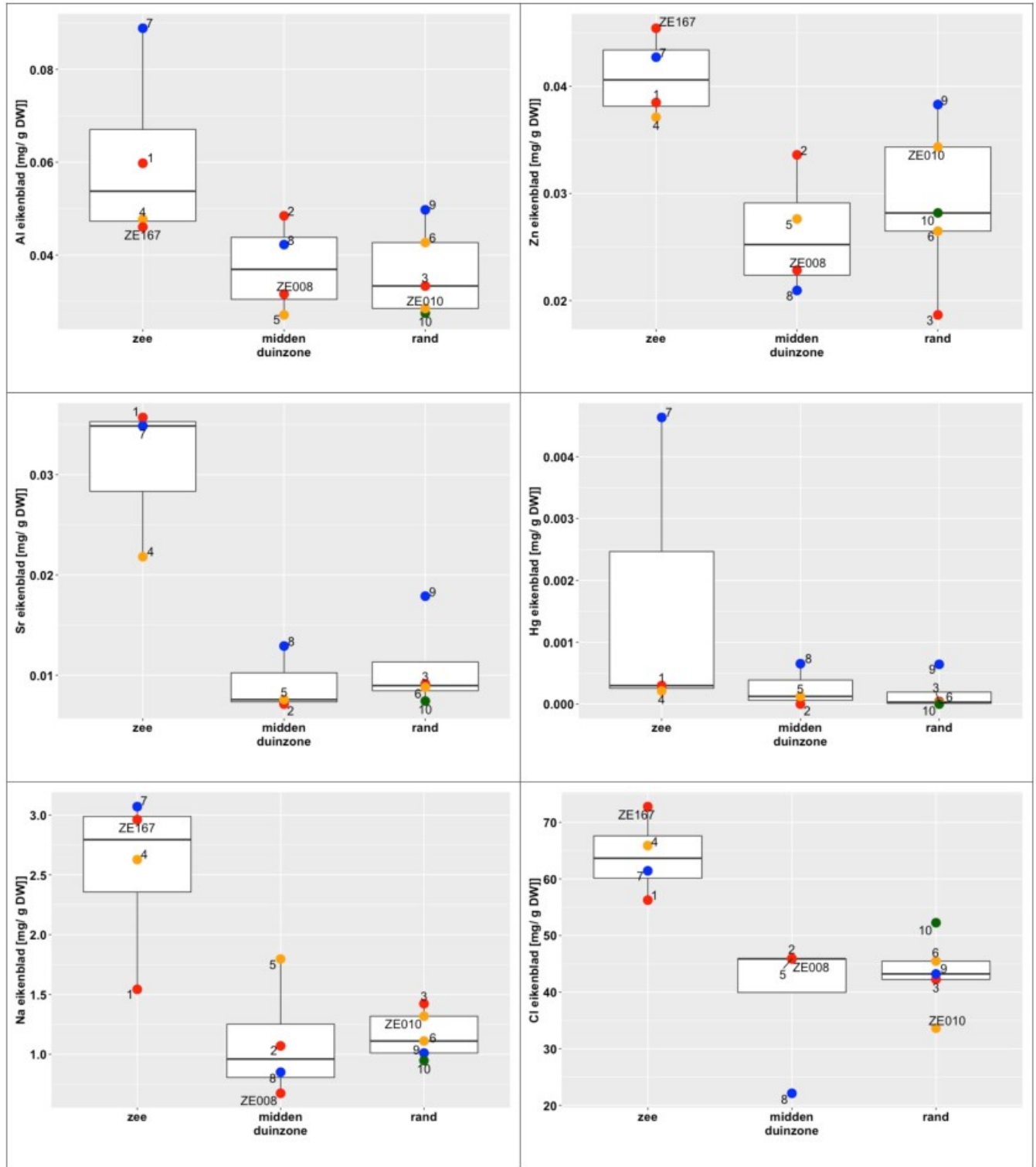
## Zware en lichte metalen in blad en bodem

In de eikenbladeren langs de zeereep zijn verhoogde concentraties van aluminium (Al), zink (Zn), strontium (Sr) en misschien licht verhoogd kwik (Hg) gemeten (zie figuur 13).

Tegelijk zijn hier ook verhoogde concentraties van chloor (Cl) en natrium (Na) vastgesteld. Deze verhoogde zoutconcentratie (Cl & Na) komt door de sterke blootstelling aan 'seaspray' langs de zee. Of de (zware) metalen ook via 'seaspray' bij de eikenbladeren komen is niet zeker, maar wel zeer waarschijnlijk. Zo komen verhoogde strontium concentraties in bodem en water eigenlijk alleen door menselijke activiteiten voor zoals verbranding van huis- of industrieafval (Davis et al., 1995).

Er kon geen correlatie voor aluminium, zink, chloor of natrium van de concentratie in de bodem (zout extract, totale gehalten) met de concentratie in het blad gevonden worden. Een directe, eenvoudige link tussen de concentraties in het blad met de bodem bestaat niet. Een andere bron voor deze elementen is aannemelijk.



