



RESEARCH CENTRE

Vegetatie en bodemchemisch onderzoek in de Manteling van Walcheren en de Kop van Schouwen

Eindrapport



BIOGEOCHEMICAL WATER-MANAGEMENT & APPLIED RESEARCH ON ECOSYSTEMS

Opdrachtgever: [redacted] Provincie Zeeland • Projectnummer: PR21.065

Rapportnummer: RP-21.065.22.6 • Auteurs: [redacted] Datum: 03.02.2022



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: Duinlandschap in de Manteling op Walcheren [REDACTED]

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.

.....

Contents

1.	Achtergrond en vraagstelling	4
2.	Materiaal & Methodes.....	5
3.	Huidige toestand van de verschillende gebieden: bodemchemie ..	8
3.1	<i>Calciumgehalte</i>	8
3.2	<i>Basenverzadiging</i>	10
3.3	<i>pH-waarde</i>	11
3.4	<i>Organisch stofgehalte</i>	12
3.5	<i>Nutriëntenconcentraties</i>	14
4.	Vergelijking tussen de metingen in 2002/2003 en 2021	20
4.1	<i>Bodemchemische parameters</i>	20
4.2	<i>Vergelijking van de bodemprofielen</i>	22
5.	Gemeten bodemvocht in de duinvalleien in 2021	27
6.	Chemische analyse van de plantenbiomassa in 2021	31
7.	Verandering van vegetatie in de laatste 20 jaar	34
8.	Conclusies en antwoorden op de vragen	40
9.	Literatuur	45

1. Achtergrond en vraagstelling

Op Walcheren en de Kop van Schouwen in Zeeland bevinden zich grote duingebieden met een mozaïek van duingraslanden, duinvalleien, duinstruwelen en duinbossen. De Manteling van Walcheren en de Kop van Schouwen zijn aangewezen als N2000-gebieden. Dit betekent dat voor beide gebieden instandhoudingsdoelen zijn geformuleerd, onder meer voor de Habitattypen H2130 Grijze duinen (alle typen), H2190 Vochtige duinvallei (alle typen) en Duinbossen H2180 (alle typen).

De kwaliteit van de habitattypen wordt grotendeels bepaald door de abiotische condities van de bodem. Zo komen goed ontwikkelde grijze duinvegetaties voor op sterk tot matig gebufferde bodems en zijn de meest soortenrijke duinvalleivegetaties vaak te vinden op plekken waar sprake is van aanvoer van mineraalrijk kwelwater tot in de wortelzone, of op vochtige locaties met kalkbodem, bijvoorbeeld schelpgruis.

De abiotische condities van de bodem veranderen constant als gevolg van natuurlijke bodemprocessen. Verschillende factoren beïnvloeden die processen wat onder meer kan leiden tot het versnellen of juist vertragen van deze processen. Een voorbeeld: het verzuren van de bodem van grijze duinen is een natuurlijk proces, maar dit kan vertraagd worden door overstuiving met kalkrijk zand, of juist versterkt worden door een hoge stikstofdepositie.

Door inzicht te krijgen in (het verloop van) de abiotische condities van de gebieden, kan een goed beeld verkregen worden van de ontwikkelingen en de huidige kwaliteit van de habitattypen én kan een goede inschatting gemaakt worden over de te verwachten ontwikkelingen. Hierdoor is het makkelijker om gericht keuzes te maken voor het beheer en om te bepalen welke eventuele extra maatregelen nodig zijn om de kwaliteit zo goed mogelijk te krijgen.

Om een goed beeld te krijgen van de huidige kwaliteit en de abiotische condities van de Manteling van Walcheren en de Kop van Schouwen, is in beide gebieden een vegetatiekundig en bodemchemisch onderzoek uitgevoerd. Extra reden daartoe was dat voor beide gebieden geldt dat grote delen van de grijze duinen en de vochtige duinvalleien overbelast worden met atmosferische depositie van stikstof. Dit betekent dat de stikstofdepositie dermate hoog is dat dit mogelijk leidt tot ongunstige abiotische condities voor de beoogde habitattypen. Door dit bodemchemisch onderzoek gecombineerd met plantchemisch onderzoek uit te voeren, is getracht een goede inschatting te maken van de mate van (te verwachten) negatieve impact van de hoge stikstofdepositie op de verschillende instandhoudingsdoelstellingen.

Daarbij is ook een analyse gedaan van de verandering in tijd (over een tijdspanne van ca. 20 jaar), door de resultaten van dit onderzoek te vergelijken met het vergelijkbare onderzoek van begin 2000, uitgevoerd door ██████████ in het kader van zijn proefschrift "Een wereld van verschil, landschap en plantengroei van de duinen op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden". Doel daarbij was te kijken hoe en in welke mate de bodem en de vegetatiesamenstelling is veranderd in de afgelopen 20 jaar. Belangrijk was daarbij om inzicht te krijgen in welke parameters de afgelopen jaren -en momenteel- sturend zijn (geweest) voor de huidige kwaliteit/staat van instandhouding van de habitattypen.

Bij de analyse is onderscheid gemaakt tussen Walcheren en Schouwen, én daarbinnen tussen de verschillende habitattypen van vooral open vegetaties. De bossen zijn ook bemonsterd, maar worden in een tweede rapportage analyseert. Op die manier zijn de verschillen per locatie en habitatype zo goed mogelijk beschreven.

.....
De onderzoeksvragen waar binnen dit onderzoek zo goed mogelijk antwoord op is gezocht, zijn:

1. Wat zijn de verschillen in bodemchemie en -samenstelling tussen de verschillende PQ locaties gelegen in de Habitattypen H2130 Grijze duinen en H2190 Vochtig duinvallei in 2021, verspreid over de Manteling van Walcheren en de Kop van Schouwen?
2. Zijn de verschillen in vegetatiesamenstelling te verklaren aan de hand van de gevonden verschillen in bodemchemie? Is er sprake van een (duidelijke) correlatie tussen de bodemsamenstelling en de vegetatie?
3. In hoeverre is er sprake van versterkte ontkalking (bodemverzuring) en hoe groot is (nog) de buffercapaciteit van de bodem? Is deze overal even groot, of verschilt deze sterk tussen de locaties?
4. Door welke macronutriënten worden de vegetaties waarschijnlijk gelimiteerd? En is dit overal hetzelfde, of verschilt dit sterk tussen de locaties?
5. Hoe is de situatie veranderd ten opzichte van 2003 [redacted] In hoeverre zijn de vegetatiesamenstelling, bedekkingen en hoogtes van de verschillende lagen en de bodemchemische samenstelling veranderd in de afgelopen 20 jaar?
6. Indien er grote/significante veranderingen hebben plaatsgevonden, is dan aan te geven wat die veranderingen betekenen vanuit ecologisch perspectief?

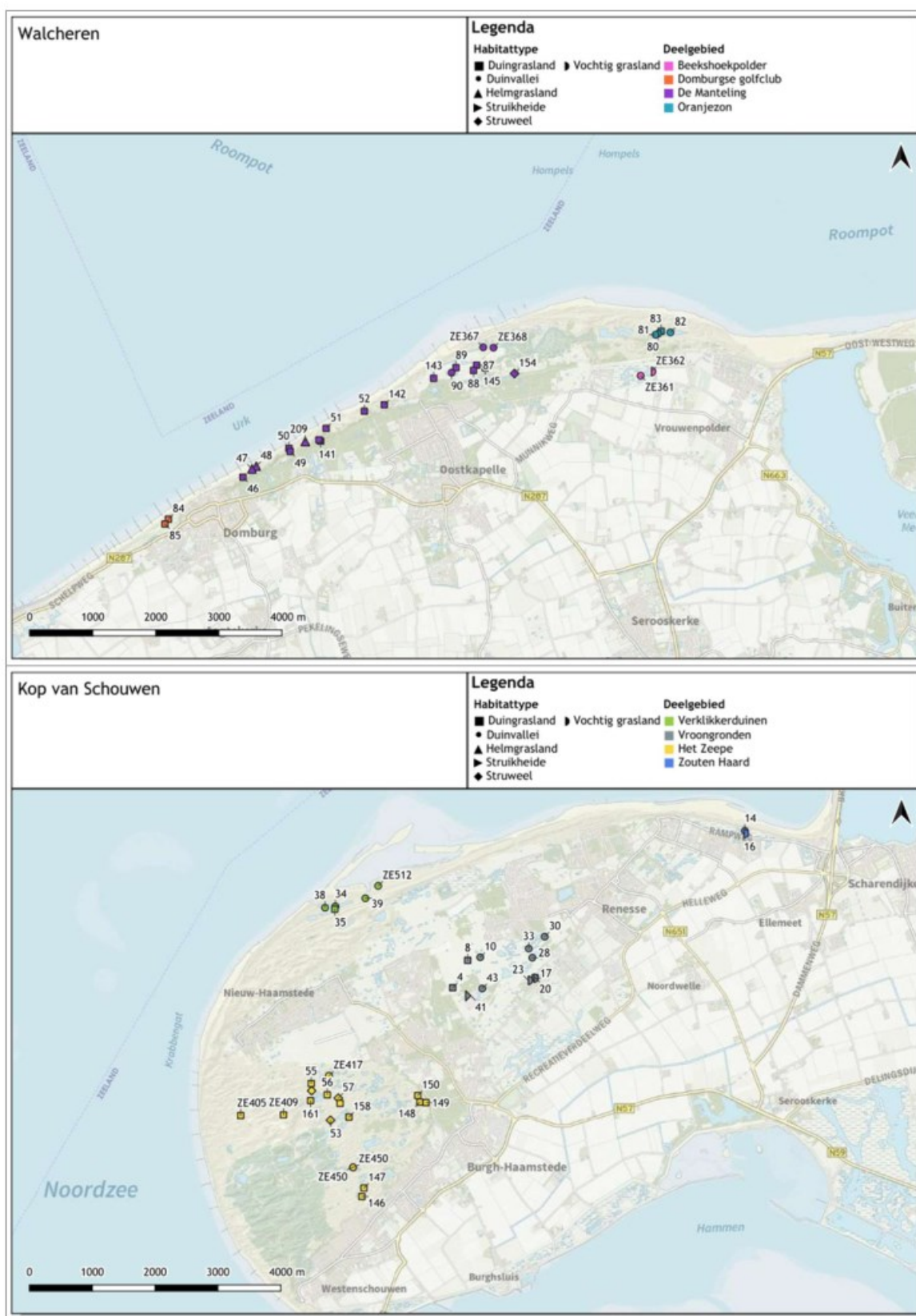
2. Materiaal & Methoden

Op Walcheren en de Kop van Schouwen zijn 64 PQ's bemonsterd (figuur 2.1). Ten eerste 57 locaties uit het onderzoek van [redacted]

- 2 plots op de golfbaan bij Domburg: H2130 Grijze duinen;
- 25 plots in de Manteling van Walcheren: 19 H2130 Grijze duinen, 6 H2190 Vochtige duinvallei;
- 30 plots in de Kop van Schouwen: 13 in het Zeepe H2130 Grijze duinen, 11 in de Vroongronden waarvan 6 behoren tot H2190 Vochtige duinvallei en 5 tot H2130 Grijze duinen, 4 in de Verklikkerduinen (H2190 Vochtig duinvallei), 2 in het Zoeten en Zouten Haard (H2190 Vochtige duinvallei).

Deze plots worden aangevuld door 7 extra locaties vanuit het LMF (Landelijke meetnet Flora):

- 2 plots in de Beekhoekspolder H2190 Vochtige duinvallei;
- 2 plots in de Meeuwenduinen H2130 Grijze duinen;
- 2 plots in het Zeepe H2190 Vochtige duinvallei en
- 1 plot in de Verklikkerduinen H2190 Vochtige duinvallei.



figuur 2.1. Ligging van alle PQ's en namen van deelgebieden op Walcheren en op de Kop van Schouwen.

.....

Per PQ locatie zijn eind juni/ begin juli 2021 twee bodemmonsters genomen: één op 0-10 cm en één op 30-40 cm diepte. Iedere monster bestaat uit een mengmonster van 4 enkele monsters die buiten de randen van de PQ met een bodemguts gestoken zijn. Bovendien zijn per PQ plantenbiomassa monsters verzameld. Bij de duinvalleien (en vochtige graslanden) is alle biomassa in een ring van 27 cm diameter bovengronds afgeknipt. In de duingraslanden zijn meestal twee monsters genomen, één van een vaatplant en één van een mos en/of korstmos (indien beide aanwezig). In de meeste duingraslanden kon de zandzegge (*Carex arenaria*) en het mos gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) en soms ook een rendiermos (*Cladina portentosa* of *Cl. furcata*) bemonsterd worden. Bovendien zijn nog enkele interessante soorten in alle plots, onafhankelijk van het habitat, bemonsterd indien deze voorkwamen: buntgras (*Corynephorus canescens*), struikhei (*Calluna vulgaris*) en gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*).

Bij de duinvalleien is aan de rand van de PQ met een poreuze cup het bodemvocht op een diepte tussen 30 en 50 cm bemonsterd, afhankelijk van bodemopbouw en grondwaterstand tijdens bemonstering.

Alle monsters zijn gekoeld getransporteerd naar het laboratorium van het Onderzoekcentrum B-WARE in Nijmegen. Hier zijn de monsters op de volgende parameters geanalyseerd (De gedetailleerde beschrijvingen van de methodes zijn in bijlage I te vinden.):

- pH: pH-NaCl;
- berekende basenverzadiging (BV);
- organische stofgehalte (LOI);
- bulkdichtheid/massavolume;
- P-Olsen extract;
- NH_4^+ , en NO_3^- (NaCl-extract);
- totaal C en N in de bodem (C/N analyse);
- totaal Ca, Mg, Mn, Al, Fe, K, P (destructie);
- C, N, P, K, Ca en Mg in de bovengrondse plantenbiomassa (destructie en C/N analyse);
- bodemvocht met behulp van poreuze cups in de duinvalleien. De watermonsters worden geanalyseerd op NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{2-} , pH, TIC, totale gehalten aan Ca, Mg, Mn, Al, Fe, P en S.

Per locatie is naast het PQ ook het bodemprofiel tot maximaal 1,00 m diepte bepaald conform de methode van [REDACTED]. Vooral bij de duinvalleien stond en de grondwaterstanden minder dan 1 m onder maaiveld. Daardoor viel het natte zand makkelijk uit de bodemguts en kon geen profiel tot 1 m diepte bepaald worden. Per bodemprofiel is met 10% HCl de ontkalkingsdiepte gedetermineerd in het veld. Zowel de dikte van de bovenste organische laag (Ah-horizont) als ook de ontkalkingsdiepte zijn ook door [REDACTED] opgenomen.

De vegetatieopnames zijn door twee ingenieur bureaus gedaan: Dactylis en Goes& Groot. In de Turboveg database is te zien welke plots door welk bureau opgenomen zijn. Per plot is een Braun-Blanquet opname gemaakt inclusieve mossen en korstmossen tot op soortniveau. Verder is de hoogte van de vegetatie geschat. Meestal waren de opnames 2x2 m, maar vooral al de LMF plots (Landelijk Meetnet Flora) zijn vaak afwijkend. In de Turboveg data base is deze informatie per plot weergegeven.

De bodem-, water- en vegetatiedata is met de software R (R-project, versie R 4.0.2 GUI 1.72) geanalyseerd. Hiervoor zijn de packages Vegan 2.5-7 en ggplot2 3.3.2 gebruikt.

3. Huidige toestand van de verschillende gebieden: bodemchemie

3.1 Calciumgehalte

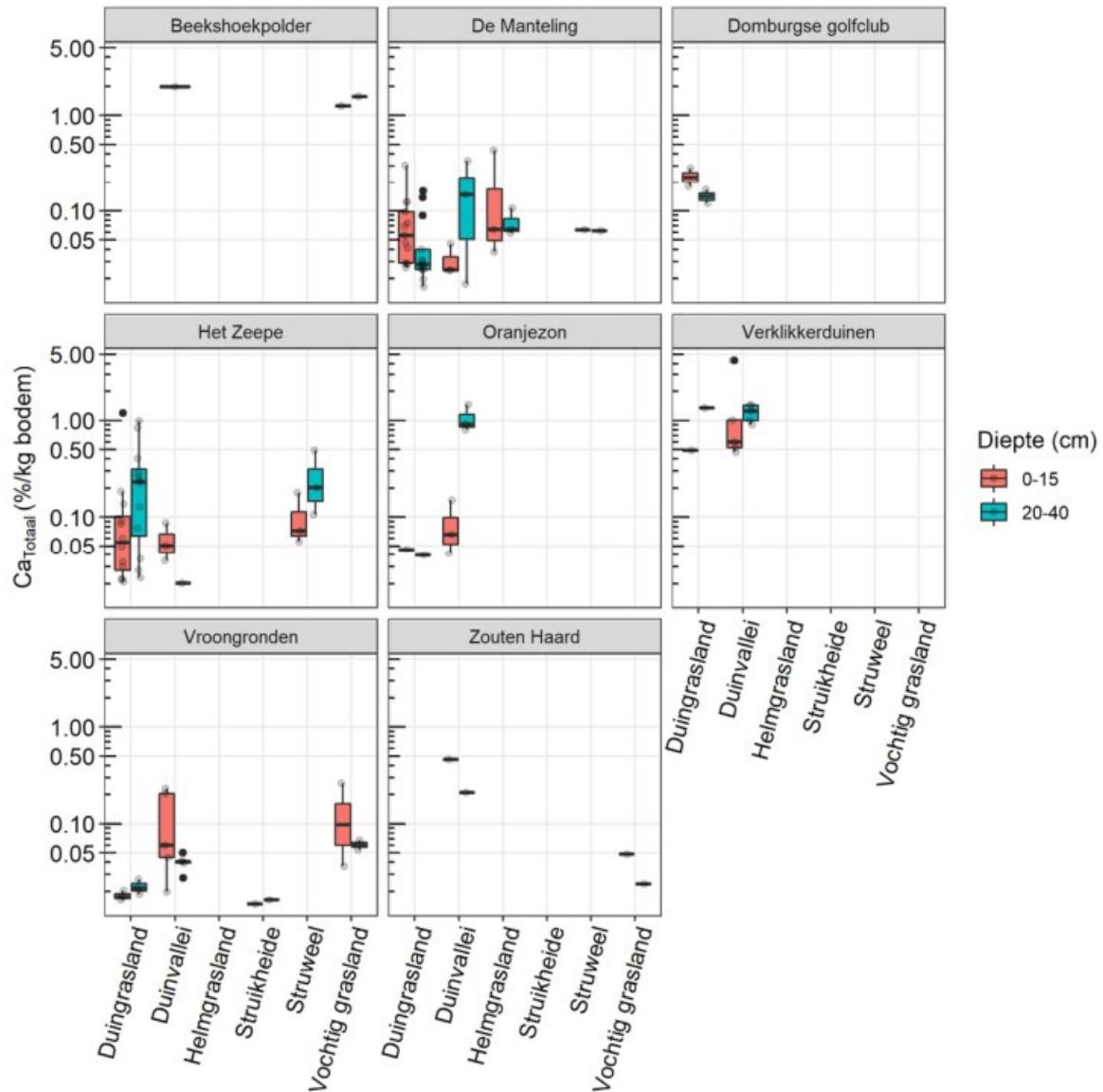
Tussen de gebieden op Walcheren en de Kop van Schouwen zijn duidelijke verschillen te zien. Het moedermateriaal, het zand en soms de klei in de ondergrond, hebben bijvoorbeeld een verschillend gehalte aan kalk (CaCO_3). Het kalkgehalte van het moedermateriaal is mede bepalend voor welke bodemprocessen plaats vinden en welke nutriënten voor het bodemleven en planten beschikbaar zijn. Voor Nederland worden in het niet verweerde zand concentraties van tot 5 (soms tot 12) % CaCO_3 in de kalkrijke regio's bijvoorbeeld Meijendel en geen of lage concentraties van <0,5% CaCO_3 in de kalkarme gebieden bijvoorbeeld op de Waddeneilanden gemeten (Eisma, 1968). In figuur 3.1 is te zien, dat de meeste monsters in dit onderzoek zeer lage calciumgehalten van lager dan 1 % Ca hebben. Alleen in de Beekhoekspolder lopen de concentraties op tot 2 % Ca.

Bij [REDACTED] lagen deze gehalten voor Walcheren bij 0,07-2,02 % CaCO_3 en voor Schouwen bij 0,11-3,67 % CaCO_3 (tabel 23, p.108 [REDACTED] 2009). De meeste monsters liggen wel lager dan 1% CaCO_3 (Figuur 39, p. 109 [REDACTED] 2009). Ondanks dat de gebruikte methodes verschillend zijn (destructie in 2021, TGA bij [REDACTED]¹), en hierdoor de data niet altijd goed te vergelijken zijn, komen ze in dit onderzoek op dezelfde range uit. Verder is belangrijk mee te nemen, dat [REDACTED] het moedermateriaal in grotere diepte van enkele meters verzameld heeft, maar voor dit onderzoek alleen op (20)30-40 cm diepte. In deze ondiepere bodemlaagtes is het zand zeer waarschijnlijk al door bodemprocessen verandert.

Interessant zijn de verschillen tussen de twee horizonten. Voor de duingraslanden heeft de diepere bodemlaag (bijna altijd tussen 30-40 cm, maar soms kon alleen 20-30 cm bemonsterd worden zie bijlage 3 - digitale bijlage) meestal een hogere calciumgehalte dan de ondiepe laag. Er heeft verzuring plaats gevonden waarbij de bovenste laag is uitgeloozd. Dit geldt met name voor het Zeepe, de Verklikkerduinen en de Vroongronden. Bij de duingraslanden van de Manteling en ook de Domburgse golfclub valt op, dat deze juist een hogere calciumgehalte in de bovengrond hebben. Bij de Manteling duidt dit op een aanvoer van vers, kalkrijker zand vanuit de zeereep waardoor deze locaties een hogere calcium concentratie hebben. Bij de golfbaan is de oorzaak waarschijnlijk een overstuiving met kalkrijker zand vanuit de zeereep in de wintermaanden. Sinds de jaren '90 wordt voor deze kust regelmatig gesuppleerd en mogelijk is hierdoor de verstuiving toegenomen (informatie [REDACTED] [REDACTED]). Verder valt op dat de calciumgehalten in de bodems in het Oranjezon op beide dieptes erg laag zijn met < 0,05 % Ca. Alleen de Vroongronden die historisch een lange periode met extensief agrarisch gebruik kennen, zijn en relatief ver van de zeereep liggen, kennen een nog lager calcium gehalte met ca. 0,02 % Ca.

