

Rietproductie en -kwaliteit in de Weerribben en Wieden

Onderzoek naar de sturende factoren voor riet

Eindrapportage

Status: definitief



Rietproductie en -kwaliteit in de Weerribben en Wieden

Onderzoek naar de sturende factoren voor riet

Eindrapportage

Status: definitief

Yvon Verstijnen (B-WARE)
Gijs van Dijk (B-WARE)
Eva van Ginneken (B-WARE)
Koen Princen (Witteveen & Bos)
Casper Cusell (Witteveen & Bos)
Jim de Fouw (Ecology research & consultancy)
Fons Smolders (B-WARE)



Titel rapport:	Rietproductie en -kwaliteit in de Weerribben en Wieden - Onderzoek naar de sturende factoren voor riet, eindrapportage
Status:	Definitief
Datum:	13-07-2026
Auteurs:	Yvon Verstijnen, Gijs van Dijk, Eva van Ginneken, Koen Princen, Casper Cusell, Jim de Fouw & Fons Smolders
Rapportnummer:	RP-21.190.25.87
Projectnummer:	PR-21.190
Opdrachtgever:	Natuurcollectief Noord West Overijssel

Contactpersoon:
Gijs van Dijk
Tel: 024-2122200
g.vandijk@b-ware.eu
www.b-ware.eu

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	10
1.1 Aanleiding	10
1.2 Achtergrondinformatie riet en onderzoeksgebied	10
1.3 Onderzoeksvragen	14
1.4 Aanpak onderzoek	15
1.5 Leeswijzer	15
2 Materiaal en Methode	16
2.1 Literatuurstudie & gegevens rietsnijders	16
2.2 Locatieselectie	16
2.3 Veldonderzoek	19
2.4 Veenweiden	23
2.5 Laboratoriumanalyses	25
2.6 Data-analyse	28
3 Resultaten	30
3.1 Eigenschappen locaties en riet	30
3.2 Abiotische omstandigheden	51
3.3 Sturende factoren in de rietproductie en rietkwaliteit	60
3.4 Veenweidepercelen	74
4 Synthese	78
4.1 Welke (abiotische) factoren beïnvloeden de rietproductie in de Weerribben-Wieden?	78
4.2 Effecten van beheer	83
4.3 Hoe verder met rietteelt in de Weerribben-Wieden in een bredere context?	86
4.4 Kennislacunes en beperkingen van het onderzoek	87
5 Conclusies en aanbevelingen	89
5.1 Conclusies	89
5.2 Aanbevelingen	90
6 Dankwoord	94
7 Literatuur	95
8 Bijlagen	100
8.1 Bijlage 1. Ruimtelijk overzicht locaties eerder onderzoek VHL	100
8.2 Bijlage 2. Vegetatieontwikkeling 1994-2022	101
8.3 Bijlage 3. Oppervlaktewaterkwaliteit Rietpercelen	106
8.4 Bijlage 4. Aanvullende informatie veenweidepercelen	110
8.5 Bijlage 5. Ruimtelijke variatie rietvariabelen	112
8.6 Bijlage 6. Aanvullende grafieken gemeten variabelen	113

8.7	Bijlage. 7. Vragenlijst	116
8.8	Bijlage 8. Overzicht modelinput	117

Samenvatting

Aanleiding

Riet is één van de belangrijkste plantensoorten in het Nationaal Park Weerribben-Wieden. Het is niet alleen een beeldbepalende soort voor het landschap, maar ook een soort met verschillende ecologische functies én het speelt de hoofdrol in de rietsnijderscultuur. Riet komt er vooral voor langs waterkanten, in moerassen en op kraggen die gemaaid worden. Maaïen gebeurt voor de oogst van productieriet of voor natuurbeheer. Voor de oogst van productieriet wordt het riet in de winter gemaaid. In het natuurbeheer worden rietlanden ook jaarlijks gemaaid, maar dit kan zowel in de zomer als in winter gedaan worden. Via het vakmanschap van rietsnijden en het gebruik als dakbedekking is riet cultuurhistorisch en sociaaleconomisch sterk met de regio verbonden. Al eeuwen wordt hier riet gesneden voor dakbedekking, maar ook voor andere toepassingen zoals strooisel in (pot)stallen.

De afgelopen decennia zijn rietoogst voor dakriet en het maaïen van rietlanden voor natuurbeheer steeds meer met elkaar verbonden geraakt. **In de Wieden en Weerribben hebben rietsnijders in de afgelopen decennia en met name de afgelopen jaren echter te maken gekregen met een achteruitgang in de rietproductie.** De factoren die deze achteruitgang veroorzaken waren echter onbekend. Deze kennislacune vormde de aanleiding voor het onderzoeksproject waar dit rapport verslag van doet.

Onderzoeksaanpak

Om meer inzicht in te krijgen in de mogelijke oorzaken van de achteruitgang in rietproductie is er een **correlatief onderzoek** uitgevoerd in de Weerribben en Wieden. Hierbij is op een 40-tal locaties gezocht naar verbanden tussen 'rietvariabelen' (rietstengellengte, -dikte, -dichtheid, -biomassa en -hardheid), de 'abiotische condities' (voedsel/nutriëntenbeschikbaarheid, basenrijkdom¹, pH etc.) en omgevingsvariabelen (bodemtype, kraggedikte, vegetatiesamenstelling etc.) die gemeten zijn. **Hierbij is geprobeerd om zoveel mogelijk van de aanwezige variatie binnen percelen met wintermaaibeheer in het gebied mee te nemen om te achterhalen welke factoren de variatie in rietvariabelen het best kunnen verklaren.** Aanvullend hierop zijn deze metingen vergeleken met enkele locaties in het omliggende veenweidegebied om te verkennen of hier potentie ligt voor toekomstige rietteelt naast de rietteelt in de Weerribben en Wieden.

Eigenschappen onderzoekslocaties

De analyse van de 40 locaties omvatte een brede range aan rietvariabelen en abiotische condities op percelen met wintermaaibeheer en rietoogst. Het merendeel waren kraggen en op de overige locaties was de bodemopbouw veen op zand. De dichtheid van rietstengels bedroeg gemiddeld 148 stengels per m². Vlak voor de rietoogst (winterseizoen) was het riet gemiddeld circa 120 cm lang, 2,4 mm dik (op 1m hoogte) en was de rietopbrengst zo'n 422 gram drooggewicht per m². Langer riet is doorgaans ook dikker, wat resulteert in een hogere biomassa van de stengel. De rietbiomassa geeft een goede indicatie voor het aantal rietbossen dat per perceel geoogst kan worden.

Uit de vegetatieopnamen bleek dat de rietdichtheid lager is bij een hogere bedekking van andere vaatplanten. Daarnaast kwam duidelijk naar voren dat de toestand van rietplanten varieerde langs een gradiënt van de successie van de vegetatie in de laagveenverlanding (van open water naar trilveen, rietland en uiteindelijk moerasbos). Met name de wat jongere (nattere en basenrijkere) fase van deze successiestadia leken beter geschikt voor rietproductie dan de oudere (zuurdere en drogere) successiestadia. Op de locaties werd verder een grote variatie aan abiotische omstandigheden gemeten

¹ Basenrijkdom is de hoeveelheid basische mineralen zoals calcium en magnesium die zuren kunnen bufferen.

zowel in de hoeveelheid voedingsstoffen, mineralen, basenrijkdom en zuurgraad in de bodem, als in de opgeloste stoffen in het porievocht in de wortelzone.

De rietplanten zelf bleken lagere fosfor-, stikstof-, en kaliumconcentraties te bevatten dan andere vaatplanten in de rietlanden. Tijdens het groeiseizoen bevatte de rietplanten een gemiddelde fosforconcentratie van ~0,57 mg/g, stikstofconcentratie van ~8,9 mg/g en kaliumconcentratie van ~6,7 mg/g.

Aan het einde van het groeiseizoen vindt verplaatsing ('translocatie') plaats van nutriënten en mineralen van de stengels en bladeren van de rietplant naar de wortelstokken. Nutriënt- en mineraalgehalten in het riet zijn dan ook vele malen lager in het winterriet dan in het zomerriet. Uit de verhoudingen tussen verschillende nutriënten in de rietplanten is op te maken dat een groot deel van de bemonsterde rietplanten in de Weerribben en Wieden mogelijk in hun groei beperkt (gelimiteerd) worden door bepaalde nutriënten. Op een groot deel van de onderzoeklocaties lijkt het riet stikstof- en/of fosforgelimiteerd te zijn. Op slechts enkele locaties lijkt er sprake te zijn van kaliumlimitatie.

Verklarende factoren rietopbrengst

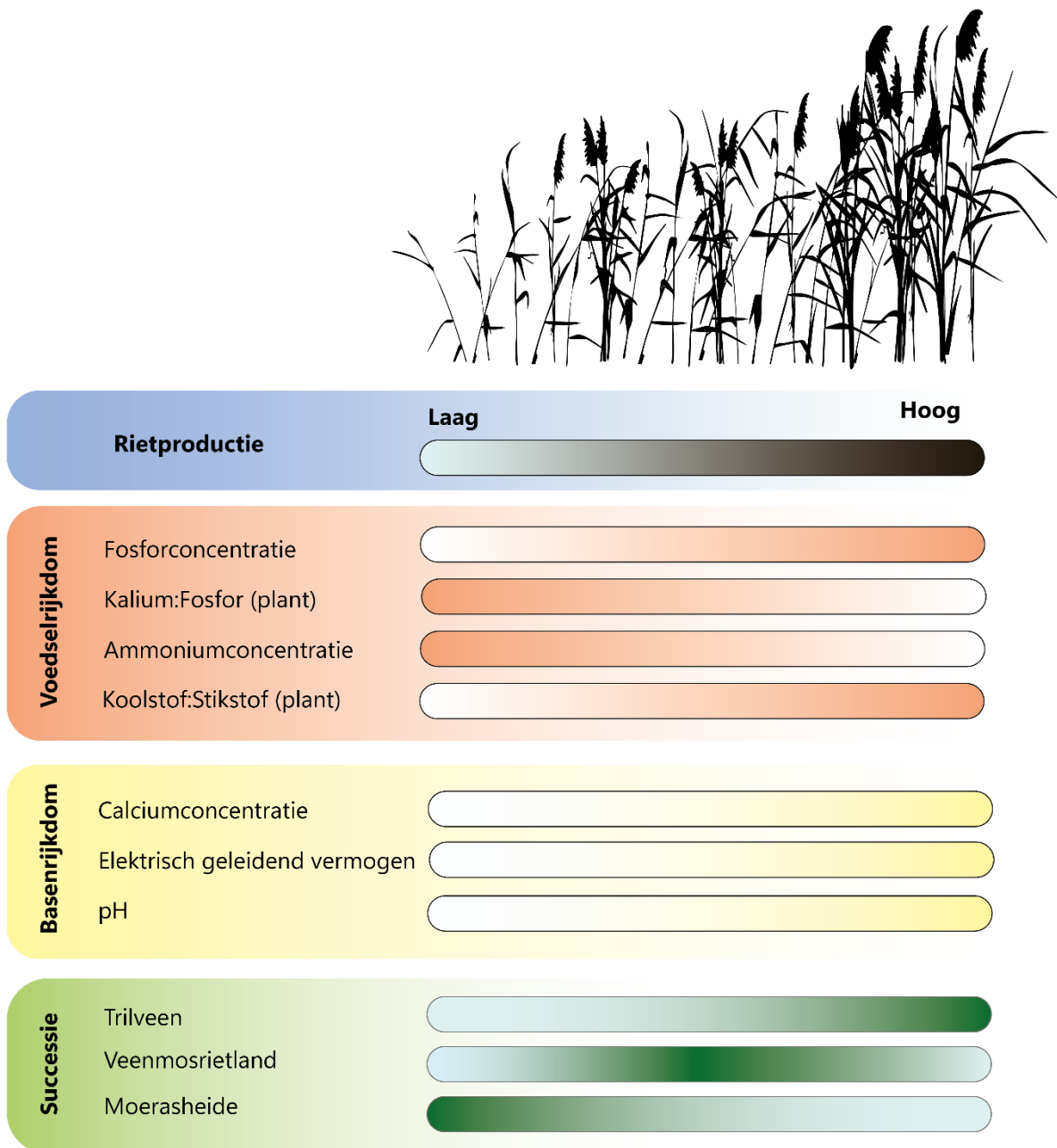
Uit dit onderzoek is gebleken dat er meerdere abiotische en omgevingsfactoren zijn die de variatie in de rietopbrengst (de gemeten rietvariabelen) kunnen verklaren. Wat het onderzoek lastig maakt, is dat deze factoren elkaar onderling ook beïnvloeden. Verschillende factoren hangen dan ook sterk onderling samen (correlatie). Zo is er bijvoorbeeld een duidelijke relatie tussen de calciumconcentratie in de bodem en het elektrisch geleidend vermogen (EGV), dat op haar beurt weer een relatie heeft met de invloed van grond- en oppervlaktewater in de bodem. Welke factoren het meest invloedrijk zijn kan vervolgens ook nog verschillen per locatie en per rietvariabele.

Grofweg blijken drie typen factoren het meest verklarend voor de variatie in de gemeten rietvariabelen: (1) de voedselrijkdom (nutriëntenbeschikbaarheid), (2) de basenrijkdom en (3) de successie. In de onderstaande tabel (Tabel 0.1) zijn per rietvariabele de meest verklarende factoren opgenomen, waarbij in rood de negatieve verbanden (bijvoorbeeld een afnemende stengellengte bij toenemende K:P ratio) zijn weergegeven en in groen de positieve verbanden. Aan het einde van de samenvatting is een schematische figuur opgenomen met daarin al deze verschillende factoren.

Tabel 0.1. Opsomming van de omgevingsvariabelen die statistisch significant van invloed zijn op de verschillende rietvariabelen (zie details paragraaf 3.3). Statistisch significant wil zeggen dat het resultaat niet door toeval verklaard kan worden. Rode variabelen=negatief effect, groene variabelen=positief effect op de betreffende rietvariabele. N.B. voor rietstengeldichtheid werden geen significante factoren gevonden.

Stengellengte	Stengeldikte	Biomassa	'Hardheid'
Kalium:Fosfor ratio plant	Kalium:Fosfor ratio plant	Kalium:Fosfor ratio plant	Koolstof:Stikstof ratio plant
Fosfor in bodem	Organische stof bodem	Elektrisch geleidend vermogen in porievocht	IJzer in bodem
Calcium (zout-extr.) in bodem	Calcium (zout-extr.) in bodem		
IJzer:Zwavel ratio bodem	Fosfor in bodem		
	Ammonium in porievocht		

Stengellengte, stengeldikte en biomassa van riet blijken dus hoger te zijn op locaties met een hogere fosforconcentratie (P) in de bodem, een lagere kalium tot fosfor verhouding (K:P) in het riet en een hogere basenrijkdom in de bodem. De stengelhardheid blijkt hoger te zijn op locaties met een hogere koolstof:stikstof (C:N) verhouding in de plant en lagere ijzerconcentraties (Fe) in de bodem. Ook de successie (verlanding van open water naar uiteindelijk bos) en de daaraan verbonden basenrijkdom bleken verklarende factoren voor de variatie in de rietvariabelen. Zo bleek dat met name **stengellengte van riet, stengeldikte van riet en de rietbiomassa hoger zijn in de vroege (basenrijk en natte) stadia van de successie in laagvenen en afnemen naarmate de successie vordert richting zuurdere en drogere stadia.** In de synthese (paragraaf 4.1) worden deze resultaten verder besproken en in perspectief gezet.



Figuur 0.1 Schematische weergave van de factoren die verschillen verklaren in de rietproductie. Bovenin de figuur is de rietproductie van laag (links) naar hoog (rechts) weergegeven. De factoren zijn in drie categorieën ingedeeld; voedselrijkdom (in rood), basenrijkdom (in geel) en successie (in groen); hoe donkerder de kleur hoe hoger de factor.

Uit het onderzoek is gebleken dat niet één factor bepalend is voor de rietproductie op de percelen in de Weerribben en Wieden. Het is juist vaak een combinatie van meerdere factoren en deze factoren kunnen ook nog eens per perceel verschillen. Desondanks blijken er toch drie factoren het meest bepalend te zijn: 1) de voedselrijkdom 2) de basenrijkdom en 3) de successie.

Verder is uit het onderzoek dat in enkele veenweidepercelen rondom Nationaal Park Weerribben-Wieden is uitgevoerd gebleken dat de omstandigheden voor rietteelt hier gunstig lijken te zijn. In de synthese (paragraaf 4.3) wordt het onderzoek verder besproken in het licht van een bredere, toekomstgerichte context.

Effecten van beheermaatregelen zijn in de huidige studie niet onderzocht. Hier kunnen dus ook geen harde uitspraken over gedaan worden. Wel wordt er in de synthese (paragraaf 4.2) kort samengevat wat er bekend is over de maatregelen bevoeiing, bemesting, bekalking, plaggen en afvoeren van het rietmaaisel. Het huidige onderzoek geeft goed inzicht hoe met beheer aangesloten kan worden op de uit deze studie naar voren gekomen verklarende factoren. Onder andere veldexperimenten met (een combinatie van) hier voorgestelde maatregelen kunnen meer inzicht geven in hoe onder verschillende condities de rietproductie verhoogd kan worden.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Riet is een van de belangrijkste plantensoorten in Nationaal Park Weerribben-Wieden. Als eerste is het een beeldvormende soort voor het landschap. Daarnaast is het een soort die in veel van de aanwezige habitats in dit laagveengebied prominent aanwezig is. Het is dan ook een van de meest voorkomende planten en tevens een veenvormende soort. Riet komt zowel voor langs de waterkanten als óp de kraggen. Riet komt vooral voor op plekken die gemaaid worden. Maaien gebeurt ofwel voor de rietoogst ofwel voor natuurbeheer. Voor de rietoogst voor dakriet wordt het riet in de winter geoogst. Voor natuurdoeleinden worden rietlanden periodiek gemaaid. Dit vindt plaats in zowel de zomer als in de winter. Het zomermaaibeheer vindt plaats op de botanisch beter ontwikkelde percelen zoals de trilvenen en natte schraallanden. Wintermaaibeheer wordt toegepast op de botanisch minder goed ontwikkelde percelen, zoals de veenmosrietlanden, moerasheide en de wat ruigere rietlanden. Naast het landschappelijke belang is riet ook cultuurhistorisch en sociaal-ecologisch sterk met deze regio verbonden via de cultuur en het vakmanschap van het rietsnijden en dakdekken met riet. Al eeuwen wordt er in deze regio riet gesneden voor toepassing als dakriet en om als strooisel in stallen te gebruiken. De afgelopen decennia gaat rietoogst voor dakriet en het maaien van rietlanden voor natuurbeheer steeds meer met elkaar verbonden geraakt. Zo zijn er percelen in eigendom van particulieren waar het beheer puur gericht is op rietoogst voor dakriet, percelen in eigendom van natuur beherende organisaties waar riet gemaaid wordt voor behoud en herstel van habitattypes en percelen in eigendom van natuur beherende organisaties die verpacht worden aan lokale rietsnijders. In de Weerribben en Wieden hebben rietsnijders in de afgelopen decennia en met name de afgelopen jaren te maken gekregen met een achteruitgang van de rietproductie (aantal rietbossen per hectare) en/of rietkwaliteit (bijv. minder stevig riet). De factoren die deze achteruitgang veroorzaken zijn echter onbekend of anekdotisch zonder goede onderbouwing. Deze kennislacune vormde de aanleiding van het onderzoeksproject waar dit rapport verslag van doet.

1.2 Achtergrondinformatie riet en onderzoeksgebied

Riet als plant & habitat

Riet (*Phragmites australis*) is één van de meest wijdverspreide plantensoorten op de wereld met grote dichtheden in Europa, Midden-Oosten, en Amerika (Köbbing et al., 2013). De plant is karakteristiek voor natte delen van een landschap welke (periodiek) geïnundeerd worden of permanent onderwater staan in veelal zoetwatermilieus. Rietvelden komen echter ook voor onder brakke tot zoute condities (Köbbing et al., 2013). Rietvelden breiden zich gemakkelijk uit door snelle voortplanting via zaden, maar meestal door vegetatieve voortplanting via de rhizomen (Köbbing, et al., 2013; Croon et al., 2013). In Nederland komt rietgroei voor in een divers scala aan habitattypen; 1) Zoetwater rietvelden (doorgaans soortenarm), 2) Kruidenrijke moerassen, 3) Brakwater moerassen, 4) Kruidenrijke vochtige tot natte graslanden, 5) Zandstranden (pioniervegetatie) en 6) Zandig slib (kortstondig) (Čížková et al., 2023). Riet komt in Nederland dan ook in alle regio's voor en is onder andere te vinden langs de kust, in het rivierengebied, aan de randen van de grote en kleine meren, in zure vennen, langs landbouwsloten maar ook op de meer eutrofe veengronden (Köbbing, et al., 2013).

Riet kan onderdeel zijn van verschillende vegetatietypes en habitats, maar ook als dominante soort vrijwel zelfstandig ecosystemen vormen (als 'ecosystem-engineer') in moerassen, laagvenen en rivierdelta's. Rietecosystemen zijn van groot belang zijn voor de biodiversiteit en vormen een habitat voor allerlei andere en vaak specifieke plant- en diersoorten. Verschillende diersoorten hebben hun hele

levenscyclus en/of gedrag aangepast op riet. Bij enkele soorten is dit zo ver doorontwikkeld dat ze geheel afhankelijk zijn van riet als broedplaats en/of voedselbron. Riet vervult daarnaast verschillende andere functies in landschappen zoals; 1) het fungeren als schuil- en broedplaats voor vissen, amfibieën, vogels en insecten, 2) oeverbescherming, 3) koolstofopslag en 4) een filter voor oppervlaktewater door het onttrekken van nutriënten uit water via adventieve wortels en bodem, opname van zware metalen en overige afvalstoffen afkomstig van menselijke activiteiten (Bresciani et al., 2009; Croon et al., 2013; Verstijnen et al., 2019).

In Nederland was de rietteelt een belangrijk onderdeel van de (regionale) economie en zorgde voor werkgelegenheid in de laagveengebieden. De rietteelt heeft sterk bijgedragen aan de natuurwaarden en landschappelijke kwaliteit van de Nederlandse laagveengebieden. Tot op heden draagt de rietteelt in belangrijke mate bij aan het behoud van het unieke cultuurhistorische landschap, zoals dat in Nationaal Park Weerribben-Wieden voorkomt (Figuur 1.1). Zonder rietteelt is aanvullend maaibeheer nodig om te voorkomen dat het gebied verruigt en verbost. De nu nog aanwezige rietteelt draagt daarmee nog steeds bij aan het landschapsbeheer.