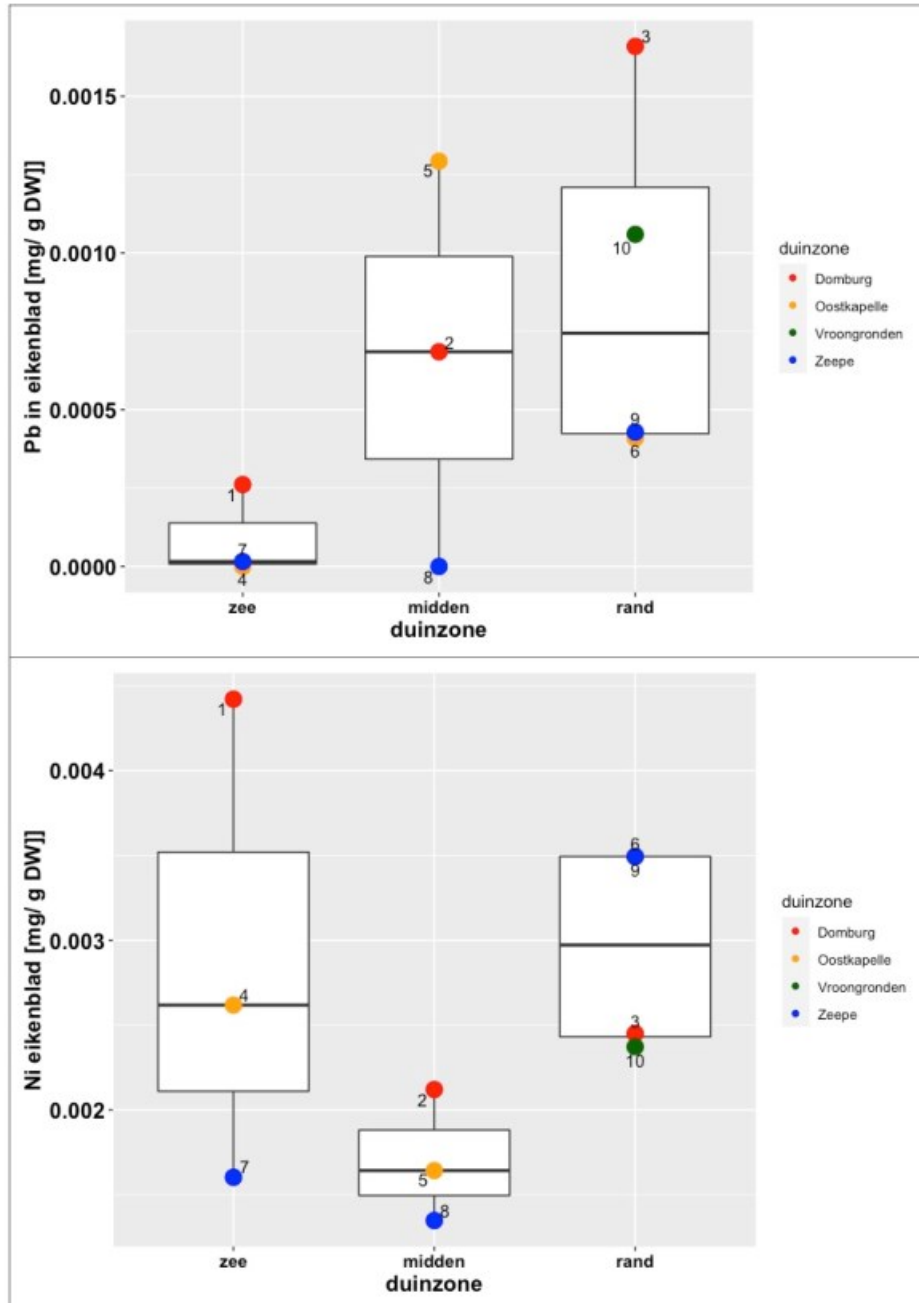


**Figuur 15.** Boxplots van verschillende (zware) metalen (Al, Zn, Sr, Hg) en elementen (Na, Cl) in de eikenbladeren [mg/g DW] in de Manteling en op Schouwen. De kleur van de punten geeft de locaties aan: rood-Domburg, oranje-Oostkapelle, groen-Vroongronden, blauw-Zeepe.

Verder valt op, dat de concentratie van lood (Pb) naar de duinrand toeneemt, in ieder geval t.o.v. de concentraties langs de zeereep verhoogd zijn (figuur 16). Er bestaan geen grenswaarden voor lood vanaf wanneer concentraties toxisch voor een boom zijn of welke waarden een achtergrondconcentratie zijn in schone gebieden. Voor nikkel (Ni) lijkt zowel van de kust als ook van het binnenland een verhoogde toevoer te bestaan (figuur 16). In de omgeving van Tata Steel werden

.....

in mos-monsters verhoogde concentraties van nikkel gevonden (ongepubliceerd onderzoek, Camiel Aggenbach KWR). In hoeverre ook eikenbladeren nikkel of andere metalen makkelijk via de lucht opnemen, is minder onderzocht. De spreiding van de data is relatief hoog en alleen met een grotere dataset kunnen trends en verschillen bevestigd worden.



Figuur 16. Boxplots van verschillende (zware) metalen (Pb, Ni) in de eikenbladeren [mg/g DW] in de Manteling en op Schouwen. De kleur van de punten geeft de locaties aan: rood-Domburg, oranje-Oostkapelle, groen-Vroongronden, blauw-Zeepe.

.....

## Antwoorden op vragen

A) In hoeverre lijkt de achteruitgang in vitaliteit van de eiken veroorzaakt te worden door de hoge stikstofdepositie?

In alle monsterlocaties is de stikstofgehalte in de eikenbladeren aan de hoge tot luxuriëuze kant vergeleken met een grotere Europese meta-analyse (Mellert & Göttlein, 2012). De stikstofconcentratie is vooral hoger in de eiken die dicht achter of op de zeereep staan, dus het meest geëxponeren zijn tot seaspray. Vanuit de Noordzee komen met de seaspray niet alleen zouten (Na, Cl) mee, maar ook stikstofverbindingen. Of dit vooral in de vorm van ammoniak is of opgelost in de seaspray is onbekend. De verhoogde waarden in stikstofdepositie langs de kust zijn al langer bekend en zijn goed te correleren met hogere concentraties van algen in het zeewater (Noordijk et al, 2014). Naar de emissies vanuit de Noordzee, hoeveelheden van depositie en mechanismen wordt op dit moment nog verder onderzoek vanuit het RIVM uitgevoerd. Door de hoge stikstofdepositie wordt de disbalans met elementen die in de bladeren al schaars zijn, nog versterkt. Dit geldt vooral voor kalium (zie vraag 2).

De hoge depositie in de duinen van de Manteling en Schouwen leidt (nog?) niet tot een sterke verzuring op alle locaties van de onderzochte duinen. De duinen van Walcheren en Schouwen zijn van nature relatief kalkrijk en verzuren niet overal even snel. Op locaties met een laag kalkgehalte kan de buffering snel dalen. Bij een basenverzadiging onder 40% wordt de wortelgroei van bomen als ook de hoeveelheid aan mycorrhiza in de bodem sterk vermindert (Bundesrat, 2017). Een lagere basenverzadiging komt vooral op locaties in het middenduin en langs de binnenduinrand voor.