De duinvalleien laten bijna in alle gebieden een duidelijk hogere calciumgehalte in de dieper liggende bodemlaag zien dan in de ondiepe laag. Dit geldt in ieder geval voor de Manteling, Oranjezon en de Verklikkerduinen. In deze gebieden treedt waarschijnlijk via het grondwater een toevoer van calcium op of is het moedermateriaal zelf rijker in calcium. Voor de Verklikkerduinen (Buitenverklikker en Verklikkerstrand) geldt zeer waarschijnlijk dat in de ondergrond schelpenrijke afzettingen voorkomen die kalkrijker zijn.

¹ De gemeten Ca concentraties kunnen verschillen afhankelijk van de gebruikte methode; sommige analyses destructeren het zandmateriaal vollediger dan andere. In gedetailleerde, geologische analyses kunnen de analyseresultaten ook de bindingsvormen van calcium aangeven. Dit is in de bodem analyse van het voorliggende rapport niet het geval. Het meeste gemeten calcium zou wel als CaCO_3 in de bodem aanwezig zijn. Totaal calcium correleert niet met totaal aluminium. Het is daarom waarschijnlijk, dat er geen andere makkelijk verweerbare mineralen aanwezig zijn in de bodem. Indien de eenheid % dw - percentage dry weight - wordt gebruikt, zijn de concentraties van Ca en CaCO_3 vergelijkbaar. Dit geldt niet als de eenheid mol wordt gebruikt.



figuur 3.1. Boxplots van de totaal calciumconcentratie [%; logaritmische schaal] in de twee verschillende bodemhorizonten - tussen 0-10(15) cm en tussen (20)30-40 cm. De data zijn weergegeven per gebied en habitatype. In 2021 waren de PQ's niet alleen in duingraslanden en duinvalleien (en struikheide) in te delen, maar ook in andere habitatypen zoals duingraslanden met dominanties van helm (*Ammophila arenaria*), struwelen en vochtig grasland.²

In Oranjezon zijn plaatselijk door graafwerkzaamheden tijdens de aanleg en het dempen van waterleidingskanalen kalkrijkere strandvlaktes naar boven gekomen (informatie [REDACTED]). Door de hogere calciumgehalte kunnen dan zeer soortenrijke duinvalleien met bijzondere soorten zoals Parnassia (*Parnassia palustris*), Stijve moeraswegbree (*Echinodorus ranunculoides*), Borstelbies (*Isolepis setacea*) of Moeraswespenorchis (*Epipactis palustris*)

² Soms zijn er voor een locatie of habitatype slechts weinig metingen en dan mag strikt genomen de data niet middels een boxplot gevisualiseerd worden. Omdat voor veel groepen meer metingen beschikbaar zijn en de verschillen met boxplots wel goed en snel inzichtelijk zijn, is alle data gezamenlijk in een overzicht weer gegeven. Indien er slechts één meting voorkomt per eenheid, zie je in de grafiek alleen een streep zonder kleur en geen box. Dit geldt voor alle boxplots in deze rapportage.

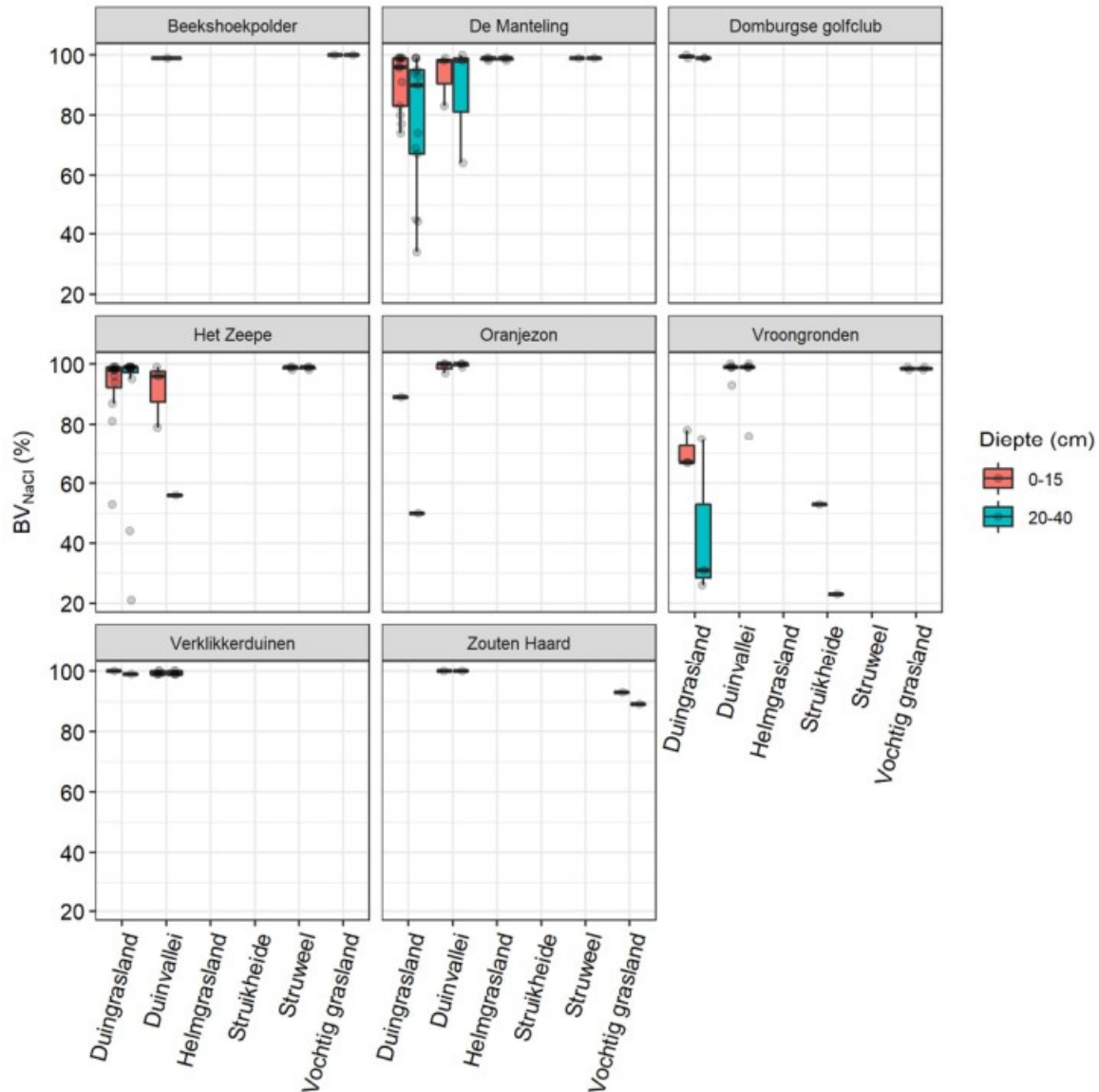
voorkomen (zie ook hoofdstuk 7 vegetatie vergelijking). Het tegenovergestelde geldt voor het Zeepe, de Vroongronden en het Zoeten en Zouten Haard. Hier is de calcium concentratie in de dieper liggende bodemhorizont lager dan in de ondiepe horizont. De verschillen tussen de twee laagtes zijn niet zeer groot. Een mogelijke verklaring is, dat een lichte accumulatie van calcium in de organisch rijkere bodemhorizont plaatsvindt door de afbraak van iets rijkere strooisel. Ook kan door precipitatie van kalk aan het maaiveld - toestroom of langdurige hoge waterstanden - een hogere calciumconcentratie in de bovenlaag voorkomen (Grootjans et al, 2002; ██████████ 2009). Precipitatie van kalk kan alleen plaats vinden als het in het duinvallei aan het maaiveld uittredende grondwater is verzadigd t.o.v. calcite. Het verlies van koolstofdioxide van dit water resulteert in carbonaat precipitatie aan de bodem-lucht overgang. Dit proces kan alleen plaats vinden als de grondwaterstanden ook in de zomermanden zeer hoog blijven (niet lager dan 40 cm onder maaiveld) en het kalkrijke grondwater capillair kan opstijgen (Grootjans et al., 2002).

3.2 Basenverzadiging

De basenverzadiging is een goede parameter voor de buffertoestand van de bodem. In zure heidebodems in Nederland kan deze tot 20-40% zakken. De in het voorliggende rapport gebruikte, berekende basenverzadiging is het percentage van de som van de positieve waarden van tegen verzuring bufferende kationen in de calcium buffer range (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) ten opzichte van de som van de positieve waarde van alle kationen (Al^{3+} , K^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , NH_4^+ , H^+).

Binnen de duingraslanden vallen de Vroongronden op met een relatief lage basenverzadiging van 30-80% in alle PQ's (figuur 3.2). Ook het ene duingrasland in de Oranjezon en enkele delen, vooral in het westen, van de Manteling kennen enkele locaties met een lagere basenverzadiging. Maar dit speelt vooral in de dieper liggende laag en niet zo zeer in de bovenste bodemhorizont, waar de meeste plantenwortels te vinden zijn. Redenen hiervoor zijn niet altijd duidelijk. Een mogelijkheid is, dat er recent overstuiving heeft plaatsgevonden met kalkrijker zand en daarom boven in het profiel de basenverzadiging hoger is dan eronder. Een hoge basenverzadiging van 90-100% hebben de duingraslanden op de Domburgse golfbaan, het Zeepe en de Verklikkerduinen en richting Domburg in de Manteling. Bij deze locaties met een hoge basenverzadiging zijn voldoende zuurbufferende kationen in de bodem ter beschikking.

De duinvalleien hebben in alle gebieden met enkele uitzonderingen een zeer hoge basenverzadiging van bijna 100%; alleen in het Zeepe, de Vroongronden en het westelijke deel van de Manteling zijn enkele uitschieters naar een lagere basenverzadiging van 60-80% te vinden (zie ook kaarten in bijlage 4).



figuur 3.2. Boxplots van de berekende basenverzadiging [%] in de twee verschillende bodemhorizonten - tussen 0-10(15) cm en tussen (20)30-40 cm. De data zijn weergegeven per gebied en habitattypen. In 2021 waren de PQ's niet alleen in duingraslanden en duinvalleien (en struikheide) in te delen, maar ook andere habitattypen zoals duingraslanden met dominanties van helm (*Ammophila arenaria*), struwelen en vochtig grasland.

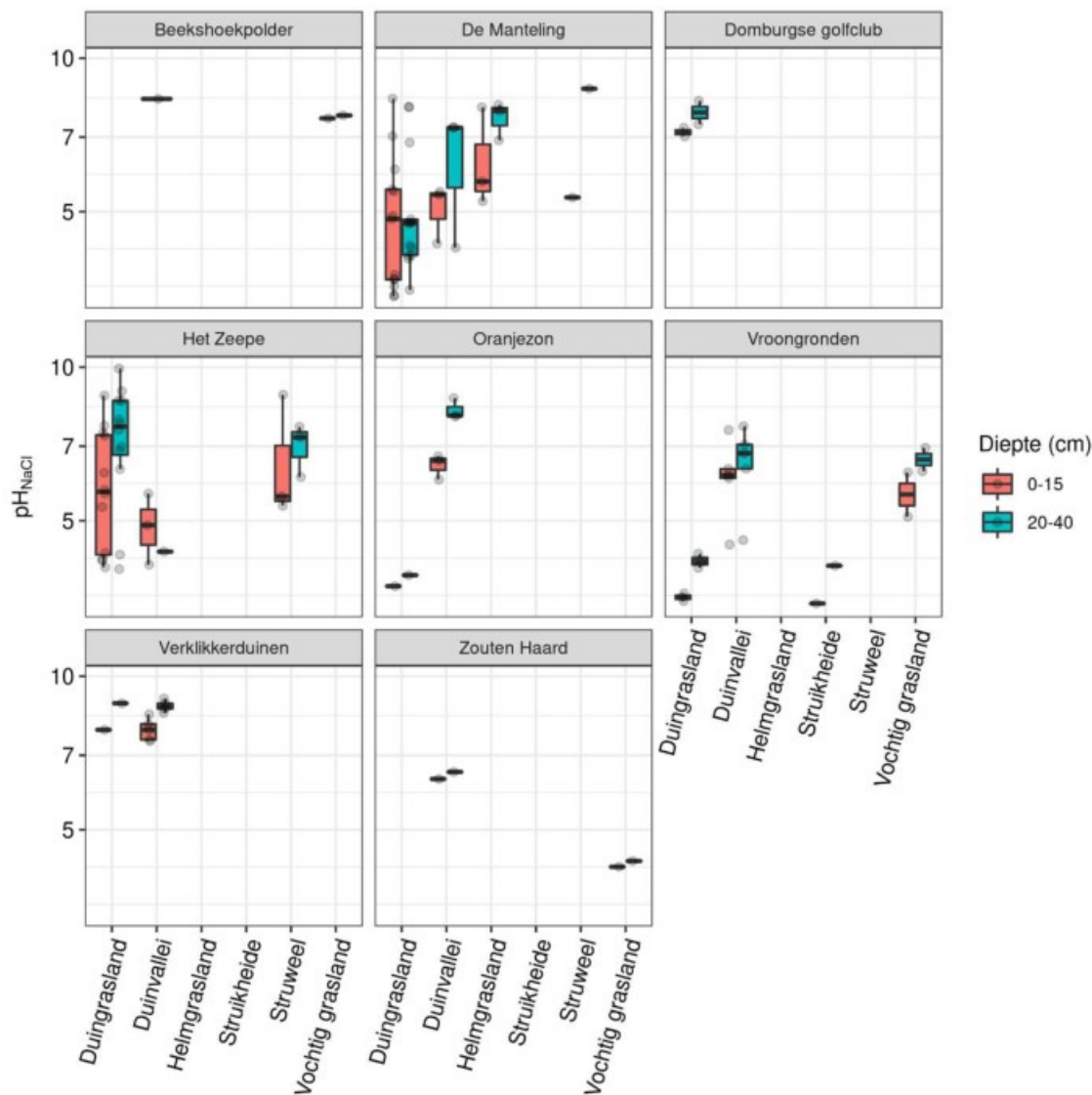
3.3 pH-waarde

De pH-waarden [NaCl=zout extract] van duingraslanden in de Manteling en het Zeepe laten een grote bandbreedte zien: van zwak gebufferde tot zure condities met $\text{pH} < 5,0$ tot goed gebufferde tot $\text{pH} 8/9$ (zie figuur 3.3). De duingraslanden op de golfbaan hebben alleen hoge pH-waarden (rond $\text{pH} 7-8$), de Vroongronden en het ene duingrasland in Oranjezon juist lage pH-waarden onder $\text{pH} 4,0$. Bij een $\text{pH} < 5$ (zout extract) is zowel de carbonaat als ook kation buffer uitgelooft, is er weinig tot geen kalk meer in de bodem ter beschikking en komen aluminium als ook ijzer (bij erg lage pH-waarden) vrij. Deze elementen zijn voor veel vaatplanten in hoge concentraties toxic.

De duinvalleien hebben een pH-waarde rond $\text{pH} 8$ in de Verklikkerduinen (Buitenverklikker en Verklikkerstrand) en Beekshoekspolder en iets lager tussen $\text{pH} 6-7$ in de Vroongronden,

het Zouten en Zoeten Haard en het Oranjezon. In het Zeepe zijn de laagste pH waarden rond 4-5,5 (zowel bovenste als onderste bodemlaag).

De onderliggende bodemlaag (binnen alle habitats) tussen 20-40 cm heeft deels gelijke waarden aan de bovengrondse meting, maar er zijn ook veel locaties met hogere pH waarden in de ondergrond dan in de bovengrond. Deze verschillen hangen zeer waarschijnlijk samen met het recente verleden van overstuiving met kalkrijker zand (hogere pH bovenste laag dan in de lagere bodemlaag) of verzuring van de bovenste bodemlagen (lagere pH bovenste laag dan lagere laag).

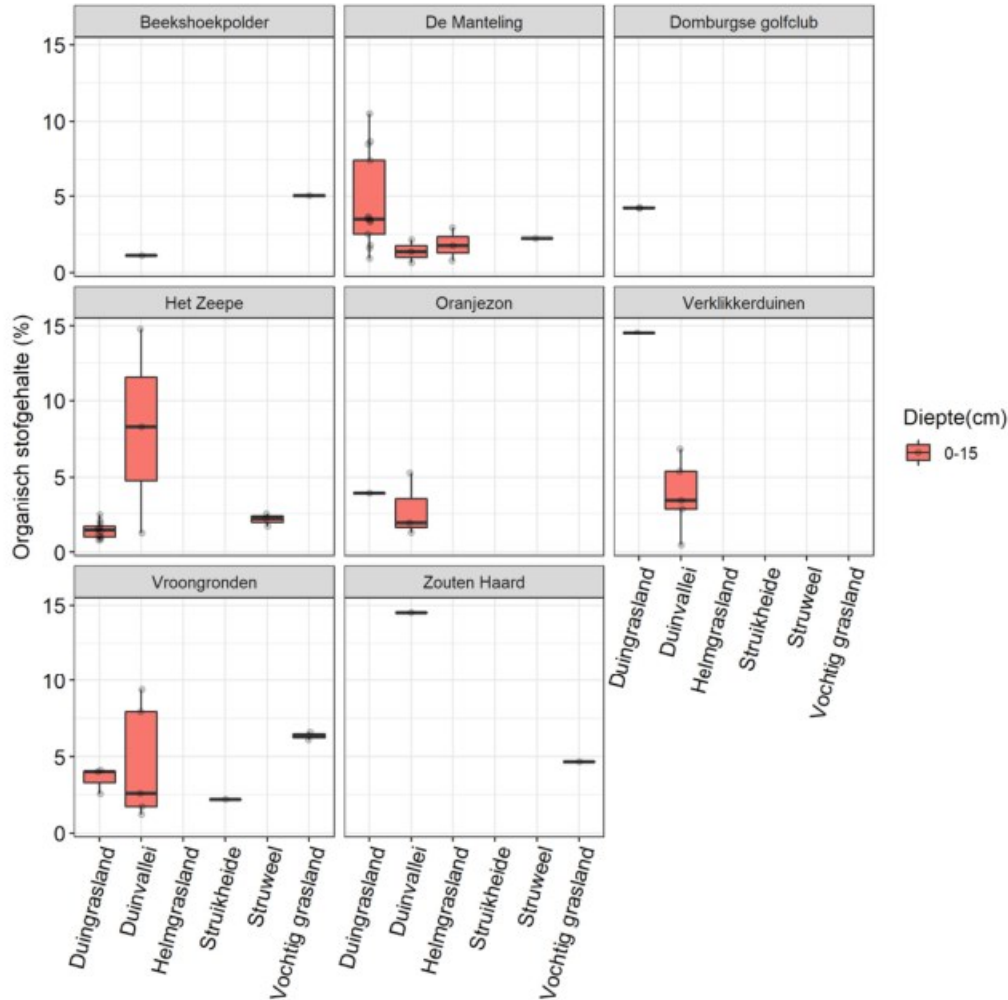


figuur 3.3. Boxplots van de pH-waarde [NaCl extract] in de twee bodemhorizonten: tussen 0-15 cm en 20-40 cm. De data zijn weergegeven per gebied en habitattypen. In 2021 waren de PQ's niet alleen in duingraslanden en duinvalleien (en struikheide) in te delen, maar ook andere habitattypen zoals duingraslanden met dominanties van helm (*Ammophila arenaria*), struwelen en vochtig grasland.

3.4 Organisch stofgehalte

Het organisch stofgehalte van de bovenste bodemlaag is een belangrijke parameter, omdat aan het organisch materiaal belangrijke elementen zoals ijzer, fosfaat en ammonium kunnen

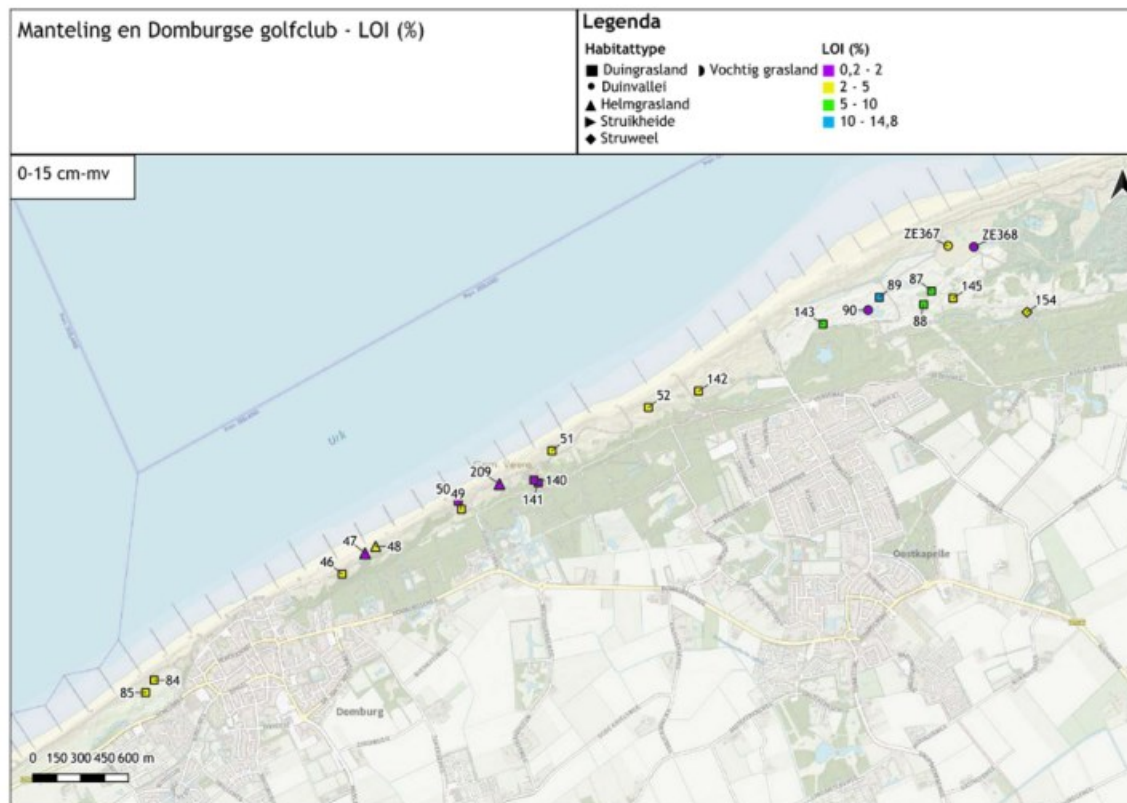
binden. Verder kan organisch materiaal meer vocht in de bodem vast houden, wat een cruciale factor is voor de plantengroei van vooral de droge duinen. In de kalkarme duingraslanden met een lage atmosferische stikstofdepositie (lager dan de kritische depositiewaarden - KDW) is het organisch stofgehalte lager dan 1,5% (Remke, 2010). Verder kunnen aan de opbouw van de humus laag en de bodemhorizonten (inclusief organisch-rijke A laag) de dominante bodemprocessen herkend worden als een verder belangrijke standplaatsfactor voor de groei van planten.



figuur 3.5. Boxplots van het organisch stofgehalte [% LOI - loss on ignition] in de bovenste bodemhorizont tussen 0-10(15) cm. De data zijn weergegeven per gebied en habitattypen. In 2021 waren de PQ's niet alleen in duingraslanden en duinvalleien (en struikheide) in te delen, maar ook andere habitattypen zoals duingraslanden met dominanties van helm (*Ammophila arenaria*), struwelen en vochtig grasland.