Vervening en rietteelt in het gebied hebben geleid tot een mozaïek aan natuurtypen met o.a. sloten, trilvenen, rietlanden en moerasbossen. Dit resulteert in een grote biodiversiteit met aanwezigheid van veel zeldzame plant- en diersoorten. Het gebied vormt dan ook een hotspot voor riet- en moerasvogels, maar ook moerasmossen- en vlinders (Cusell et al., 2013). Nationaal Park Weerribben-Wieden is het grootste laagveenmoeras van Noordwest-Europa en is tevens aangewezen als Natura 2000 gebied voor verschillende Natura2000 habitattypen. Het gaat hierbij vooral om kranswiervegetaties (H3140), mesotrafente verlandingsvegetaties, trilvenen (H7140A) en veenmosrietlanden (H7140B), en mogelijk ook om galigaanmoerassen (H7210) en blauwgraslanden (H6410). Riet speelt in veel van deze habitattypen een rol.

Er is over verschillende aspecten van riet al veel gepubliceerd. Hiervan is slechts een selectie in deze rapportage opgenomen. In het verleden is ook al veel onderzoek verricht naar meerdere aspecten rondom riet op zowel moleculair, fysiologisch (plant), als ecologisch (landschap) niveau. Hierbij kan gedacht worden aan vraagstukken zoals de genetische diversiteit van riet (Kuprina et al., 2022), fenotypische aanpassingen onder verschillende omstandigheden (bijv. bodemtypen, waterpeil, nutriëntenconcentraties) (Verstijnen et al., 2019; de Fouw et al., 2021; Kuprina et al., 2022), mogelijkheden voor rietteelt op vernalte veenbodems (paludicultuur) (Lahtinen et al., 2022), en in relatie tot (avi)fauna (Bakker et al., 2018; van der Winden, 2021).

Echter, de sturende factoren voor rietgroei en rietkwaliteit blijven lastig te voorspellen als gevolg van de complexe interactie tussen de verschillende factoren, de variatie tussen gebieden en de brede range aan omstandigheden waarin riet voor kan komen. Wel is bekend dat abiotische condities in de bodem en het water en omgevingsfactoren een grote rol spelen voor riet. Vermoedelijk geldt er ook een optimale nutriëntenrange waaronder de rietplanten goed groeien (de Fouw et al., 2021; Van der Winden & Van Gemeren, 2018; Verstijnen et al., 2019). Grof samengevat kan gesteld worden dat riet zowel onder voedselarme als voedselrijke condities voor kan komen en een hogere nutriëntbeschikbaarheid de rietgroei stimuleert, maar te hoge nutriëntconcentraties juist weer tot slappere stengels kunnen leiden (Engloner, 2009). Bovendien blijkt uit literatuur dat beheer, en dan met name waterpeilbeheer, van grote invloed is op de rietkwaliteit doordat tijdelijke droogval leidt tot; 1) aerobe decompositie (afbraak) van organisch materiaal, 2) reductie van ammonium en sulfide, 3) verlagen van de fosfor- en stikstofbeschikbaarheid, 4) generatieve (via zaad) en vegetatieve (met uitlopers) uitbreiding van riet en, en 5) een competitievoordeel ten opzichte van verdrogingsgevoelige plantensoorten (de Fouw et al., 2021; Graveland, 1999; Tóth, 2016; Van der Winden, 2016; Belgers & Arts, 2003).

Voor riet wordt een zekere mate van waterpeilfluctuaties als positief gezien. Waterpeilfluctuaties stimuleren de opname van nutriënten en de rietgroei (langere en dikkere plantenstengels) (Sollié, 2007). Inundaties in de winter en het vroege voorjaar zorgen voor dikkere rietstengels (met hogere lignine gehaltes, wat van invloed is op de stevigheid) (Gigante et al., 2011; de Bruijn, 2024). Bij de interpretatie van de beschikbare literatuur moet wel altijd goed bekeken worden of het om zogenoemd waterriet of landriet gaat. Onder waterriet wordt riet bedoeld wat permanent in het water staat en met landriet wordt riet bedoeld wat vrijwel permanent op het land groeit. Het is te verwachten dat de effecten van waterstanden hiertussen verschillen. Naast waterfluctuatie kan het zoutgehalte ook van invloed zijn. Riet kan zowel onder zoete als brakke en zoute omstandigheden voorkomen. Wel leidt een hoge saliniteit (zoutgehalte) tot een lagere biomassa-productie en snellere afbraak van stengels (Adams en Bate, 1999; Greef en Horlings, 2016). Riet kan ook stress (toxiciteit) ondervinden van vrij sulfide wat in hoge concentraties voor kan komen in brakke (sulfaatrijke) zuurstofloze waterbodems. Hogere temperaturen kunnen bijdragen aan een snellere en grotere biomassa-ontwikkeling. Het klimaat lijkt echter in mindere mate invloed te hebben op rietontwikkeling dan andere factoren zoals bodemkwaliteit en waterpeil (Ostendorp, 1991; Kuschl & Kohl, 1992; Zemlin et al., 2000). Momenteel wordt er in enkele Nederlandse meren onderzoek verricht naar de invloed van nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem en oppervlaktewater op de groei van waterriet (in het kader van het habitat van de Grote Karekiet) (Van Ginneken et al. (in prep.)).



Figuur 1.1. Rietbossen vlak na de oogst in Nationaal Park Weerribben-Wieden

Rietteelt

Naast het ecologische belang, zijn rietvelden ook altijd van economisch belang geweest omdat riet als gebruiksmateriaal een economische waarde heeft. Die waarde is zoals alle grondstoffen, materialen en producten variabel en afhankelijk van vraag en aanbod. Het gebruik van riet door de mens gaat lang terug in de tijd. Zo zijn er al sinds de laatste ijstijd voorbeelden bekend van dakbedekking met riet rondom de kustlijnes van de Noordzee en Baltische zee (Köbbing, et al., 2013) en waren riet en stro de meest gebruikte dakbedekking in deze regio tot eind 1800 (lital et al., 2012). Ook wordt al decennialang riet geoogst als brandstof, veevoer, voor papierproductie en voor het maken van constructie- en isolatiematerialen (Croon et al., 2013). Ook wordt riet gebruikt in de waterzuivering als onderdeel van helofytenfilters (Köbbing, et al., 2013). Voor al deze toepassingen moeten de planten vaak wel voldoen aan bepaalde eisen. Dit geldt voornamelijk voor de toepassing als dakriet.

In deze rapportage wordt voornamelijk ingegaan op rietteelt voor dakriet. Voor dakriet geldt dat met name lange, rechte, en flexibele rietstengels geschikt zijn. In dit verband worden kenmerken of eisen genoemd als een lengte van 1,5 m, 1,8 m of 2,3 m en een diameter van 3-12 mm (RDMZ, 2005; Köbbing, et al., 2013; Reed, 2025). Het gaat hierbij om in het winterseizoen geoogst riet. Kleine en oude rietstengels, bladmateriaal en andere vaatplanten worden hierbij verwijderd. Normaliter wordt de productie van dakriet op percelen bepaald in het aantal bundels. De lengte van een standaard bundel is

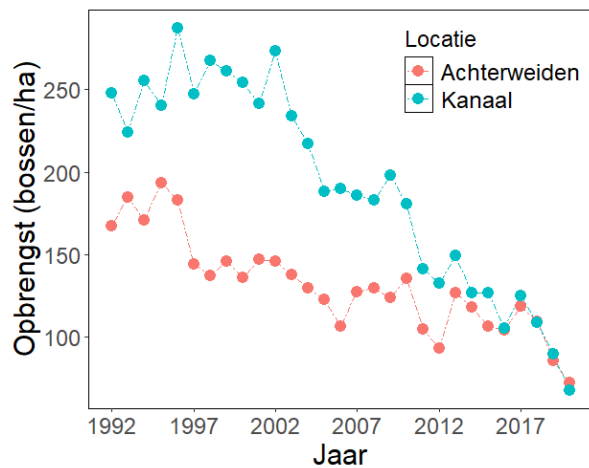
1,2-1,7 m, de diameter is 20 cm, de omtrek 55 cm en het gewicht is 4,5-6 kg (Köbbing, et al., 2013). Voor wat betreft de levensduur van de riet als dakbedekking is de chemische samenstelling van het riet bepalend. Het stikstofgehalte moet doorgaans laag zijn. Hoe hoger het stikstofgehalte, hoe sneller het riet onder vochtige condities af zal breken wat resulteert in lagere kwaliteit voor dakriet (Kooistra & Horlings, 2023). De hoeveelheid stikstof is ook van belang ten opzichte van de hoeveelheid koolstof, oftewel de C/N ratio. Bij een hoge C/N ratio hebben micro-organismen onvoldoende stikstof tot hun beschikking, waardoor afbraak van het riet wordt vertraagd. Dit kan de levensduur van het dakriet positief beïnvloeden. Uit het onderzoek van Greef en Horlings (2016) bleek dat het riet uit China en Turkije een veel hogere C/N ratio had, in vergelijking met het riet uit Nederland en Duitsland. De stikstofconcentraties laten bij onderzocht riet een bandbreedte van 0,2 tot 0,7% zien (Reed, 2025).

Naast het stikstofgehalte en de C/N-ratio zijn ook andere factoren van invloed op de levensduur of afbreekbaarheid van dakriet. Lage natrium (zout) concentraties (<0,10% van het drooggewicht), een hoog ligninegehalte en hoge siliciumconcentraties dragen bij aan een langere levensduur van dakriet (Greef & Horlings, 2016). Afwijkingen kunnen de kwaliteit voor dakriet veranderen, wat een van de belangrijkste criteria is bij de aanschaf volgens dakdekkers (Becker et al., 2020). Zo zou dakriet vroeger een langere levensduur hebben dan tegenwoordig. In het verleden werd gerekend met een levensduur van meerdere decennia tot zelfs een eeuw, terwijl nu wordt uitgegaan van een levensduur van circa 30 jaar (Köbbing et al., 2013). Als oorzaak van deze kortere levensduur worden factoren als zure regen en stikstofdepositie genoemd (Köbbing et al., 2013).

De kwaliteit van het riet is ook mede bepalend voor de economische waarde van het riet en dus variabel. Het oogsten van riet voor dakbedekking is op dit moment financieel het meest gunstig, in vergelijking met bijvoorbeeld gebruik voor biogasproductie en verbranding (Wichmann, 2017).

Naast de samenstelling (kwaliteit) van het riet is ook de productie (kwantiteit) van belang. Tijdens de 20^{ste} eeuw is de groei van het riet in Nationaal Park Weerribben-Wieden (sterk) achteruitgegaan (Daemen et al., 2021; Figuur 1.2). Dit geldt overigens ook voor de productie van dakriet op landelijk niveau, waardoor (Kooistra & Horlings, 2023) de import van dakriet uit het buitenland ook toegenomen is (Köbbing et al., 2013; vakfederatie rietdekkers, n.d.). Dit geldt overigens ook voor Duitsland, Denemarken en het Verenigd Koninkrijk (Becker et al., 2020). Deze daling kan zowel economische oorzaken hebben als ook chemische/ecologische oorzaken ofwel een combinatie van deze factoren. De achteruitgang van rietproductie en rietkwaliteit kan verschillende oorzaken hebben, zoals : 1) eutrofiëring en de daarmee veranderende nutriëntenverhoudingen, 2) extreme overstromingen in de zomer, 3) minder waterpeilfluctuaties, 4) vraat door ganzen en muskusratten en 5) oeveraanpassingen voor recreatie (Bresciani et al., 2009; Vermaat et al., 2016; Bacci et al., 2018).

In de afgelopen decennia zijn de daling in productie én kwaliteit van riet, wat geoogst kan worden voor dakriet, duidelijk waargenomen door de rietsnijders (mond. med. Natuurcollectief Noord West Overijssel). Voor enkele percelen is de opbrengst in aantal bossen per hectare ook bijgehouden (Figuur 1.2). Wanneer er gesproken wordt over rietbossen, is het goed te vermelden dat de 'standaard' maat hiervan kan verschillen per regio. Rondom Kalenberg wordt voornamelijk maat van 46 cm (diameter) gebruikt en in de Wieden maat 55 cm.



Figuur 1.2. Opbrengstgegevens van riet van twee percelen in de Wieden in aantal bossen (maat 55 cm) per hectare (uit Daemen et. al., 2021).

Deze gegevens komen overeen met wat wordt aangegeven door rietsnijders, zoals onderstaande mededelingen:

- *"De opbrengst van percelen 4 & 5 betroffen 150 dikke bossen totaal. (nr. 5 circa 20). 20 jaar geleden was dat nog zo'n 1000 dikke bossen."*
- *"De opbrengst van dit perceel (locatie 28) is in de periode 2000 naar 2023 gemiddeld terug gelopen van 750 naar 200 bosjes riet (handelsmaat 46 cm), op een oppervlak van 1,1 Ha."*
- *"De opbrengst van dit perceel (locatie 29) is in de periode van 2000 naar 2023 gemiddeld terug gelopen van 1500 naar 300 bos riet (handelsmaat 46 cm), op een oppervlak van 2,9 Ha."*

In het kader van de genoemde achteruitgang van rietgroei in Nationaal Park Weerribben-Wieden is Onderzoekcentrum B-WARE in samenwerking met Witteveen+Bos door het Natuurcollectief Noord West Overijssel gevraagd een onderzoek uit te voeren naar de potentiële oorzaken van verminderde rietgroei en rietproductie in de Weerribben en Wieden. Het onderzoek richt zich op verschillende factoren. Het gaat hierbij om: oligotrofiëring, verzuring, begrazing en successie van rietlanden.

1.3 Onderzoeksvragen

Binnen het onderzoek wordt de volgende hoofdvraag beantwoord:

Welke (abiotische) factoren beïnvloeden de rietproductie in de Weerribben en Wieden?

De hoofdvraag wordt beantwoord met behulp van onderstaande deelvragen:

- Welke variatie is er aanwezig in de groei, productie en kwaliteit van riet in percelen met wintermaai-beheer in de Wieden en Weerribben?
- In welke mate beïnvloedt de overige vegetatie (samentelling, bedekking, biomassa) de rietopbrengst?
- Welke abiotische factoren in de bodem vertonen positieve dan wel negatieve correlaties met de rietopbrengst?
- Welke abiotische factoren in het grondwater/poriewater vertonen positieve dan wel negatieve correlaties met de rietopbrengst?

- Welke overige factoren (naast bodem- en (grond-)water samenstelling) beïnvloeden de rietopbrengst?
- Wat zijn de condities in omliggende veenweidegraslanden en bieden deze geschikte condities voor rietgroei en rietteelt buiten de Wieden Weerribben in de toekomst?

Rietproductie: Onder de term rietproductie wordt in dit rapport de totale biomassaproductie aan riet per oppervlakte per jaar verstaan. Er zijn meerdere eigenschappen van riet die indicatief zijn voor de productie en ook als kwaliteitsparameter belangrijk zijn voor de rietsnijder. In het onderzoek zijn de volgende eigenschappen meegenomen: biomassa, lengte van de stengel, dikte van de stengel, stengeldichtheid en de hardheid van de stengels.

Rietkwaliteit: Onder de term rietkwaliteit wordt in dit onderzoek de chemische samenstelling van de rietstengels verstaan.

1.4 Aanpak onderzoek

Naar aanleiding van de uitvraag werd een onderzoeksplan opgesteld. Dit onderzoeksplan werd door de onderzoekspartners besproken met de betrokken partijen (Natuurcollectief Noordwest-Overijssel en Part-Ner). Het plan is vervolgens verder uitgewerkt en gepresenteerd aan leden van het natuurcollectief en overige betrokkenen, tijdens een bijeenkomst in het voorjaar van 2024.

Na deze bijeenkomst is de definitieve opzet van het onderzoek opgesteld. Het onderzoek betreft een zogeheten correlatief onderzoek, waarin onderzocht wordt of er relaties tussen verschillende factoren bestaan. In dit onderzoek gaat het om rieteigenschappen (lengte, dikte, dichtheid, biomassa en hardheid), bodem- en hydrochemische metingen en meerdere omgevingsfactoren (bodemtypen, kraggedikte, overige vegetatie etc.) om de sturende factoren welke rietgroei en productie in deze gebieden kunnen beïnvloeden in kaart te brengen. Hierbij is getracht zoveel mogelijk variatie binnen het gebied mee te nemen. Er werden daarom een veertigtal locaties onderzocht binnen één groeiseizoen. Aanvullend hierop zijn de condities binnen Nationaal Park Weerribben-Wieden vergeleken met enkele locaties in het omliggende veenweidegebied.

1.5 Leeswijzer

Na deze inleiding (hoofdstuk 1) met achtergronden, onderzoeksvragen en doelen worden de onderzoeksmethoden beschreven in Hoofdstuk 2. De resultaten van de gemeten variabelen in relatie tot rietgroei zijn uitgewerkt in Hoofdstuk 3. Vervolgens worden de verschillende resultaten in Hoofdstuk 4 samengebracht tot de synthese. Tot slot worden in Hoofdstuk 5 de algemene conclusies en aanbevelingen gegeven. In Hoofdstuk 6 is het dankwoord te vinden, Hoofdstuk 7 bevat de gebruikte literatuur en Hoofdstuk 8 de bijlagen.

2 Materiaal en Methode

2.1 Literatuurstudie & gegevens rietsnijders

In het kader van dit onderzoek werd onder begeleiding van het onderzoeksteam door een masterstudent van de Radboud Universiteit een literatuurstudie gedaan naar de factoren die rietproductie beïnvloeden en hoe die factoren bijdragen aan variatie in rietgroei en -ontwikkeling (de Bruijn, 2024). De informatie werd in een los op zichzelf staand (Engelstalig) rapport opgeschreven. In dit rapport wordt op verschillende plaatsen naar deze studie verwezen.

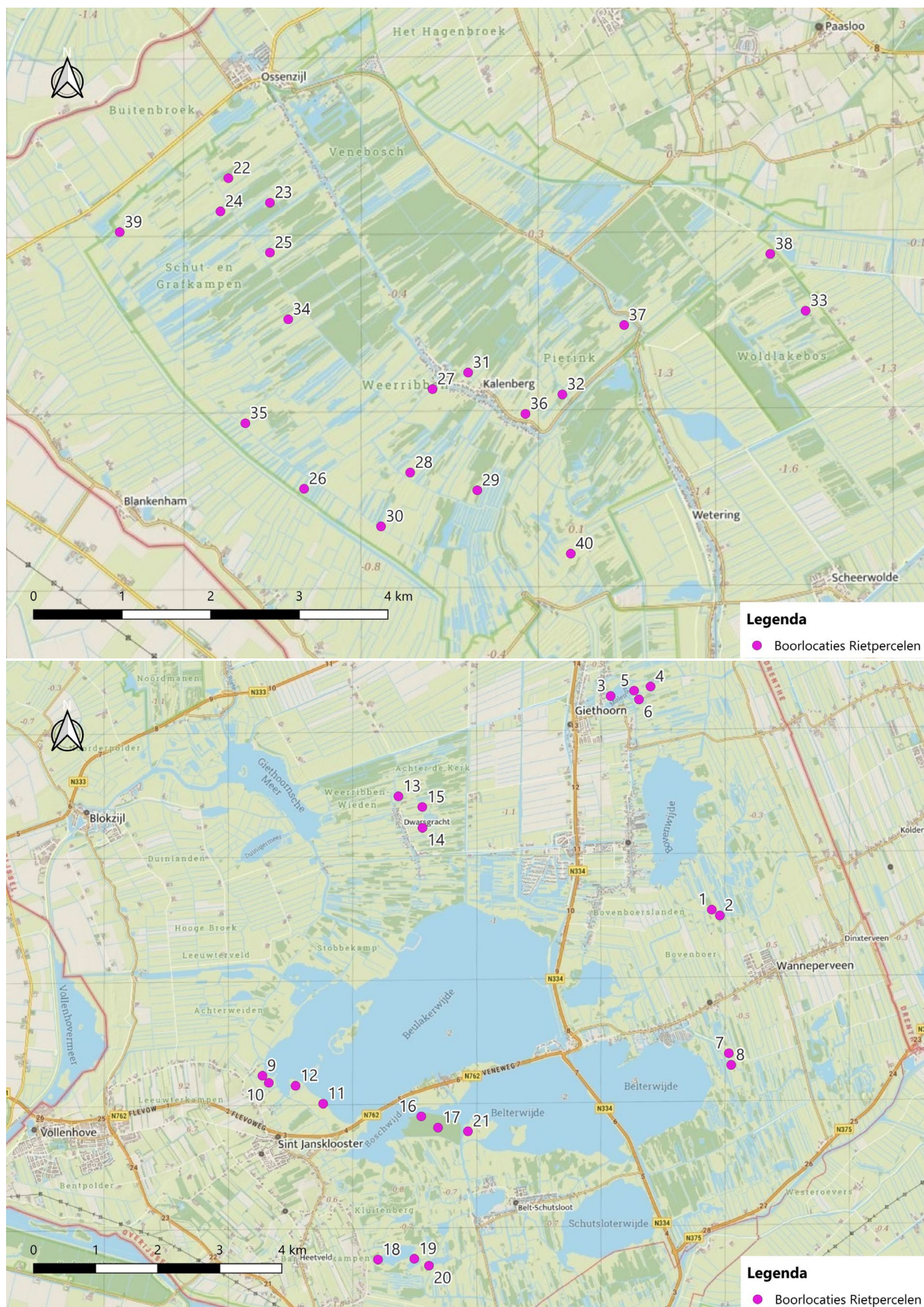
Om specifieke informatie te vergaren over de rietproductie in de Wieden en Weerribben werd tijdens de startbijeenkomst van dit project in het voorjaar van 2024 aan de aanwezige riettelers gevraagd beschikbare gegevens over de rietproductie aan te leveren. Verder werden gegevens over rietproductie gehaald uit eerdere studentenonderzoeken door studenten van Van Hall-Larenstein (Daemen et. al., 2021; Figuur 8.1).