B) Is er sprake van een nutriënten disbalans in het blad?

Er heerst alleen voor kalium een duidelijke disbalans in verhouding met stikstof. De N/K ratio in de eikenbomen vooral langs de zeereep en in het middenduin zijn hoger dan de optimale verhouding tussen deze elementen bij vitale bomen. De reden hiervoor is een tekort aan kalium maar vooral ook een luxuriëuze gehalte van stikstof in de eikenbladeren op deze locaties. Voor calcium, magnesium en fosfor kon geen disbalans of in veel mindere mate vast gesteld worden. De lagere gehalten aan K en hogere N/K ratio zijn waarschijnlijk veroorzaakt door een verzuring van de bodem en een lagere basenverzadiging (<40%) en niet door een lagere beschikbaarheid van kalium in de bodem. Bij een lagere basenverzadiging wordt de wortelgroei geremd en is het ondergrondse mycorrhiza-netwerk minder uitgebreid (Bundesrat, 2017). Verder treedt bij lage pH-waarden een hogere concentratie van aluminium op die voor veel vaatplanten en hun wortelgroei schadelijk is (de Graaf et al., 1997). Welke processen in de duinbodems werkelijk spelen, is in dit onderzoek niet onderzocht.

Door een verminderde ondergrondse netwerk zijn bomen droogte-gevoeliger. Een tekort aan kalium versterkt deze gevoeligheid voor droogte. Kalium is een belangrijk element bij de regulering van de huidmondjes en hiermee de vochtregulatie. Bij de onderzochte eiken in de Manteling en Schouwen werd bovendien een duidelijke toename van beschadiging van de bladeren op drogere standplaatsen gevonden. De grondwaterstanden en verlaging hiervan zijn een belangrijke schakel voor de vitaliteit van de eiken. Hier kan relatief lokaal aan gewerkt worden, om de standplaatscondities te verbeteren. Bij oude eiken moet een langzame verhoging van grondwaterstanden plaats vinden, om een aanpassing mogelijk te maken. Bij een te snelle en te grote verhoging in één keer riskeert men een sterfte van de bomen.

C) In hoeverre kunnen zware metalen een verklaring bieden voor de gevonden verschillen in vitaliteit?

De invloed van zware metalen op de vitaliteit van de eiken is onduidelijk. Hier bestaat ook weinig onderzoek over en er bestaan geen grenswaarden of alleen zeer beperkt vergelijkbare datasets. Langs de zeereep veroorzaken de hoge concentraties van zout (Na en Cl) als ook zandverstuiving veel beschadiging aan de bladeren. Deze twee factoren zijn natuurlijke factoren, waar bomen in de duinen altijd mee te maken hebben. Een 'stunted growth' en langzamere groei zijn natuurlijke fenomenen voor bomen en struiken langs de kust. Wel zijn de hoeveelheden van bijvoorbeeld aluminium en strontium verhoogd in de bladeren langs de zeereep. De mogelijkheid dat deze elementen een negatieve invloed op de vitaliteit van eiken hebben, is aannemelijk. In een breder onderzoek van eiken langs de Nederlandse kust wordt dit verder onderzocht en kunnen hopelijk duidelijkere trends vastgesteld en uitspraken gemaakt worden.

## Conclusie

Binnen dit onderzoek aan de vitaliteit van eiken in de duinbossen in de Manteling en Kop van Schouwen kon een beginnende disbalans in de bladchemie van eikenbladeren vast gesteld worden. De N/K ratio is hoger dan optimaal voor vitale eiken. Dit wordt deels veroorzaakt door een luxuriëuze gehalte van stikstof in de eikenbladeren, maar ook door lage gehalten aan kalium. De eutrofiërende werking van een verhoogde stikstofdepositie - hogere N concentraties in bladeren - als ook de verzurende werking - lagere K concentraties in bladeren - spelen hier zeer waarschijnlijk een grote rol. Bij eiken die op vochtigere standplaatsen staan, in het bereik van het grondwater, is het herstel van een natuurlijk grondwaterregime een geschikte maatregel om de vitaliteit te verbeteren.

## Literatuur

- Bundesrat. (2017). Optionen zur Kompensation der Versauerung von Waldböden und zur Verbesserung der Nährstoffsituation von Wäldern - Darstellung und Bewertung. Retrieved from <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/47185.pdf>
- Coners, H. (2001) Wasseraufnahme und artspezifische hydraulische Eigenschaften der Feinwurzeln von Buche, Eiche und Fichte: In situ-Messungen an Altbäumen. Dissertation Georg-August Universität Göttingen.
- Davis, D. D., Skelly, J. M., & Nash, B. L. (1995). Oak in Relation To Atmospheric Deposition in Pennsylvania. *Proceedings 10th Annual Central Hardwood Conference*, 188-195.
- De Graaf, M. C. C., Bobbink, R., Verbeek, P. J. M., & Roelofs, J. G. M. (1997). Aluminium toxicity and tolerance in three heathland species. *Water, Air, and Soil Pollution*, 98(3-4), 229-239. <https://doi.org/10.1007/BF02047036>
- Hiege, W. (1985) Wasserhaushalt von Forsten und Wälder und der Einfluss des Wassers auf Wachstum und Gesundheit von Forsten und Wälder: eine Literaturstudie. Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp", Utrecht.
- Mellert, K. H., & Göttlein, A. (2012). Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. *European Journal of Forest Research*, 131(5), 1461-1472. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0615-8>
- Noordijk, H., Hollander, A., Sauter, F., & Van Pul, W. A. J. (2014). *Ammoniakdepositie in de duinen langs de Noordzee- en Waddenzeekust: Analyse van het verschil tussen gemeten en met OPS gemodelleerde concentraties*. RIVM Rapport 680030001/2014. Bilthoven.