Het organisch stofgehalte laat voor de meeste duingraslanden een relatief laag gehalte van 0-5% zien (figuur 3.5). Alleen in de Manteling vallen enkele locaties op met voor duingraslanden zeer hoge percentages van 8-10%. Deze liggen in de duinen noordoostelijk van Oostkapelle (figuur 3.6). Deze duingraslanden zijn zeer stabiel, waardoor een geleidelijke ophoping van organische biomassa heeft plaatsgevonden. Bovendien zijn de pH's relatief laag (<pH 4,2, zie bijlage 4 met kaarten), waardoor ook de organische massa niet snel of nauwelijks afgebroken wordt. Bij de duinvalleien zijn het vooral de locaties in Het Zeepe en Zoeten en Zouten Haard, deels in de Vroongronden die een hoge organisch

stofgehalte van 8-15% hebben. De duinvalleien in de Verklikkerduinen, de Manteling en het Oranjezon hebben lage gehalten van LOI < 5% organisch stof. Hier vindt in mindere mate een accumulatie van biomassa plaats door bijvoorbeeld hogere pH-waarden en daardoor een hogere microbiële omzetting van de organische massa, of deze locaties zijn recent nog geplagd/ gehopperd.



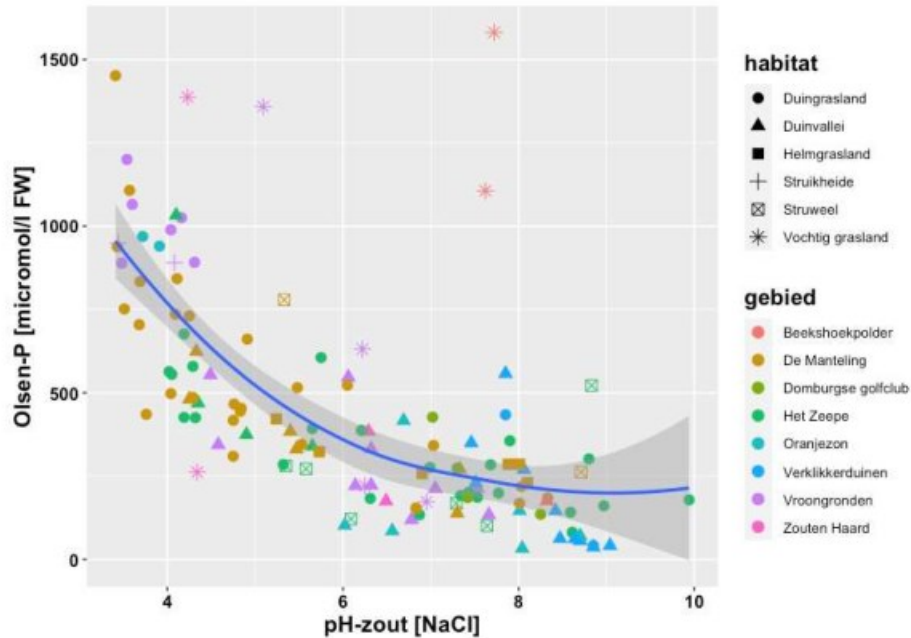
figuur 3.6. Kaart van het organisch stofgehalte [LOI in %] in de Manteling en op de Domburgse golfbaan. Habitats zijn in verschillende vormen en percentages LOI met verschillende kleur weergegeven (zie legenda van kaart; bron QGIS 3.4).

3.5 Nutriëntenconcentraties

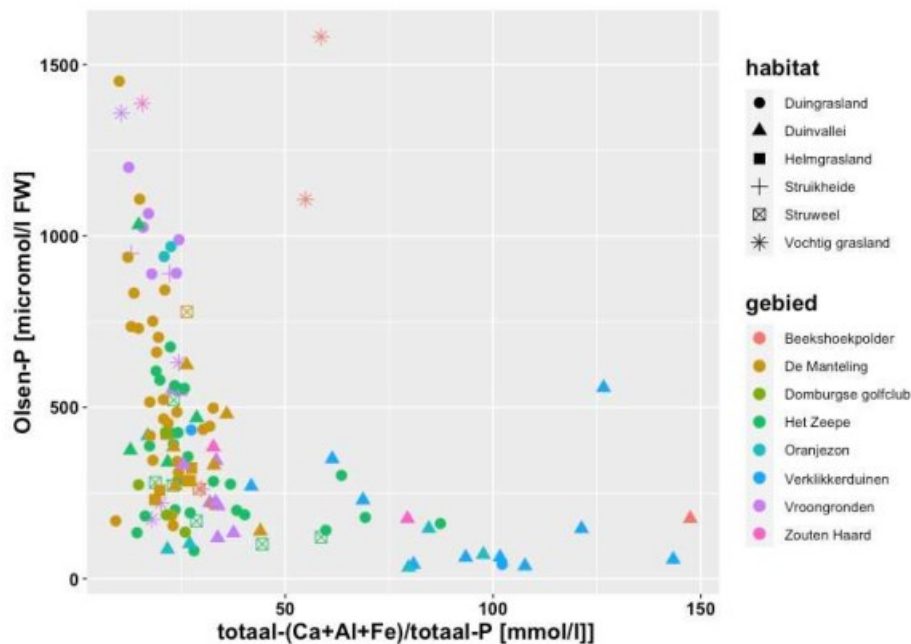
Stikstof en fosfor zijn naast kalium de macronutriënten voor planten. De verhouding van deze elementen met elkaar maar ook de totale beschikbaarheid van deze elementen en de bindingsvorm zijn belangrijk, en bepalen of vaatplanten deze kunnen opnemen en gebruiken. De meeste planten gebruiken nitraat als primaire stikstofbron. Voor veel vaatplanten zijn hoge concentraties van ammonium in de bodem toxisch. Nutriëntenarme graslanden hebben concentraties tot ca. 50 $\mu\text{mol NO}_3^-/\text{l FW}$ in de bodem (soms pieken tot 100 $\mu\text{mol NO}_3^-/\text{l}$). Mesotrofe graslanden reiken tot ca. 150 (200) $\mu\text{mol NO}_3^-/\text{l FW}$. De variatie binnen een jaar kan groot zijn. Vaak komen na een lange droogte hoge pieken voor die in deze zandige gronden meestal snel uitspoelen.

Voor fosfaat geldt, dat bij concentraties van <300-500 $\mu\text{mol/l FW}$ (P-Olsen) de standplaats als nutriëntenarm te beschrijven is, tot 1200-1500 $\mu\text{mol/l FW}$ (P-Olsen) mesotroof en hierboven eutroof, maar dit hangt zeer af van de concentraties van calcium, ijzer en aluminium maar ook het organisch stofgehalte in de bodem. Hoe hoger de concentratie van calcium of ijzer in de bodem of toevoer van deze elementen met het grondwater, hoe meer

fosfaat en totaal fosfor is gebonden en niet direct beschikbaar voor planten. De ratio's van elementen met elkaar geven een goede indicatie hoeveel fosfaat werkelijk beschikbaar is voor planten. Dit geldt ook voor de data in dit onderzoek (zie figuur 3.8). Verder kan men goed zien hoe meer fosfaat (gemeten als Olsen-P) beschikbaar komt, hoe zuurder de bodem wordt; d.w.z. hoe meer fosfor niet meer aan calcium gebonden is en in oplossing gaat (figuur 3.7).



figuur 3.7. Scatterplot van plant beschikbaar fosfaat (Olsen-P) en de zuurgraad (pH NaCl] van de duinbodems. Alle bemonsterde bodemhorizonten zijn meegenomen. De gebieden zijn in verschillende kleuren en de habitats met verschillende vormen weergegeven.

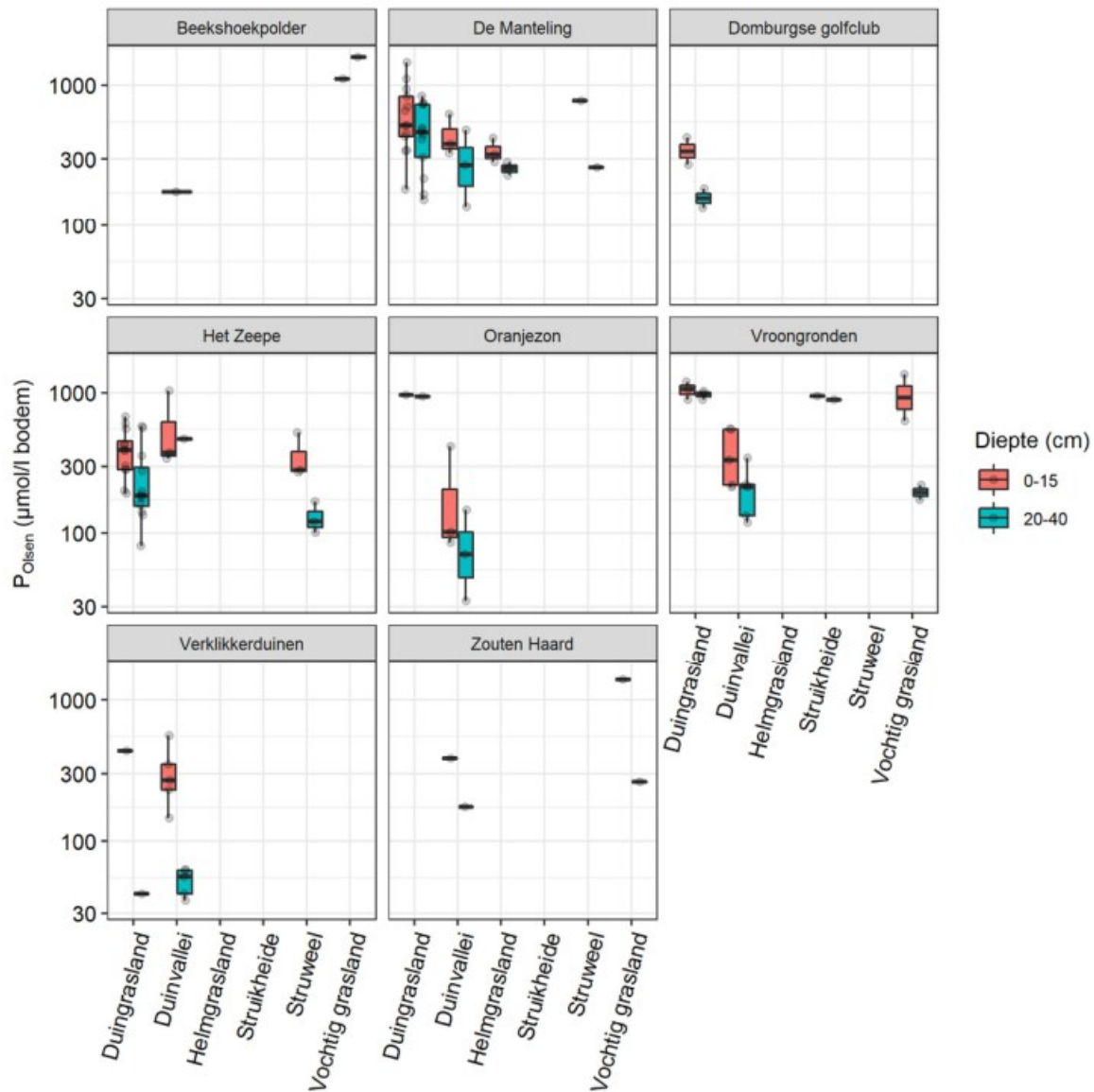


figuur 3.8. Scatterplot van Olsen-P afhankelijk van de totale P gehalte in ratio met de som van totaal Ca, Al en Fe de duinbodems. Alle bemonsterde bodemhorizonten zijn meegenomen. De gebieden zijn in verschillende kleuren en de habitats met verschillende vormen weergegeven.

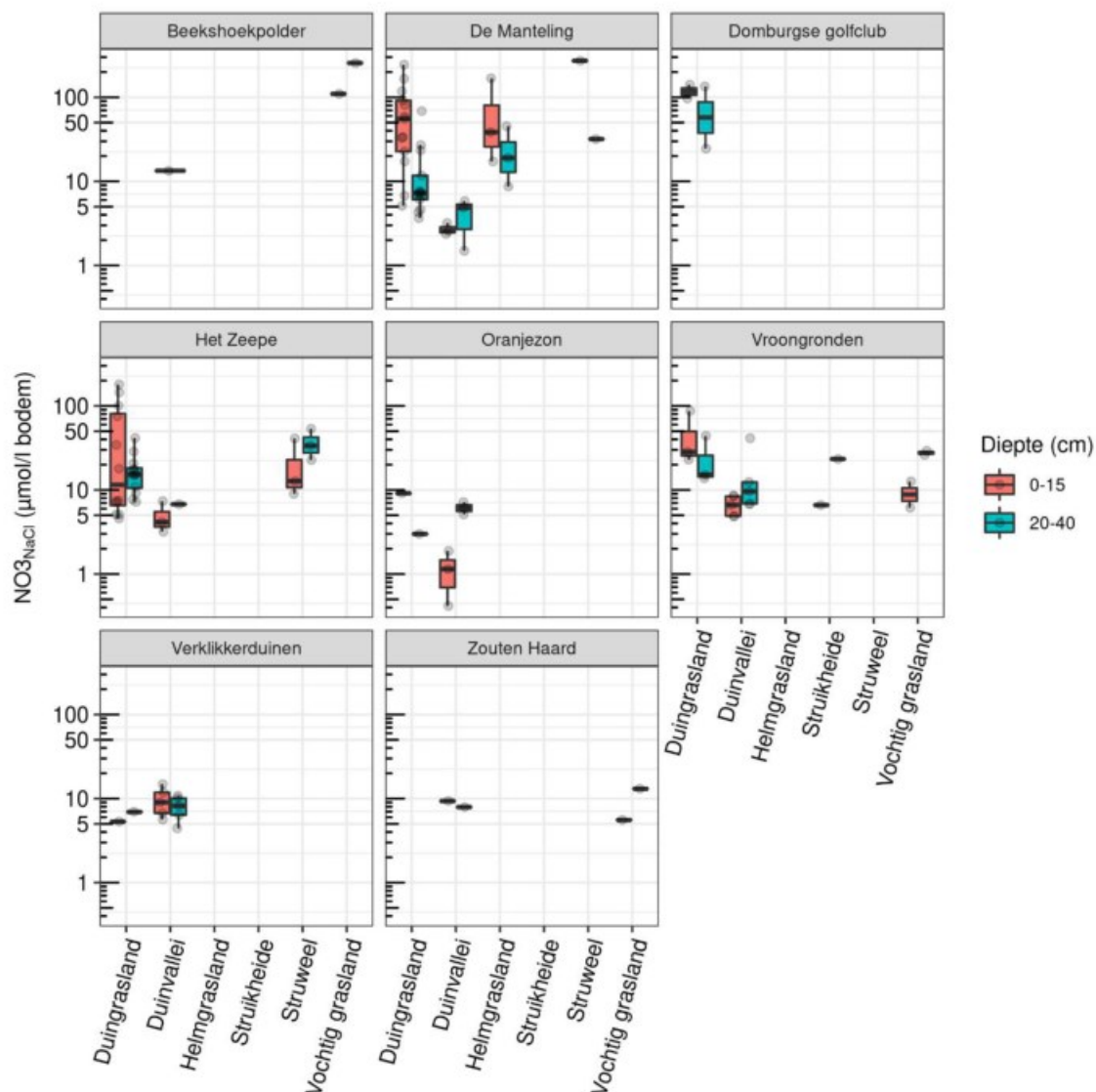
De nutriëntenconcentraties in de bodems zijn in het algemeen op bijna alle locaties laag (zie figuur 3.9 t/m 3.11). Voor het plant-beschikbare fosfor in duingraslanden (P-Olsen, figuur 3.9) liggen de concentraties voor een groot deel tussen de 100 en 500 micromol/ l verse bodem en kunnen hiermee als oligotroof geïnclassificeerd worden. Ten dele hebben PQ's van de Vroongronden en de Manteling hogere concentraties tussen 500 en 1500 micromol/l verse bodem (zie figuur 3.7 en 3.8 en kaarten in bijlage 4). Deze locaties zijn eerder mesotroof qua fosforgehaltes. Vooral gebieden met lagere pH hebben een hogere gehalte aan plant beschikbaar fosfor (zie figuur 3.7). Het calcium gebonden fosfor gaat in oplossing en hiermee is fosfor niet meer limiterend en makkelijk op te nemen voor plantenwortels en in de bodem levende organismen.

De duinvalleien hebben bijna allemaal lage plant-beschikbare fosforconcentraties tot ca. 300 micromol/ l verse bodem. De vochtige graslanden laten in alle bezochte gebieden hogere concentraties rond de 1000 micromol/ l verse bodem in de bovenste 15 cm zien. Deze zijn hiermee eerder mesotrofe standplaatsen. In de Beekhoekspolder zijn tegelijk ook de totale fosfor concentraties met 18-21 mmol/ l verse bodem hoog. Hiermee is duidelijk, dat de bemestingshistorie uit het landbouwverleden nog steeds in de bodem aanwezig is en ook de vegetatiesamenstelling en productiviteit bepaalt. Verder is belangrijk dat vooral in het hoger gelegen vochtige grasland perceel het lutumgehalte verhoogd (gemeten door hoge totale Al en K concentraties) is, en hiermee ook de mogelijke bindingsplaatsen voor fosfor.

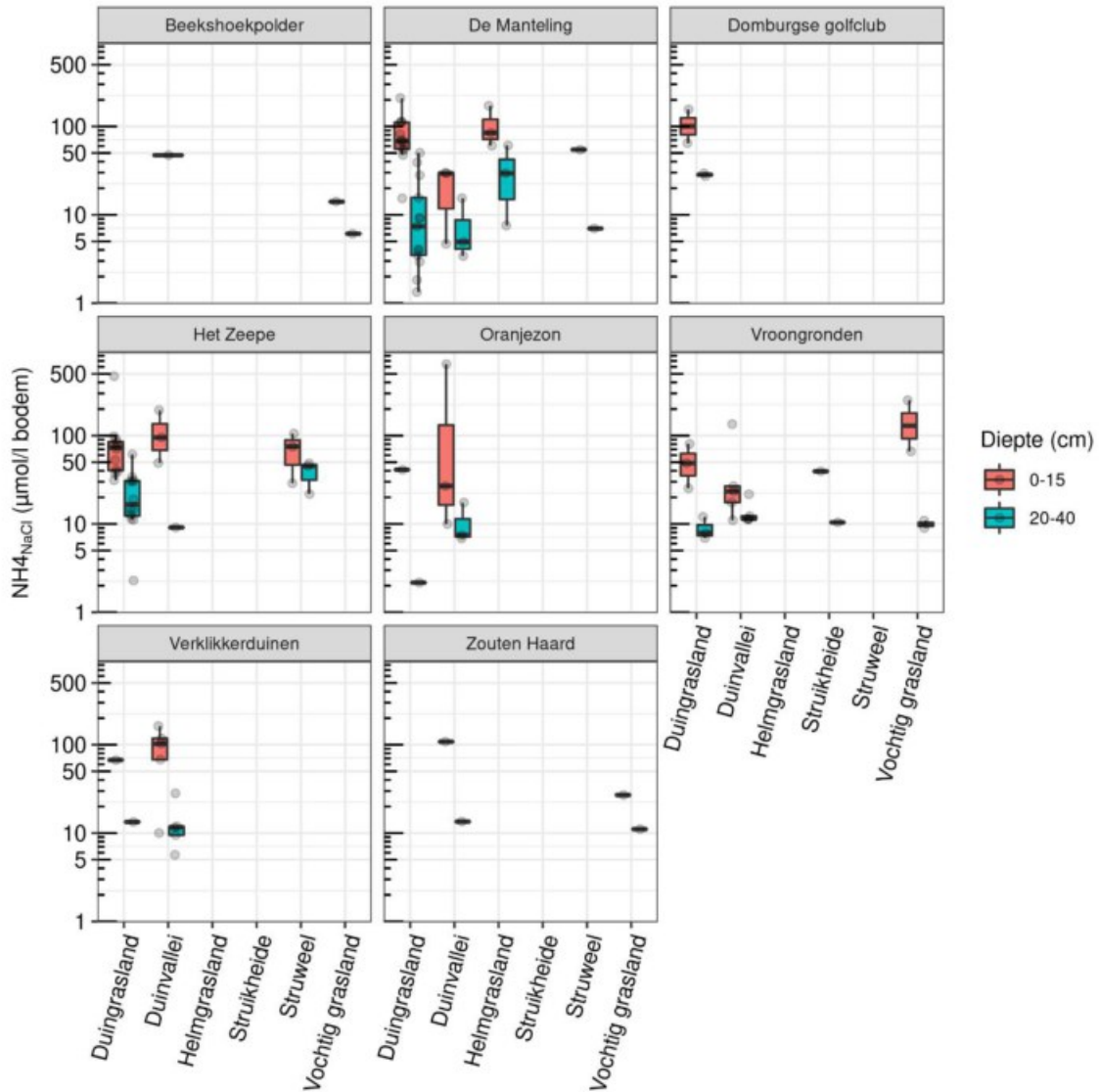
De nitraatconcentraties zijn in alle habitats en gebieden als zeer laag tot laag te duiden (figuur 3.10). Hetzelfde geldt voor ammonium (figuur 3.11). Deze liggen ook op alle locaties lager dan 200 micromol / l NH_4^+ . Alleen bij het Oranjezon en het Zeepe zijn twee locaties met concentraties tussen 400 en 600 micromol NH_4^+ / l verse bodem (plot 81 en 151). Met lage concentraties van ammonium en nitraat <50-100 micromol/l FW bodem vindt op veel locaties zeer waarschijnlijk een stikstof limitatie plaats. Hierbij moet wel toegevoegd worden, dat deze metingen een momentopname zijn en op andere tijdstippen in het jaar hogere waarden gemeten kunnen worden.



figuur 3.9. Boxplots van het planten beschikbare fosfor P-Olsen [micromol/l FW, logaritmische schaal] in de twee verschillende bodemhorizonten - tussen 0-10(15) cm en tussen (20)30-40 cm. De data zijn weergegeven per gebied en habitattypen. In 2021 waren de PQ's niet alleen in duingraslanden en duinvalleien (en struikhei) in te delen, maar ook andere habitattypen zoals duingraslanden met dominanties van helm (*Ammophila arenaria*), struwelen en vochtig grasland.



figuur 3.10. Boxplots van nitraat [$\mu\text{mol/l}$ FW, logaritmische schaal] in de twee verschillende bodemhorizonten - tussen 0-10(15) cm en tussen (20)30-40 cm. De data zijn weergegeven per gebied en habitattyp. In 2021 waren de PQ's niet alleen in duingraslanden en duinvalleien (en struikheide) in te delen, maar ook andere habitattypen zoals duingraslanden met dominanties van helm (*Ammophila arenaria*), struwelen en vochtig grasland.