De rietsnijders van de geselecteerde onderzoekslocaties in deze studie werd gevraagd om de oogst van het geselecteerde perceel van winter 2024/2025 door te geven. Dit werd in een vragenlijst opgenomen, alsook de vraag om aanvullende informatie over beheer en perceeleigenschappen als bevoeiing en plagwerkzaamheden, zodat deze informatie ook kon worden meegenomen in de resultaatverwerking en interpretatie (zie Bijlage 8.7). De gevraagde informatie werd slechts van 14 van de veertig locaties aangeleverd. De opbrengstgegevens die we hebben ontvangen zijn vergeleken met de gemeten rietvariabelen tijdens dit onderzoek (zie paragraaf 2.3), om zo deze gegevens te kunnen koppelen aan elkaar. Er is een zekere hoeveelheid informatie nodig om relaties duidelijk te krijgen. Daarbij geldt: hoe meer gegevens beschikbaar zijn, hoe betrouwbaarder deze koppeling. De informatie over bevoeiing en plaggen was te beperkt om op een goede manier mee te nemen in de verdere analyse.

2.2 Locatieselectie

Om inzicht te krijgen op de sturende processen voor de rietproductie in de Weerribben en Wieden is het van belang om op zoek te gaan naar verbanden tussen de rietopbrengst en de (a)biotische condities en omgevingsvariabelen. Hierbij is het van belang om een zo groot mogelijke spreiding in de gebieden op te zoeken in zowel de rietproductie (van kort tot lang riet, van dun tot dik riet en van een lage tot hoge rietdichtheid) als in de (a)biotische condities (van voedselarm tot voedselrijk, van geïnundeerd tot droog, van weinig tot veel veenmos etc.). Verder is het van belang dat de locaties representatief zijn voor de Weerribben en Wieden. De aangeleverde informatie (benoemd in paragraaf 2.1) vormde de basis van de locatiekeuze. De keuze is met behulp van gebiedskennis verder verfijnd. Eventueel ontbrekende gegevens werden zo goed als mogelijk aangevuld met behulp van satellietfoto's en hoogte informatie (Digitaal Terrein Model (DTM) en Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)).

In Figuur 2.1 zijn de uiteindelijk geselecteerde locaties en hun rietproductie weergegeven (alle locaties zijn in 'wintermaaibeheer'). In Tabel 2.1 wordt meer informatie gegeven over de rietpercelen en waarom deze geselecteerd zijn.



Figuur 2.1. Definitieve onderzoekslocaties op de rietpercelen in de Weerribben (boven) en Wieden (onder).

Tabel 2.1. Reden van locatiekeuze en opbrengstindicatie per gekozen locatie. Alle percelen zijn in wintermaaibeheer.

Locatie	Reden locatie	Opbrengstindicatie door rietsnijder gebruikt voor locatieselectie*
1	Productieland	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
2	Variatie gebied	Onbekend
3	Productieland	Goede/stabiele rietopbrengst
4	Productieland	Matige rietopbrengst
5	Productieland	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
6	Variatie vegetatie	Onbekend
7	Variatie gebied	Onbekend
8	Variatie gebied	Onbekend
9	Productieland	Matige rietopbrengst
10	Productieland	Goede/stabiele rietopbrengst
11	Productieland	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
12	VHL opbrengst	Matige rietopbrengst
13	VHL opbrengst	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
14	VHL opbrengst	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
15	Variatie vegetatie	Onbekend
16	Productieland	Goede/stabiele rietopbrengst
17	Productieland	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
18	Productieland	Goede/stabiele rietopbrengst
19	VHL opbrengst	Matige rietopbrengst
20	Variatie vegetatie	Onbekend
21	VHL opbrengst+data	Matige rietopbrengst
22	Productieland	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
23	Variatie gebied	Onbekend
24	Variatie gebied	Onbekend
25	Variatie vegetatie	Onbekend
26	Productieland	Matige rietopbrengst
27	Productieland	Matige rietopbrengst
28	Productieland	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
29	Productieland	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
30	Productieland	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
31	Productieland	Matige rietopbrengst
32	Productieland	Goede/stabiele rietopbrengst
33	Productieland	Slechte/achteruitgaande rietopbrengst
34	Variatie vegetatie	Onbekend
35	Variatie gebied	Onbekend
36	Variatie gebied	Onbekend
37	Variatie vegetatie	Onbekend
38	Variatie gebied	Onbekend
39	Variatie gebied	Onbekend
40	Variatie gebied	Onbekend

* De benadering van de opbrengsttrend aangegeven door de rietsnijder of informatie gehaald uit Daemen et al. (2021). Deze informatie is gebruikt voor de locatieselectie.

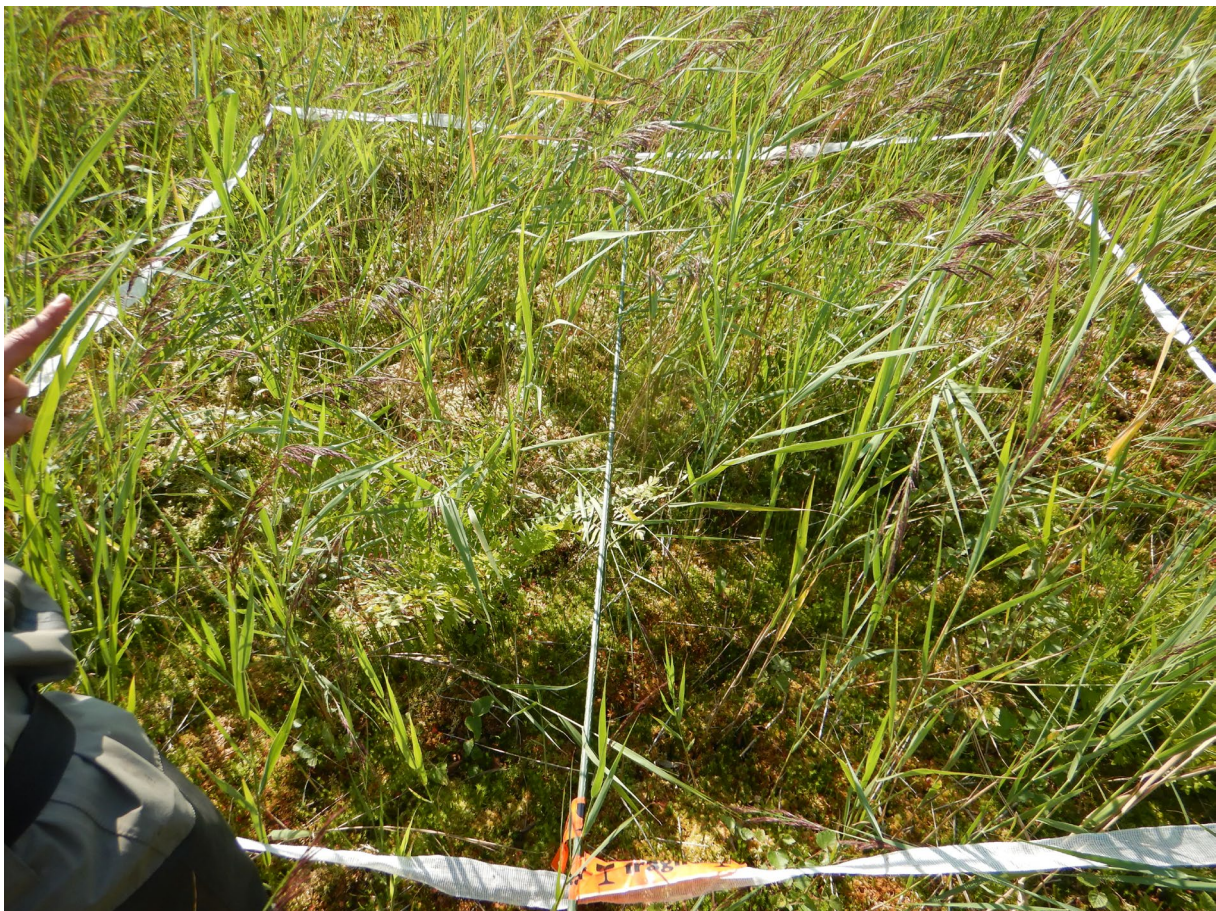
2.3 Veldonderzoek

Deze paragraaf geeft een beschrijving van het uitgevoerde veldonderzoek. De percelen zijn zowel in de zomer als in de winter bezocht. We lichten hieronder eerst de metingen in de zomer toe en sluiten af met een overzicht van de metingen die in de winter verricht zijn. De zomermetingen werden uitgevoerd op 14, 20, 21, 27, 28 augustus en 3, 4, 9 september 2024. De wintermetingen werden uitgevoerd op 25 november en 17, 18 december 2024.

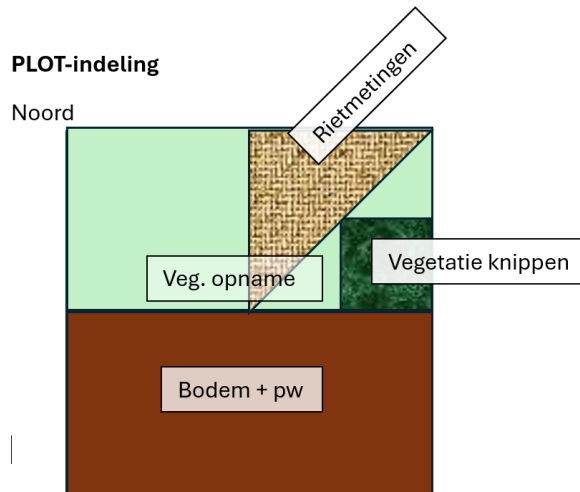
Vastleggen plots

In het veld werd een representatief stuk (plot) van het perceel geselecteerd van 4m² (2x2m) dat op het oog qua rietproductie (stengeldichtheid en hoogte) en vegetatiesamenstelling representatief was voor het perceel. Dit plot werd gemarkeerd met witte linten (zie Figuur 2.2). Zowel de hoekpunten als het middelpunt werd door middel van een DGPS ingemeten waarbij de exacte locatie (x,y) als de hoogte in m+NAP (z) werd vastgelegd met een nauwkeurigheid van ±2cm.

De plots zijn vervolgens met een stok opgedeeld in een noordelijk en zuidelijk deel (zie Figuur 2.2). In het noordelijk deel is een vegetatieopname gemaakt, zijn rietmetingen uitgevoerd en is vegetatie verzameld. In het zuidelijke deel is porievocht verzameld. Figuur 2.3 geeft deze indeling schematisch weer. De verschillende bemonsteringen worden daaronder nader toegelicht. Op alle locaties werden foto's gemaakt en werden eventuele sporen van begrazing genoteerd.



Figuur 2.2. Plot van 2x2m van meetlocatie 1.



Figuur 2.3. Schematische plotindeling met daarin weergegeven welke metingen waar werden verricht. Veg. opname = vegetatieopname, Bodem + pw = bodem en poriewater.

Vegetatieopname

In het noordelijk deel van het plot is een vegetatieopname gemaakt. Hierbij is de bedekking bepaald van:

- Riet (%).
- Vaatplanten (%). Deze bedekking is verder opgesplitst in: zeggen, russen, grassen, struiken, kruidachtige planten en kale/onbegroeide bodem.
- Mossen (%). Deze bedekking is verder opgesplitst in haarmossen, schorpioenmossen, puntmossen, levermossen, veenmossen en overige mossen.

Vaatplantbemonstering

In het noordoosten van het vak is een subplot gemaakt van 25x25cm. In dit vak zijn alle vaatplanten (inclusief riet) direct boven de moslaag afgeknipt en in een papieren zak gedaan om mee te nemen naar het laboratorium. Van dit materiaal is onder andere het drooggewicht en de chemische samenstelling bepaald.

Rietmetingen

Binnen een subplot van 0,5 m² (binnen dezelfde noordoostelijk gelegen subplot als de vaatplanten: lichtbruine vak in Figuur 2.3) werden de volgende onderdelen bepaald en/of handelingen uitgevoerd:

- De stengeldichtheid (aantal stengels per oppervlak). Hierbij is onderscheid gemaakt het aantal levende en dode stengels;
- 10 willekeurige (representatieve) stengels werden direct boven de bodem afgeknipt. Aan de stengels werd het volgende gemeten:
 - a. De dikte (met een schuifmaat) op 10 cm, 50 cm en 1 m hoogte (boven of onder een knoop). Indien de hoogte direct op een knoop was, dan is er circa 3 cm eronder gemeten.
 - b. De lengte vanaf de stoppel tot aan laatste blad voor pluim.

- c. De 'hardheid' door het aantal knopen te tellen (inclusief 1^e knoop), tot waar de harde stengel zacht, poreus en week begint te worden. Dit is gedaan door de stengel met de vingers zachtjes in te drukken van onder naar boven (e.e.a. conform de methode beschreven in Greef en Horlings, 2016). Dit aantal knopen werd per stengel genoteerd.
- Van de 10 stengels werden in het laboratorium het drooggewicht en de chemische samenstelling bepaald.

Deze metingen aan de eigenschappen van het riet zijn bepalend om een beeld te krijgen van de productie en toestand van het riet op de percelen en onder andere afgeleid uit gestandaardiseerde methoden zoals het handboek 'De Kwaliteit van riet' (Greef, 2016). Deze rietmetingen vormen de basis voor het correlatieve onderzoek naar de relaties tussen (a)biotische factoren en omgevingsfactoren met de eigenschappen van riet.

Bodemprofiel

Direct naast het plot is een bodemprofiel gestoken en beschreven (Figuur 2.4). Op iedere locatie werden de volgende handelingen uitgevoerd:

- Bepaling van de bodemopbouw door een profielbeschrijving vanaf de onderkant van de levende mos- of vegetatielaag tot een diepte dat praktisch haalbaar was. In veel gevallen was dit tot op de onderliggende zandlaag.
- Bepaling van de worteldiepte van riet. In de praktijk was dit de diepte waarop nog levende rhizomen werden waargenomen.
- Bepaling van de kraggedikte (indien aanwezig) met behulp van een kraggediktemeter, de grondboor of met de hand.
- Bepaling van de actuele grondwaterstand ten opzichte van maaiveld (de top van de dode (veen)moslaag) aan het einde van de bodemprofielbeschrijving zodat de grondwaterstand in de tussentijd zich weer heeft kunnen stabiliseren.



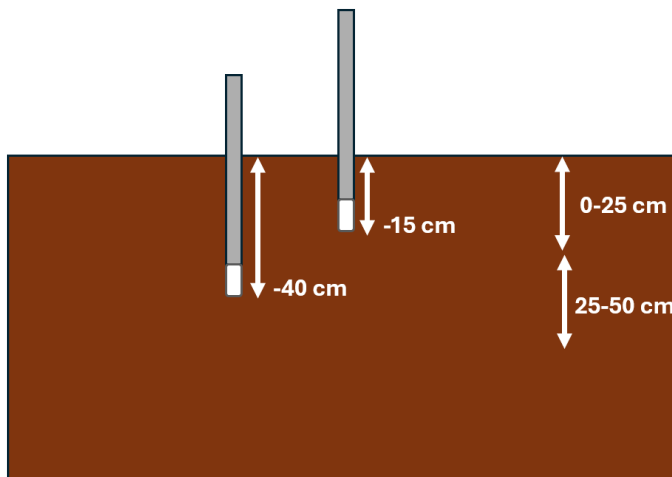
Figuur 2.4. Gedeelte van het bodemprofiel op meetlocatie 1.

Biochemische eigenschappen van porievocht en bodemmateriaal

De biogeochemische samenstelling van de bodem (hoeveelheid fosfor, stikstof, zwavel etc.) werd onderzocht door in het veld zowel porievocht (poriewater) als bodemmateriaal te bemonsteren. Het porievocht is onttrokken door middel van keramische cups op een diepte van 15 en 40 cm (zie Figuur 2.5), waarbij met een spuit onder vacuüm het porievocht ongestoord (zonder contact met zuurstof) verzameld werd voor chemische analyse (Figuur 2.6). Het bodemmateriaal werd verzameld uit de gestoken bodemprofielen. Er werd op twee vaste dieptes materiaal verzameld (0-25 'ondiep' en 25-50 cm-maaiveld 'diep'). In sommige gevallen is daarvan afgeweken omdat de kragge geen 50 cm dik was. In dat geval is alleen het ondiepe monster (0-25cm) bemonsterd of had het diepe monster een kleinere dikte. Op één locatie (locatie 10) is ook het water onder de kragge bemonsterd.

Op de bodemmonsters werden de volgende bewerking en analyses uitgevoerd:

- Drooggewicht en gloeiverlies (als maat voor organische stofgehalte);
- Zoutextractie (voor bepaling van labiel gebonden ionen);
- Strontiumextractie (t.b.v. bepaling van basenverzadiging).



Figuur 2.5. Schematisch overzicht van plaatsing van keramische cups en bemonstering van de verschillende bodemdieptes.

Prikstokmetingen

Met behulp van een zogeheten 'prikstok' zijn het elektronisch geleidend vermogen (EGV) en de temperatuur van de bodem gemeten langs een dieptegradiënt; op de volgende diepten: 5 (toplaag), 10, 20, 30, 40, 50, 75, 80, 85 en 100 cm-maaiveld. Zowel het EGV als de temperatuurmetingen geven inzicht in de invloed van grond-, oppervlakte-, en regenwater op verschillende dieptes. De relatieve invloed van deze 'waterstromen' kan direct (via de aanvoer van voedingsstoffen) of indirect (buffering tegen verzuring) van invloed zijn op de rietproductie en daarmee een belangrijke verklarende factor vormen.



Figuur 2.6. Bemonstering van het porievocht in de wortelzone op een van de onderzoeklocaties.

Oppervlaktewatermetingen

Op 33 locaties is in de directe omgeving van de onderzoekslocaties een monster van het oppervlaktewater genomen (zie Figuur 3.3). Zie paragraaf 2.5 voor verdere uitwerking van de laboratoriumanalyses die werden uitgevoerd op de bodem, water- en plantanalyses.

Wintermetingen

Riet wordt in de winter geoogst voor toepassing als dakriet. Op alle locaties werden daarom in de winter de rietmetingen herhaald en werd de chemische samenstelling nogmaals bepaald. Ook werd de kwaliteit van het oppervlaktewater opnieuw bepaald. De overige metingen die hiervoor beschreven staan werden niet herhaald. De eigenschappen van het riet in de winter geven inzicht in de rietproductie en rietkwaliteit en kunnen worden vergeleken met de zomermetingen.

2.4 Veenweiden

In het gebied in/rondom Nationaal Park Weerribben-Wieden werden tien veenweidepercelen bemonsterd op 7 mei 2025 (Figuur 2.7). De locaties verschilden in meer of mindere mate qua intensiviteit van gebruik (zie Figuur 2.8 voor enkele overzichtsfoto's). De locaties werden gekozen op basis van input van Provincie Overijssel en het Agrarische Natuur Collectief Noordwest Overijssel.



Figuur 2.7. Overzicht van de veenweidelocaties.

Per locatie werd een plot uitgezet, waarbij het middelpunt met een GPS werd vastgelegd. Er werd binnen het plot een globale vegetatie-opname gemaakt, waarbij het type vegetatie werd genoteerd en de bedekkingspercentages. Indien te herkennen in het veld, werden de soorten op naam gebracht.

Daarnaast werd de bodem bemonsterd op twee dieptes: de wortelzone (ca. 0-20 cm-mv) en de laag onder de wortelzone (ca. 25-50 cm-mv). Per diepte werd een mengmonster gemaakt van drie grondboringen binnen het plot. De precieze bemonsterde dieptes waren afhankelijk van het aangetroffen bodemprofiel.

Op de bodemonsters werden de volgende bewerkingen en analyses uitgevoerd:

- Drooggewicht en gloeiverlies (als maat voor organische stofgehalte);
- Zoutextractie (voor bepaling van labiel gebonden ionen);
- Waterextractie (als maat voor de direct beschikbare ionen);
- Strontiumextractie (t.b.v. bepaling van basenverzadiging).

Verder werd op de meeste locaties aan oppervlaktewatermonster genomen van een aangrenzende watergang, die mogelijk het perceel beïnvloedt (zie Bijlage 4). De verzamelde watermonsters werden in het laboratorium geanalyseerd.

Zie paragraaf 2.5 voor verdere uitwerking van de laboratoriumanalyses.



Figuur 2.8. Overzichtsfoto's van enkele veenweidepercelen. Foto's: Jeroen Graafland.

2.5 Laboratoriumanalyses

Bodemmonsters

Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal in duplo in aluminiumbakjes (57mm, VWR, Radnor, V.S.) af te wegen met een nauwkeurigheid van 0,01 g. 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 (ED Serie, Binder, Tuttlingen, Duitsland) bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal opnieuw gewogen en werd het vochtverlies berekend. Gedroogd materiaal uit één bakje werd vervolgens fijn gemalen met een RM200 maler (Retsch, Haan, Duitsland) voor verdere analyses, terwijl het andere bakje werd gebruikt voor het bepalen van het gloeiverlies. Hiertoe werd een bekend gewicht aan gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven (B170 of L9/13, Nabertherm, Lilienthal, Duitsland) 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.

Bodemdestructie

Door bodem- en plantmateriaal te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de verweerbare concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen, gedroogd en gehomogeniseerd bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen (Quintix, Satorius, Göttingen, Duitsland, nauwkeurigheid 0,0001 g) en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodem- of plantmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3 , 65%, AnalR, VWR, Radnor, V.S.) en 2 ml waterstofperoxide (H_2O_2 , 30%, Emsure, Supleco, Darmstadt, Duitsland) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructiemagnetron (Ethos Easy met Rotor Maxi-44, Milestone, Sorisole, Italië) werden geplaatst. Het programma bestond uit 20 minuten opwarmen met 1400W tot 140°C, gevolgd door 20 minuten bij 1000W (140°C) en 20 minuten afkoelen. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in een 100 ml maatkolf en aangevuld tot 100 ml met demiwater. Het destruaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Water- en zoutextractie

Met een water- en zoutextractie kunnen respectievelijk de vrij in de bodem aanwezige ionen of de zoutuitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml demiwater of 50 ml zoutoplossing (0,2 mol l⁻¹ NaCl, Rectapur, VWR, Radnor, V.S.) gedurende 2 uur geschud op een schudmachine (Laboshake LS500, Gerhardt, Königswinter, Duitsland) bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH-electrode (PHC101 met HQ430d, Hach, Loveland, V.S.). De extracten werden gefilterd met behulp van polyethersulfon poriewaterbemonsteraars (0,15 µm Rhizon SMS, Eijkelkamp, Giesbeek, Nederland). Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1% HNO_3 , AnalR, VWR, Radnor, V.S.) 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.