## Bijlagen

### Bijlage 1

Methoden analyse bladeren en bodem in het laboratorium B-WARE

#### Bewerking van de bodemmonsters

##### *Drooggewicht en organisch stofgehalte*

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal in duplo af te wegen in aluminiumbakjes. De bakjes werden precies tot aan de rand afgevuld (volume = 40,5 ml), zodat de soortelijke massa van de bodem kan worden bepaald. De bodems werden gedurende minimaal 48 uur gedroogd in een stoof bij 60 °C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal opnieuw gewogen en werd het vochtverlies berekend. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door via het gloeiverlies bepaald. Hiertoe werd gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550 °C. Na het uitgloeien werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en werd het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

##### *Destructie*

Door de bodem en plantmateriaal te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO<sub>3</sub>, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega of Ethos Easy) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruueerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. Het destruaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

##### *Olsenextractie*

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

##### *Water- en zoutextractie*

Met een water- en zoutextractie kunnen de vrij in de bodem aanwezige ionen of de zoutuitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml zoutextract (0,2 mol l<sup>-1</sup> NaCl) of 50 ml demiwater gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH-electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard bij 4 °C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analyzers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

##### *C/N-analyse bodem- en plantmateriaal*

Voor de analyse van de totale hoeveelheid koolstof en stikstof werd een deel van het verzamelde bodem- of plantmateriaal fijngemalen in een kogelmaler. Afhankelijk van het soortelijk gewicht van het materiaal en de verwachte concentraties, werd een kleine hoeveelheid (3-40 mg) van het

.....  
gemalen materiaal in een tinnen container afgewogen, waarna het in een CNS-elementenanalyser (Vario Micro Cube, Elementar) werd geanalyseerd.

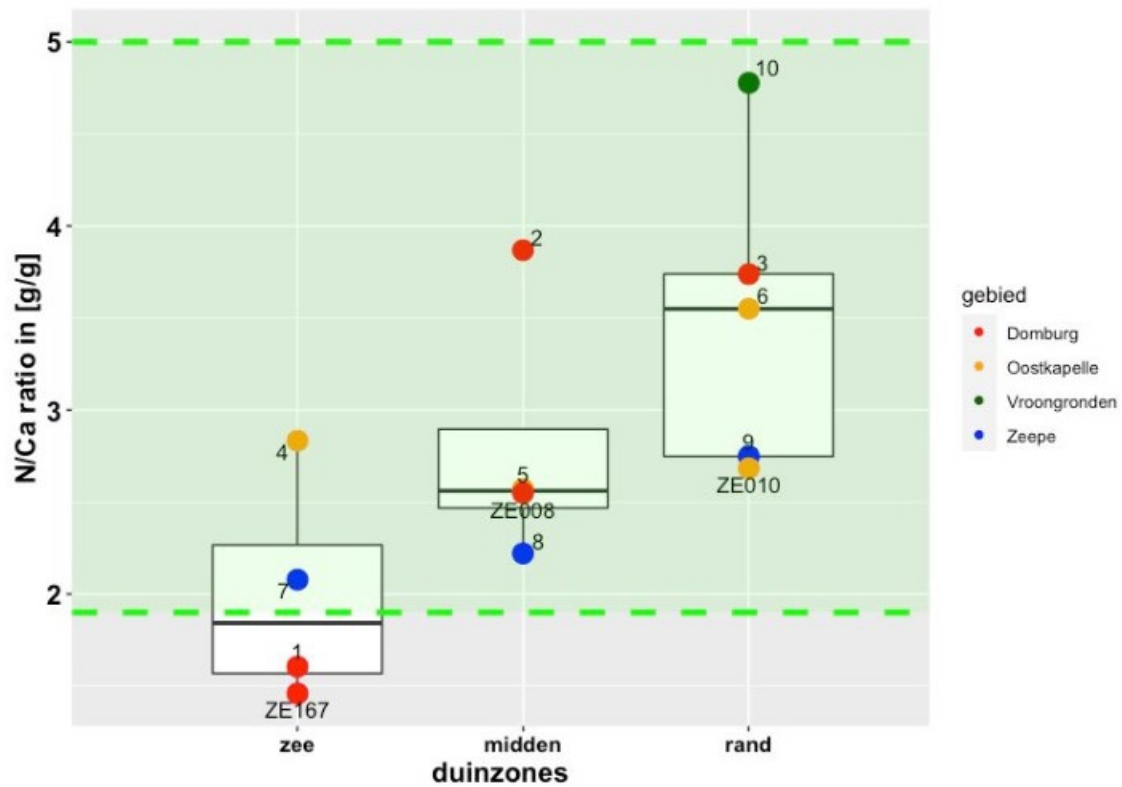
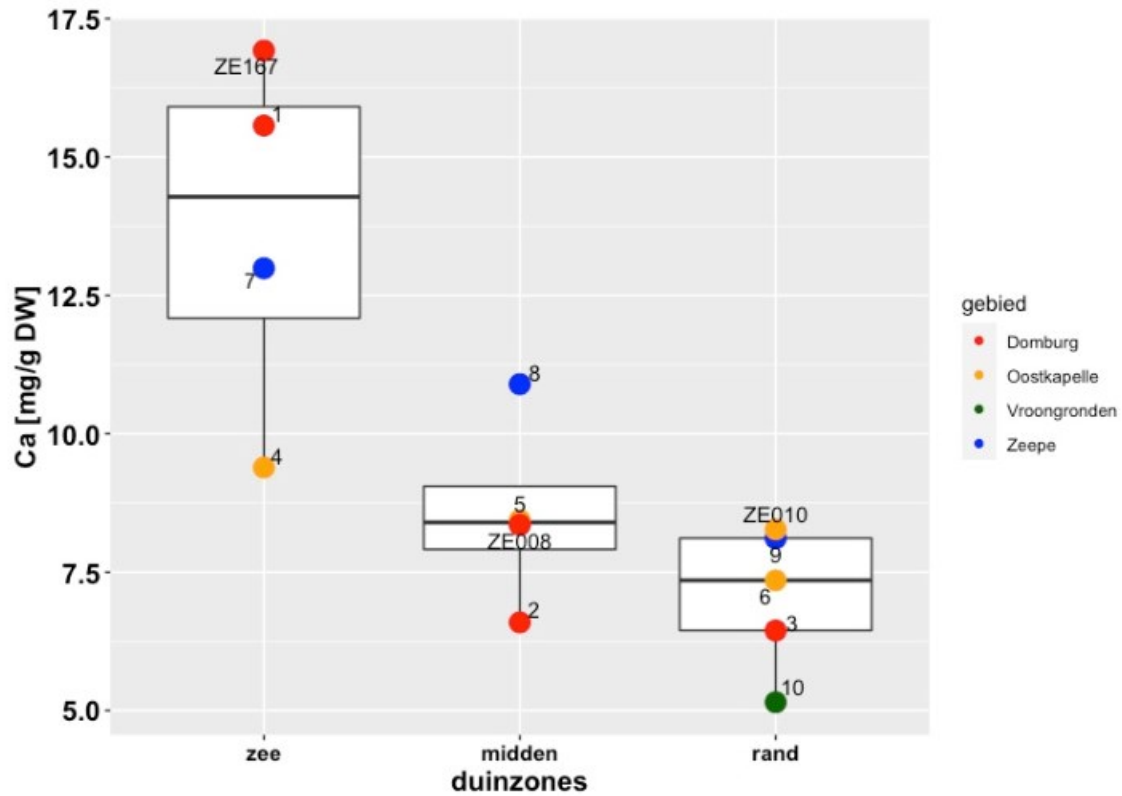
### **Chemische analyses**