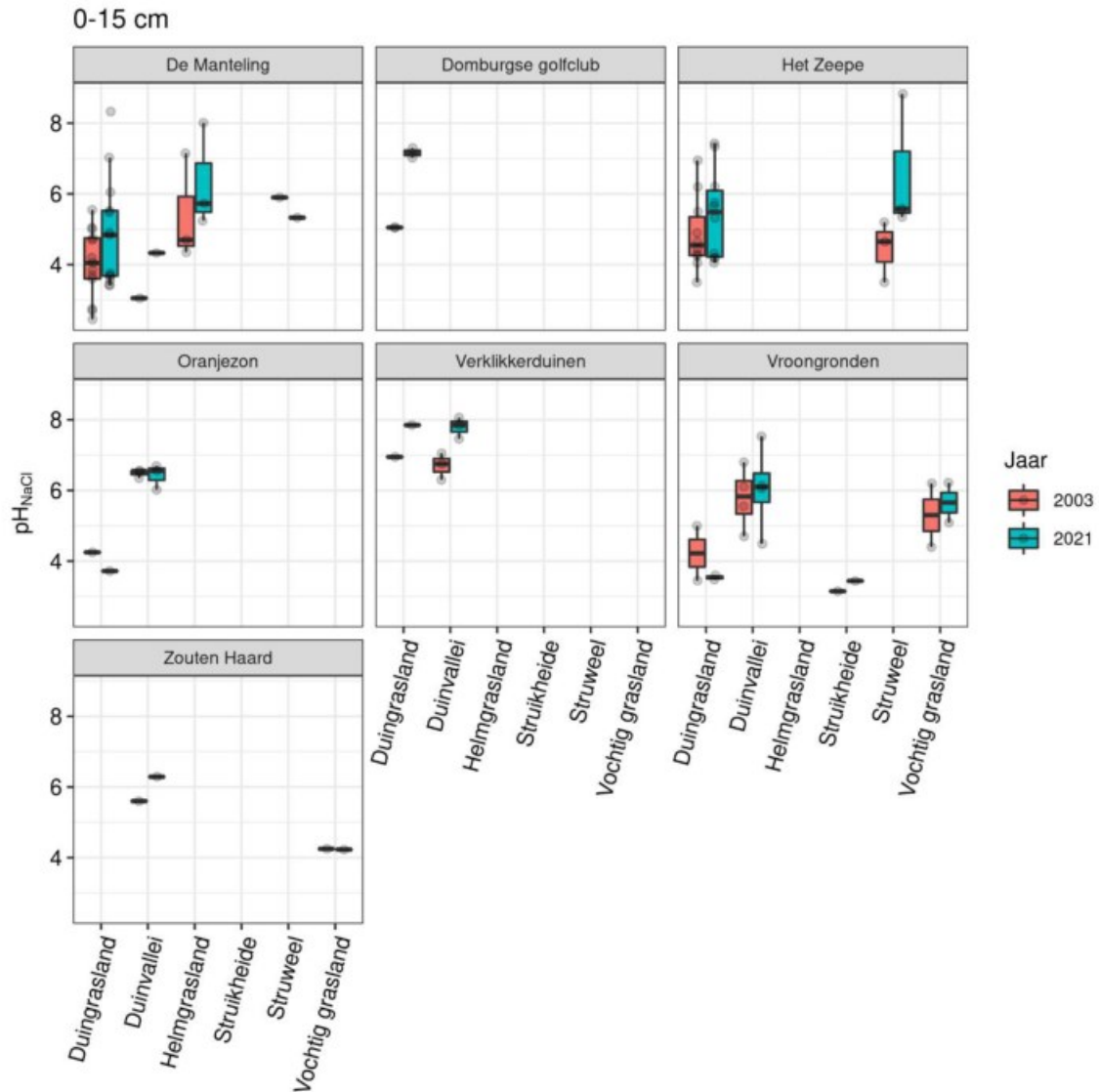
figuur 3.11. Boxplots van ammonium NH_4^+ [micromol/l FW] in de twee verschillende bodemhorizonten - tussen 0-10(15) cm en tussen (20)30-40 cm. De data is weergegeven per gebied en habitattyp. In 2021 waren de PQ's niet alleen in duingraslanden en duinvalleien (en struikheide) in te delen, maar ook andere habitattypen zoals duingraslanden met dominanties van helm (*Ammophila arenaria*), struwelen en vochtig grasland.

4. Vergelijking tussen de metingen in 2002/2003 en 2021

4.1 Bodemchemische parameters

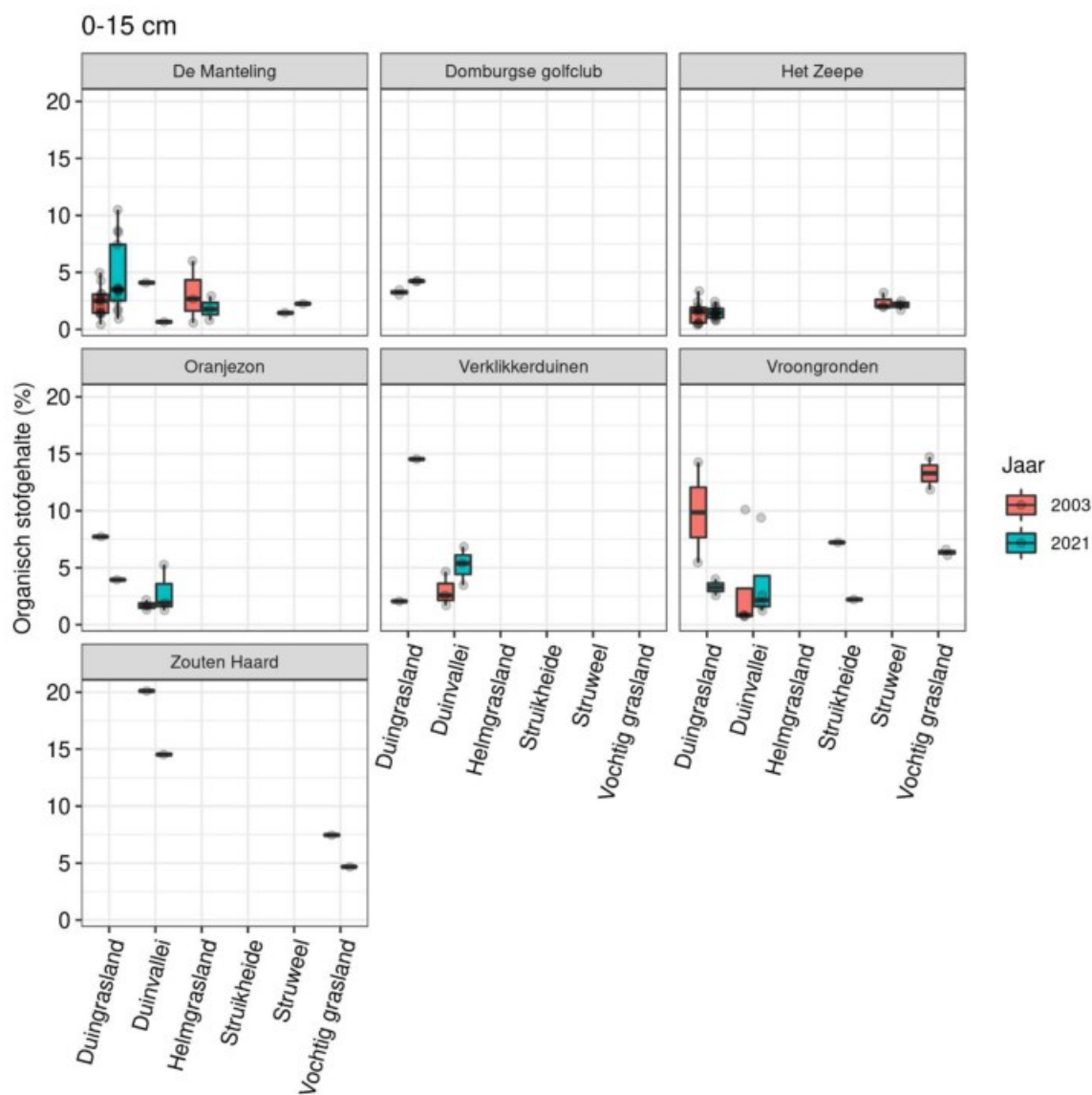
Enkele bodemparameters zijn in 2002/2003 door [REDACTED] en nu in 2021 op dezelfde variabelen geanalyseerd. Voor een groot deel zijn de gebruikte methodes wel zeer verschillend. In dit hoofdstuk wordt alleen de data vergeleken die of met dezelfde methode is uitgevoerd of die door een grotere, bestaande dataset makkelijk om te rekenen is. Binnen het Onderzoekcentrum B-WARE bestaan grotere datasets voor bijvoorbeeld pH in water of zout extract gemeten, waardoor we een goeie correlatie tussen parameters kunnen opstellen en data kunnen omrekenen. Zo kan de pH gemeten met een water extract (methode [REDACTED] [REDACTED] omgerekend worden in een pH gemeten met een NaCl extract (correlatie $R^2 > 0,90$). Daardoor kan men de waarden goed in een grafiek vergelijken.

Voor de duingraslanden valt op, dat de pH in de bovenste laag, tot 10-15 cm diep, bijna overal gestegen is of tenminste een tendens naar hogere waardes laat zien ten opzichte van 2003 (zie figuur 4.1). Voor de duinvalleien is de pH-range ongeveer gelijk gebleven of alleen licht gestegen (Buitenverklikker en Verklikkerstrand, Zouten en Zoeten Hard en Manteling). Het enige gebied waar de pH duidelijk lager is in 2021 dan in 2003 en met pH_{NaCl} van 3,9 op een kritisch laag niveau uitkomt, is een duingraslanden in het Oranjezon (plot 83) en deels ook de Vroongronden. In de Manteling en het Zeepe zijn juist de locaties met voorheen lagere pH waarden licht omhoog gegaan in pH waarden, maar ook hier bestaan nog enkele locaties met een $pH_{NaCl} < 4,2$ (Dit zijn in de Manteling plot 87,88,89 en 143 in beide bodemlagen $pH < 4,2$. Deze liggen allemaal noordelijk van Oostkapelle. Richting Domburg zijn de pH waarden hoger (zie bijlage 4). In het Zeepe komen lage pH-waarden ($pH < 4,2$) in beide bodemlagen voor in plot nummer 147 - zie kaart in bijlage 4). De Vroongronden zijn weer een buitenbeentje. Hier was de pH in de duingraslanden in het verleden al laag en is ook nu nog laag met waarden rond de pH_{NaCl} 4. Bij deze lage pH waarden onder $pH_{NaCl} < 4,2$ krijg je toenemende remming van de nitrificatie, en stijgende concentratie van voor de meeste vaatplanten toxische elementen zoals ammonium, aluminium en uiteindelijk ook ijzer. Voor veel planten en ook de in niet verzuurde duingraslanden goed ontwikkelde mycoflora van bijvoorbeeld wasplaten (*Hygrocybe* spp.) is deze lage pH een kritische grens.



figuur 4.1. Boxplots van pH_{NaCl} in de bovenste bodemhorizonten 0-10(15) cm van de meting van [redacted] in 2002/2003 en de meting in 2021. De meting van [redacted] was een pH gemeten in een waterextract. Deze metingen zijn omgerekend met een regressie ($R^2 > 0,90$) die uit een grote, eigen dataset voortkomt. De data zijn weergegeven per gebied en habitattype (van 2021).

Het organisch stofgehalte in de toplaag blijft tussen 2003 en 2021 in de meeste gebieden bijna gelijk of laat een lichte stijging zien (figuur 4.2). In de Vroongronden dalen voor bijna alle habitattypen de organisch stofgehaltes, behalve voor de duinvalleien. Hier blijven deze constant of laten een lichte stijging zien. Hetzelfde patroon wordt ook zichtbaar in het stikstofgehalte in de bovenste bodemlaag (zie bijlage 2.1). Voor de duinvalleien is dit goed te verklaren, omdat de meeste valleien in de jaren voor 2003 geplagd zijn. Hierna heeft door successie weer een accumulatie van organisch stof plaats gevonden (informatie [redacted]).



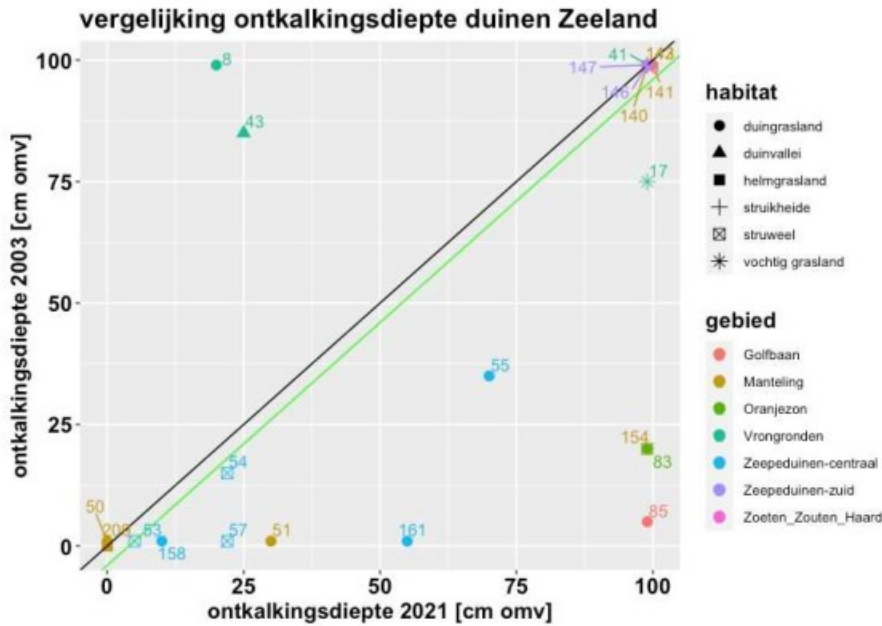
figuur 4.2. Boxplots van het organisch stofgehalte [%]_i in de bovenste bodemhorizonten 0-10(15) cm van de meting van ██████████ in 2002/2003 en de meting in 2021. De data zijn weergegeven per gebied en habitattype.

4.2 Vergelijking van de bodemprofielen

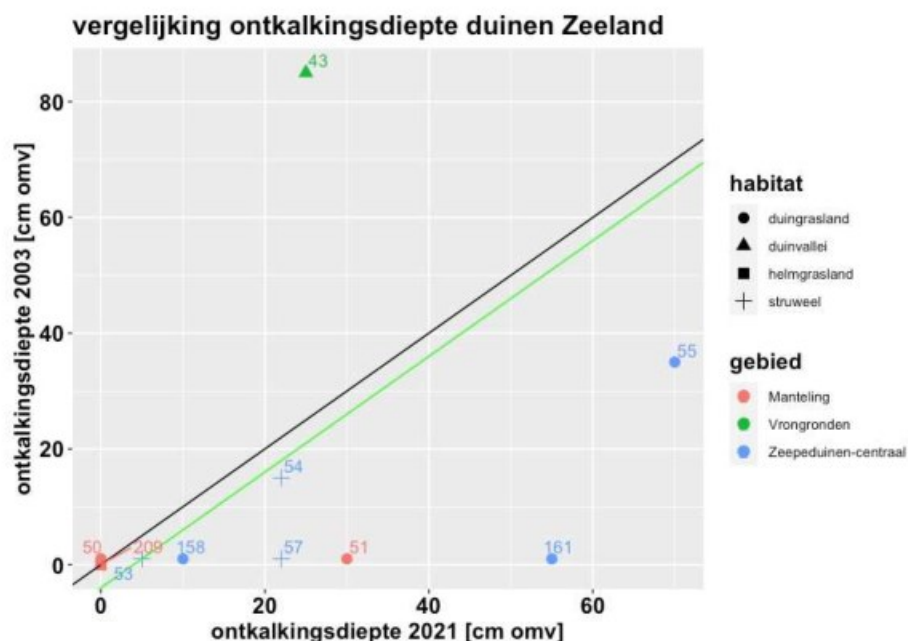
Tussen 1990 en 2005 heeft ██████████ in de duinen van de Zeeuwse eilanden naast de vegetatie en bodemmonsters ook de bodem in de bovenste 100 cm gekarteerd. De meeste beschrijvingen van de bodemprofielen als ook bodemmonsters zijn in de zomer 2003 gemaakt. Om de ontwikkeling van de duinen te vergelijken worden twee factoren, namelijk de dikte van de bovenste organische laag (Ah horizont) en de ontkalkingsdiepte, vergeleken met de metingen in 2021.

Niet voor alle locaties bestaan metingen van ██████████ In figuur 4.5 en 4.6 worden alleen data weergegeven waarvoor ook vergelijkingsdata uit 2003 bestaan. Op enkele

locaties werd tot 100 cm geen kalk gevonden worden, bij de metingen van [redacted] en ook niet bij de metingen in 2021. Deze gegevens worden in figuur 4.5 weergegeven met een standaard waarde van 99 cm. In figuur 4.6 zijn deze meetpunten met onbekende ontkalkingsdiepte weggelaten. Het valt op, dat veel punten onder de lijn met dezelfde waarden (45 graden lijn) liggen, d.w.z. dat de bodems dieper ontkalkt zijn ten opzichte van 2003. Ontkalking van de bodem door bodemprocessen als nitrificatie treedt in de meeste ecosystemen ook zonder verzurende depositie op. Afhankelijk van de buffering wordt de pH van de bodem verlaagd. Stuyfzand (1993, 1998) geeft voor duinbodems met een kalkgehalte van 2 % tot 5 % een gemiddelde ontkalkingsnelheid van ca. 23 cm respectievelijk 9 cm per eeuw aan. Tussen de metingen in dit project zit 18 jaar tijdsverschil en de duinen in de onderzochte gebieden hebben een kalkgehalte van < 2% (zie hoofdstuk 2). Er zou dus normaliter slechts een ontkalking van ca. 4 cm opgetreden zijn in de tussentijd (groene lijn in figuur 4.5). Dit ligt voor 10 van de vergeleken punten meestal veel hoger (voor vier punten geen verschil, en alleen twee punten lager dan in 2021; zie figuur 4.5). Er bestaat dus een trend van een diepere ontkalking van de bodem van de duingraslanden en het struweel dan verwacht. De locaties met dieper ontkalkte bodems liggen vooral in het centrale deel van de Zeepe (Schouwen) en deels in de Manteling en Oranjezon (Walcheren), maar het aantal metingen is te klein, om hier een heel harde en duidelijke uitspraak over te kunnen doen.



figuur 4.5. Vergelijking van de ontkalkingsdiepte [cm onder maaiveld - omv] tussen de metingen van [redacted] in 2003 en de metingen in 2021. De vormen geven de verschillende habitats in 2021 weer, de kleuren de verschillende gebieden. De nummers zijn de nummers van de bodemonsters van [redacted] in 2003. De zwarte, diagonale lijn geeft de gelijke waarden weer, de groene lijn de verwachte, tussentijdse ontkalking zonder extra verzurende invloed zoals verhoogde atmosferische zwavel of stikstof depositie. Waarden met 99 [cm omv] geven punten weer, bij welke met 10% HCl in het veld tot 100 cm geen kalk was gemeten.