Strontiumextractie

Met een strontiumextractie kan de concentratie strontium-uitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 5 gram droog materiaal (minerale bodems) of 2,5 gram droog materiaal (veenbodems), waarna dit met 200 ml anaerobe strontiumchloride (0,2 mol l⁻¹, ACS, Supleco, Darmstadt, Duitsland) gedurende 1 uur werd geschud op een schudmachine bij 105 rpm (Laboshake LS500, Gerhardt, Königswinter, Duitsland). De pH werd gemeten met HQD pH-electrode (PHC101 met HQ430d, Hach, Loveland, V.S.). De extracten werden gefilterd met behulp van teflon polyethersulfon poriewaterbemonsteraars (0,15 µm Rhizon SMS, Eijkelkamp, Giesbeek, Nederland). Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1% HNO_3 , AnalR, VWR, Radnor, V.S.) en bewaard bij 4 °C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analyzers werd het filtraat drie keer verdund (Microlab Serie 600, Hamilton, Reno, V.S.) en niet-aangezuurd bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

Watermonsters

Bemonstering oppervlakte- en poriewater

Oppervlaktewatermonsters werden 10 cm onder het wateroppervlak verzameld en luchtdicht afgesloten in 500 ml HDPE potten. Poriewater werd anaeroob verzameld met keramische cups (2,5 µm, Soilmoisture Equipment Corp., Goletta, V.S.) waaraan een vacuüm getrokken 60 ml injectiespuit werd verbonden. Voor het bemonsteren van opgelost methaan of sulfide werd een naald bevestigd aan de keramische cup,

waaraan een vacuümgetrokken 12 ml gasbuisje met 1 ml 0,1 mol l⁻¹ HCl (CH₄: Exetainer, Labco, Lampeter, UK; S²⁻: 20ml vial, Shimadzu, Kyoto, Japan) werd bevestigd, waarna ca. 4-8 ml poriewater werd verzameld.

Standaardmetingen oppervlakte- en poriewater

De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl-elektrode verbonden met een auto-titrator (TIM840, Radiometer analytical, Hach, Loveland, V.S. of Eco Titrator met PT 1000/B/2, Metrohm, Herisau, Zwitserland), waarna de alkaliniteit werd bepaald door een bekend volume van het monster te titreren met 0,01 mol l⁻¹ zoutzuur (37% VWR, Radnor, V.S.) tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter (CDC401 en HQ40d, Hach, Düsseldorf, Duitsland). De turbiditeit van de oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een turbiditeitsmeter (model FNX-80, Toho Dentan Co, Tokyo, Japan). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (DIC: CO₂ en HCO₃⁻) werd bepaald door een bekend volume monster in te spuiten in een compartiment met 0,4 mol l⁻¹ fosforzuur (Supleco, St. Louis, V.S.), waardoor al het aanwezige DIC werd omgezet in CO₂. Dit gas werd vervolgens gemeten in een infrarood gasanalyser (Advance Optima, ABB, Zürich, Zwitserland), waarna de DIC-concentratie werd berekend aan de hand van een 5-punts ijklijn met natriumbicarbonaat (NaHCO₃ AnalaR, VWR, Radnor, V.S.). De CO₂ en HCO₃⁻ concentraties in het oorspronkelijke monster werden teruggerekend op basis van het pH equilibrium. De monsters voor de auto-analyzer werden bewaard bij een temperatuur van -18 °C tot aan de analyse. De monsters voor de ICP-OES werden aangezuurd met salpeterzuur (HNO₃, AnalaR, VWR, Radnor, V.S.) tot een eindconcentratie van 1% en tot analyse bewaard bij 4 °C.

Methaananalyse

Het eventueel overgebleven vacuüm van de verzamelde gasbuisjes werd eraf gehaald met stikstofgas (5.0 Linde Gas, Dublin Ireland). De methaanconcentratie in de headspace werd gemeten via handmatige injectie in een gaschromatograaf (7890B, Agilent Technologies, Santa Clara, V.S.) met een Carbopack BHT100 glass column (2 m, ID 2 mm) flame ionization (FID). Het volume poriewater in de gasbuisjes werd bepaald door de buisjes te wegen en het gewicht van een leeg buisje hiervan af te trekken. De methaanconcentratie in de headspace werd berekend op basis van geijkte methaan standaarden (Linde Gas, Dublin, Ireland), waarna het volume werd gebruikt om de opgeloste methaanconcentratie in het poriewater te bepalen.

Sulfide-analyse

De sulfideconcentratie werd gemeten op een Agilent 7890B (Agilent, Santa Clara, V.S.) volgens Pol et al., 2018. De uiteindelijke sulfideconcentratie in het poriewater werd teruggerekend met behulp van een ijklijn uit natriumsulfide (Na₂S, Thermo Fisher, Geel, België) en het oorspronkelijke volume van het poriewater.

Elementenanalyse (ICP en auto-analyzers)

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 (ARCOS MV of GREEN DUO, Spectro, Kleve, Duitsland). De analyses van de watermonsters, destructies en zware metalen werden verricht op de ARCOS MV, met een horizontaal plasma en een axiale plasma observatie. De monsters werden verstoven tot een aerosol door een Seaspray verstuiver en een cyclonische verstuiverkamer. Voor alle extracten werd de GREEN DUO

gebruikt, met een verticaal plasma in combinatie met een Crossflow verstuiver en een Scott verstuiverkamer.

Om de nutriënten ammonium (NH_4^+), nitraat/nitriet (NO_x) en fosfaat (PO_4^{3-}) te meten werden meerdere doorstroomanalysers gebruikt, waarbij het monster in een ononderbroken stroom (segmented flow) in contact komt met reagentia, waardoor er een kleurreactie plaatsvindt. De concentraties NO_x , NH_4^+ werden gemeten met een Autoanalyzer AA500 en de concentratie PO_4^{3-} met een autoanalyzer AA3 (SEAL Analytic Norderstedt, Duitsland). Voor de kleurreactie dienden resp. hydrazinesulfaat (58 mmol l^{-1}), salicylaatreagens ($1,2 \text{ mol l}^{-1}$) en ammoniummolybdaat (24 mmol l^{-1}) /ascorbinezuur (56 mmol l^{-1}). Voor de ionen chloride (Cl^-), natrium (Na^+) en kalium (K^+) werd gebruik gemaakt van een autoanalyzer AA3 (SEAL Analytical, Norderstedt, Duitsland). Hierbij werd Cl^- colorimetrisch bepaald met behulp van mercurithiocyanide ($1,68 \text{ mmol l}^{-1}$), terwijl Na^+ en K^+ vlamfotometrisch werden bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer (Sherwood Scientific, Cambridge, V.K.).

2.6 Data-analyse

In dit onderzoek werden veel gegevens (data) verzameld. Zoals hiervoor beschreven gaat het hier om een correlatief onderzoek. Correlatief onderzoek wil zeggen dat er onderzocht wordt of er een verband is tussen bepaalde factoren. Bijvoorbeeld: "In gebieden met veel kalk in de bodem, zien we vaak een grotere soortenrijkdom aan planten. Er lijkt een relatie te zijn tussen kalkrijkdom en soortenrijkdom van planten." Correlatief onderzoek zegt echter niet per se iets over oorzaak en gevolg (causaliteit).

Om er achter te komen of er tussen gemeten factoren bepaalde verbanden bestaan, kunnen verschillende technieken worden toegepast. Data-analyse en statistiek worden gebruikt om patronen zichtbaar te maken én te toetsen of de gevonden verbanden door toeval verklaard kunnen worden of niet. Als de verbanden niet door toeval verklaard kunnen worden noemen we dat 'significante verbanden'. Hieronder wordt beschreven hoe de verzamelde data (statistisch) is geanalyseerd.

Sturende factoren rietproductie

Clusteranalyse vegetatie

Om te analyseren of successie van de vegetatiesamenstelling door de tijd invloed heeft op de rietproductie, zijn de locaties op basis van vegetatieopnames ingedeeld in groepen (clusters) met behulp van non-metrische multidimensionale schaling analyse (NMDS). Deze analyse maakt inzichtelijk welke locaties, op basis van hun vegetatiesamenstelling, overeenkomsten vertonen of juist van elkaar verschillen. De analyse werd uitgevoerd met de functie metaMDS uit het *vegan*-pakket in de R-software (Oksanen et al. 2022). Aanvullend is de silhouet-methode toegepast om het optimale aantal clusters te bepalen (Oksanen et al. 2022). De clusteranalyse resulteerde in een stress-waarde van 0,15, wat duidt op een bruikbare weergave van de vegetatiedata op twee assen waarin drie clusters worden onderscheiden. Stress-waarden onder de 0,20 worden algemeen als acceptabel beschouwd voor ecologische datasets. De aanvullende silhouet analyse resulteerde in een gemiddelde waarde van 0,55 voor 3 clusters. Een waarde hoger dan 0,50 wijst op een voldoende onderscheidend vermogen. Waarden lager dan 0,50 worden als matig gezien, terwijl waarden boven de 0,70 als zeer sterk worden beschouwd.

Om te toetsen of de vegetatieopnames binnen de drie clusters significant van elkaar verschillen in soortensamenstelling, is er een permutatiele multivariate variantieanalyse (PERMANOVA) uitgevoerd met de functie *adonis2* uit het *vegan*-pakket (McArdle & Anderson 2001). Om te bepalen of de

rietvariabelen significant van elkaar verschillen tussen de clusters, is er een ANOVA uitgevoerd, gevolgd door een post-hoc Tukey-toets.

Selectie van de variabelen

De selectie van te testen omgevingsvariabelen is stapsgewijs uitgevoerd. In een eerste stap zijn op basis van 'expert judgement' (deskundigen oordeel) en correlaties met de rietvariabelen de potentieel relevante variabelen geselecteerd. Vervolgens zijn de onderlinge correlaties tussen deze variabelen beoordeeld, aangezien sterke correlaties de interpretatie van statistische analyses kan verstoren. Variabelen met een onderlinge correlatiecoëfficiënt hoger dan 0,6 (op een schaal van 0 tot 1) zijn daarom niet gelijktijdig opgenomen. In dergelijke gevallen is één van de sterk gecorreleerde variabelen uitgesloten van verdere analyse.

Om de meest bepalende variabelen te identificeren is een Principal Component Analysis (PCA) uitgevoerd op de gestandaardiseerde dataset van de geselecteerde variabelen. Voor elke variabele is de bijdrage aan de eerste twee hoofdcomponenten (Dim1 en Dim2) bepaald en samengenomen. Als selectiecriterium is een gangbare PCA-vuistregel toegepast, waarbij variabelen met een bijdrage groter dan $2 \times (100 / (\text{Dim1} + \text{Dim2}))$ als bovengemiddeld invloedrijk zijn aangemerkt (Kassambara & Mundt, 2020). Deze variabelen verklaren een belangrijk deel van de spreiding in de gevonden data.

Regressie-analyse: effecten rietproductie

Deze (omgevings)variabelen zijn, naast de op basis van eerder onderzoek verwachte relevante variabelen (o.a. van Diggelen et al., 2018; Verstijnen et al., 2019; Daemen et al., 2021), opgenomen in een regressieanalyse, per rietvariabele (lengte, dikte, biomassa, dichtheid en 'hardheid'). De veranderingen in de zuur-basenbalans van de (kraggen)bodem hebben naast het effect van successie (paragraaf 3.3), ook een direct effect op de rietproductie. Omdat deze variabelen onderling sterk gecorreleerd zijn en daarom niet gezamenlijk in één model kunnen worden opgenomen, zijn zij afzonderlijk getest tezamen met de andere geselecteerde (omgevings)variabelen (zie Bijlage 8.8 voor een overzicht). Hierbij is beoordeeld welke variabele een significante bijdrage levert en welke de grootste invloed heeft. Deze onderzochte variabelen zijn (zout-extraheerbaar) calcium, pH, elektrisch geleidend vermogen (EGV) en basenverzadiging van de bodem. Met behulp van een stapgewijze regressieanalyse, uitgevoerd met de *step*-functie in R software, werd stapsgewijs een model geselecteerd waarbij niet-significante variabelen iteratief werden verwijderd totdat uitsluitend significante variabelen overbleven.

Voor het uiteindelijke model is met behulp van een Shapiro–Wilk-test gecontroleerd of de residuen normaal verdeeld zijn. Aangezien normaliteit van de residuen een voorwaarde is voor een betrouwbaar model, duidt een afwijking hiervan erop dat het model mogelijk niet geschikt is. Om de praktische betekenis van de regressiecoëfficiënten te verduidelijken, berekenden we cumulatieve effecten. Dit is het totale effect over de waargenomen range van de variabele, berekend als $\beta \times (\text{maximum} - \text{minimum})$.

Vergelijking met veenweidepercelen

Voor de statistische vergelijking tussen de rietpercelen en de onderzochte/overige veenweidepercelen is gebruik gemaakt van een GLM-model, zogenoemd Gegeneraliseerd Lineair Model. Door het gebruik van de GLM is gecorrigeerd voor niet normaal verdeelde data indien nodig (Gaussian & Gamma verdeling). Vervolgens is het verschil voor enkele variabelen tussen de riet- en veenweidepercelen getest door middel van een ANOVA.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het correlatieve onderzoek naar de sturende factoren voor rietgroei en -kwaliteit weergegeven. In paragraaf 3.1 wordt een algemene beschrijving gegeven van de onderzochte percelen met onder andere de abiotische kenmerken (o.a. bodemopbouw), fenotypische kenmerken van het riet (o.a. hoogte, lengte, dikte), en de aanwezigheid van overige vegetatie op de percelen (o.a. bedekking). In paragraaf 3.2 wordt ingegaan op de bodemkwaliteit, hydrochemie, en nutriëntenconcentraties (en eventuele limitaties) in het riet en de overige vegetatie. Paragraaf 3.3 gaat verder in op de correlaties tussen de rietvariabelen en abiotische condities, die rietgroei en rietproductie kunnen beïnvloeden. Aanvullende informatie over de bodemopbouw en kwaliteit van de omliggende veenweidepercelen is weergegeven in paragraaf 3.4.

3.1 Eigenschappen locaties en riet

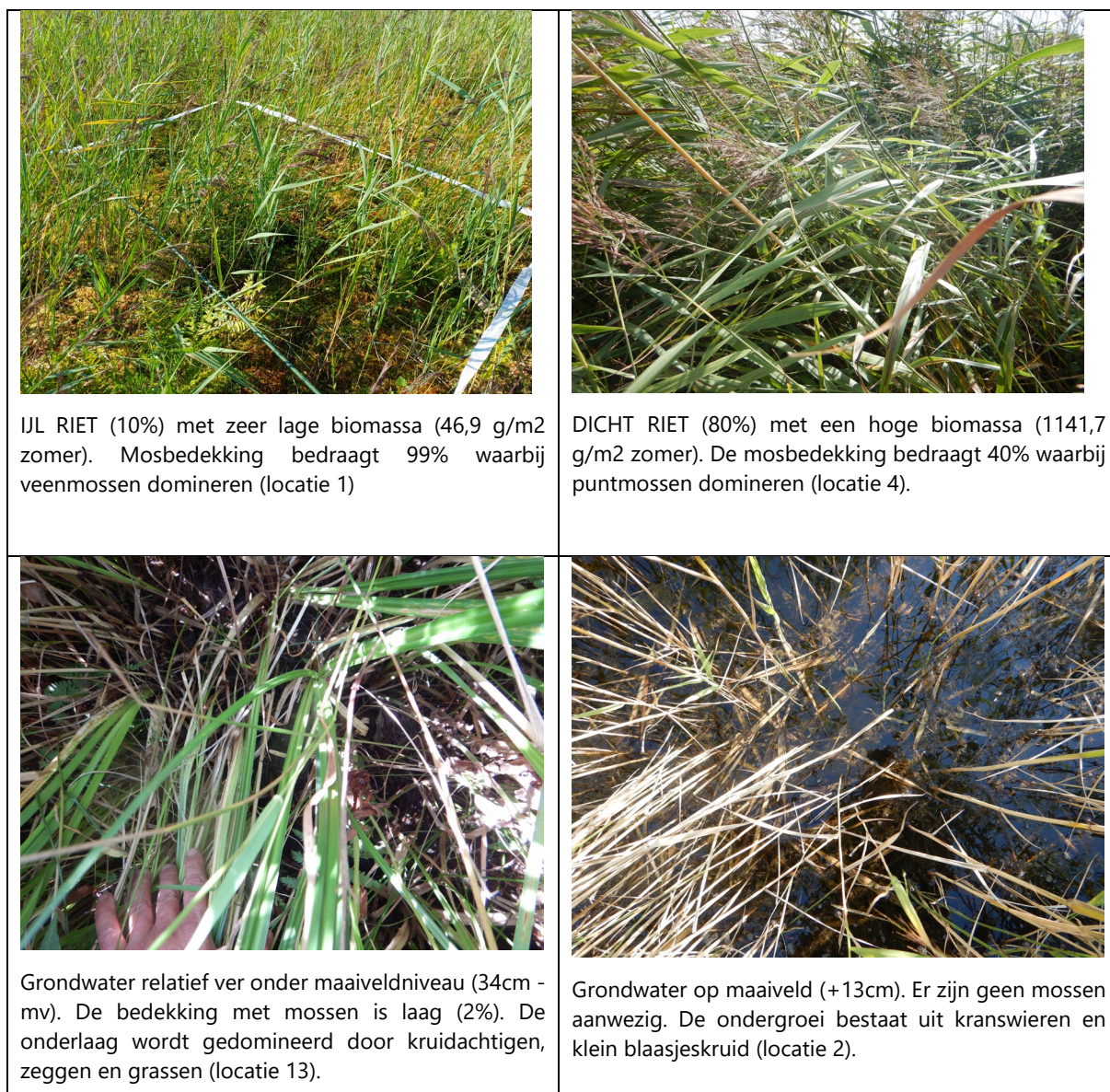
Algemene beschrijving locaties

Locatiebeschrijving

De bemonsterde locaties lagen ruimtelijk verspreid over de Wieden en Weerribben op percelen die in wintermaaibeheer zijn (zie ook paragraaf 2.2). Op alle onderzochte percelen groeit riet. De bedekking van riet (en dichtheid, biomassa, lengte en dikte) en de ondergroei (mossen en vaatplanten) verschillen echter sterk tussen de onderzochte percelen. Onderstaande afbeelding (Figuur 3.1) geeft een impressie van deze variatie. Bij de selectie van de percelen is de variatie in abiotische variabelen en omgevingsvariabelen bewust opgezocht. Aan de linkerkant van het figuur is een 'ijl' rietveld te zien met een relatief lage bedekking (10%) met riet. Het riet is hier ook dun (gemiddeld 1,75 mm). De vegetatie wordt gedomineerd door veenmossen die 99% van het oppervlak bedekken. Aan de rechterzijde van de figuur is een rietveld te zien met een relatief hoog bedekkingspercentage aan riet (80%) en een relatief lage bedekking met mos (40%). Ook is het riet relatief dik (4 mm). Alle andere onderzochte locaties bevinden zich tussen deze twee voorbeelden in. Vraatsporen aan het riet, van bijvoorbeeld vogels, werden niet waargenomen.

Naast de vegetatiesamenstelling vormt ook de grondwaterstand een beeldbepalend aspect. De grootste drooglegging bedraagt 34 cm onder maaiveld (op locaties 13 en 17). Op vier locaties was sprake van inundatie. Onderstaande afbeelding geeft een impressie van de drooglegging. Tot slot zijn er andere factoren die een locatie typeren zoals de kraggedikte en biogeochemische samenstelling van de bodem en het oppervlaktewater. Deze factoren zijn echter niet direct zichtbaar in het veld.

In de volgende paragrafen wordt nader in gegaan op de gemeten variabelen en hun relatie met de rietproductie.



Figuur 3.1. Foto's van enkele rietpercelen ten tijden van de zomerbemonstering en een beeld van verschillende bedekkingspercentages van riet en drooglegging van percelen.

Naast de verzamelde gegevens in het veld, werden de eigenaren dan wel pachters van de rietpercelen gevraagd om bepaalde informatie aan te leveren over hun perceel en de rietopbrengst (in winter 2024-2025 en historische data indien beschikbaar). Hieronder is de verkregen informatie weergegeven in Tabel 3.1. Van (slechts) 14 van de 40 percelen (35%) hebben we informatie ontvangen. Hierdoor was het niet goed mogelijk deze gegevens in het model (zie paragraaf 2.6 en 3.3) mee te nemen. Hiervoor is een minimale respons van tussen de 50 en 75% nodig.

Tabel 3.1. Gegevens uit de vragenlijst, ingevuld door de rietsnijders. Opbrengstgegevens van oogst in de winter van 2024-2025 (rietbossen/ha, 55cm), is het perceel begreppeld (ja/nee), wordt het perceel actief bevoloed (ja/nee), is het perceel geplagd (ja/nee; zo ja in welk jaar is dit gebeurd). Van veel locaties is geen informatie doorgegeven. Daarnaast is aangegeven welke percelen begreppeld lijken op basis van kaartmateriaal (zie ook paragraaf 2.1).

Locatie	Opbrengst winter '24-'25	Begreppeld	Bevloeid	Geplagd	Jaar van plaggen	Begreppeld o.b.v. kaart
1	25	Nee	Nee	Ja	onbekend	Nee

Locatie	Opbrengst winter '24-'25	Begreppeld	Bevloed	Geplagd	Jaar van plaggen	Begreppeld o.b.v. kaart
2	25	Nee	Nee	Ja	2023	Nee
3	545	Ja (feb.2025)	Nee	Ja	2019	Nee (voor feb.2025)
4	250	Ja (maar geen invloed meer)	Nee	Nee		Nee
5						Nee
6						ja (kruislings)
7						Nee
8	625	Ja	Nee	Ja	2012 (april)	ja (parallelle greppels op perceel)
9						ja (parallelle greppels op perceel)
10						ja (parallelle greppels op perceel)
11						Nee
12						Nee
13						Nee
14	320	Nee	Nee	Ja	2012	Nee
15						Nee
16	268	Nee	Nee	Nee		ja (parallelle greppels op perceel)
17	194	Nee	Nee	Nee		Nee
18	800	Nee	Nee	Nee		Nee
19						Nee
20						Nee
21						ja (parallelle greppels op perceel)
22	174					nee
23						nee
24						nee
25						nee
26						nee
27						nee
28	127					nee
29	70	Ja	Nee*	Ja	2005	nee
30						nee
31	287	Nee	Ja	Ja	2007 en deel 2021	nee
32	200	Nee	Nee	Ja	2010	nee
33						nee
34						nee
35						nee
36						nee
37						nee
38						nee
39						nee
40			Ja**			nee

* 4 jaar geleden gestopt met bevloeien. ** Persoonlijke mededeling.