Elementenanalyse (ICP en auto-analysers)

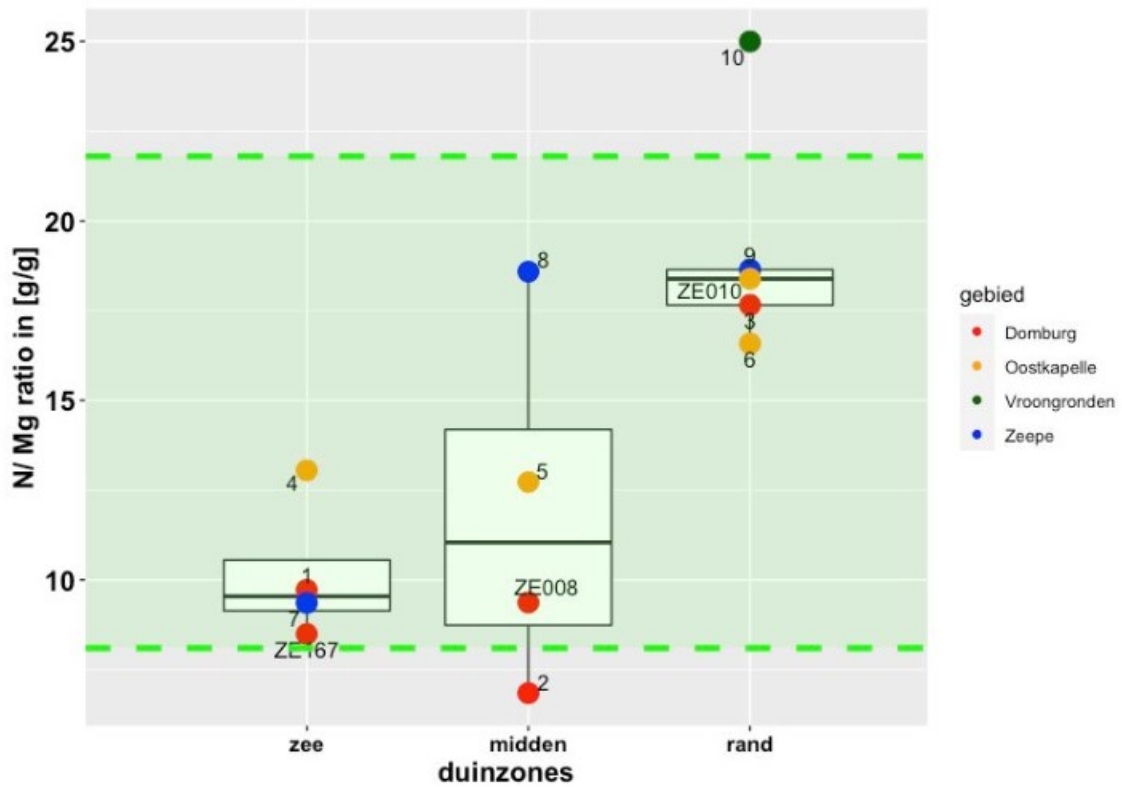
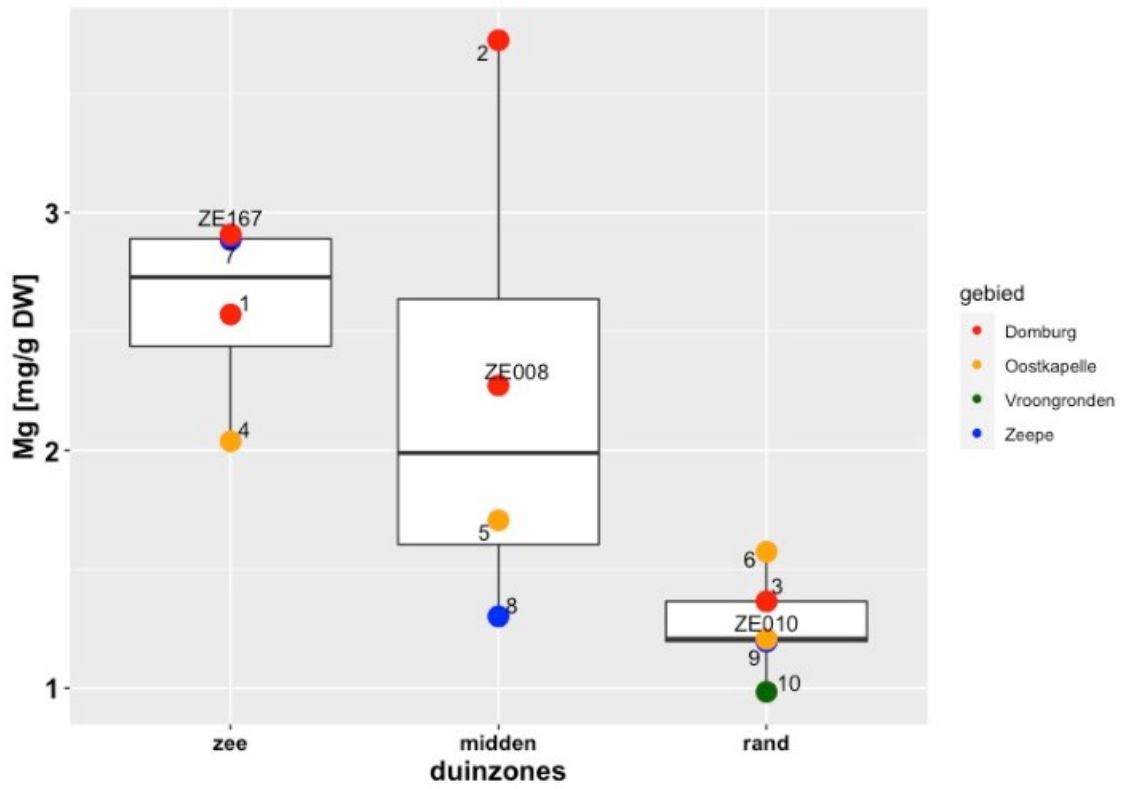
De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific of, ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en fosfaat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl<sup>-</sup>) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na<sup>+</sup>) en kalium (K<sup>+</sup>) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