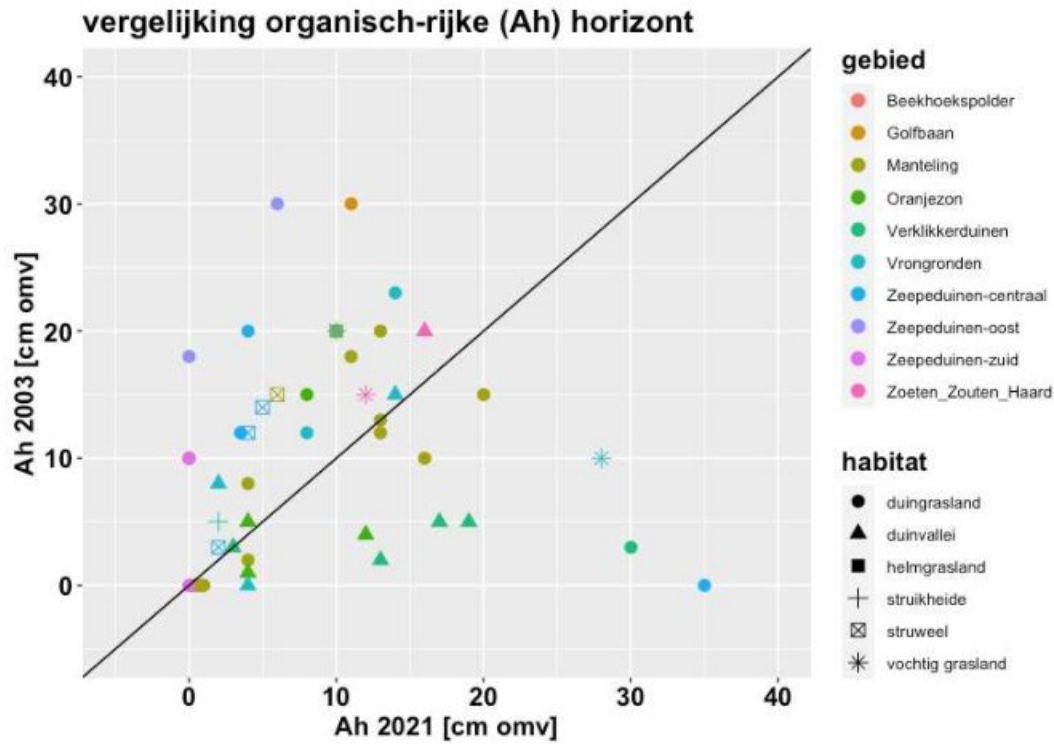


figuur 4.6. Vergelijking van de ontkalkingsdiepte [cm onder maaiveld - omv] tussen de metingen van [redacted] in 2003 en de metingen in 2021. De vormen geven de verschillende habitats in 2021 weer, de kleuren de verschillende gebieden. De nummers zijn de nummers van de bodemonsters van [redacted] in 2003. De zwarte, diagonale lijn geeft de gelijke waarden weer, de groene lijn de verwachte, tussentijdse ontkalking zonder extra verzurende invloed zoals verhoogde atmosferische zwavel of stikstof depositie. Anders dan in figuur 4.5 wordt hier alleen data weergegeven met een in 2003 en 2021 werkelijk gemeten ontkalkingsdiepte tot 100 cm.

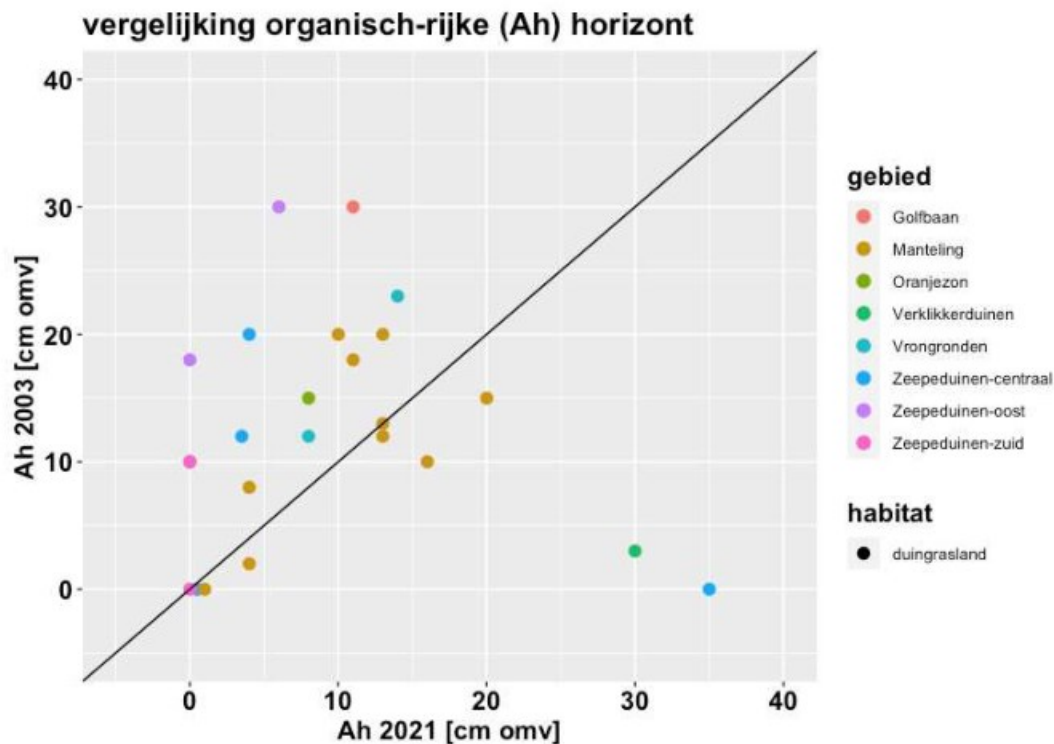
Een vergelijking voor de organisch-rijke, bovenste horizont (Ah- horizont) laat grotendeels een ander resultaat zien dan voor de ontkalking. In 2003 zijn er grotendeels dikkere Ah-horizonten gemeten dan in 2021 (figuur 4.7). Door het dikker worden van de ontkalkte toplaag in de meeste gebieden, zou je verwachten, dat de organisch-rijke horizont (Ah) juist toeneemt, maar juist een afname is het geval. Ten minste voor de PQ's die in deze vergelijking meegenomen konden worden. Wel is de pH in de bovenste bodemlaag (0-15 cm) in de meeste plots gestegen tussen 2003 en 2021 (figuur 4.1 en kaarten in bijlage 4). Met een hogere pH stijgt ook de microbiële omzetting van organische massa en de nitrificatie is niet geremd.

Een afname van de dikte van de Ah geldt vooral voor de duingraslanden (figuur 4.8) en niet voor de duinvalleien (figuur 4.9). Misschien hebben de droge zomers of extra overstuiving tot deze verlaging geleid, maar dit is niet hard te maken. Door de hogere pH in de bovenste bodemlaag (0-15 cm) in de duingraslanden is een overstuiving met kalkrijker zand waarschijnlijk. De organisch-rijke Ah is in de duinvalleien in de afgelopen 18 jaar gemiddeld dikker geworden, maar ook bij deze vergelijking moet erbij gezegd worden, dat niet voor alle gebieden data uit 2003 bestaat en alleen beperkt vergeleken kan worden. Ook is de beoordeling van een dikte van een Ah-horizont relatief subjectief. Deze vergelijking is niet zo betrouwbaar als een chemische analyse van de bodem. Verder kan de bodem op korte afstand zeer variabel zijn en metingen dicht bij elkaar behoorlijk verschillen. Deze verschillende redenen maken een eenduidige inschatting moeilijk.

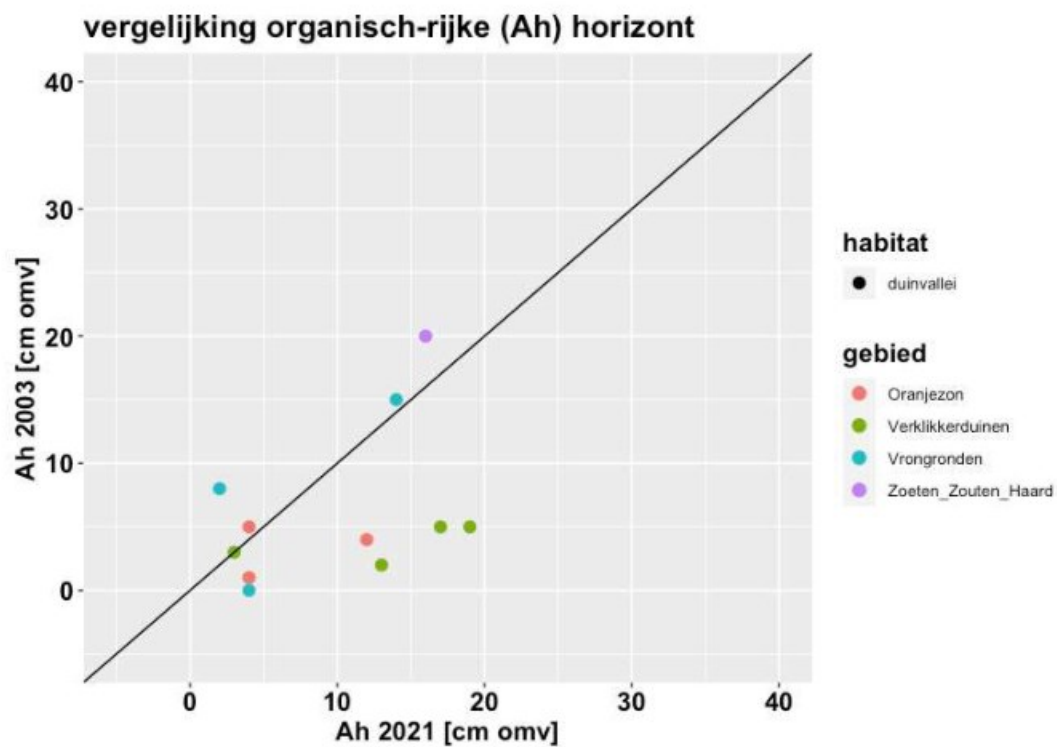
In de organisch-rijke bovenlaag in de duinvalleien kan bijvoorbeeld door voortschrijdende successie biomassa accumuleren en hierdoor de Ah dikker worden. Bij enkele locaties is de dikte van de Ah juist minder dik geworden. Hier kan lokaal geplagd of gechopperd zijn en is de organische toplaag hierdoor kleiner geworden (punten boven de lijn, figuur 4.9).



figuur 4.7. Vergelijking van de organisch-rijke, bovenste horizont Ah [cm onder maaiveld - omv] tussen de metingen van [redacted] in 2003 en de metingen in 2021. De vormen geven de verschillende habitats in 2021 weer, de kleuren de verschillende gebieden. De zwarte lijn geeft met 45 graden de gelijke waarden weer.



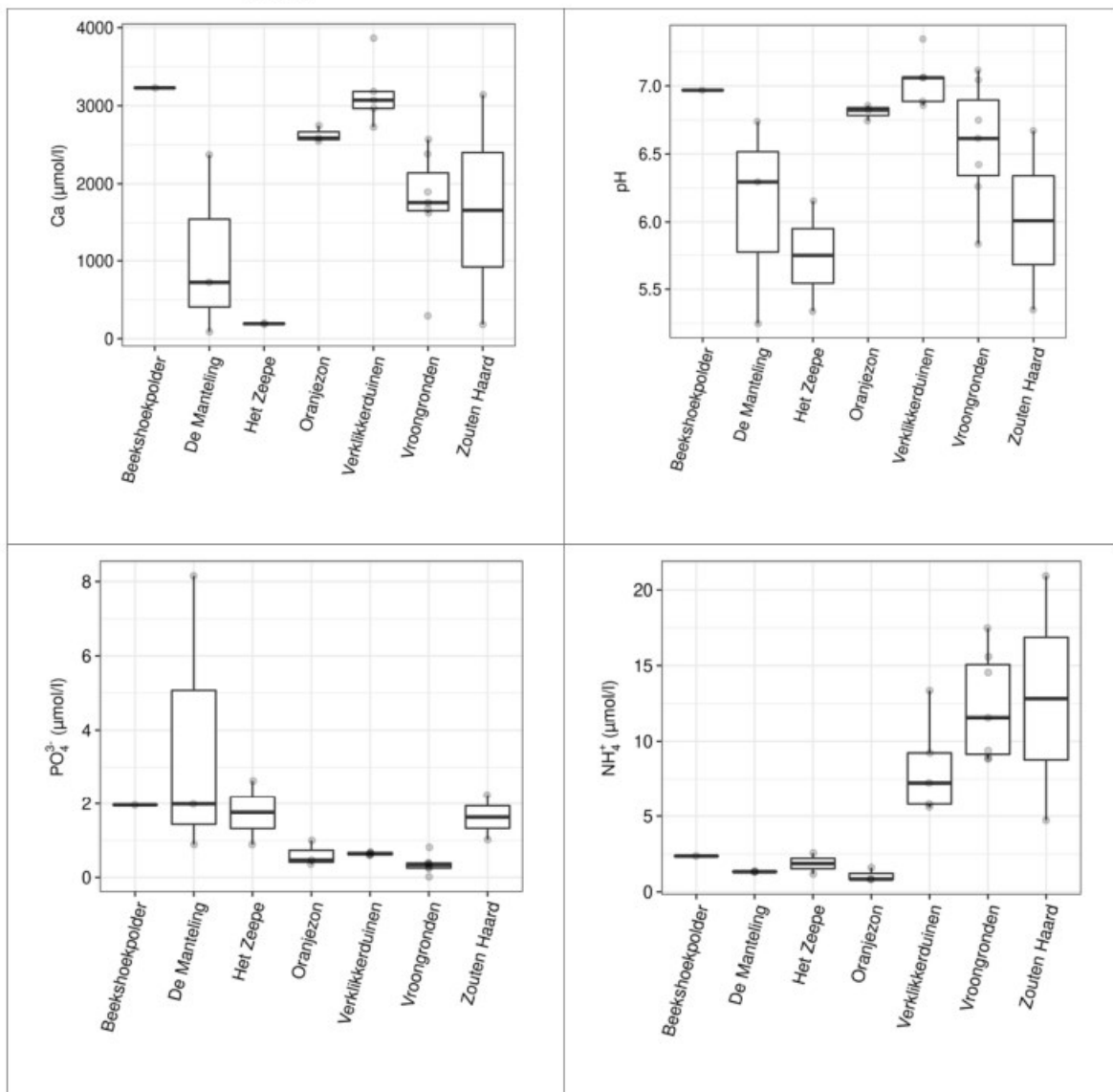
figuur 4.8. Vergelijking van de organisch-rijke, bovenste horizont Ah [cm onder maaiveld - omv] voor alleen de duingraslanden tussen de metingen van [redacted] in 2003 en de metingen in 2021. De kleuren de verschillende gebieden. De zwarte lijn geeft met 45 graden de gelijke waarden weer.



figuur 4.9. Vergelijking van de organisch-rijke, bovenste horizont Ah [cm onder maaiveld - omv] voor alleen de duinvalleien tussen de metingen van [redacted] in 2003 en de metingen in 2021. De kleuren de verschillende gebieden. De zwarte lijn geeft met 45 graden de gelijke waarden weer.

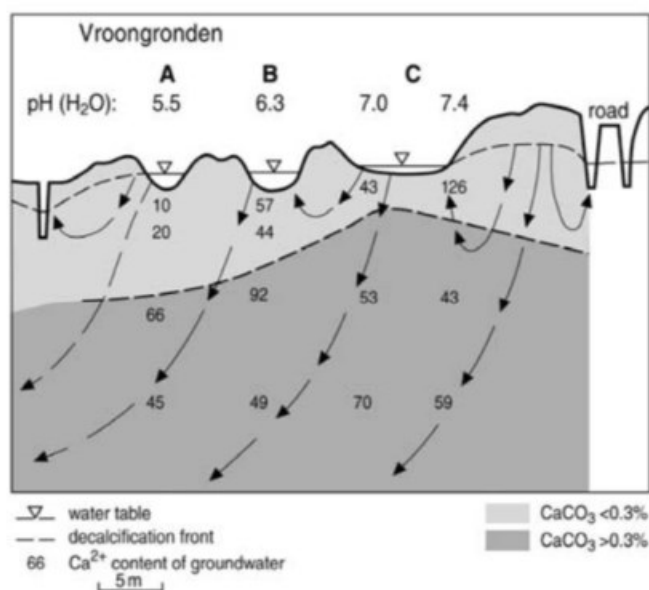
5. Gemeten bodemvocht in de duinvalleien in 2021

Door op locaties met voldoende hoge grondwaterstanden niet alleen de bodem maar ook het bodemvocht in de diepere wortelzone, op ca. 30-50 cm, te meten, kan een eerste indicatie gegeven worden welke kwaliteit het voor de planten beschikbare water heeft en ten dele ook of er sprake is van toevoer van grondwater. In figuur 5.3 is de calciumconcentratie in het bodemvocht uitgezet tegen het totale calcium gehalte in de bodem (voor de bodemlaag 20-40 cm). Hier zijn duidelijke verschillen in calcium in het bodemvocht met vergelijkbare totale calciumgehalten in de bodem te zien. (De pH is niet positief gecorreleerd met calcium in het porievocht bij deze lage totale calcium gehalten. Het wordt dus niet meer uitgeloozd.) De bron voor deze hogere calcium concentraties in het bodemvocht is zeer waarschijnlijk een toevoer van kalkrijker grondwater. Om een beter gefundeerde inschatting te kunnen geven, zou ook dieper en ook in het seizoen met de grootste kwelinvloed gemeten moeten worden, dus ongeveer eind februari/ begin maart. Met de nu beschikbare data kan alleen een eerste inschatting gegeven worden.



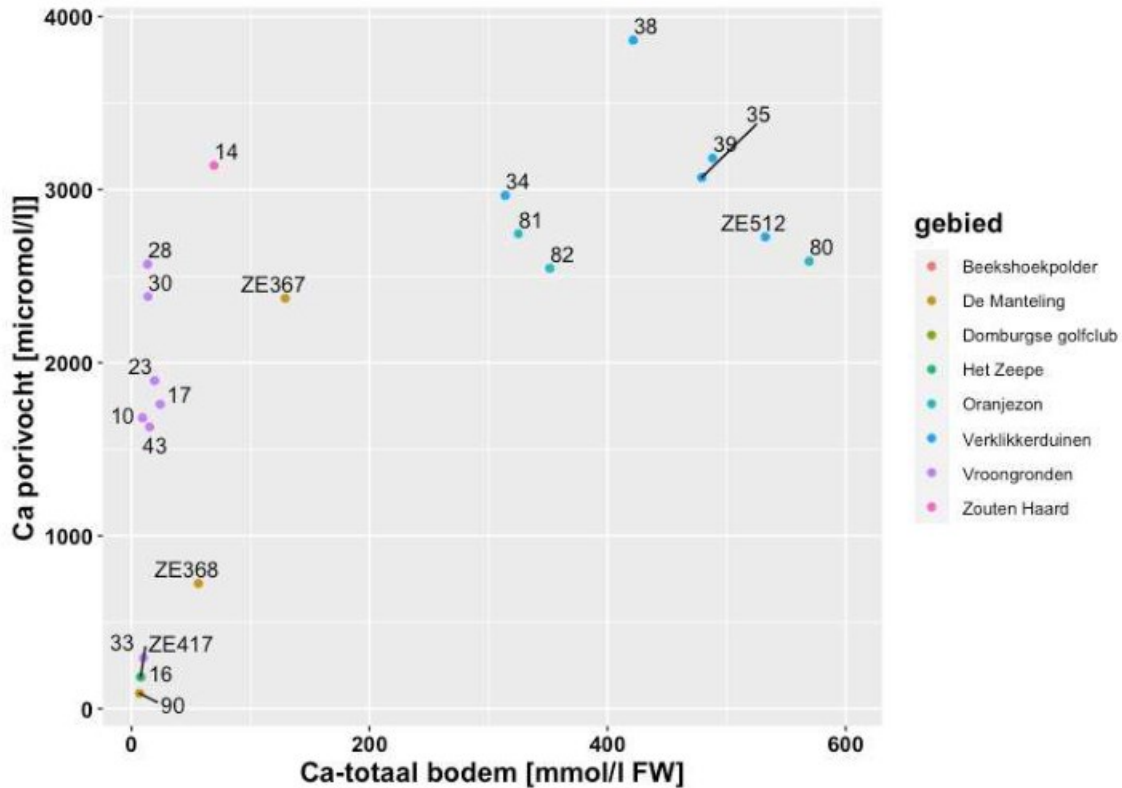
figuur 5.1. Boxplots van verschillende parameters - totaal Ca [micromol/l], pH, PO_4^{3-} [micromol/l] en NH_4^+ [micromol/l] - in het bodemvocht van de duinvalleien per deelgebied op ca. 30-50 cm diepte onder maaiveld met een poreuze cup gemeten.

In de Beekhoekspolder, Oranjezon en de Verklikkerduinen komen de hoogste calciumgehaltenes voor met 2500-3000 micromol/ l (figuur 5.1). De Vroongronden zijn met waarden rond de 2000 micromol/ l nog redelijk hoog. De Manteling en de Zouten en Zoeten Haard laten een grote spreiding zien met zeer lage concentraties tussen de 100 en 200 micromol/l, maar ook concentraties rond de 2500-3000 micromol/l. In het Zeepe zijn de concentraties altijd laag, rond de 200 micromol/l. De pH-waarden laten, niet verrassend, hetzelfde patroon zien en dalen niet beneden de pH 5,2-5,3. In het Zeepe overheerst de invloed van regenwater en bestaat er nog nauwelijks buffering in de bodem. In figuur 5.1 wordt de overgang in duinvalleien met verschillende grondwaterkwaliteiten in de Vroongronden aangegeven (Grootjans et al, 2002). Vergelijkbare grondwaterkwaliteiten en concentraties met het onderzoek van Grootjans et al. (2002) zijn ook in 2021 in de Vroongronden gemeten. De gradiënt van niet veel (plot 33, paarse punten) tot tamelijk hoge (plot 28 en 30) concentratie calcium in het porievocht komen nog steeds in de Vroongronden voor (zie figuur 5.3), ondanks dat het totale gehalte in de bodem op vergelijkbare diepte dezelfde lage concentraties heeft. Deze verschillen zijn alleen door verschillen in toestromend grondwater te verklaren.