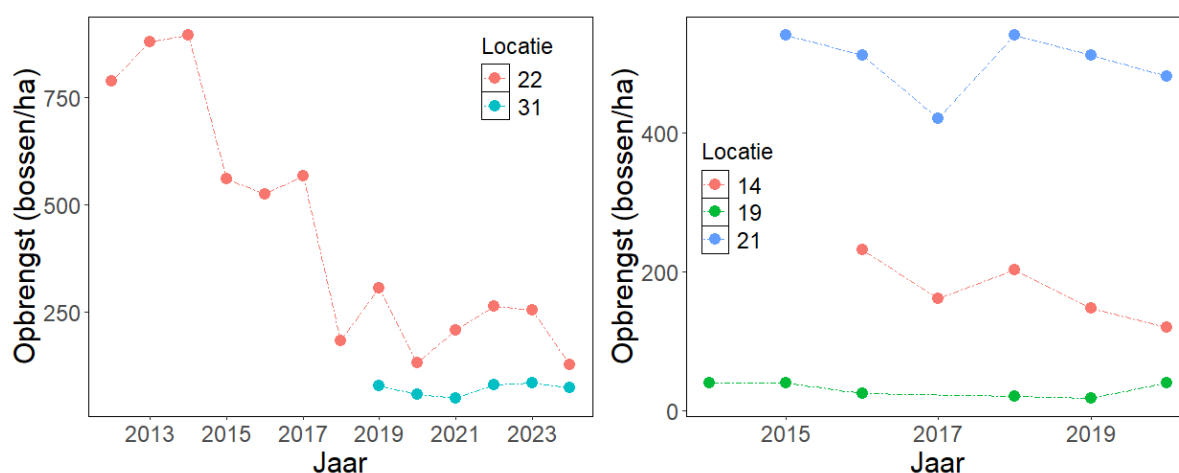
De opbrengstgegevens van de rietooft in de winter van 2024-2025 kunnen gekoppeld worden aan de die in dezelfde periode zijn gemeten (zie verderop in paragraaf 3.1). De opbrengsten per perceel liepen erg uiteen. De meeste percelen lijken niet te zijn begreppeld of (actief) te worden bevoeid, waardoor de invloed van oppervlaktewater op deze percelen mogelijk beperkt is. Op sommige percelen zijn wel greppels aanwezig of werd actief geïnundeerd (bevoeiing). Locatie 2 wordt niet actief bevoeid (Tabel 3.1), maar stond ten tijden van de bemonstering wel onder water (Figuur 3.4). Voor dit perceel en mogelijk ook bij andere percelen geldt dat er dus wel degelijk sprake is van invloed van oppervlaktewater, ondanks dat er niet actief (bedoeld) wordt bevoeid. Van verschillende locaties is verder bekend dat deze in het verleden zijn geplagd. Dit kan van invloed zijn op de natuurlijke successie in het perceel en daarmee op de rietgroei.

Uit de aangeleverde gegevens of gegevens bekend uit de eerdere studie (Daemen et al., 2021) blijkt dat op verschillende locaties de rietopbrengst in de afgelopen jaren heen is afgenomen (locatie 22 en 14; Figuur 3.2). Echter, ook bleek dat op een aantal locaties de rietopbrengst in dezelfde periode stabiel bleef (locatie 31, 19 en 21). Op de percelen 12 en 13 lijkt er een licht dalende trend te zijn, maar voor locaties 28 en 29 juist een sterke daling (Tabel 3.2). Van de percelen waar gegevens van de langere termijn beschikbaar zijn (Figuur 1.1) blijkt een sterke afname te beginnen eind jaren '90 van de vorige eeuw, met onder andere een sterke daling rond 2010 en vanaf 2017. De langere meetreeks in Figuur 3.2 (locatie 22) laat ook vanaf 2017 een sterke daling zien.

Factoren die door rietsnijders werden aangemerkt als (mogelijk) van belang voor de rietopbrengst op hun percelen zijn: droogte, mosgroei, opslag van struweel, plaggen en (oppervlakte)waterinvloed.

Tabel 3.2. Aanvullende opbrengstgegevens die bekend zijn vanuit de eerdere studie van Van Hall-Larenstein (Daemen et al., 2021; locaties 12 en 13) en doorgegeven door rietsnijders tijdens dit onderzoek (locatie 28 en 29).

Locatie	Opbrengst verleden (rietbossen/ha)	Jaar	Recente opbrengst (rietbossen/ha)	Jaar
12	70	1980	58	2020
13	98	1990	49	2020
28	477	2000	127	2023-2024
29	362	2000	72	2023-2024



Figuur 3.2. Links: Opbrengstgegevens van riet van locatie 22 en 31 in de Weerribben (gegevens aangeleverd door rietsnijders tijdens dit onderzoek; omgerekend naar rietbossen per hectare). Rechts: Opbrengstgegevens van riet van locaties 14, 19 en 21 in de Wieden (Daemen et al., 2021; omgerekend naar bossen per hectare, maat 55cm).

Waterkwaliteit

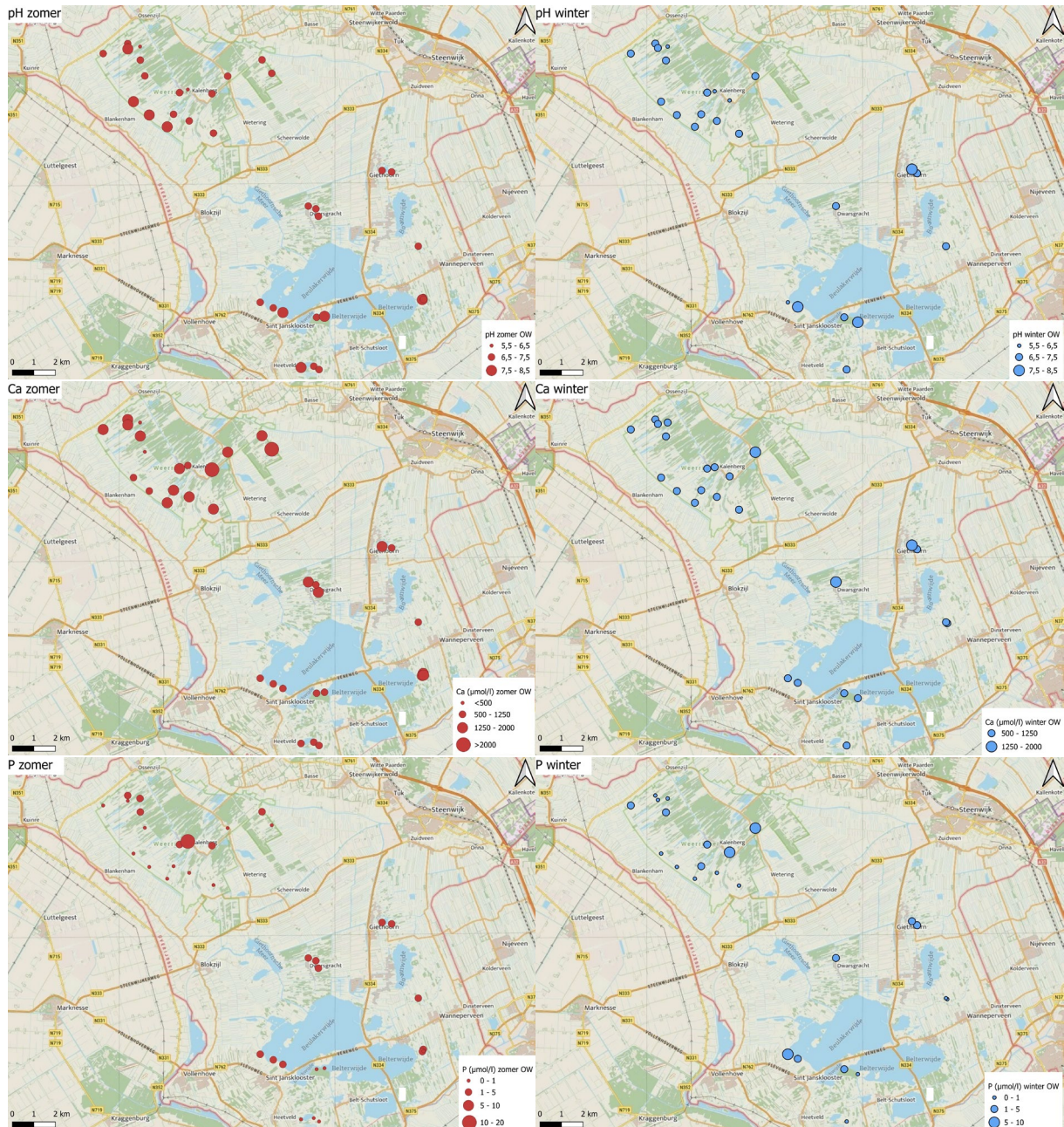
De oppervlaktewaterkwaliteit werd gelijktijdig met de bemonstering van de rietpercelen op verschillende locaties bemonsterd in de Weerribben - Wieden. Veruit de meeste watermonsters werden genomen in de nabijgelegen vaart. Sommige watermonsters werden in kleinere sloten tussen percelen genomen of van het water dat op het perceel stond.

Op basis van alle monsters was het oppervlaktewater in beide gebieden goed gebufferd met een pH van ruim 7 in zowel de zomer als wintersituatie, bicarbonaatconcentraties bevonden zich meestal tussen de 1500 en 3000 $\mu\text{mol/l}$ (ca. 92-184 mg/l) en calciumconcentraties waren gemiddeld circa 1000 (325 tot 2300) $\mu\text{mol/l}$ (40 mg/l; Zie Bijlage 3). De buffering per locatie was meestal hoger in de zomer dan in de winter. De pH en de calciumconcentraties kunnen per deelgebied variëren o.b.v. het functioneren van het watersysteem, de invloed van regenwater en grondwater en de invloed van oppervlaktewater wat ingelaten wordt vanuit omliggende polders, vaarten en kanalen (Cusell et al. 2022) (Zie Figuur 3.3; kaart pH). De laagste buffering werd gemeten in kleinere sloten (o.a. bij locatie 23 en 34 in de zomer en bij 31 en 36 in de winter) (Figuur 3.3; Kaart Ca). De calciumconcentraties liggen binnen het bereik dat in de eerdere watersysteemanalyse werd gemeten. Hierin werd geconcludeerd dat de calciumconcentratie in het haarvatensysteem sterk wordt beïnvloed door het hoofdwatersysteem en hier qua samenstelling sterke overeenkomsten mee vertoont (Cusell et al., 2022). In de huidige metingen zien we echter wel dat lokaal de calciumconcentraties sterker kunnen dalen in kleinere sloten ten opzichte van de hoofdwatgangen. Dit is ook de verwachting door een hogere regenwaterinvloed. Dergelijke kleine watgangen en greppels zijn ook niet meegenomen in de watersysteemanalyse (Cusell et al., 2022).

Het oppervlaktewater kon aangemerkt worden als matig voedselrijk met nitraat- en ammoniumconcentraties lager dan 30 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P-concentraties veelal lager dan 3 $\mu\text{mol/l}$ (0,09 mg/l). De P-concentraties liggen daarmee binnen het bereik dat in de eerdere watersysteemanalyse werd gemeten (Cusell et al., 2022). De Weerribben was lokaal het meest voedselrijk met een maximale P-concentratie van 11 en 20 $\mu\text{mol/l}$ in respectievelijk zomer en winter (beide bij locatie 31, Figuur 3.3; kaart P). Dit was in een kleinere zijslot en bevestigt daarmee dat de P-concentratie meer variabel is dan calcium in het watersysteem, zoals ook bleek uit de watersysteemanalyse (Cusell et al., 2022). De hoogste P-concentratie in de Wieden werd gemeten bij locatie 9 in de winter (5,7 $\mu\text{mol/l}$). Gemiddeld waren beide gebieden ongeveer even P-rijk met geen grote verschillen tussen zomer en winter. Wel waren met name de concentraties anorganisch stikstof (ammonium en nitraat) hoger in de winter dan in de zomer. Dit kan verklaard worden door opname door waterplanten en gekoppelde nitrificatie-denitrificatie in de zomermaanden. Het oppervlaktewater was in beide gebieden relatief arm aan sulfaat (gemiddeld lager dan circa 200 $\mu\text{mol/l}$; 19 mg/l) en matig ijzerhoudend (gemiddeld 4-30 $\mu\text{mol/l}$; 0,1-1,1 mg/l). De ijzerconcentraties verschilden wel redelijk sterk tussen locaties met in de Wieden de hoogste concentratie op locatie 2 (135 $\mu\text{mol/l}$) en in de Weerribben op locatie 36 (64 $\mu\text{mol/l}$), beide in de winter.

In de eerder uitgevoerde watersysteemanalyse zijn grenswaarden voor oppervlaktewaterconcentraties van fosfor en calcium aangehouden voor goed ontwikkelde Natura 2000 habitattypen veenmosrietland en trilveen, waar een groot deel van de onderzochte rietpercelen onder vallen. Deze grenswaarden zijn <1,3 $\mu\text{mol P/l}$ (0,04 mg P/l) en >1250 $\mu\text{mol Ca/l}$ (50 mg Ca/l) (Cusell et al., 2022). Voor beide stoffen geldt dat ongeveer een derde van de gemeten watermonsters voor P hogere en voor calcium lagere concentraties hadden dan deze grenswaarden. Hierbij werd wel gesteld dat voor calcium bij inundatie van de kragge ook lagere concentraties in sommige gevallen nog volstaan (Cusell et al., 2026). Trilvenen lijken doorgaans (veel) gevoeliger voor de fosfor- dan wel calciumbeschikbaarheid dan veenmosrietlanden (Cusell et al., 2014; Van Diggelen et al. 2018). Voor behoud en uitbreiding van deze habitattypen wordt er met het waterbeheer op gestuurd de basenrijkdom van het oppervlakte hoog te houden en de voedselrijkdom (met name fosfor) te verlagen (Cusell et al. 2022). Uit langere meetreeksen

van het oppervlaktewater blijkt dat de opgeloste fosfaatconcentraties² in het oppervlaktewater in de periode 1981 tot 2000 dan ook afgenomen zijn, de mate waarin kan sterk per locatie verschillen (Cusell, 2014). Ook de in het oppervlaktewater gemeten chlorofyl-A concentraties (maat voor algenbiomassa) nemen door de jaren heen af (Cusell, 2014).

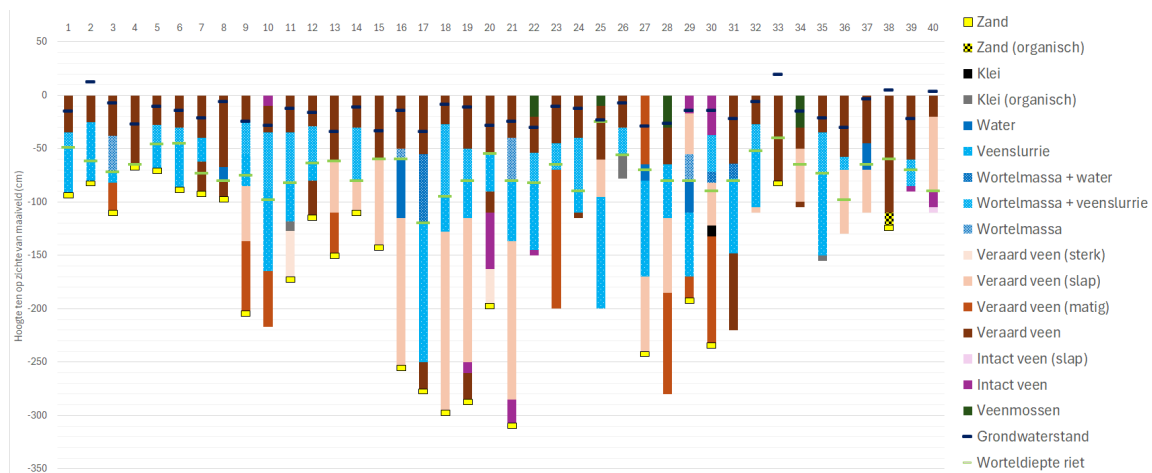


Figuur 3.3. Ruimtelijk overzicht van enkele waterkwaliteitsvariabelen (pH,calcium- en fosforconcentraties) gemeten in de zomer (links) en winter (rechts).

² Wanneer over fosfor gesproken wordt gaat het over het element fosfor (P). Fosfor kan in bijvoorbeeld bodem of water in verschillende verbindingen met andere elementen aanwezig zijn. Wanneer over fosfaat gesproken wordt, gaat het over de verbinding PO_4^{3-} waar het element fosfor een belangrijk onderdeel van is.

Bodemopbouw

De bodemopbouw is in beeld gebracht door het maken en beschrijven van boorprofielen. Hierbij zijn de bodemtypen beschreven, is de globale worteldiepte van de levende rietwortels in beeld gebracht en is de grondwaterstand gemeten. Figuur 3.4 geeft het resultaat van dit onderdeel van het onderzoek weer.



Figuur 3.4. Bodemprofielen van de verschillende meetlocaties inclusief de worteldiepte en grondwaterstand. Voor het diepst gemeten bodemtype is een minimumdikte van 5 cm aangehouden om het zichtbaar te kunnen maken in het figuur. In veel gevallen is er geboord tot op de zandlaag en alleen de diepte gekarteerd waarop die zandlaag begon.

Uit de figuur is af te leiden dat er op 33 van de 40 locaties sprake is er van een kragge. Deze kragge bestaat over het algemeen grotendeels uit veraard veen dat goed doorworteld is met rietwortels. Op een aantal locaties is er intact veen aanwezig in de kragge of zijn er afgestorven veenmossen. Het 'water' onder de kragge bestaat hoofdzakelijk uit 'veenslurrie' (ook wel 'dik water' genoemd). Veenslurrie bestaat uit water met een hoog aandeel niet opgelost organisch materiaal (zie Figuur 3.5 rechts). In slechts enkele gevallen bevat het water onder de kragge weinig opgelost organisch materiaal en is het als 'water' geclassificeerd. Op vrijwel alle locaties met een kragge zijn levende rietwortels waargenomen onder de kragge (zie Figuur 3.5 links en Figuur 3.6 rechts). Deze 'wortelmassa' bestaat uit rhizomen die recht naar beneden steken of horizontaal onder de kragge doorlopen.

Onder de wortelmassa bevindt zich veelal een sliblaag (veenslurrie) of water. In veel gevallen worden er nog enkele levende rietwortels in dit water waargenomen. Daaronder bevindt zich over het algemeen 'slap' of 'sterk' veraard veen dat waarschijnlijk bestaat uit bezonken en/of verder afgebroken veenslurrie/slib. Dit materiaal is waterig en heeft een zeer fijne structuur. Daaronder bevindt zich vaak een laag 'veraard veen'. Dit materiaal heeft een hogere dichtheid dan het slappe veraarde veen en heeft vaak een wat grovere structuur. Ook dit materiaal bestaat hoofdzakelijk uit organisch materiaal afkomstig uit de onderliggende veenlaag, materiaal dat vanuit de kragge en sliblaag bezonken is of uit waterplantresten. Daaronder bevindt zich over het algemeen een laag met (deels) veraard veen, intact veen of een zandlaag.

Op 7 van de 40 locaties is er geen sprake van een kragge (4, 13, 15, 33, 34, 38 en 40). Hier is sprake van (slap of sterk) veraard veen (al dan niet met veenmossen) dat direct over gaat op een intacte veenbodem of zandlaag. Het zijn over het algemeen relatief ondiepe profielen (maximaal 1,30 cm diep).

De gemiddelde diepte waarop levende rietwortels zijn aangetroffen is 64,5cm (in de praktijk betreft dit de rhizomen omdat deze goed te onderscheiden zijn van ander 'wortelmateriaal', zie ook Figuur 3.6 rechts). In veel gevallen worden de levende rietwortels nog tot op grotere diepte waargenomen. De maximaal gemeten diepte waarop een rietwortel is waargenomen is 120 cm (locatie 7). De gemiddelde

worteldiepte is groter dan de gemiddelde kraggedikte (48,3 cm). Het is daarom waarschijnlijk dat het riet van het water onder de kragge gebruikt maakt voor haar groei (voor voedingsstoffen, buffering en/of vochthuishouding). De kwaliteit van dit water kan daarom van grote invloed zijn op de groei.

Op meerdere locaties was sprake van een duidelijke levende veenmoslaag. Van zeven locaties is de dikte hiervan genoteerd en dit bleek minimaal 5 cm en maximaal 20 cm dik. Deze laag komt zowel voor op locaties met als zonder kragge. Zie ook verderop in deze paragraaf (algemene beschrijving vegetatiebedekkingen).

De grondwaterstand bevindt zich gemiddeld 14,6 cm onder maaiveld. De laagste grondwaterstand is gemeten ter hoogte van meetlocatie 17 en bedraagt 34 cm minus maaiveld. Op vier locaties was er sprake van inundatie (2, 33, 38 en 40). De maximale inundatiediepte bedraagt 20 cm (meetlocatie 33).



Figuur 3.5. Links: Boorprofiel van meetlocatie 37 met een 45 cm dikke kragge die uit veraard veen bestaat. Aan de onderzijde van de kragge zijn duidelijk levende rietwortels (strikt genomen de 'rhizomen' of 'wortelstokken') zichtbaar. Rechts: 'veenslurrie' op meetlocatie 11 (materiaal van onder de kragge). Het materiaal bestaat hoofdzakelijk uit niet opgelost grof organisch materiaal.



Figuur 3.6. Links: Rietplant met uitgegraven wortel (rhizoom) op locatie 34. Op de foto is te zien dat de levende wortel tot diep in de kragge komt; in dit geval circa 65 cm. Rechts: rhizoom met levende wortels onder de kragge op meetlocatie 14. De wortelstok betreft het horizontale deel en is circa 1-2 cm breed. De wortels groeien ter hoogte van de knopen uit de rhizomen. Zowel de kleur, stevigheid als de aanwezigheid en kwaliteit van de wortels geven aan dat deze wortel leeft en gebruikt maakt van het water onder de kragge.