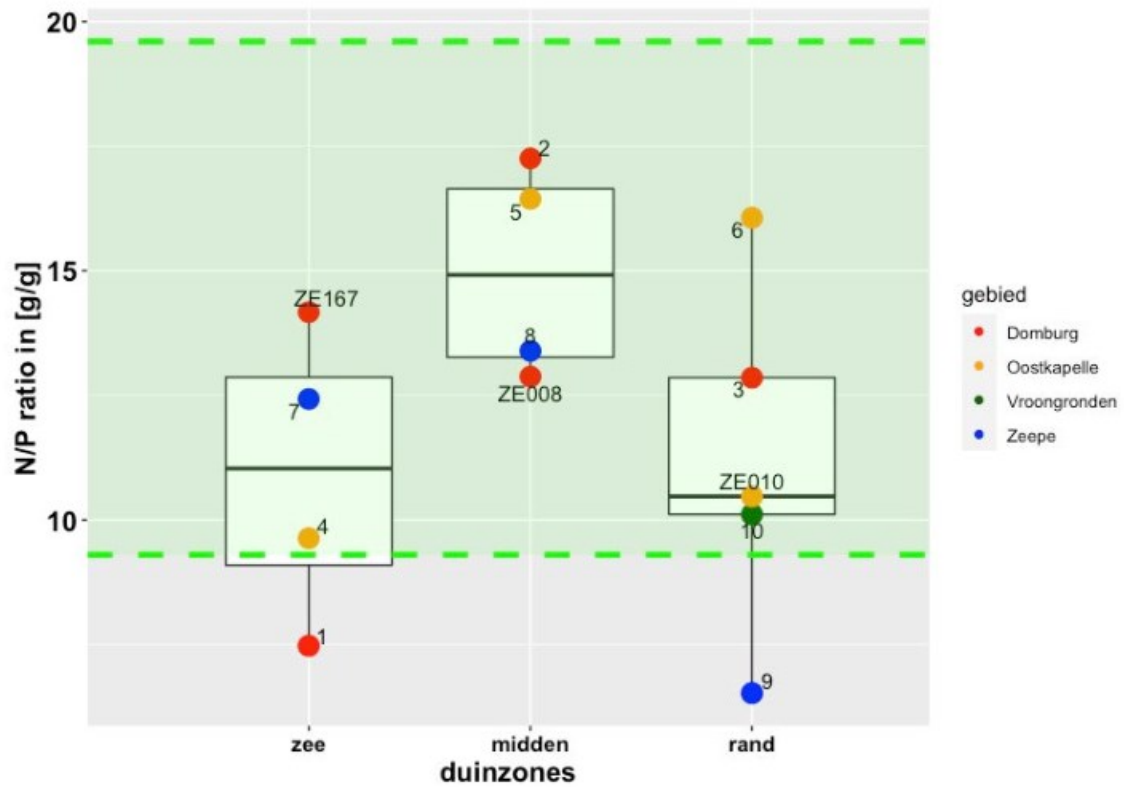
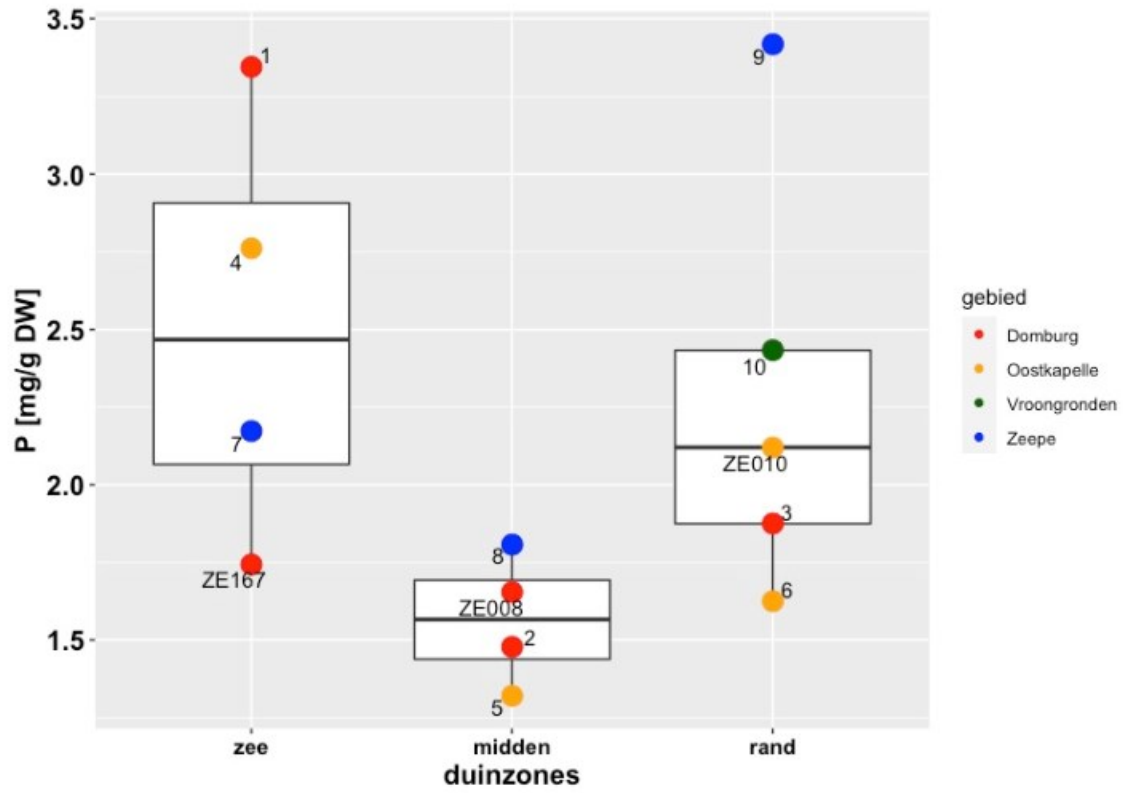
Bijlage 2