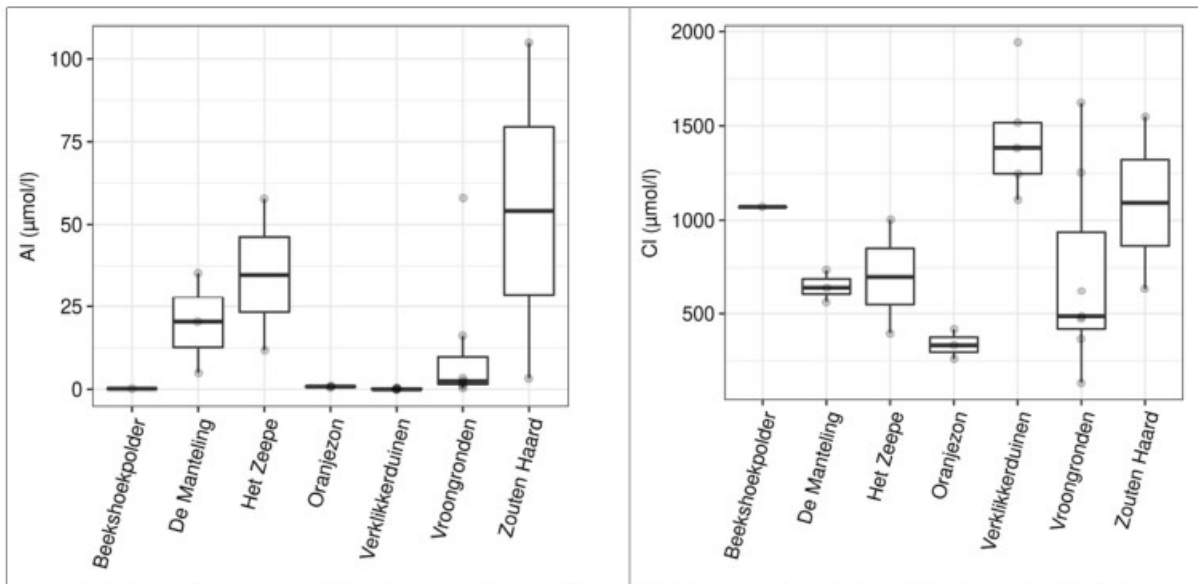


figuur 5.2. Hydrologisch systeem van de Vroongronden op het eiland Schouwen met grondwaterstromingspatroon afgeleid uit calciumgehaltenes van het grondwater en de positie van het ontkalkingsfront in het bodemprofiel. Ook is de pH van de bovengrond (0-10 cm) in verschillende slenken aangegeven. Het infiltratiegebied ligt dicht bij een weg, die wordt geflankeerd door twee afwateringsloten. De neerslag passeert de kalkhoudende zandafzettingen op ca. 50 cm onder het oppervlak. Een deel van het kalkhoudende grondwater komt vanuit het duinvallei C de oostelijke helling binnen, waar zeer hoge calciumwaarden in de bovengrond zijn gemeten, mogelijk als gevolg van het oplossen van secundaire carbonaatafzettingen. Het ontkalkingsfront bevindt zich hoog in het profiel onder de gehele duinvallei. Het grondwater mengt zich met kalkarm neerslagwater aan het bodemoppervlak en infiltreert weer naar diepere lagen. Duinvallei B wordt ook gevoed met kalkrijk grondwater uit duinvallei C. In duinvallei A overheerst infiltratie van neerslagwater (figuur 15 in Grootjans et al., 2002). Het grondwater wordt waarschijnlijk in mg/l aangegeven, maar kon in het artikel niet achterhaald worden. Met een vermenigvuldiging van ca. 25 kan omgerekend worden van mg/l naar micromol/l.

De nitraatgehaltes zijn in alle gebieden zeer laag met concentraties < 1,5 micromol/ l (zie bijlage 2). Ook het ammoniumgehalte (NH_4^+) is niet hoog met concentraties tot maximaal 15-20 micromol/l (zie figuur 5.1).



figuur 5.3. Scatterplot van de Ca concentratie [micromol/l] in het porievocht (poreuze cups) ten opzichte van de totale Ca concentratie in de bodem [mmol/l FW] in de laag tussen 20-40 cm. In kleur worden de verschillende gebieden aangegeven. Per punt worden ook de nummers van de plots (LMF of bodem XXXXXXXXXX aangegeven.



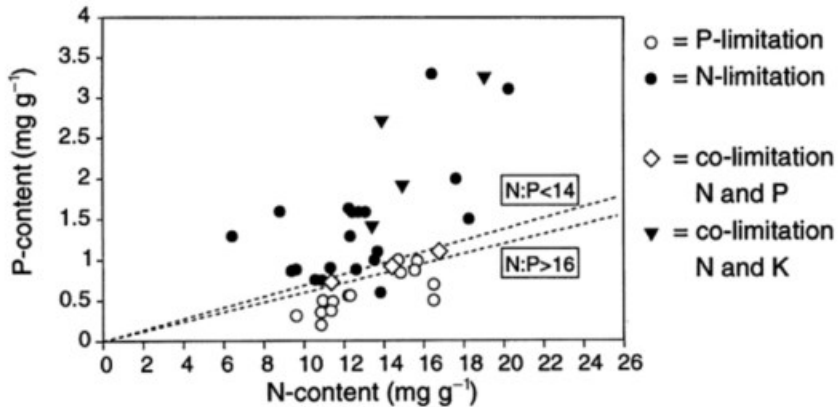
figuur 5.4. Boxplots van verschillende parameters - totaal Al [micromol/l] en totaal Cl [micromol/l] in het bodemvocht van de duinvalleien per deelgebied op ca. 30-50 cm diepte onder maaiveld met een poreuze cup gemeten.

De aluminium concentraties zijn vooral in het Zeepe maar ook in de Manteling verhoogd (figuur 5.4) Bij de Zoeten en Zouten Haard gaat het om één van de metingen. Een verminderde buffercapaciteit door minder (bi)carbonaat en calcium leidt tot een lagere pH, die er op zijn beurt toe leidt dat aluminium(hydr)oxiden in oplossing gaan en als verhoogde aluminium concentraties in het bodemvocht gemeten worden. Dit vindt plaats beneden een pH van ongeveer 4,5. Waarschijnlijk vindt dit vooral plaats wanneer het grondwater niet (meer) tot in de humeuze toplaag reikt, er dan vooral regenwater infiltreert en hierdoor verzuurt. Verder kan de toplaag nog verzuren, indien de toplaag (deels) uitdroogt.

De concentraties van chloride (Cl) geven samen met de concentraties van natrium (Na) aan hoe sterk de invloed van zilt grondwater en/ of wash-overs is (incidentiele overstromingen vanuit de zee). Zilt grondwater kan door kwel, zilte afzettingen of voor de bovenste aquifer ook door inundatie met zout water veroorzaakt zijn. In bijna alle gebieden is de invloed van zout op 30-50 cm onder maaiveld te zien (figuur 5.4). Alleen in het Oranjezon en in enkele PQ's van de Vroongronden is dit niet het geval; voor het Zeepe en de Manteling in mindere mate. Deze zoutinvloed is ook in de vegetatie terug te zien met een aantal zout tolerante planten zoals Melkkruid (*Glaux maritima*), Waterpunge (*Samolus valerandi*) of Ruwe bies (*Schoenoplectus tabernaemontanii*; zie ook hoofdstuk 7).

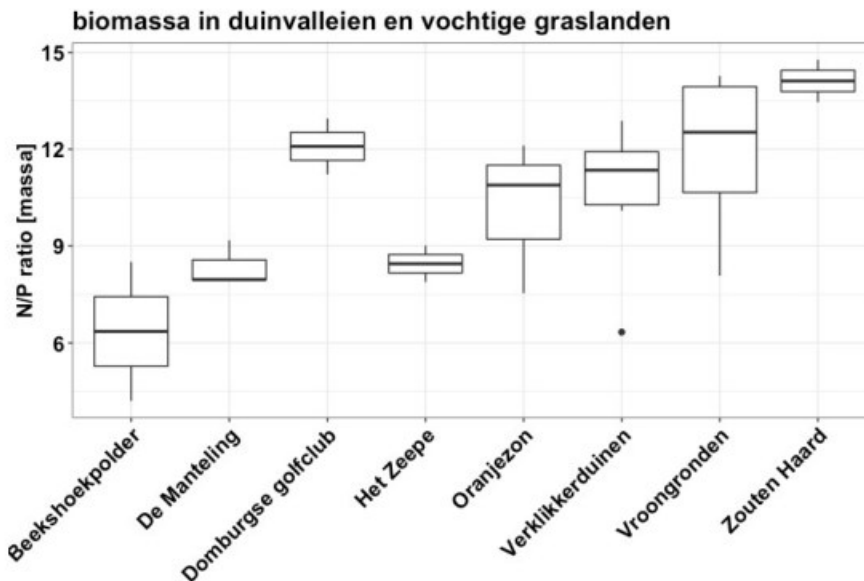
6. Chemische analyse van de plantenbiomassa in 2021

Om de nutriëntenlimitatie van de verschillende plantengemeenschappen in de PQ's te bepalen, kan men naar de verhouding tussen stikstof (N) en fosfor (P) in het gedroogde plantenmateriaal kijken. Koerselman & Meuleman (1996) hebben uit een review van Europese bemestingsexperimenten in natte ecosystemen een verhouding tussen N en P kunnen vinden, die een limitatie van P - N/P ratio >16 -, een limitatie van N - N/P-ratio <14 - of juist een co-limitatie van N en P - N/P ratio 14-16 - aangeven (figuur 6.1).



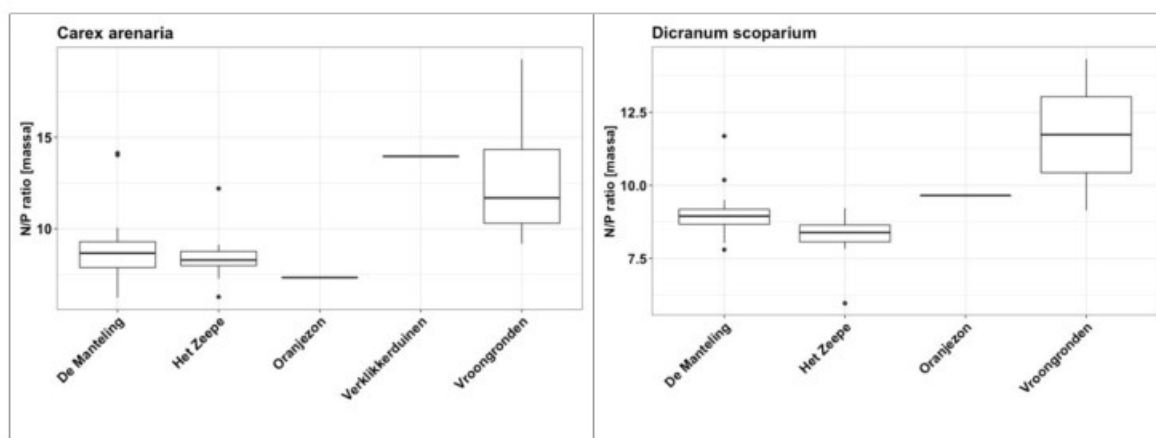
figuur 6.1. Verband tussen het N- en P-gehalte van de vegetatie en de aard van de nutriëntenbeperking in 40 Europese wetlands (moerassen, arme vennen, rijke vennen, natte heide, natte graslanden en duinvalleien). De gegevens zijn afkomstig van experimenten waarbij elk type nutriëntenbeperking is aangetoond, zoals bepaald door bemestingsexperimenten. De nutriëntengehaltes werden bepaald in onbemeste controlepercelen. De stippellijnen geven een N:P-verhouding van 14 en 16, in massa, weer (figuur 1 in Koerselman & Meuleman, 1996).

In de duinvalleien en vochtige graslanden zijn biomassa monsters genomen. Het wordt duidelijk dat bijna in alle gebieden zeer waarschijnlijk een N-limitatie aanwezig is (figuur 6.2). De N/P ratio ligt overal tussen 4 en 14. Alleen bij een PQ in het Zoeten en Zouten Haard ligt de N/P ratio tussen de 14 en 16 en vindt co-limitatie van zowel N als ook P plaats.



figuur 6.2. Boxplots van de N/P ratio's [g:g, niet mol:mol] van de biomassa in verschillende duinvalleien per deelgebied op Walcheren en Schouwen.

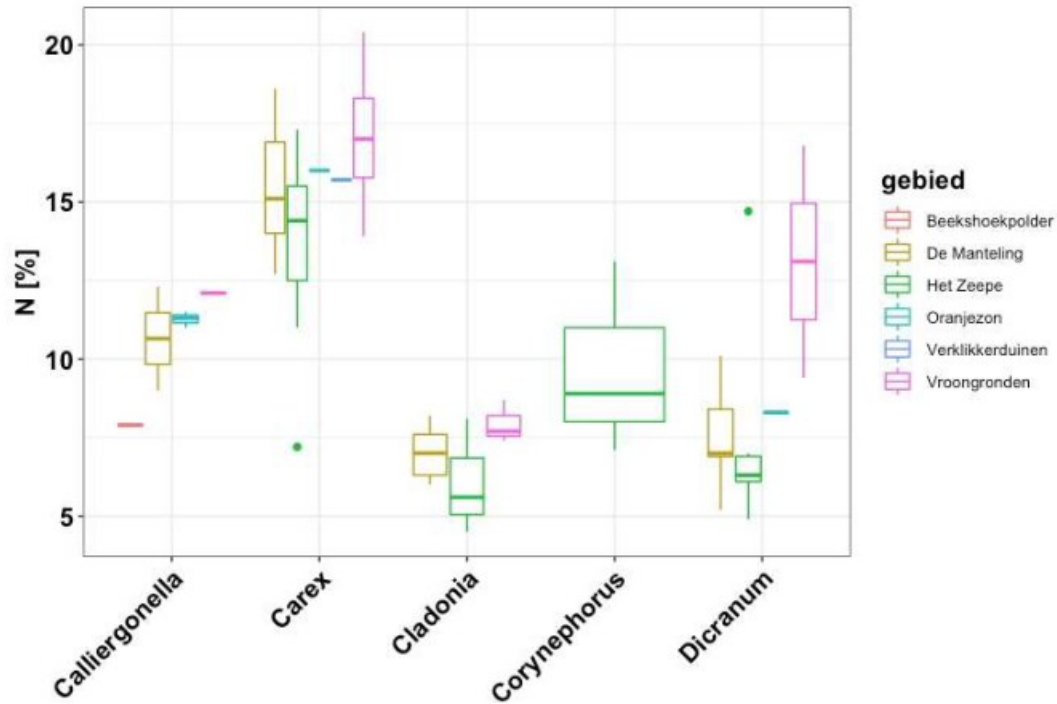
Of deze grenzen van N/P ratio's ook voor andere soorten en droge habitats gelden, is minder goed onderzocht. In de PQ's van de duingraslanden en deels vochtige graslanden zijn monsters van zandzegge (*Carex arenaria*) en gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) onderzocht. Indien dezelfde grenzen voor N/P ratio's gelden, dan is ook in de droge en vochtige graslanden vooral een stikstoflimitatie aanwezig (figuur 6.3). Alleen in enkele PQ's in de Manteling komt misschien een N/P co-limitatie voor. In Manteling waren ook de concentraties van plant-beschikbaar fosfor (P-Olsen) hoger en was de vegetatie eerder als mesotroof te classificeren. Dit verklaart misschien de co-limitatie in plaats van N-limitatie.



figuur 6.3. Boxplots van de N/P ratio's [massa] van de zandzegge (*Carex arenaria*) en gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) in duingraslanden per deelgebied op Walcheren en Schouwen.

Het totale stikstofgehalte in soorten van duingraslanden (en duinvalleien) die flexibel zijn in hun stikstofopname, kan een goede indicatie zijn voor de mate van atmosferische stikstofdepositie in de deelgebieden zelf. Korstmossen zoals rendiermossen (*Cladonia* of *Cladina spec.*) nemen als een soort spons stoffen op die in de lucht voorkomen of met neerslag in het weefsel terecht komen. Er worden nauwelijks via de bodem stoffen opgenomen. Tijdens de bemonstering van rendiermossen is ook de onderste cm met organisch stof niet meegenomen. Deze onderste cm bestaat uit ouder weefsel en zouden het beeld van opgenomen stikstof uit de lucht vertekenen. In figuur 6.4 wordt de totale stikstofgehalte van soorten in de Zeeuwse duinen weergegeven. Een duidelijke trend is, dat de N-concentraties in de Vroongronden altijd het hoogst uitkomen en die van het Zeepe in vergelijking relatief laag. De waarden van de Manteling liggen tussen de waarden van deze twee gebieden. Voor *Cladonia* zijn dit concentraties tussen ca. 5-8 % N (zie figuur 6.4). In schone of licht door stikstof depositie beïnvloede duinen rond de Oostzee lagen de N-gehalten van open rendiermos (*Cladonia/ Cladina portentosa*) bij 3-5,5 % N (Remke et al. 2009). Het wordt duidelijk, dat in de Vroongronden en op enkele locaties in de Manteling een verhoogde hoeveelheid stikstof neerkomt. Gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) neemt met zijn rhizoiden niet veel nutriënten uit de bodem op. De zandzegge (*Carex arenaria*) heeft in experimenten laten zien hoe plastisch zij is als het gaat om de opname van stikstof. Alle drie soorten, rendiermos, zandzegge en gaffeltandmos (en deels ook gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*), maar hier bestaan minder datapunten van) laten hetzelfde patroon zien met de hoogste stikstof concentraties in de Vroongronden. Zeer waarschijnlijk liggen hier dichtbij bronnen met een verhoogde stikstof emissie. In het centrale deel van het Zeepe komt minder stikstof depositie aan. Zeer waarschijnlijk hangt dit samen met de grootte van het gebied en de rijkdom aan reliëf, de duinen zijn hier zeer hoog en stijl. Er komen dus duidelijke verschillen in stikstof-depositie tussen de gebieden als ook binnen de deelgebieden voor, maar de hoeveelheden zijn nog niet zo groot, dat stikstof niet meer limiterend is (lage N/P ratio's). Wel zijn de hoeveelheden te hoog voor

gevoelige plantensoorten zoals rendiermossen (Remke, 2010) en een verlaging onder de kritisch depositiewaarde is een belangrijke randvoorwaarde voor een vitaal duin-ecosysteem.



figuur 6.4. Boxplots van de totale stikstofconcentratie [N %] van verschillende soorten in duinvalleien en duingraslanden op Walcheren en Schouwen. Calliergonella - Calliergonella cuspidata, Carex - Carex arenaria, Cladonia - Cladonia portentosa of Cl. furcata, Corynephorus - Corynephorus canescens, Dicranum - Dicranum scoparium.

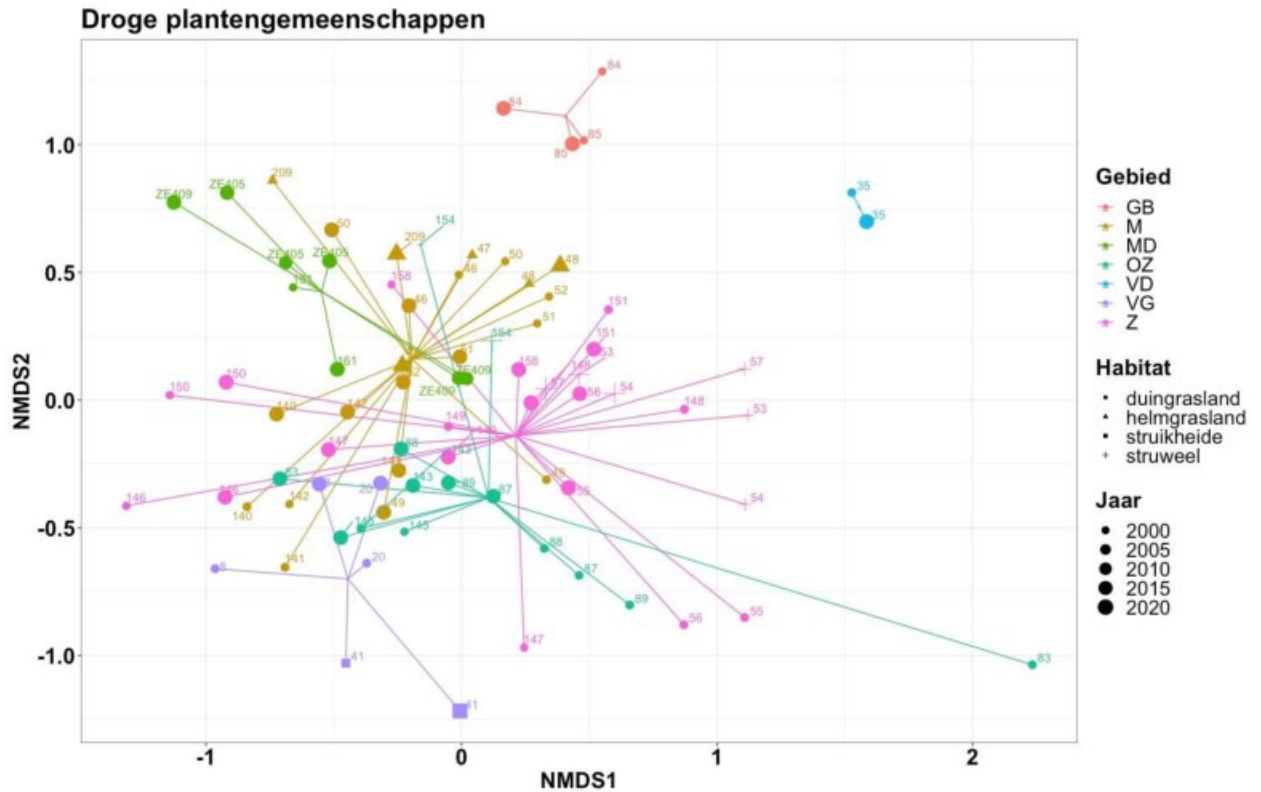
7. Verandering van vegetatie in de laatste 20 jaar

Op alle locaties zijn tussen 1997 en 2021 vegetatieopnames gemaakt, soms drie keer in de periode maar meestal alleen twee keer. De eerste opname ligt in verschillende jaren, de laatste opname altijd in 2021.