Samenvatting algemene beschrijving locaties

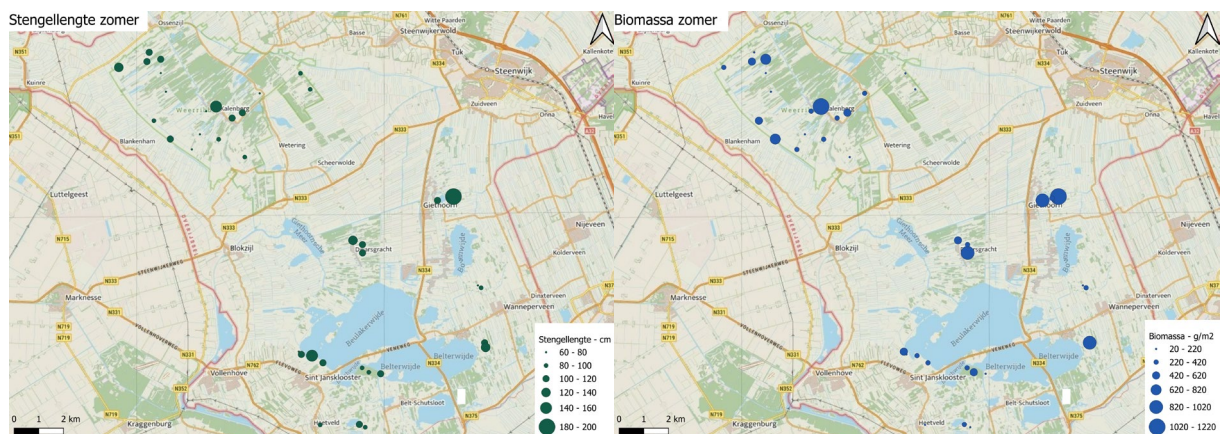
- Zowel in de eigenschappen van het riet als in de abiotische omstandigheden is veel variatie aangetroffen. Dit is positief met betrekking tot de beoogde opzet van het correlatief onderzoek om uit te zoeken welke factoren deze variatie in rieteigenschappen verklaren.
- Op basis van de opbrengstgegevens (aantal rietbossen per hectare) van meerdere jaren in de Weerribben-Wieden blijkt dat op percelen met lange termijn meetreeksen (> 10 jaar) er een dalende trend waarneembaar is. Van percelen met kortere reeksen (< 10 jaar) is op enkele percelen ook een daling waarneembaar, terwijl op andere percelen de opbrengst redelijk stabiel blijft.
- Het oppervlaktewater is over het algemeen matig gebufferd met een pH rond de 7 en calciumconcentraties van gemiddeld circa 1000 $\mu\text{mol/l}$ (40 mg/l). Het oppervlaktewater bleek verder matig voedselrijk (nitraat- en ammoniumconcentraties < 30 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-fosfor-concentraties gemiddeld < 3 $\mu\text{mol/l}$ (0,09 mg/l)). Deze samenstelling kan lokaal wel verschillen door het functioneren van het watersysteem, invloed van regen- en grondwater en de inlaat van oppervlaktewater uit omliggende polders, kanalen en vaarten.
- Op alle 40 locaties staat het riet op veen. Op 33 van de 40 locaties is er sprake van een kragge. De overige zeven locaties bestonden uit veen- op zandbodem. De gemiddelde worteldiepte is groter dan de gemiddelde kraggedikte (48,3cm). Het is daarom waarschijnlijk dat het riet ook stoffen uit het water onder de kragge opneemt.

Algemene beschrijving rietvariabelen

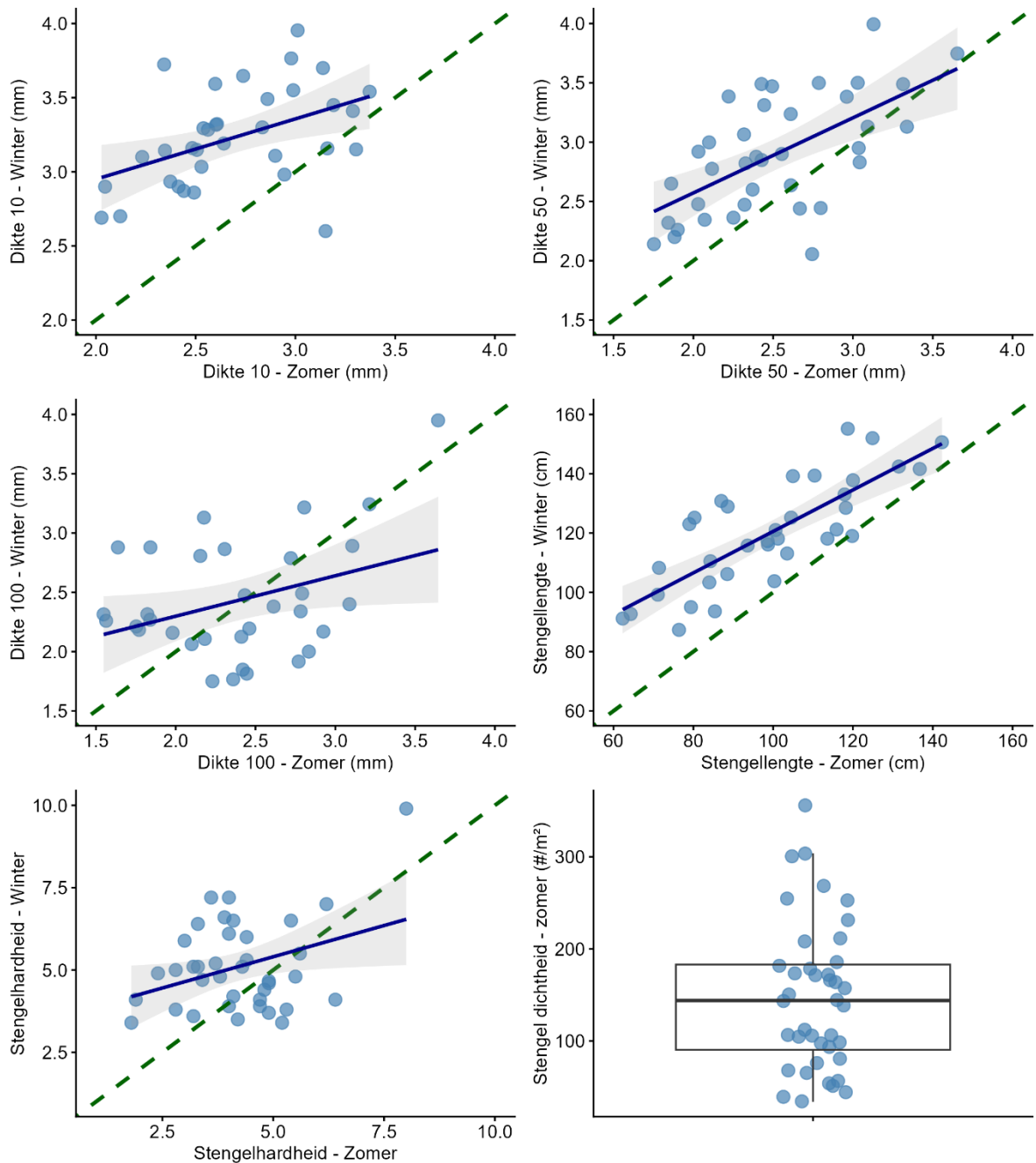
Als indicatie voor een eerste inschatting van de kwaliteit en groei van het riet in de Weerribben en Wieden werden overall de stengeldichtheid, stengellengte, riethardheid, rietdikte op verschillende hoogtes (10, 50, 100 cm) en de biomassa in zowel de zomer als de winter gemeten.

Over alle locaties gezien was de dichtheid van riet gemiddeld 148 stengels per m^2 (range 34-356), waarbij de dichtheid hoger leek te zijn in het gebied van de Wieden (Figuur 3.7 en Bijlage 5). De lengte van de rietstengels was gemiddeld 96 cm in de zomer en 120 cm in de winter vlak voordat de rietstengels werden geoogst. Dit ligt aan de ondergrens van een standaard rietbos of -bundel die een lengte van 1,2-1,7m moet hebben volgens Köbbing et al. (2013; dit kan variëren op de huidige markt; Figuur 3.7) Er was echter veel variatie tussen percelen, met bijvoorbeeld in de winter het laagste riet van gemiddeld 76 cm en het hoogste riet gemiddeld 199 cm.

De rietstengels konden na gemiddeld 4 tot 5 knopen, in zowel de winter als zomer, worden ingeknepen. Dit geldt als maat voor de hardheid van de stengels (Figuur 3.8). Daarnaast waren de stengels lager bij de grond (10 cm hoogte) veelal het dikst, met een gemiddelde dikte van 2,8 tot 3,4 mm in respectievelijk de zomer en de winter (Figuur 3.8). Op 50 cm is de dikte gemiddeld 2,5-2,9 en op een hoogte van 100 cm neemt de stengeldikte verder af en is deze gemiddeld 2,3-2,4mm (Figuur 3.8). De rietstengeldikte is dan ook veelal laag in vergelijking met de gewenste dikte voor dakriet volgens Köbbing et al. (2013; >3 mm, dit kan variëren op de huidige markt; Figuur 3.8). Verder is de gemiddelde droge biomassa 422 g/m^2 in de winter (range 25-992) en 382 g/m^2 in de zomer (range 24-1142) (Figuur 3.7). Na de zomermetingen is het riet nog doorgegroeid, wat heeft geleid tot overwegend langer riet en een hogere biomassa. De biomassaproductie verschilt sterk tussen de locaties in zowel de Wieden als Weerribben. De verschillen tussen de zomer- en wintermetingen van de verschillende rietvariabelen zijn overigens niet significant (Figuur 3.8).

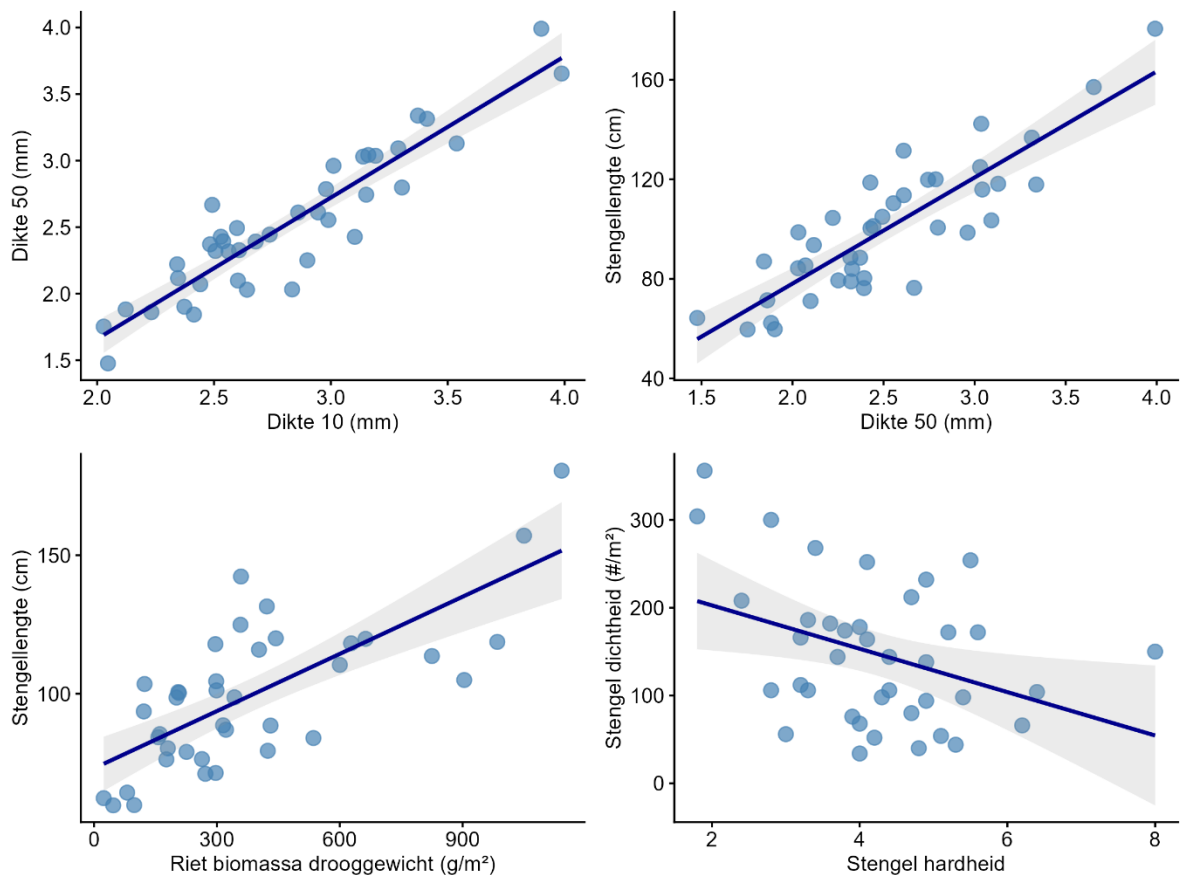


Figuur 3.7. Ruimtelijk overzicht van de stengellengte (cm) en biomassa (g/m^2) van het riet in de Weerribben-Wieden.



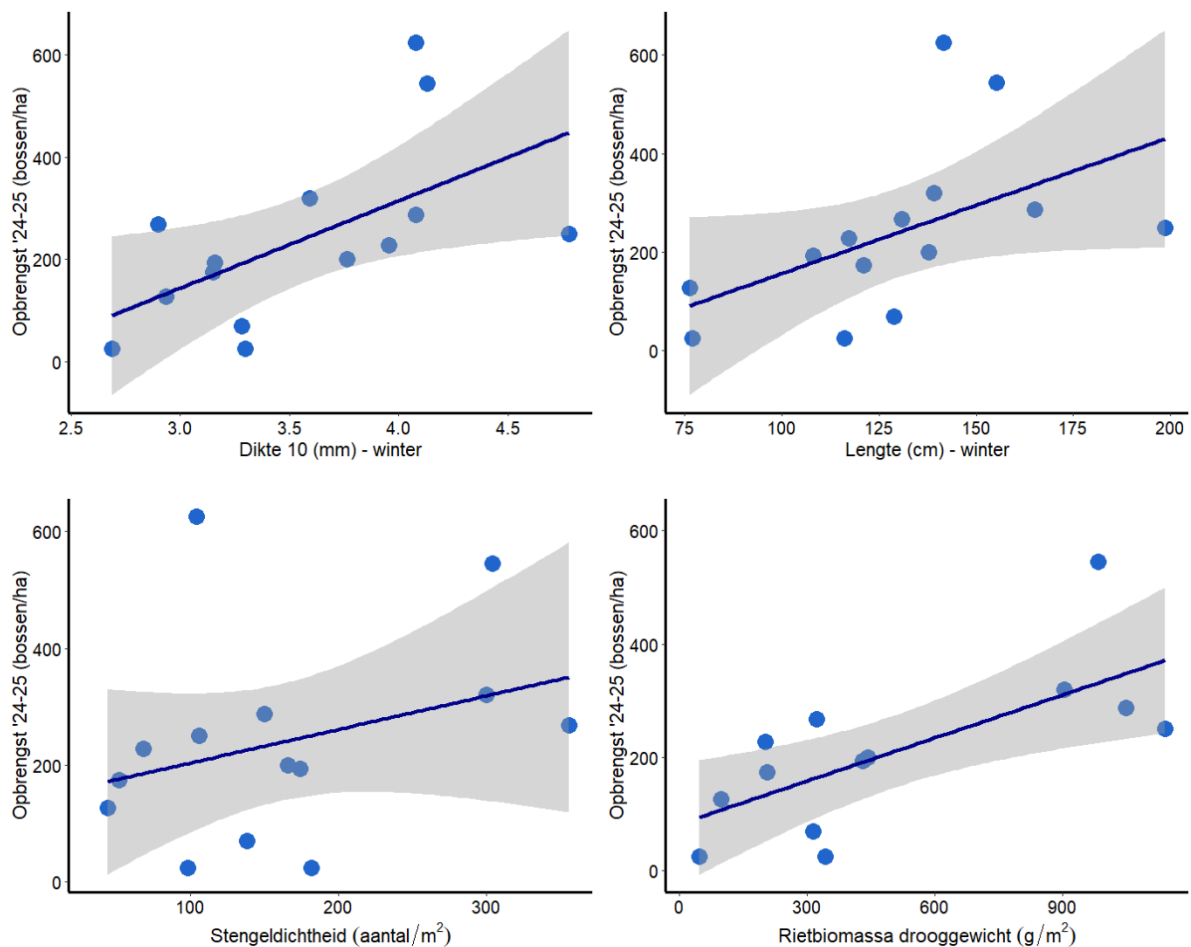
Figuur 3.8. Relatie tussen de gemiddelde rietvariabelen per locatie in de winter en zomer, stengeldichtheid (aantal/m², alleen zomer), stengellengte (cm), riethardheid en rietdikte op bepaalde lengte (mm) op 10, 50 en 100 cm op de stengel. Groene stippellijn is de $y=x$. De Box (rechtsonder) geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De verticale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer.

Op basis van enkele correlaties tussen de bovengenoemde rietvariabelen kunnen we concluderen dat hoger riet veelal betekent dikker riet en riet met een iets hogere 'hardheid' (Figuur 3.9; Bijlage Figuur 8.6), wat doorgaans bijdraagt aan een hogere kwaliteit van het dakriet. Bovendien neemt biomassa-productie veelal toe wanneer rietstengels langer zijn (Figuur 3.9). De dichtheid aan riet correleert nauwelijks met de overige rietvariabelen, behalve enig negatief verband met de hardheid.



Figuur 3.9. Onderlinge correlaties tussen enkele rietvariabelen, op basis van gemiddelde per locatie. De blauwe lijn is de regressielijn, de grijze balken het 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Als we de rietvariabelen vergelijken met de gegevens die we hebben ontvangen over de rietopbrengst in hetzelfde groeiseizoen (zie hiervoor in de paragraaf onder 'locatiebeschrijving') worden enkele verbanden duidelijk: De opbrengst vertoont een (zwak) positief verband met de diktes van de stengel en met name met de dikte op 10 cm hoogte gemeten (Figuur 3.10). Dit suggereert dat hoe dikker het riet is, hoe meer rietbossen/hectare er overwegend geoogst worden. Dit geldt zowel voor de zomer als winter. Hetzelfde geldt voor de stengellente. De stengeldichtheid laat ook een positief verband zien, maar dit verband is zwakker. Het verband tussen de rietopbrengst en de biomassa is dan weer sterker, en ook sterker dan voor dikte en lengte. Van de rietvariabelen die in dit onderzoek gemeten zijn, is rietbiomassa het best te vergelijken met de genoteerde rietopbrengsten in bossen of bundels per hectare.



Figuur 3.10. Correlaties tussen enkele rietvariabelen (gemiddelde per locatie) en de opbrengst verkregen door de rietsnijders (aantal rietbossen/hectare; rietbossen omgerekend naar maat 55 cm) in winter 2024-2025. De blauwe lijn is de regressielijn, de grijze balken het 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Samenvatting rietvariabelen

- De dichtheid van het riet bedroeg gemiddeld 148 stengels per vierkante meter. Vlak voor de rietoogst (winterseizoen) was het riet gemiddeld circa 120 cm lang, 2,4 mm dik (op 1m hoogte) en woog 422 gram/m².
- Doordat in het onderzoek werd gezocht naar zoveel mogelijk ruimtelijke spreiding in locaties, rietgroei en groeiomstandigheden was er ook veel variatie in de verschillende gemeten rietvariabelen.
- Langer riet is doorgaans ook dikker, wat resulteert in een hogere biomassa. Het aantal rietstengels per vierkante meter hangt echter niet of nauwelijks samen met de lengte, dikte of biomassa.
- De rietopbrengst in bossen per hectare lijkt het beste verband te tonen met de biomassa van het riet in de onderzoeksplots. Hoe meer biomassa van riet in de onderzoeksplots, hoe hoger de opbrengst in bossen per hectare per perceel. Dit betekent dat de tijdens dit onderzoek bepaalde rietbiomassa een goede indicatie geeft voor het aantal bossen per hectare.

Algemene beschrijving vegetatiebedekkingen

Vegetatiebedekkingen

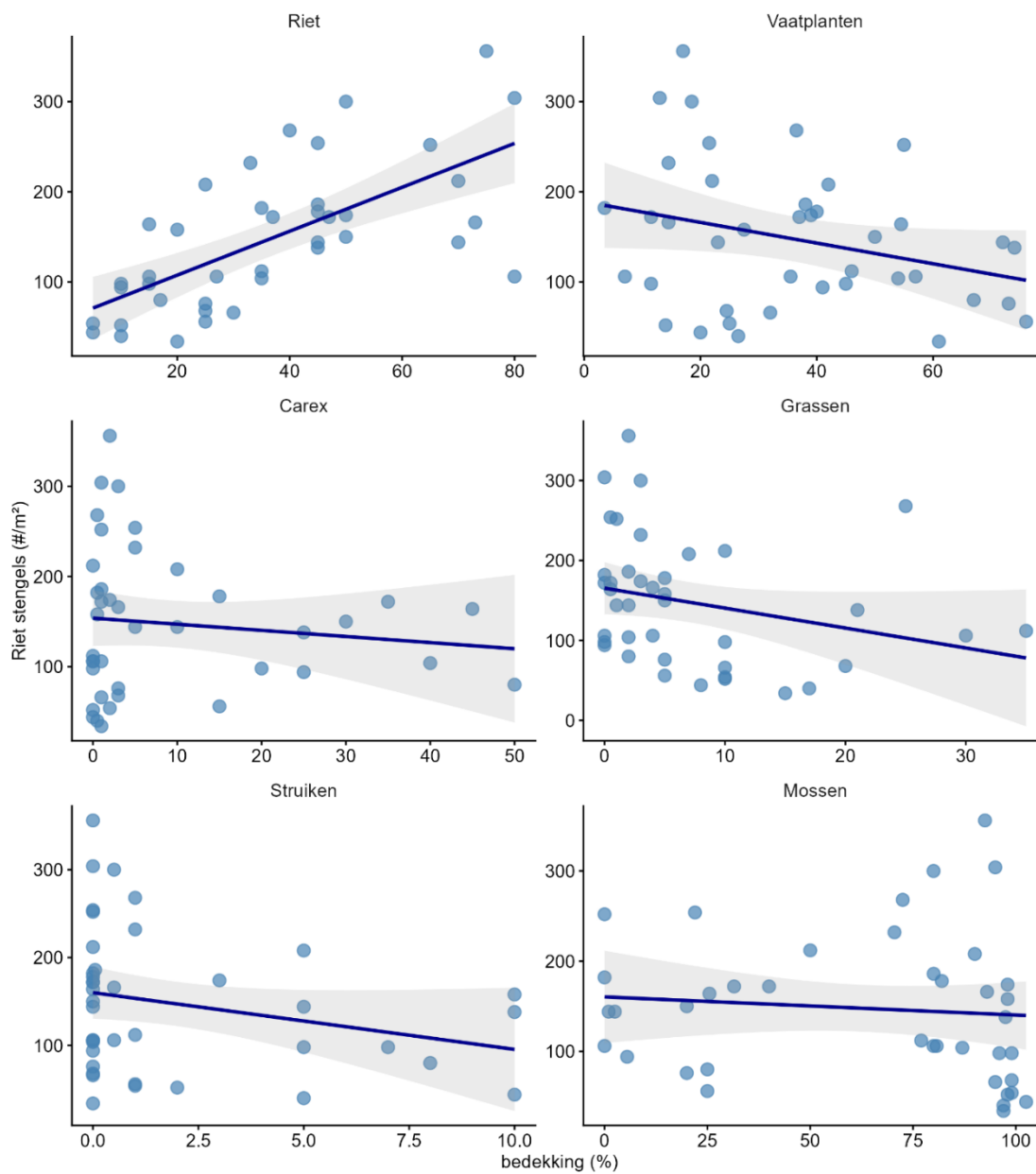
De mogelijkheden voor riet om optimaal te groeien is onder andere afhankelijk van de ruimte en daarmee ook competitie met andere plantensoorten. Om meer inzicht te krijgen in de mogelijke beperkingen voor riet met betrekking tot concurrentie met andere planten en mossen is de bedekking en biomassa van zowel riet maar ook overige vaatplanten en mossen geschat op de onderzochte locaties (zie Figuur 3.1 ter illustratie van de verschillende typen 'ondergroei').