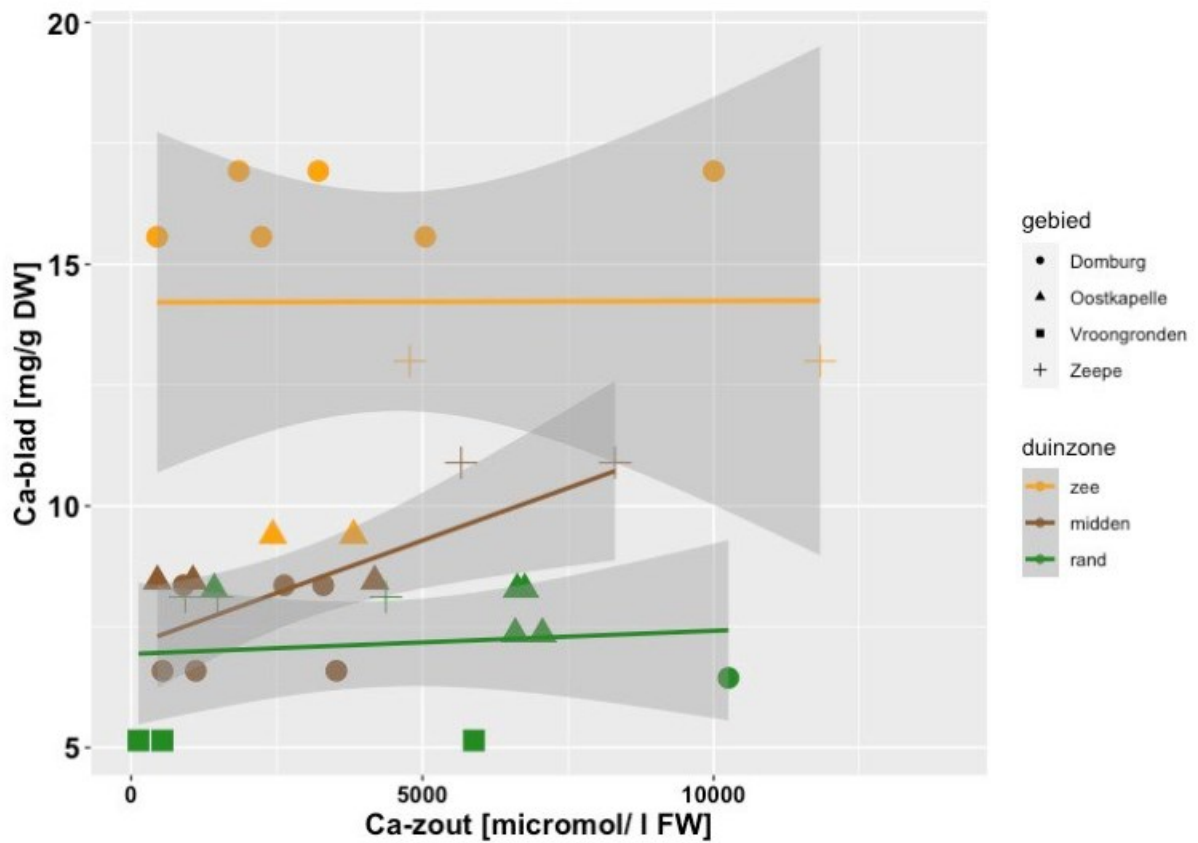
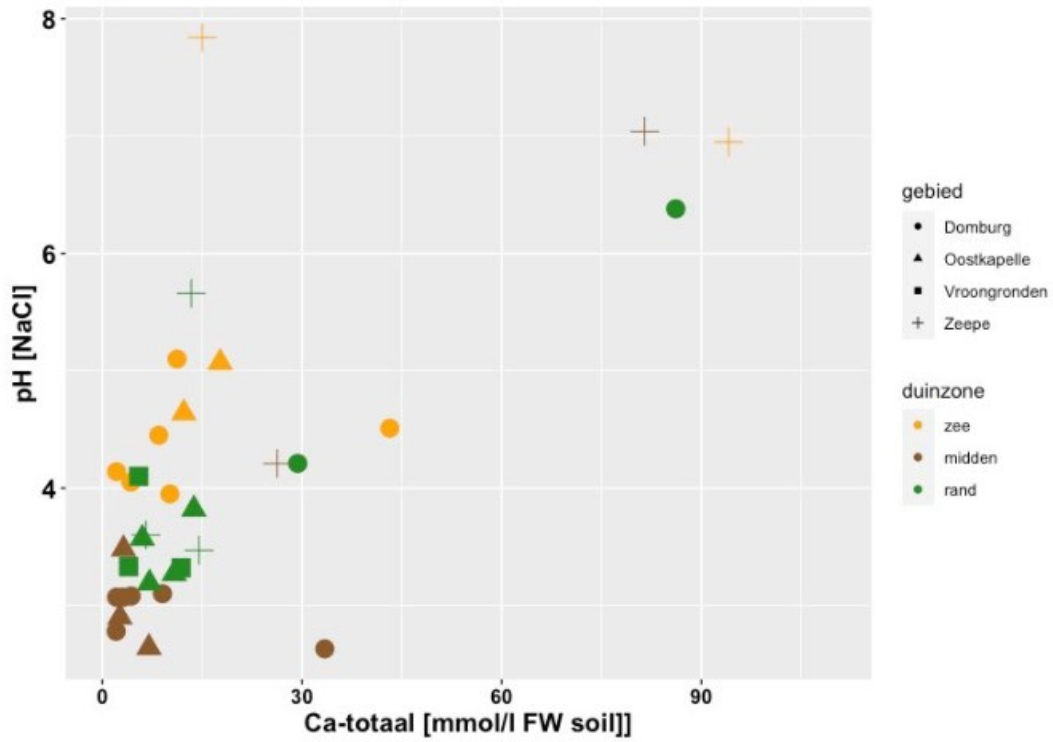
Extra grafieken voor de chemische gehalten in de bladeren en in de bodem.