Voor de droge plantengemeenschappen konden in 2021 niet alleen duingraslanden (cirkel) gekarteerd worden, maar ook struweel (kruis; duindoorn (*Hippophae rhamnoides*) en meidoorn (*Crataegus spec.*)) en door helm (driehoek, *Ammophila arenaria* gedomineerde graslanden (zie figuur 7.1). De 'helmgraslanden' lagen grotendeels dicht bij de zeereep en alleen één PQ was in 2021 begroeid met struikhei (vierkant, *Calluna vulgaris*). Naast een hele groep van opnames die dicht bij elkaar liggen en dus nauwe verbanden met elkaar hebben, zijn er twee gebieden die helemaal afzonderlijk van de andere liggen. Deze twee gebieden, de PQ's op de golfbaan bij Domburg (rood) en de opname op een klein duintje midden in de uitgestrekte, natte duinvallei in de Verklikkerduinen (licht blauw), hebben een duidelijk andere plantengemeenschap. Ze vertonen geen overlapping met de rest. Het duintje in de Buitenverklikker heeft een plantengemeenschap met zowel planten van droge duingraslanden als zandzegge (*Carex arenaria*) of gewone vleugeltjesbloem (*Polygala vulgaris*) als ook van natte duinvalleien als parnassia (*Parnassia palustris*) en groenknolorchis (*Liparis loeselii*). Het PQ ligt op een gradiënt en laat zich nauwelijks duidelijk classificeren. De PQ's op de golfbaan hebben een groot aantal soorten, maar dat deze locaties ook beïnvloed worden door het inzaaien van graslanden voor de golfbanen is duidelijk. Soorten als Engels raaigras (*Lolium perenne*), Zachte dravik (*Bromus hordeaceus s. hordeaceus*) of smal fakkelgras (*Koeleria macrantha*) komen in de PQ's voor. *Koeleria* komt in de hele dataset alleen in één plot op de golfbaan voor en *Bromus* buiten de golfbaan alleen in twee plots in de Manteling (tussen Oostkapelle en Domburg). In het gezamenlijke veldbezoek aan de golfbaan met [REDACTED] [REDACTED] (*Dactylis*), [REDACTED] en [REDACTED] (B-WARE) leek de groeivorm van *Koeleria* ook afwijkend van een 'natuurlijke' vorm.

De duingraslanden van de Vroongronden (paars) en van het Oranjezon (blauwgroen) zijn grotendeels verschillend van de duingraslanden van de Meeuwenduinen (groen). Deze gebieden overlappen elkaar nauwelijks, waar de duingraslanden van de Manteling (bruin) en het Zeepe (roze) een centrale positie innemen. In de PQ's van de Meeuwenduinen domineren vooral soorten zoals duinriet (*Calamagrostis epigejos*), Kleverige reigersbek (*Erodium lebelii*) en duindoorn (*Hippophae rhamnoides*). De PQ's in het Oranjezon hebben een hoge bedekking met mossen en er komen soorten voor zoals gewoon biggekruid (*Hypochaeris radicata*), gewoon reukgras (*Anthoxanthum odoratum*) en valse salie (*Teucrium scorodonia*). In de Vroongronden worden de PQ's gekarakteriseerd door lagere aantallen soorten, maar wel veel verschillende korstmossen zoals *Cladonia furcata*, *Cl. arbuscula*, *Cl. fimbriata*, *Cl. portentosa* of *Cetraria aculeata*.

Bijna tussen alle PQ's van Oranjezon heeft een duidelijke verschuiving plaats gevonden gedurende de laatste 20 jaar. De bedekking met mossen is toegenomen en de bedekking met struiken is in enkele gebieden afgenomen (zie bijlage 2.3). In de laatste 10-15 jaar is het begrazingsbeheer sterk geïntensiveerd en is ook de Amerikaanse vogelkers op veel locaties verwijderd (informatie [REDACTED] en [REDACTED]). Hierdoor kan de afname in struiken in enkele deelgebieden verklaard worden.



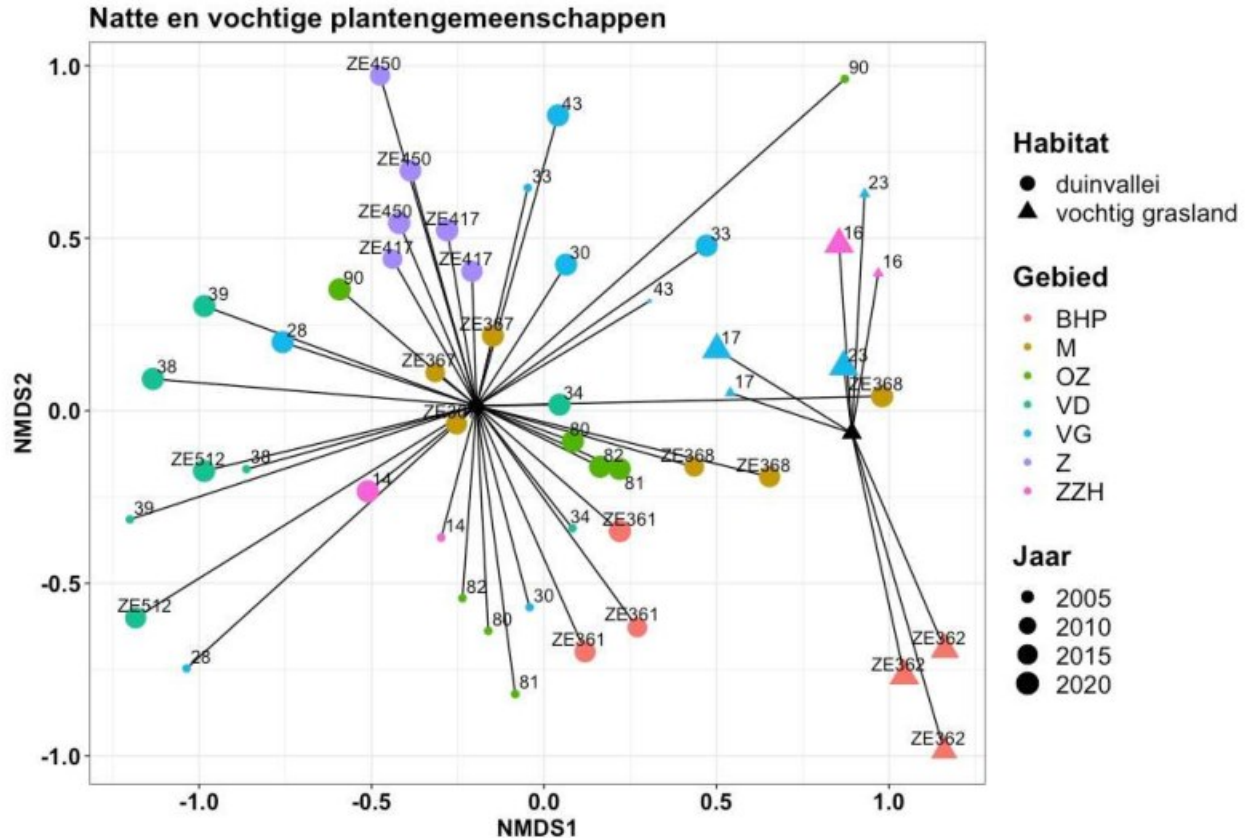
figuur 7.1. Een diagram voor een NMDS (Nonmetric Multidimensional Scaling) ordinatatie van de droge plantengemeenschappen weer (solution reached met $k=2$, d.w.z. twee assen, met stress 0.22). In 2021 zijn deze plots als duingrasland, helmgrasland, struikheide of struweel gekarteerd (verschillende vorm). De kleuren geven de verschillende gebieden weer: GB- Golfbaan in Domburg (rood, W-Walcheren), M-Manteling (bruin, W), MD-Meeuwduinen (groen, S=Schouwen), OZ-Oranjezon (blauw-groen, W), VD-Verklikkerduinen (blauw, S), VG-Vroongronden (paars, S), Z-Zeepe (roze, S). De jaren worden met een verschillende grote van de punten weergegeven, hoe groter hoe recenter de opname. De labels geven de nummers van de LMF (Landelijke meetnet Flora) of de nummer van den bodemmonsters van [redacted] weer.

De natte en vochtige plantengemeenschappen omvatten diverse typen van duinvalleien (cirkel) en verschillende vochtige graslanden (driehoek; zie figuur 7.2). De vochtige graslanden zijn duidelijk gescheiden van de duinvalleien. Alleen punt ZE368 is met de recente opname droger geworden en bevindt zich nu dicht bij de vochtige graslanden. Er komen in dit PQ nu soorten als buntgras (*Corynephorus canescens*), gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*) en gewoon biggekruid (*Hypochaeris radicata*) voor, samen met zwarte Zegge (*Carex nigra*), zomprus (*Juncus articulatus*) of moerasroklaver (*Lotus pedunculatus*). Voor de Zouten en Zoeten Haard (roze) en Beekhoekspolder (rood) is de scheiding tussen de twee habitats ook zeer duidelijk. In de Beekhoekspolder is de hoger gelegen PQ (ZE362) een kamgrasweide die eerder mesotroof is, waartegen de lager gelegen PQ een relatief soortenarm duinvallei (ZE361) is maar met bijzondere soorten als parnassia (*Parnassia palustris*), dwergzegge (*Carex oederi* s. *oederi*), zeegroene zegge (*C. flacca*) en moeraswespenorchis (*Epipactis palustris*). In 2021 kon parnassia helaas niet meer gevonden worden in deze plot.

De duinvalleien van de verschillende gebieden lijken erg verschillend te zijn: het Zeepe (paars), de Vroongronden (blauw), Verklikkerduinen (blauw-groen) en de Zouten en Zoeten Haard overlappen elkaar nauwelijks. Alleen de duinvalleien van de Manteling (bruin) en het Oranjezon (groen) liggen centraal en overlappen met verschillende gebieden. Het Zeepe

wordt gekarakteriseerd door soorten die eerder zure en deels voedselrijkere standplaatscondities laten zien (ZE450) met veenmossen (*Sphagnum palustre*, *S. denticulatum*, *S. cuspidatum*), knolrus (*Juncus bulbosus*), pitrus (*J. effusus*) en in ZE512 komt in 2019 en 2021 ook de invasieve exoot watercrassula (*Crassula helmsii*) voor. De Verklikkerduinen hebben als bijzondere soorten stijve moeraswegbree (*Echinodorus ranunculoides*), breekbaar kransblad (*Chara globularis*) en zilte waterranonkel (*Ranunculus baudotii*) (bodemmonster 38 en 39). In de PQ ZE512 heeft gewoon struikgras (*Agrostis capillaris*) een hoge bedekking (BB5 in 2019 en 2021). Ten opzichte van andere PQ's differentiërende soorten komen ruwe bies (*Schoenoplectus tabernaemontanii*) en kwelderzegge (*Carex extensa*) voor. De zilte invloed is hier duidelijk. De PQ's in de Vroongronden zijn soortenrijk. Bijzondere soorten zijn hier dwergglas (*Radiola linoides*), parnassia (*Parnassia palustris*) en blauwe zegge (*Carex panicea*). Differentiërende soorten zijn pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en blauwe knoop (*Succisa pratensis*). De PQ's zijn zuurder en kennen een langere historie van landgebruik die zich ook in de soorten weerspiegelt.

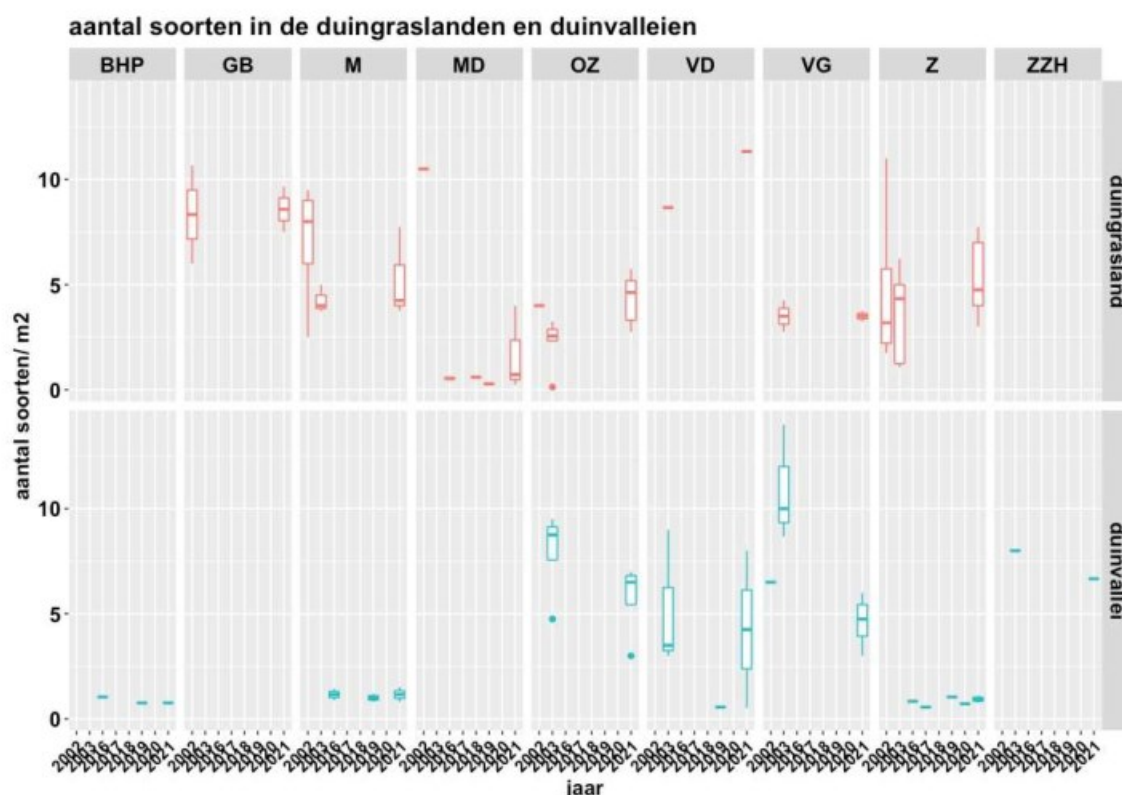
De duinvalleien van het Oranjezon zijn zeer sterk verandert. Alle vier opnames (bodemmonsters 80,81, 82 en 90) liggen op zeer verschillende plekken in het NMDS diagram (zie figuur 7.2). Het PQ 90 is zowel in 2003 als ook in 2021 verschillend van de rest. De standplaats is blijkbaar natter geworden en minder ruig. Soorten zoals gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*), gestreepte witbol (*Holcus lanatus*), tandjesgras (*Danthonia decumbens*), gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) of heideklauwtjesmos (*Hypnum jutlandicum*) kwamen vaak in 2003 voor. In 2021 komen soorten zoals gewone waternavel (*Hydrocotyle vulgaris*), zomprus (*Juncus articulatus*) of moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*) sterker voor. In de PQ's 80,81 en 82 kwamen in 2003 soorten zoals dwergzegge (*Carex oederi s. oederi*), Zilte rus (*Juncus gerardii*), zomprus (*J. articulatus*), geelhaartje (*Linum catharticum*) of waterpunge (*Samolus valerandi*), fraai duizenguldenkruid (*Centaureum pulchellum*) of strandduizendguldenkruid (*C. littorale*) voor. In 2021 komen de zout indicerende soorten niet meer voor of zijn afgenomen (waterpunge (*Samolus valerandi*), zilte rus (*J. gerardii*) of ook melkkruid (*Glaux maritima*)) en in plaats zijn parnassia (*Parnassia palustris*), zeggen als zeegroene zegge (*Carex flacca*), Blauwe zegge (*C. panicea*) en moeraswespenorchis (*Epipactis palustris*), borstelbies (*Isolepis setacea*) gekomen. Ook heeft gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*) (Braun-Blanquet 4-5 in 2021) duidelijk in bedekking toegenomen (zie ook bijlage 2.3, bedekking met mos). De duinvalleien zitten in 2021 in een later successiestadium, dat wel nog zeer soortenrijk is. Deze duinvalleien zijn in mid/eind jaren '90 geplagd en verkeerden in 2003-2005 (opnames [redacted] nog in een gevorderd pionierstadium (informatie [redacted]



figuur 7.2. Een diagram voor een NMDS (Nonmetric Multidimensional Scaling) ordinatie van de natte en vochtige plantengemeenschappen weer (Solution reached met $k=2$, d.w.z. twee assen, met stress 0.21). In 2021 zijn deze plots als duinvalleien of vochtig grasland gekarteerd (verschillende vorm). De kleuren geven de verschillende gebieden weer: BHP- Beekhoekspolder (rood, W-Walcheren), M-Manteling (bruin, W), OZ-Oranjezon (groen, W), VD-Verklikkerduinen (blauw-groen, S), VG-Vroongronden (blauw, S), Z-Zeepe (paars, S), ZZH (pink, Zoeten en Zouten Haard). De jaren worden met een verschillende grote van de punten weergegeven, hoe groter hoe recent de opname. De labels geven de nummers van de LMF (Landelijke meetnet Flora) of de nummer van den bodemonsters van [redacted] weer.

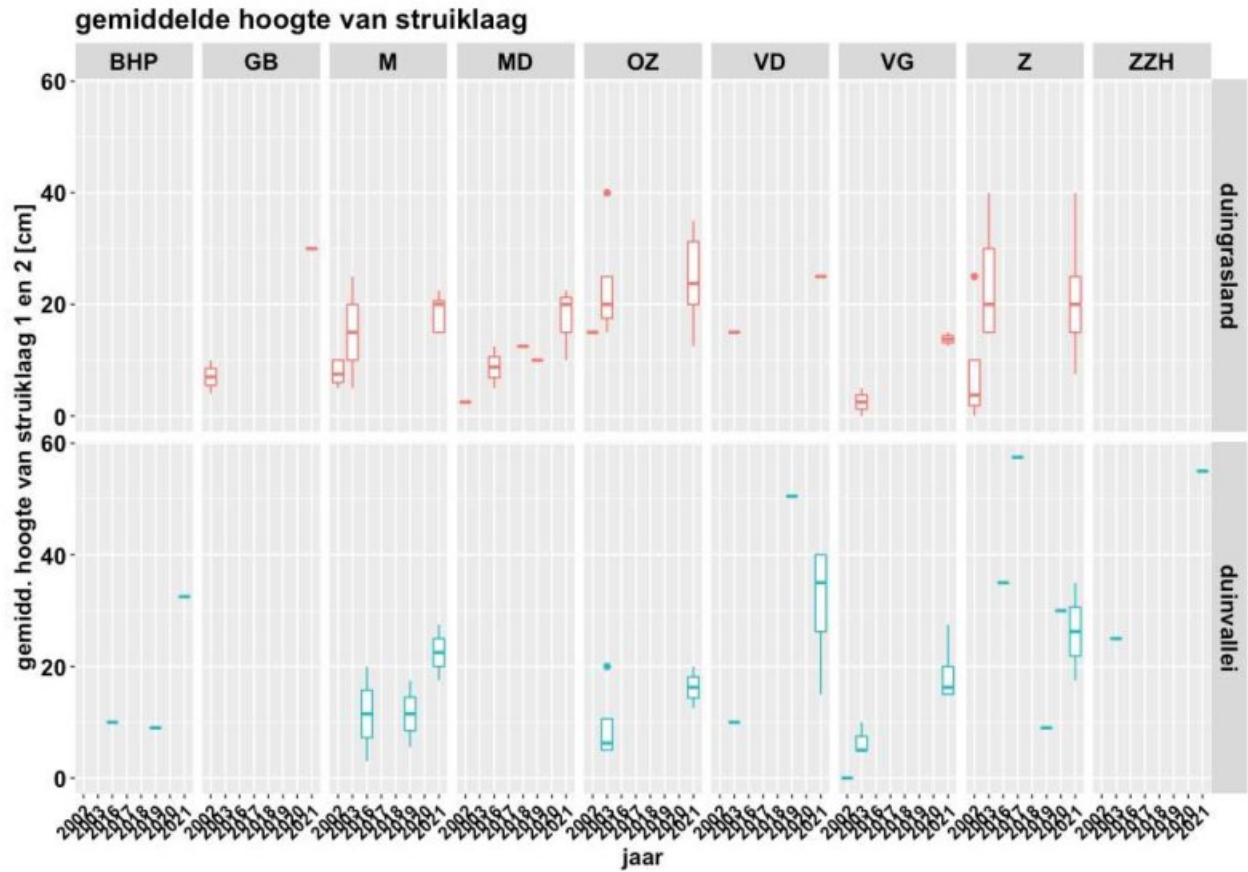
De soortenaantallen in ieder PQ laten zien [aantallen/ m^2], dat er in enkele gebieden een flinke afname heeft plaats gevonden (figuur 7.3). In de duinvalleien van de Vroongronden en het Oranjezon zijn de aantallen van 8-10 tot ca. 5-6/ m^2 gezakt. Samen met de duinvalleien van de Verklikkerduinen en de Zouten en Zoeten Haard zijn ze nog steeds soortenrijk. De duinvalleien van de Beekhoekspolder, de Manteling en het Zeepe zijn nog steeds relatief soortenarm. Hierin moet wel meegenomen worden, dat de plots niet allemaal dezelfde grootte hebben. We weten niet vanaf welke oppervlakte de soortendiversiteit per gebied en per habitat afvlakt oftewel een maximum bereikt heeft.