Biomassaproductie van riet in de zomer is gemiddeld 382 gram/m². Voor de overige vegetatie (vaatplanten inclusief riet) is dit gemiddeld 721 gram/m². Deze waarden zijn onderling moeilijk te vergelijken als gevolg van variatie in structuur en massagewicht per plantensoort. Er is geen verband tussen beide producties aangetroffen. Echter, naast rietproductie op de laagveenkragge is er dus nog genoeg ruimte voor biomassaproductie van andere plantensoorten. Verruiging en overwoekering (schaduwwerking) van andere plantensoorten kunnen de rietgroei en het productieproces (o.a. maaibeheer, economische waarden) op de percelen negatief beïnvloeden afhankelijk van het uiteindelijke productiedoel. Doordat we in deze studie enkel percelen in winter maaibeheer zijn meegenomen zijn er geen locaties waar riet sterke concurrentie ondervindt. Op percelen waar een minder intensief maaibeheer ofwel geen maaibeheer wordt toegepast kan riet wel sneller hinder ondervinden van concurrentie, o.a. ook door opslag van bomen en uiteindelijk bosvorming. De mate van ondergroei is desondanks wel van belang voor de rietsnijders. Met name massale opslag van soorten als haagwinde leidt tot een grotere inspanning voor het schoonmaken van de rietbossen. Hoewel de ondergroei tot op zekere hoogte voor de productie op zichzelf geen knelpunt vormt kan dit dus wel voor de rietsnijders van een belemmerd zijn omdat het tot hogere kosten leidt.

De bedekking van het riet is sterk gecorreleerd aan het aantal rietstengels per m² (Figuur 3.12). Een hogere rietbedekking / stengeldichtheid leidt dan ook doorgaans tot minder bedekking en ruimte voor andere vaatplanten (Figuur 3.12, alle_vaatplanten). Zo is de bedekking van zeggen, grassen, struiken, en kruidachtige hoger wanneer minder rietplanten aanwezig zijn (Figuur 3.12). De groei en bedekking van mossen lijkt minder te worden beïnvloed door de aanwezigheid van riet (Figuur 3.12, alle_mossen). Co-existentie van deze soorten is dan ook typisch voor de verlandingsstadia van open water naar moerasbos. De mossen nemen een niche in op de kale toplaag, waarbij de veenmossen een verzurend microklimaat creëren door de opnamen van positief geladen ionen (zoals Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, NH₄⁺) en de afgifte van verzurende waterstofionen (H⁺) aan de omgeving (Clymo, 1963). Op deze manier kunnen de veenmossen zich uitbreiden en grote delen koloniseren (Figuur 3.11). Riet kan door het uitgebreide wortelstelsel op grotere diepte voedingstoffen halen en daardoor blijven groeien. Riet en mossen kunnen dus prima gezamenlijk voorkomen, alleen wanneer de riet ofwel gehele vaatplanten bedekking te hoog wordt is er te veel schaduw voor de mossen en andersom als de veenmossen de overhand krijgen kan het te zuur en nutriëntarm voor riet worden. Overeenkomstig met eerdere studies zijn schorpioenmossen, levermossen en puntmossen met name aangetroffen op locaties met invloed van oppervlaktewater (natte en basenrijke locaties) en zijn haarmossen juist aangetroffen op drogere zuurdere locaties (Van Diggelen et al., 2018). Mossen kunnen echter ook hinder ondervinden van te veel schaduw, de locaties met de hoogste vaatplanten bedekking bevatten dan ook lage mosbedekking. Ook lijken er trends aanwezig dat bij een hoge rietdichtheid de bedekking veenmossen lager is (Figuur 3.12).

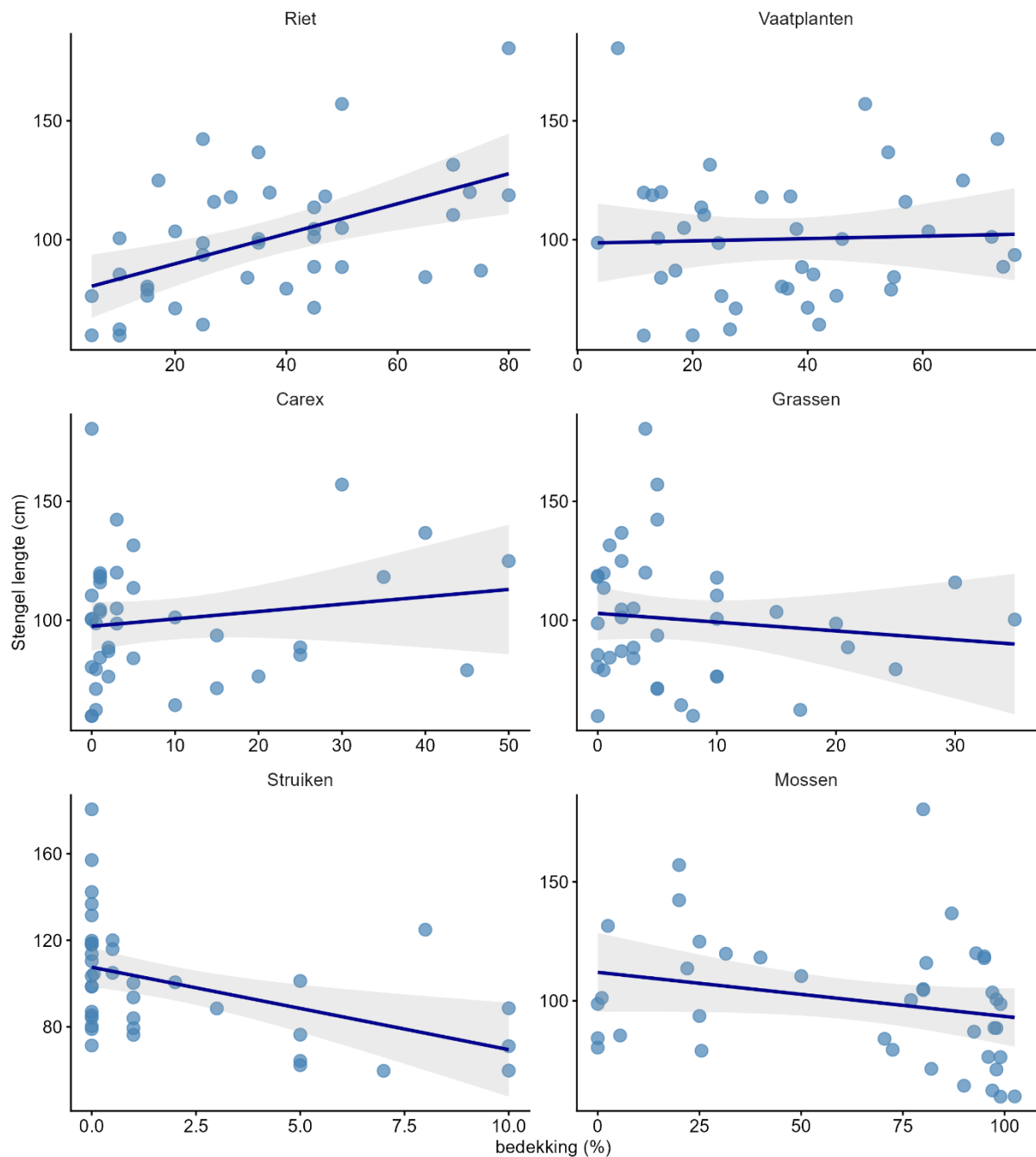


Figuur 3.11. Mosbedekking op locatie 1 (links). Riet en andere vaatplanten op locatie 24 (rechts).



Figuur 3.12. Correlaties tussen de stengeldichtheid van riet in aantal (#) stengels per m² en bedekkingsgraad (%) van overige plantensoorten. De blauwe lijn is de regressielijn, de grijze balken het 95%-betrouwbaarheidsinterval.

De bedekking van riet is ook sterk gecorreleerd aan de lengte van het riet (Figuur 3.13). Echter, blijkt de rietlengte, zoals verwacht, minder samen te hangen met de bedekking van de overige vaatplanten dan de stengeldichtheid van riet (Figuur 3.13, alle_vaatplanten). De aanwezigheid en bedekking van mossen lijkt hier juist negatief te worden beïnvloed bij een grotere rietlengte (Figuur 3.13, alle_mossen). Reden hiervoor is waarschijnlijk de toename van schaduw bij hoger riet, wat negatieve effecten heeft op met name veenmossen. Andersom kan, zoals eerder al vermeld, een dominantie van veenmossen leiden tot te zure en nutriëntarme omstandigheden voor riet.



Figuur 3.13. Correlatie tussen rietlengte (cm) en de bedekkingsgraad (%) van de overige plantensoorten. De blauwe lijn is de regressielijn, de grijze balken het 95%-betrouwbaarheidsinterval. NB let op verschillen in schaal.

Verlandingsstadium op basis van vegetatiesamenstelling en habitatype

Eén van de theorieën voor de achteruitgang van de rietproductie is dat door het dikker worden van de kragge het contact met grond- en oppervlaktewater vermindert en de invloed van regenwater toeneemt waardoor het systeem verzuurt en het voor het riet steeds moeilijker wordt om voldoende vocht en voedingsstoffen op te nemen. Als gevolg van dit 'verlandingsproces' zou de rietproductie met voortschrijdende successie kunnen dalen. Het is daarom van belang inzicht te krijgen in de relatie tussen het verlandingsstadium en de rietproductie.

Verlanding is een natuurlijk proces in laagveensystemen dat onderdeel uitmaakt van de successie van open water met watervegetatie naar kragge en steeds dikker veen tot moerasbos. Hierbij kan het open water over een verloop van vele tientallen tot honderden jaren dichtgroeien met veen.

Als gevolg van turfwinning (of in een natuurlijke situatie als gevolg van erosie) wordt deze 'successie' teruggezet (dit wordt 'verjonging' genoemd) naar een situatie waarin er sprake is van open water (petgaten). Binnen deze successie van verlanding zijn er successiestadia die goed geschikt zijn voor de groei van riet en successiestadia die dat minder zijn. De afgelopen decennia blijkt dat in veel laagveengebieden de successie van reeds bestaande kraggen versneld wordt door verdroging, vermessing en verzuring terwijl de verjonging (ontstaan van nieuwe kragge uit open water) achterblijft (Van Diggelen et al., 2018). Met name de wat jongere (nattere en basenrijkere) fasen van deze successiestadia zijn goed geschikt voor riet, terwijl in de oudere successiestadia zoals zure veenmosrietlanden, moerasheide en moerasbossen de rietbedekking afneemt. Als gevolg van deze processen veroudert het laagveensysteem in sneller tempo dan dat er nieuw veen bijkomt. Dit zou er ook toe kunnen leiden dat de laagvenen langzaam steeds minder geschikt worden voor de productie van riet.

Om deze theorie te toetsen is het van belang om inzicht te krijgen in deze successie en verjongingsprocessen. Dit hebben we gedaan door:

- Het actuele successiestadium van de onderzoekslocaties te bepalen;
- Te onderzoeken of er een relatie te vinden is tussen de rietproductie en het successiestadium;
- Te onderzoeken of en zo ja, hoe het successiestadium veranderd is in de afgelopen 30 jaar.

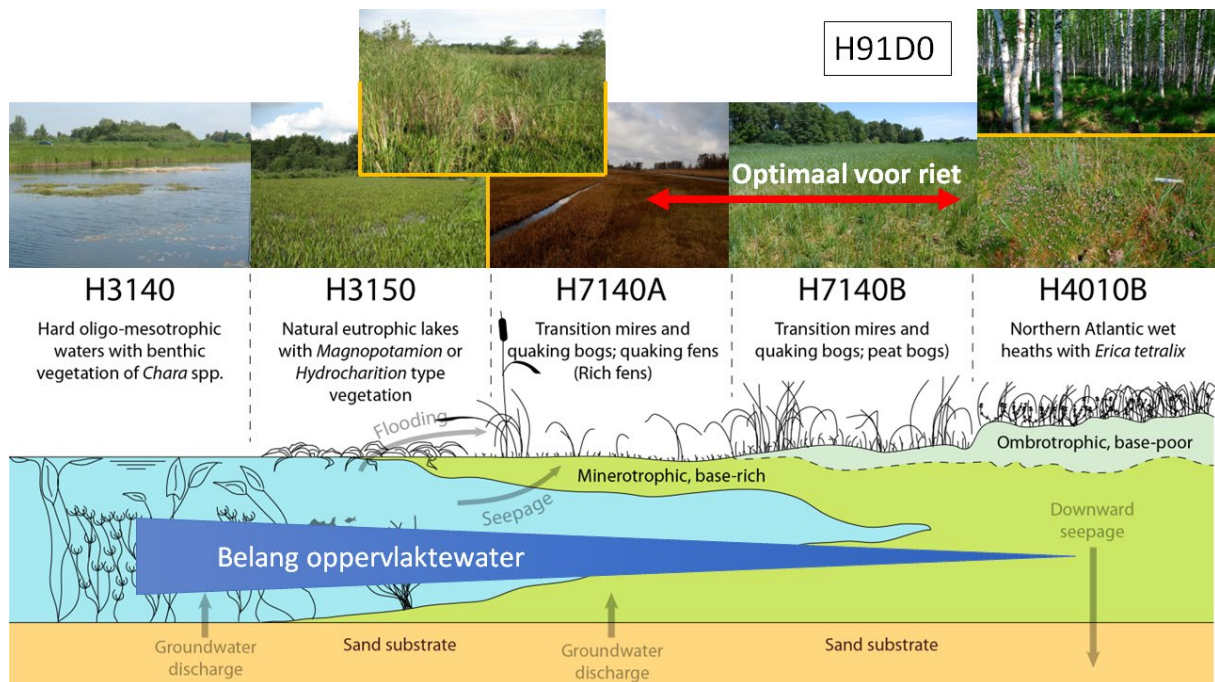
Successiestadium op basis van habitatype indeling.

Figuur 3.14 geeft de verschillende successiestadia weer. Hierbij is gebruik gemaakt van de N2000 habitatype indeling. Er wordt onderscheid gemaakt in:

- H3140: kranswierwateren - geen rietproductie;
- H3150: meren met krabbenscheer en fonteinkruiden - lage rietproductie;
- H7140A: trilvenen - middel tot hoge rietproductie;
- H7140B: veenmosrietlanden - middel tot hoge rietproductie;
- H4010B: vochtige heide of moerasheide - lage rietproductie;
- H91D0: hoogveenbossen - lage rietproductie.

De successie 'start' met open water waarin kranswieren groeien (H3140). Dit open water ontstaat als gevolg van (veen)afgraving (of erosieprocessen onder natuurlijke omstandigheden). De invloed van grond- en oppervlaktewater is in deze fase dan ook nog erg groot. Er komt vrijwel geen riet voor in dit successiestadium. Met name omdat het water te diep is en oevers in petgaten steil zijn. Dit successiestadium wordt opgevolgd door meren met krabbenscheer en fonteinkruiden (H3150). In dit successiestadium zijn zowel ondergedoken waterplanten als drijfbladplanten aanwezig. De aanwezigheid van krabbenscheer kan in dit stadium een belangrijke rol spelen in verlanding omdat het (gezamenlijk met andere planten) de basis kan vormen voor een kragge waarop uiteindelijk riet kan gaan groeien. In dit stadium is de rietproductie laag. Het is mogelijk dat er enkele stengels vanuit de omliggende oever

'over' de drijfblad- en de ondergedoken vegetatie 'heen lopen'. De kragge heeft in dit stadium een maximale dikte van circa 10 cm (pers. mededeling C. Cusell) en er is sprake van voedselarme tot matig voedselrijke omstandigheden. In dit stadium is de invloed van grond- en oppervlaktewater nog steeds erg groot.



Figuur 3.14. Successiestadia op basis van habitattypen indeling waarbij de rode peil het 'bereik' weergeeft dat optimaal is voor riet, figuur naar (Cusell et al. 2022).

Dit stadium kan opgevolgd worden door trilveen (H7140A). Dit stadium wordt gedomineerd door helofyten en bruinmossen en er is sprake van voedselarme tot matig voedselrijke omstandigheden. De kragge is circa 10-40 cm dik en oppervlaktewater speelt nog steeds een grote rol omdat het tot diep in de kragge doordringt (al dan niet via oppervlakkige inundatie). Dit basenrijke oppervlaktewater kan als buffer werken voor eventuele zuurvormende processen. Ook kunnen de wortels van de helofyten nog eenvoudig bij het oppervlaktewater. De invloed van grondwater wordt echter kleiner doordat de laag met organisch materiaal op de bodem toeneemt (waar zich lokaal regenwater in kan ophopen). De rietproductie is in dit stadium matig tot hoog. Dit successiestadium wordt opgevolgd door veenmosrietland (H7140B). De kragge is in dit stadium circa 40-70 cm dik en staat niet meer geheel onder invloed van oppervlaktewater en wordt in grotere mate door regenwater beïnvloed. Inundatie vindt niet meer plaats, het oppervlaktewater dringt minder door in de kragge en het wordt voor rietwortels steeds moeilijker om bij het basenrijke grondwater te komen. De invloed van regenwater wordt groter en het oppervlaktewater is niet meer in staat om verzurende processen voldoende te bufferen. Veenmossen worden in dit stadium dominant en verzuren actief hun omgeving. De invloed van grondwater in dit stadium is zeer beperkt. Het bovenste deel van de kragge zal voedselarmer en zuurder zijn dan de dunnere delen. De rietproductie is ook in dit stadium matig tot hoog waarbij de hoogste productie bereikt wordt op de overgang tussen H7140A en H7140B en de productie afneemt naarmate het zuurder en droger wordt (op de overgang naar het type vochtige heide of moerasheide (H4010B)).

Het veenmosrietland kan zich ontwikkelen richting het 'laatste' successiestadium dat bestaat uit vochtige heide of moerasheide (H4010B). Er is sprake van een dikke kragge (>70cm). Er is sprake van zure en voedselarme omstandigheden die gedomineerd worden door veenmossen en soms haarmossen. Het grond- en oppervlaktewater dringt niet meer door tot in de kragge en bereikt het wortelsysteem van het riet niet meer. De rietproductie is hier laag. Tot slot is het ook mogelijk dat veenmosrietland (H7140B)

zich doorontwikkelt richting hoogveenbos (H91D0) ofwel moerasbos of rietruigte. Dit type komt echter op de onderzochte percelen niet voor omdat deze in een jaarlijks maaibeheer zitten en worden hier daarom verder buiten beschouwing gelaten.³

Uiteraard is deze indeling in habitattypen en het verloop van de successie een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Daarbij kan de mate van en richting van deze successie sterk beïnvloed worden doormiddel van beheer (maaïen, plaggen etc.) en waterbeheer (waterstandfluctuatie, inundatie).

Voor iedere meetlocatie in het onderzoek is op basis van de vegetatiesamenstelling een habitatype toegekend (o.b.v. expert judgement door C. Cusell). Deze informatie is vergeleken met de meest recente habitatkartering voor Nationaal Park Weerribben-Wieden (Van der Goes en Groot, 2023). Beide karteringen kwamen overeen. We hebben daarom voldoende vertrouwen om deze habitatindeling te gebruiken voor een verdere analyse naar sturende processen in de rietproductie. Tabel 3.3 geeft een overzicht van de habitatindeling. De tabel laat zien dat het merendeel van de onderzoeklocaties geclassificeerd worden als veenmosrietland (H7140B). Enkele locaties zijn toegekend aan het habitatype trilveen (H7140A) en daarnaast is er relatief vaak sprake van een overgangsvorm tussen de twee habitattypen (H7140A en H7140B). De vochtige heide komt het minst vaak voor en voor 4 locaties was er onvoldoende informatie beschikbaar om een habitatype indeling te maken. In paragraaf 3.3 wordt onderzocht of er een relatie te vinden is tussen de rietproductie en de habitattypen.

Tabel 3.3. Habitatype-indeling van de monsterlocaties op basis van vegetatieopname.