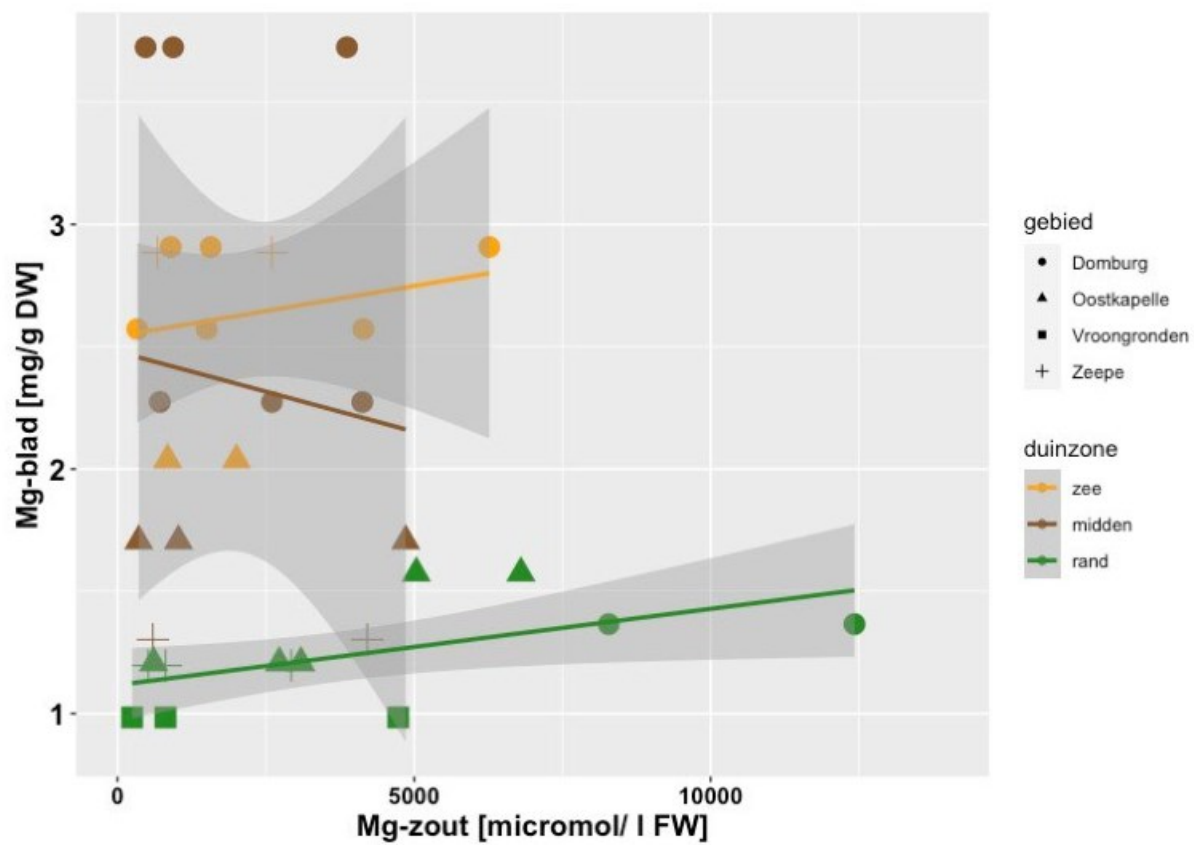












Bijlage 3: Foto's en korte beschrijving van plots

Plot ZE167 (B-WARE nummer 64)

- particulier terrein - droog bos-struweel
- in luwte van zeereep, relatief hoog en droog gelegen



Plot ZE008 (B-WARE plot 65)

- vroeger vochtig eikenbos, nu verdroogd
- langs binnenduinrand



Plot ZE010 (B-WARE plot 66)

- zeer oud, (verdroogd?) droog eikenbos



Bos 1

- duinbos/-struweel in lichte van zeereep, op rand met duingrasland
- deels afgestorven en bladeren sterk beschadigd, ook op bladeren; niet sterk wind geëxponerd



Bos 2

- vochtig eikenbos langs de binnenduinrand
- met veel stekelvarens



Bos 3

- Eik in gemengd loofbos op vochtige, zandige klei



Bos 4

- droog bos(struweel) geëxposeerd tov de zee



Bos 5

- verdroogd (?) bos langs de binnenduinrand met veel stekelvarens  
- zeer organisch-rijke minerale bodemlaag met dik humuslaag



Bos 6

- hoge eik in dicht bosbestand op zand boven klei - dichtbij polder  
- regelmatige greppels/ sloten in het bos





Bos 7

- zeer geëxponeerd tot de zee gelegen eikenboom, op de zeereep
- op locatie die bovendien recent is vrijgesteld? - lijkt erop



Bos 8

- in een kom, zeer beschut gelegen eik, midden in het bos





Bos 9

- solitair staande oude eik, hoog en droog - omringd door duingrasland



Bos 10

- droog eikenbosje dichtbij de Vroongronden