Voor de duingraslanden zijn geen duidelijke trends af te lezen. De golfbaan heeft met gemiddeld 8-9 soorten/ m^2 nog steeds veel soorten en het Oranjezon met gemiddeld 4-5 soorten/ m^2 weinig. Net als de duingraslanden in de Meeuwduinen, deze hebben allen 1 tot maximaal 4 soorten/ m^2 . Op enkele locaties was pas recent struweel verwijderd. Een hoge soortenrijkdom is hier ook niet te verwachten.



figuur 7.3. Boxplots van de aantallen soorten (vaatplanten en cryptogamen) per m² in de PQ's van de duingraslanden en duinvalleien in de verschillende jaren. Let op: de y-as geeft geen continu jaartal weer, maar de verschillende jaren met opnamen. De ontwikkelingen zijn per deelgebied aangegeven: BHP - Beekhoekspolder, GB- golfbaan in Domburg, M- Manteling, MD- Meeuwduinen, OZ - Oranjezon, VD- Verklikkerduinen, VG - Vroongronden, Z-Zeepe, ZZH-Zoeten en Zouten Haard. Belangrijk is hierin mee te nemen, dat niet alle plots dezelfde grote hebben en in hierin een bepaalde bias zit die met deze kleine dataset niet eruit te halen is.

Opvallend is dat in alle deelgebieden, zowel in de duingraslanden als de duinvalleien, de struiklaag gedurende de laatste 20 jaar alleen maar hoger is geworden en in geen gebied een duidelijke afname laat zien (figuur 7.4). De bedekking met struiken (laag str & str1 in de BB opnames) is in het algemeen ook afnemend, maar er zijn ook gebieden die een toename laten zien (zie bijlage 2.3). In de duinvalleien van de Verklikkerduinen (Buitenverklikker en Verklikkerstrand), de Vroongronden en het Zoeten en Zouten Haard is een lichte toename in bedekking met struiken te zien; in de duinvalleien van het Oranjezon en het Zeepe eerder een afname en in de Manteling en Beekhoekspolder een stabiele lage bedekking rond enkele procenten. De bedekking met struiken in de duingraslanden is of stabiel (Manteling, Meeuwduinen, Vroongronden) in de loop van de laatste 20 jaar, of is afgenomen (Oranjezon, Golfbaan, Zeepe).



figuur 7.4. Boxplots van de gemiddelde hoogte van de struiklaag (eerste en tweede laag in Braun-Blanquet opname) in de PQ's van de duingraslanden en duinvalleien in de verschillende jaren. Let op: de y-as geeft geen continu jaargetal weer, maar de verschillende jaren met opnamen. De ontwikkelingen zijn per deelgebied aangegeven: BHP - Beekhoekspolder, GB- golfbaan in Domburg, M- Manteling, MD- Meeuwduinen, OZ - Oranjezon, VD- Verklikkerduinen, VG - Vroongronden, Z-Zeepe, ZZH-Zoeten en Zouten Haard.

8. Conclusies en antwoorden op de vragen

In dit afsluitende hoofdstuk worden de onderzoeksvragen herhaald en beknopt beantwoord.

Vraag 1:

Wat zijn in 2021 de verschillen in bodemchemie en -samenstelling tussen de verschillende permanente quadraten (PQ's) gelegen in de Habitattypen H2130 Grijze duinen en H2190 Vochtige duinvallei, verspreid over de Manteling van Walcheren en de Kop van Schouwen?

De PQ's in de deelgebieden op Walcheren en Schouwen laten duidelijk verschillende ontwikkelingen zien. De duingraslanden in de Manteling laten een grote spreiding van bodemchemie zien: van relatief hoge calcium gehalte (ca. 0,5% Ca) tot zeer lage concentraties op (ca. 0,01 %Ca), lagere basenverzadiging (ca. 40 %) tot maximale (100%), lage pH's ($\text{pH}_{\text{NaCl}} < 4$) maar ook zeer hoge met $\text{pH}_{\text{NaCl}} > 8$. Enkele duingraslanden zijn blijkbaar goed gebufferd en opnieuw overstoven, maar andere zijn ouder en sterk verzuurd. De duingraslanden van het Oranjezon en de Manteling noordoostelijk van Oostkapelle hebben grotendeels een zeer laag calciumgehalte, ook op 30-40 cm onder maaiveld, de basenverzadiging is laag (50-90%), en de pH is zeer laag met $\text{pH}_{\text{NaCl}} < 4$. Bij een lage $\text{pH}_{\text{NaCl}} < 4,2$ krijg je remming van nitrificatie, en toenemende concentraties van voor de meeste vaatplanten en ook typische mycoflora toxische elementen zoals aluminium en ijzer. Dit wordt ook ondersteund door verspreidingspatronen van soorten waarvoor een gevoeligheid voor zure bodemcondities experimenteel is aangetoond zoals bijvoorbeeld dwergviltkruid (*Filago minima*; informatie [REDACTED]). De Vroongronden zijn bij de duingraslanden bijna overal het meest verzuurd: de laagste calciumgehalten, pH en ook de basenverzadiging is met 30-60% in de laagst gemeten range. Dit is echter weinig verrassend, omdat de Vroongronden een gebied is met een lang historisch kleinschalig agrarisch gebruik op een oude strandwal. Het Zeepe heeft in het algemeen een hoge basenverzadiging met >90% met enkele uitschieters ver naar beneden rond 20-50%. De duingraslanden in het Zeepe laten vergelijkbaar met de Manteling in de bovenste horizont een relatief grote range aan pH-waarden zien, tussen pH_{NaCl} 4,5-8,5.

De Domburgse Golfbaan heeft als enige duingrasland in beide bodemlagen (0-10 en 30-40 cm) een zeer hoge basenverzadiging (99-100%), een relatief hoog calciumgehalte en bij alle PQ's een constant hoge pH-waarde ($\text{pH}_{\text{NaCl}} > 7$). Deze zeer hoge buffering komt waarschijnlijk door een (lichte) overstuiving met vers en kalkrijker zand vanuit de zeereep vooral tijdens de herfst- en wintermaanden. Sinds de jaren '90 wordt deze kuststrook regelmatig hersteld middels zandsuppleties (informatie [REDACTED]).

De duinvalleien hebben over het algemeen hogere calciumconcentraties in de bodem dan de duingraslanden, vooral tussen 30-40 cm. Dit is niet het geval voor het Zeepe. Hier vallen de zeer lage calciumgehalten in diepe laagtes op ($< 0,02$ % Ca), vooral ten opzichte van de diepe bodemhorizont in de duingraslanden die veel beter gebufferd is. In het Oranjezon speelt het tegenovergestelde. Hier zijn de duinvalleien beter van calcium voorzien, vooral in de diepe laag (~ 1,0% Ca). De Verklikkerduinen (Buitenverklikker en Verklikkerstrand) hebben de hoogste calciumconcentraties in de bodem, met een uitschieter tot bijna 5%. De basenverzadiging ligt voor alle duinvalleien zeer hoog met 95-100%, behalve voor het Zeepe en ten delen in de Manteling. Hier gaan de percentages naar 50-60%. En vooral ook in het Zeepe zijn de organische stofgehalten in enkele PQ's erg hoog met 7-15%. Verder hebben ook de Vroongronden en een PQ in een duinvallei in het Zoeten en Zouten Haard een hoog organisch stofgehalte van 10-15%. De rest van de duinvalleien heeft lagere organisch stofgehalten van enkele procenten.

De nutriëntenconcentraties (fosfaat, nitraat en ammonium) in de bodems zijn voor de duingraslanden als ook duinvalleien over het algemeen zeer laag en deze bodems kunnen als

oligotroof omschreven worden. Voor de duingraslanden hebben alleen enkele PQ's in het Oranjezon, in de Manteling en de Vroongronden hogere concentraties plantenbeschikbaar fosfor van rond de 1000 micromol/l verse bodem. Dit zijn vooral de eerder verzuurde locaties. Het aan calcium en andere kationen gebonden fosfaat komt vrij en is daardoor plantenbeschikbaar en als P-Olsen te meten. Voor een klein deel is er ook sprake van een overschatting, omdat de gebruikte Olsen-extractie de fosfaatbeschikbaarheid op sterk zure bodems licht overschat en op kalkrijke bodems licht onderschat. Deze locaties zijn hierdoor eerder mesotroof qua fosforgehaltes en gevoelig voor verdere stikstofdepositie. Voor de locaties met vochtige graslanden, bijvoorbeeld Beekhoekspolder of Zoeten en Zouten Haard, ligt het plantenbeschikbare fosforconcentraties ook hoger. Voor de Beekhoekspolder zijn ook de totale hoeveelheden fosfor hoger. Het agrarische verleden in de Beekhoekspolder met een bemesting is nog duidelijk in de bodem van de vochtige graslanden te zien. De totale fosforconcentratie in het vochtige grasland is drie keer hoger vergeleken met de lager liggende, zeer waarschijnlijk afgegraven bodem van de duinvallei. Met een vergelijkbare totale hoeveelheid van calcium, aluminium en ijzer en hiermee bindingsmogelijkheden voor fosfor in het duinvallei als ook het vochtige grasland in de Beekhoekspolder resulteert dit in een 5 tot 7 keer lagere hoeveelheid aan plant beschikbaar fosfor in de duinvallei (Olsen-P; zie ook figuren 3.7 en 3.8). In de duinvallei kunnen hierdoor nog zeldzame planten voorkomen; ook is *parnassia* in het plot alleen in 2016 en 2019 en niet meer in 2021 waargenomen.

Vraag 2:

Zijn de verschillen in vegetatiesamenstelling te verklaren aan de hand van de gevonden verschillen in bodemchemie? Is er sprake van een (duidelijke) correlatie tussen de bodemsamenstelling en de vegetatie?

Bij de duinvalleien zijn zeer duidelijke verschillen tussen de gebieden te zien. Het Zeepe heeft zeer zure, relatief nutriënten-rijke en soortenarme duinvalleien. Hier komen nauwelijks bijzondere soorten voor. *Pitrus (Juncus effusus)* neemt hier in de laatste jaren toe. Het Oranjezon of de Verklikkerduinen (Buitenverklikker en Verklikkerstrand) daarentegen hebben zeer soorten- en kalkrijke duinvalleien. Het calciumgehalte in het zand (moedermateriaal) en het bodemvocht zorgen voor een goede buffering. Enkele PQ's op een vochtige standplaats waren eerder vochtige graslanden dan een duinvallei. Deze PQ's lijken soms droger geworden te zijn (ZE368) en hebben vaak ook hogere nutriëntengehaltes in de bodem (P-Olsen). Grassoorten van voedselrijkere bodem, zoals gestreepte witbol (*Holcus lanatus*), hebben een hogere bedekking.

De duingraslanden in de Vroongronden, het Oranjezon en in de laatste jaren ook de Meeuwenduinen zijn relatief soortenarm met minder dan 4 soorten/ m². Een reden voor de soortenarmoede is de zuurdere bodem. De bodem is in de Vroongronden en het Oranjezon is duidelijk zuurder en met een pH_{N_aCl} < 4,2, waarmee het in de bufferrange van de aluminiumhydroxiden zit en dus toenemende, toxische aluminiumconcentraties in de bodem. Alleen specialisten kunnen hiermee omgaan. In de Meeuwduinen zijn de pH-waarden van de bodem wel hoger, maar was de verstuiwing relatief hoog en/of waren het locaties met een recente bodemverstoring. De meeste duingraslanden van de Manteling en zeker de duingraslanden op de golfbaan zijn soortenrijker met 4-7(9) soorten/ m². Deze graslanden hebben een hoger calcium(-carbonaat)-gehalte en bevinden zich daardoor in de carbonaatbufferrange. Waarschijnlijk zijn de duingraslanden in de Manteling en bij de Golfbaan deels met vers, kalkrijk zand vanuit de zeereep overstoven. Verder zijn het organisch stofgehalte in de bodem en de nutriëntengehaltes (fosfaat, nitraat en ammonium) in het algemeen zeer laag. Een sterke vergrassing bij de locaties met licht verhoogde fosforgehaltes is (nog?) niet waargenomen. Een reden kan hierbij ook in de begrazing van een groot deel van het

onderzoeksgebied liggen. In exclusies (Manteling) was duidelijk een hogere biomassa van grassen en kruiden en een hogere aantal van bloemen te zien.

Vraag 3:

In hoeverre is er sprake van versterkte ontkalking (bodempverzuuring) en hoe groot is (nog) de buffercapaciteit van de bodem? Is deze overal even groot, of verschilt deze sterk tussen de locaties?

De factoren die in dit onderzoek bekeken zijn, moeten voorzichtig geïnterpreteerd worden bij het inschatten van de mogelijke verzuring. Voor de vergelijking van de ontkalkingsdiepte (met een zoutzuur test in het veld) in de afgelopen 20 jaar zijn er relatief weinig gegevens. De tendens is wel, dat de verzuring vooral in de duingraslanden sneller voortgeschreden is dan van nature waarschijnlijk is. Daarnaast is duidelijk dat de pH in de bovengrond per deelgebied en ook binnen de deelgebieden (bijv. Zeepe, Manteling) zeer verschilt. In het duingrasland in Oranjezon (plot 83) is de pH duidelijk lager in 2021 dan in 2003 en komt met pH_{NaCl} van 3,9 op een kritisch laag niveau uit. In de Manteling, het Zeepe en de golfbaan lijken juist de pH waarden licht gestegen te zijn. De buffercapaciteit is in alle duingraslanden van de Vroongronden en in een *deel* van de PQ's in de Manteling, het Zeepe en Oranjezon zeer laag met een basenverzadiging van 30-60 % en enkele uitschieters tot 20%. Bij de Manteling zijn dit plots noord-oostelijk van Oostkapelle in en het Zeepe vooral aan de randen van het gebied (voor een gedetailleerde beschrijving zie ook vraag 1 en hoofdstuk 3).

Voor de duinvalleien kon vaak geen diep - tot 1,00-1,20 m - bodemprofiel gestoken worden. Het grondwater stond hoog en het zand viel uit de guts voordat met de zoutzuur test kalk in het bodemprofiel aangetroffen kon worden. Het is daarom voor veel duinvalleien onzeker waar het ontkalkingsfront ligt. In het bodemvocht van de duinvalleien werd in het Oranjezon, de Verklikkerduinen, de Beekhoekspolder en deels de Vroongronden een hoge calciumconcentratie gemeten. De calciumconcentratie in de bodem laat hetzelfde patroon zien. Alleen bij de Vroongronden lijkt bij *enkele* locaties een grotere toevoer door het grondwater plaats te vinden dan door de bodem zelf. Hier zijn de totale calcium concentraties in de bodem vrij laag, maar het calcium gehalte in het bodemvocht relatief hoog (zie figuur 5.3). In het bodemvocht in het Zeepe komt nauwelijks calcium voor. Ook de bodem in de duinvalleien bevat nauwelijks calcium. Het zandige moedermateriaal levert geen buffering en hier vindt ook geen toestroom van kalkrijker grondwater plaats.

Vraag 4:

Door welke macronutriënten worden de vegetaties waarschijnlijk gelimiteerd? En is dit overal hetzelfde, of verschilt dit sterk tussen de locaties?

De vegetatie is vooral stikstof gelimiteerd en dat verschilt nauwelijks tussen de locaties of habitats (hoofdstuk 6). Een uitzondering vormen enkele locaties op de Vroongronden en in het Zoeten en Zouten Haard waar met een N/P ratio tussen de 14 en 15 mogelijk een co-limitatie met fosfor aanwezig is.

Alle stikstof die extra op deze duingraslanden als ook duinvalleien valt (atmosferische depositie) of via het grondwater (nitraat) toegevoerd wordt, wordt meteen opgenomen en kan in planten biomassa omgezet worden. De habitats die in deze studie onderzocht zijn, zijn daarom ook zeer gevoelig voor een (hoge) overschrijding van de kritische depositiewaarde voor stikstof en extra toevoer van nutriënten (vooral nitraat) via het grondwater.

.....

In verschillende vaatplanten en (korst-)mossen verdeeld over de habitats is het totale stikstofgehalte gemeten. Van alle bemonsterde planten zijn vooral de korstmossen goede indicatoren voor de luchtkwaliteit, omdat ze nauwelijks nutriënten uit de bodem of van de schors opnemen (wel is de pH van de schors of ondergrond bepalend voor welke soorten er voorkomen.). Een verhoogd stikstofgehalte in rendiermossen en andere planten rond de Vroongronden duidt op een verhoogde atmosferische stikstofdepositie in dit gebied. Dit geldt ook voor enkele gebieden in de Manteling. Het Zeepe lijkt in grote delen veel minder atmosferische stikstofdepositie te ontvangen. Om een compleet beeld te kunnen geven zouden nog meer monsters geanalyseerd worden. Er kon niet overal genoeg biomassa van rendiermossen gevonden worden voor een betrouwbare analyse.

Vraag 5:

Hoe is de situatie veranderd ten opzichte van 2003 [REDACTED] In hoeverre zijn de vegetatiesamenstelling, bedekkingen en hoogtes van de verschillende lagen en de bodemchemische samenstelling veranderd in de afgelopen 20 jaar?

De soortenaantallen in de PQ's zijn in de duingraslanden en duinvalleien afgenomen of stabiel gebleven. In geen enkel deelgebied is een duidelijke toename aan soorten te zien. De sterkste afname vindt plaats in de duinvalleien in de Vroongronden (van ca. gemiddeld 10 naar 5 soorten/ m²) en iets minder sterk in het Oranjezon (van ca. 8 naar ca. 6 soorten/ m²) plaats. In de duinvalleien in de Beekhoekspolder, de Manteling en het Zeepe waren de aantallen in eerdere opnamen sinds 2016 (LMF) al relatief laag met 1-2 soorten/m² en dit is ook zo gebleven. Verder is de pH-waarde in de meeste PQ's gestegen en alleen in enkele PQ's sterk gedaald (duingraslanden Vroongronden en Oranjezon). De ontkalking van de dieper liggende bodem lijkt op een meer dan natuurlijke wijze plaats gevonden te hebben. Om een harde uitspraak over ontkalking te kunnen doen, is de dataset helaas te beperkt.

Opvallend is de tendens van een gemiddeld hogere struiklaag (struiklaag 1 en 2 in Braun-Blanquet opnames) in alle PQ's. In de Verklikkerduinen, de golfbaan en Zoeten en Zouten Haard zijn deze ongeveer 20 cm hoger en in de meeste gebieden ongeacht het habitat is dat 10 cm. De oorzaak hierachter is niet makkelijk te achterhalen, dat kan van alles zijn. Bijvoorbeeld een extra toevoer van stikstof via atmosferische depositie of het grondwater, maar ook het beheer (maai- of begrazingsregime) en hiermee het successiestadium van de vegetatie. De bedekking met struiken is per habitat en gebied verschillend. In enkele gebieden is wel een duidelijke afname te zien (zie bijlage 2.3).

Vraag 6

Indien er grote/ significante veranderingen hebben plaatsgevonden, is dan aan te geven wat die veranderingen betekenen vanuit ecologisch perspectief?

Zorgwekkend is de duidelijke afname van soorten in de oorspronkelijk, soortenrijke duinvalleien, de Vroongronden en in het Oranjezon. Deze zijn niet duidelijk aan bodemprocessen of veranderde -parameters te correleren. In de duinvalleien met een duidelijke afname aan soorten is parallel geen duidelijke afname in de pH tussen de twee metingen te zien. Voor de totale fosforgehaltes in de bodem kan geen vergelijking tussen de metingen getrokken worden, omdat de methodes niet vergelijkbaar zijn. De dikte van de organische bovengrond is niet duidelijk verhoogd in de loopt van de laatste 20 jaar. Voor totaal stikstof geldt ook eerder, dat deze afgenomen is dan toegenomen. In beide gebieden is wel de bedekking met mossen die al behoorlijk hoog was, sterk toegenomen van 50 tot 75% bedekking (zie bijlage 2.3 bedekking moslaag). Het zou kunnen, dat deze duinvalleien langzaam in een latere, soortenarme successiestadium komen, maar dit is nog niet in de totale voorraad van stikstof en fosfor te zien is. Een dichte laag aan slaapmossen bevordert

de snelle opbouw van organisch materiaal en de vestiging van hoge gras- en wilgensoorten in duinvalleien. Hierdoor wordt uiteindelijk de vegetatiebedekking hoog en lichtpenetratie aan de grond vermindert. Kleine, vaak bedreigde (rode lijst) soorten die typisch voor duinvalleien zijn, kunnen niet meer concurreren en gaan achteruit (Grootjans et al., 2002). Verder valt op, dat de bodems van de duingraslanden in het Oranjezon (1 plot) en plots in de Manteling noordoostelijk van Oostkapelle een zeer lage pH hebben. Het duingrasland in het Oranjezon is sterk ontkalkt zijn en de pH is in alle beide bodemhorizonten sterk gedaald in de afgelopen 20 jaar. Het soortenaantal schommelt in deze plots op een laag niveau van 2-5 soorten/ m². Het is onduidelijk, welke reden hier achter licht. Omdat het organisch stofgehalte ook relatief hoog is, lijkt het meest voor de hand liggende een voortgeschreden successiestadium.

9. Literatuur

- Eisma, D. 1968. Composition, origin and distribution of Dutch coastal sands between Hoek van Holland and the island of Vlieland. *Neth. J. Sea Research* 4, 123-267.
- Grootjans, A.P., Geelen, H.W.T., Jansen, A.J.M. & E.J. Lammerts (2002) Restoration of coastal dune slacks in the Netherlands. *Hydrobiologia* 478: 181-203
- Koerselman, W. & A. Meuleman (1996) The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 33: 1441-1450.
- Remke, E.S. (2010) Impact of atmospheric nitrogen deposition on dry dune grasslands. *Dissertatie, Radboud Universiteit Nijmegen*.
- Roeling, I.S., van Dijk, J, Eppinga, M.B., Fujita, Y & M.J. Wassen (2016) N:P-ratio en diversiteit in soortenrijke graslanden. *Landschap* 33(1): 19-22.
- Stuyfzand, P.J. (1993) Hydrochemistry and hydrology of the coastal area of the western Netherlands. *Dissertatie, VU Amsterdam*.
- Stuyfzand, P.J. (1998) Decalcification and acidification of coastal dune sands in the Netherlands. In: G.B. Arehart & J.R. Hulston (eds.), *Water-Rock Interaction*, 79-82. *Proceedings 9th International Symposium on Water-Rock Interaction*. Balkema, Rotterdam/Brookfield.
- van Haperen, A. M. M.(2009) Een wereld van verschil: landschap en plantengroei van de duinen op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden. *Dissertatie, Wageningen Universiteit*.