Habitatype	Omschrijving	Locaties
Mogelijk voorstadium H7140A	Het is waarschijnlijk dat het een overgangsvorm tussen H3150 'meren met krabbenscheer en fonteinkruiden' en H7140A 'trilvenen' vormt maar dat is op basis van de informatie niet met zekerheid te zeggen.	12, 19, 20, 33, 39
Vorstadium H7140A	Overgangsvorm tussen H3150 die dicht tegen H7140A aanligt.	4, 8, 27
H7140A	Trilveen	7, 15, 29, 31, 37, 38
H7140A/H7140B	Overgangsvorm tussen trilveen en veenmosrietland	6, 14, 26
H7140B	Veenmosrietland	1, 2, 3, 5, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 21, 24, 25, 28, 30, 32
H4010B	Vochtige heide of moerasheide	22, 34, 35
Onbekend	Het was op basis van de beschikbare informatie niet mogelijk om een habitatype vast te stellen	13, 23, 36, 40

Historische ontwikkeling

Om inzicht te krijgen in de invloed van successie op de rietproductie is er ook gekeken naar de historische vegetatieontwikkeling van de onderzoeklocaties. Hierbij is gebruik gemaakt van digitaal beschikbare historische vegetatiekarteringen. Met behulp van vegetatiekarteringen in ArcGIS is een vergelijking gemaakt van de vegetatiekarteringen van circa 30 jaar geleden met de huidige vegetatie samenstelling. Dit betrof de periode 1994-1995 voor de Wieden en 1997 voor de Weerribben. Deze karteringen zijn vergeleken met de meest recente vlakdekkende vegetatiekartering (2020-2022) en de vegetatieopname in het kader van dit onderzoek (2024). Deze analyse was enkel mogelijk van de locaties

³ Bovenstaande tekst onder 'Successiestadium op basis van habitatype indeling' is gebaseerd op Cusell et al. (2022) en verder gespecificeerd op basis van expert judgement door C. Cusell.

waar vegetatiekarteringen van beschikbaar waren (bij 7 locaties was dit niet het geval). Hierbij zijn de volgende bronnen gebruikt:

- Wieden 1994-1995: Natuurmonumenten (1996). Vegetatiekartering De Wieden. Deelrapport 1: vegetatie. O&B rapport no. 97-14
- Weerribben 1999: digitaal aangeleverde informatie SBB. Geen achterliggende rapportage beschikbaar.
- Wieden+Weerribben: Van der Goes en Groot (2023). Vegetatie- en florakartering De Wieden en Weerribben 2020-2022.

De vegetatiekartering uit 2020-2022 is zo goed als mogelijk omgezet in habitattypen en vergeleken met de data uit de jaren 1990. Een overzicht van de vegetatieopnames is opgenomen in Bijlage 2. Op basis van expert judgement (C. Cusell) is bepaald of er in de vegetatiesamenstelling een verandering waargenomen kon worden die de processen van verzuring en/of eutrofiering kon indiceren. Tabel 3.4 geeft de resultaten van deze analyse weer. Samengevat blijkt uit deze analyses dat er sprake is van:

- Verzuring:
 - mogelijk lichte verzuring: 3 locaties
 - verzuring: 5 locaties
 - mogelijk lichte basenaanrijking: 3 locaties
 - basenaanrijking: 2 locaties
 - sterke basenaanrijking: 1 locatie
 - geen verandering: 18 locaties
 - onbekend/geen data: 8 locaties
- Eutrofiering:
 - mogelijk lichte verarming: 3 locaties
 - verarming: 5 locaties
 - mogelijk lichte eutrofiering: 7 locaties
 - eutrofiering: 0 locaties
 - geen verandering: 17 locaties
 - onbekend/geen data: 8 locaties

Op basis van de historische vegetatieontwikkeling is te zien dat op bijna de helft van de locaties geen verandering is waar te nemen. Op een achttal locaties is sprake van (lichte) verzuring en (lichte) verarming, op zeven locaties mogelijk lichte eutrofiering en op drie locaties is sprake van (sterke) basenaanrijking.

De verzuring en verarming passen in het beeld van voortschrijdende successie en zou op die locaties dus een rol kunnen spelen in het afnemen van de rietproductie indien de condities in de jaren 1990 beter waren dan nu. Dat is echter op basis van de vegetatieontwikkeling alleen niet met zekerheid te zeggen.

Op zeven locaties is sprake van (lichte) eutrofiëring. Deze eutrofiering kan ook een indicatie zijn van voortschrijdende successie en zowel een positief als negatief effect kunnen hebben op de rietproductie afhankelijk van wat de uitgangssituatie in de successiereeks was.

Tabel 3.4. Indicatie voor verzuring en/of eutrofiering op basis van vegetatiekartering Wieden (1994-1995) en Weerribben (1997) ten opzichte van 2020-2022 (gd = geen data).

Meetlocatie	Verzuring	Eutrofiering
1	verzuring	mogelijk wat verarming
2	geen verandering	geen verandering

Meetlocatie	Verzuring	Eutrofiëring
3	gd	gd
4	geen verandering	geen verandering
5	mogelijk lichte verzuring	geen verandering
6	mogelijk wat basenaanrijking	geen verandering
7	sterke basenaanrijking	verarming
8	geen verandering	mogelijk wat eutrofiëring
9	geen verandering	mogelijk wat eutrofiëring
10	verzuring	mogelijk wat eutrofiëring
11	mogelijk wat basenaanrijking	mogelijk wat eutrofiëring
12	geen verandering	mogelijk wat eutrofiëring
13	onbekend	onbekend
14	mogelijk lichte verzuring	verarming
15	geen verandering	verarming
16	geen verandering	geen verandering
17	geen verandering	geen verandering
18	geen verandering	geen verandering
19	geen verandering	geen verandering
20	geen verandering	mogelijk wat eutrofiëring
21	mogelijk lichte verzuring	mogelijk wat eutrofiëring
22	verzuring	mogelijk wat verarming
23	geen verandering	geen verandering
24	geen verandering	geen verandering
25	geen verandering	geen verandering
26	basenaanrijking	geen verandering
27	geen verandering	geen verandering
28	gd	gd
29	gd	gd
30	geen verandering	geen verandering
31	basenaanrijking	verarming
32	verzuring	verarming
33	gd	gd
34	verzuring	mogelijk lichte verarming
35	mogelijk lichte basenaanrijking	geen verandering
36	gd	gd
37	geen verandering	geen verandering
38	gd	gd
39	geen verandering	geen verandering
40	gd	gd

Samenvatting vegetatiesamenstelling en vegetatieve successie

- Uit de vegetatieopnames blijkt dat grof samengevat de rietdichtheid (en in mindere mate riet lengte) afneemt bij hogere bedekking van vaatplanten. Voor de mossen zijn de verbanden minder duidelijk en verschilt het ook per mosfamilie.
- In veel laagveengebieden is de successie van reeds bestaande kraggen versneld door verdroging, vermesting en verzuring terwijl de verjonging (ontstaan van nieuwe kragge uit open water) achterblijft. Als gevolg hiervan veroudert het laagveensysteem sneller dan dat er nieuw veen bijkomt. Met name de wat jongere (nattere en basenrijkere) fase van deze successiestadia zijn goed geschikt voor riet. De oudere successiestadia zoals zure veenmosrietlanden en moerasheide zijn minder geschikt voor rietproductie. De veroudering van zo'n systeem zou er toe kunnen leiden dat het langzaam steeds minder geschikt wordt voor de productie van riet. Om inzicht te krijgen of deze successie de rietproductie beïnvloedt in NP Weerribben-Wieden zijn aan de onderzoeklocaties habitattypen in deze successie toegekend.
- Daarnaast is er een analyse gedaan van de historische vegetatieontwikkeling (vergelijking van vegetatiekarteringen van eind jaren 90 met de huidige toestand) om inzicht te krijgen in de invloed van successie op de rietproductie. Hieruit blijkt dat op bijna de helft van de locaties er geen verandering is waar te nemen, op 8 locaties sprake is van (lichte) verzuring en (lichte) verarming, op 7 locaties lichte eutrofiering en op 3 locaties sprake is van (sterke) basenaanrijking.

3.2 Abiotische omstandigheden

Algemene beschrijving bodemkwaliteit en porievocht

De abiotische omstandigheden van de omgeving zijn vaak belangrijke sturende factoren voor groei en kwaliteit van de vegetatie. Om de bodemkwaliteit en nutriëntenbeschikbaarheid te bepalen werd de bodem in de zomer van 2024, op de onderzochte locaties op 2 verschillende diepten bemonsterd: 1) Top (0-25 cm) en 2) diep (25-50 cm) (Figuur 3.15).



Figuur 3.15. Bemonstering van porievocht met een ceramische cup op locatie 20 (links). Bemonsterde toplaag op locatie 35 met zichtbaar de rietwortels in het bodemprofiel (rechts).

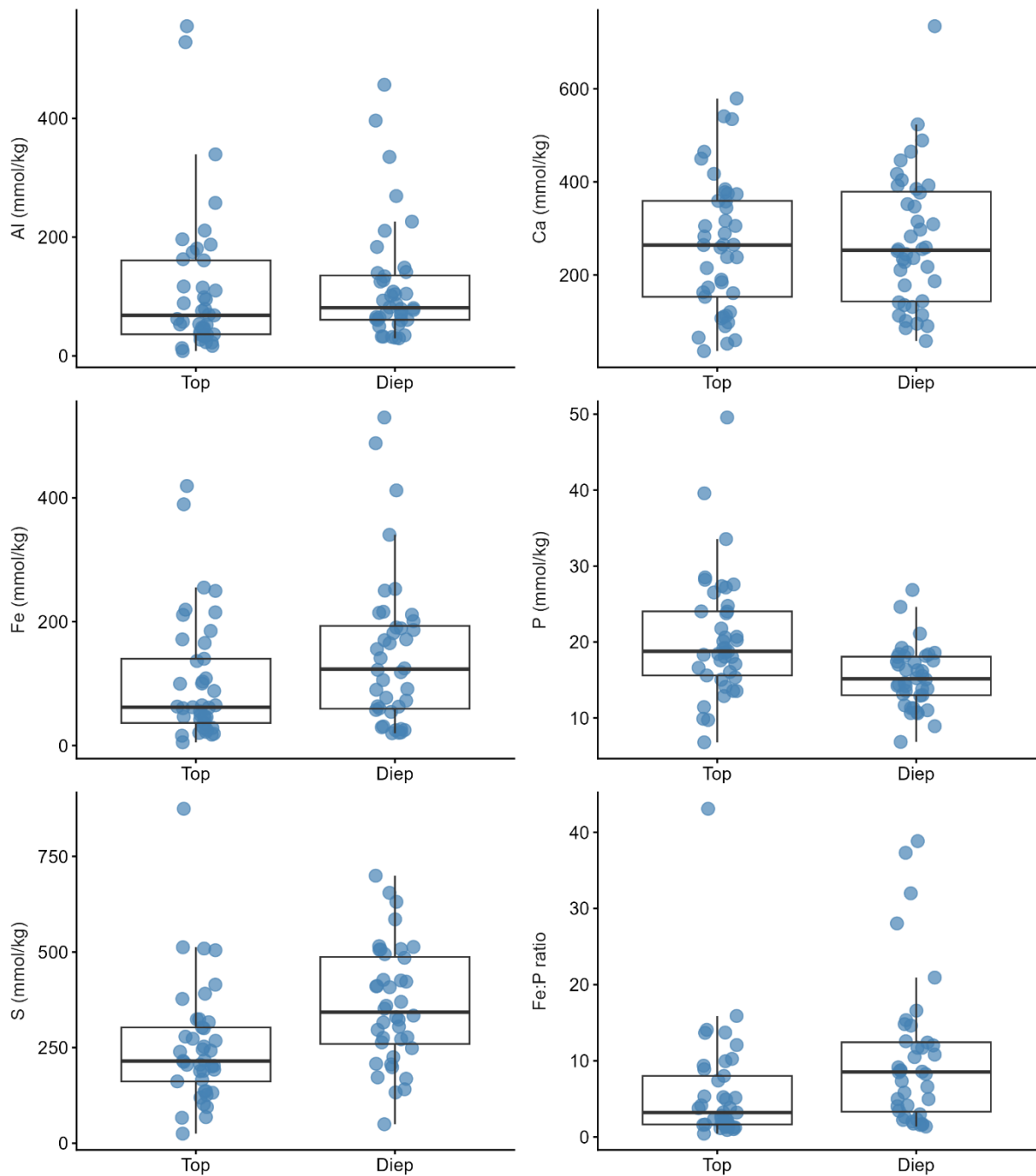
Aangezien de bodem veelal bestaat uit (veraard) veen is het organisch stofgehalte zeer hoog met gemiddeld 85%. De, massa/volume verhouding is met gemiddeld 0,14 juist zeer laag. Daarnaast is de pH-zout gemiddeld 4,7 in de toplagen en pH 5,0 in de diepere bodemlagen. Deze licht verzuurde condities passen bij rietgroei (Cope & Gray, 2009; Gorham & Pearsall, 1956; Matyuk, 1960). De pH zout

is veelal 0,5-1 pH eenheid lager dan de pH water. Bovendien is de basenverzadiging van de bodem hoog in zowel de top- (~90%) als in de diepere (~94%) bodemlagen.

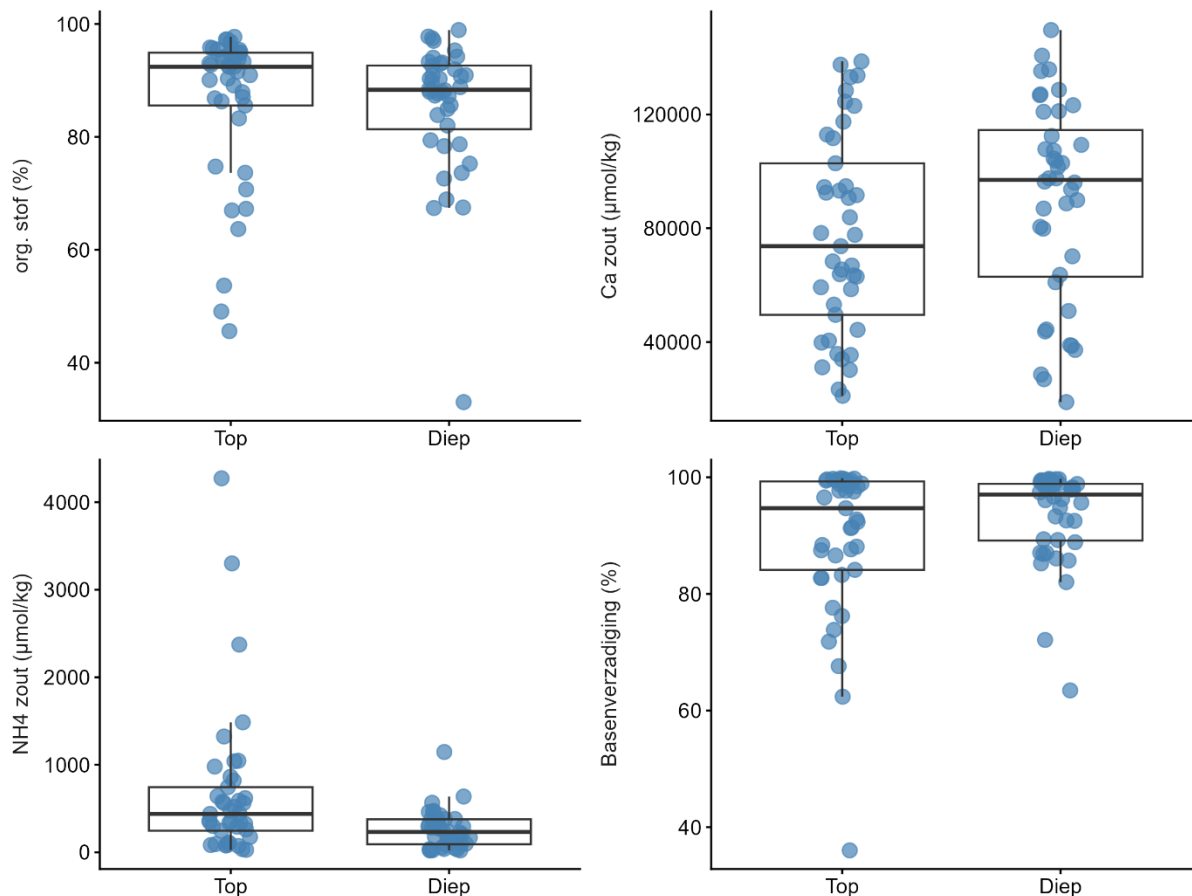
Zie Figuur 3.16 voor een overzicht van de nutriëntenconcentraties in mmol/kg droge bodem. Op basis van de massa/volume verhouding van de bodem en het volume waarin planten wortelen kunnen de beschikbare nutriëntenconcentraties voor planten variëren. Riet gedijt goed onder mesotrofe tot eutrofe omstandigheden (Schaminée et al., 1995). Hierbij zijn stikstof en fosfor belangrijke voedingsstoffen voor plantengroei. De totale fosforconcentratie in de toplaag is gemiddeld 20 mmol/kg, dieper in de bodem is dit 15 mmol/kg. De labiel-P concentraties, die vrij beschikbaar zijn voor planten, zijn ~145 µmol/kg in de toplaag en ~80 µmol/kg in de diepere bodemlagen. De P-beschikbaarheid in de bodem wordt onder andere bepaald door de hoeveelheid ijzer (Fe), waarbij onder aerobe (zuurstofhoudende) omstandigheden ijzer (III)(hydr)oxiden worden geoxideerd en P-binding kan plaatsvinden. Droogval van de toplaag en doorstroming van het oppervlaktewater is daarom nodig om P-concentraties en daarmee de kans op eutrofiëring te verlagen en rietontwikkeling te stimuleren. De bodems bevatten relatief veel ijzer (Top~99 mmol/kg, Diep~149 mmol/kg). Dit is gunstig, omdat hierdoor fosfor kan worden vastgelegd. Zwavel (S) kan ook aan ijzer binden. Indien een bodem een lage Fe:S-ratio (<1) heeft, neemt de capaciteit van de bodem om fosfor vast te leggen af. De zwavelconcentraties waren veelal hoger dan de ijzerconcentraties (gemiddeld 245-360 mmol/kg in de diepte). In de meeste gemeten bodems was de Fe:S ratio daarmee <1.

Niet alleen ijzer, maar ook elementen zoals aluminium en calcium dragen bij aan P-binding in de bodem. Deze elementen zijn ook in hogere concentraties aanwezig in de onderzochte bodemlagen (Calcium: ~257-272 mmol/kg in de diepte, Aluminium: ~107-117 mmol/kg in de diepte). Verder zijn de calciumconcentratie en ook de basenverzadiging belangrijk in de mate waarin de bodem is staat is om zuur te bufferen. Een overmaat aan stikstof kan niet alleen vermestend, maar ook verzurend doorwerken in de bodem. De basenverzadiging is in de toplaag iets lager dan dieper in de bodem. Stikstof kwam op de locaties vooral voor in de vorm van ammonium (Figuur 3.17). Op de huidige toplagen is de nitraatconcentratie gemiddeld 52 µmol/kg en de ammoniumconcentratie is gemiddeld 610 µmol/kg. In de diepere bodemlagen waren de concentraties lager.

Nutriënten zoals kalium en silicium zijn essentieel voor fysiologische processen in de plant en daarmee ook voor de structuur, stevigheid en levensduur van de rietplanten (Greef en Horlings, 2016; Sardans en Peñuelas, 2021). Kaliumconcentraties in de bodem zijn ~25 mmol/kg op de toplaag en ~20 mmol/kg in de diepere bodemlaag. Siliciumconcentraties zijn gemiddeld ~19 mmol/kg. Nutriëntenconcentraties in de rietplanten dienen uit te wijzen of er enige limitaties zijn. Dit wordt in de volgende paragraaf beschreven.



Figuur 3.16. Nutriëntenconcentraties in de bodem (mmol/kg droge bodem) en ijzer:fosfor ratio in de bodem, per bemonsterde diepte. Top = 0-25 cm-mv, Diep= 25-50 cm-mv. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10^e en 90^e percentiel. De mediaan wordt weergegeven door middel van de horizontale streep in de box. n=40.

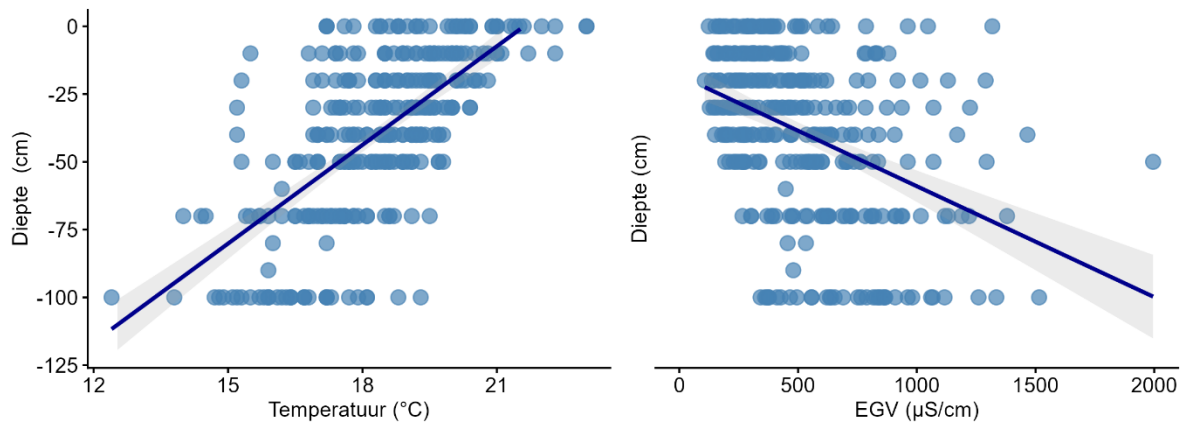


Figuur 3.17. Organisch stofgehalte, concentraties calcium-(zoutextractie) en ammonium-(zoutextractie) en de basenverzadiging van de bodem op twee verschillende dieptes. Top = 0-25 cm-mv, Diep= 25-50 cm-mv. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10^e en 90^e percentiel. De mediaan wordt weergegeven door middel van de horizontale streep in de box. n=40. Org. stof = organische stof (%). Ca-zout en NH₄-zout zijn de zoutextraheerbare (NaCl) concentraties (µmol/kg droge bodem).

Naast de bodemsamenstelling is ook de samenstelling van het porievocht en oppervlaktewater gemeten. Het porievocht is gemeten op 2 dieptes, 20 cm onder maaiveld (top) en 40 cm onder maaiveld (diep). Het porievocht is licht zuur tot basisch met een pH van gemiddeld ~5,9. Het porievocht zwak gebufferd in de top (HCO₃: 810 µmol/l), en matig gebufferd in de diepere bodemlaag (HCO₃: 1441 µmol/l; zie Figuur 3.19). Het verschil in buffering tussen deze bodemlagen kan het resultaat zijn van meer kweldruk en invloed van toestromend ionenrijk grondwater in de diepere bodemlagen. Wanneer de bodem een kragge betreft kan het water onder de kragge sterk beïnvloed worden door het oppervlaktewater.

Het elektrisch geleidend vermogen (EGV) is een maat voor de elektrische geleidbaarheid van de bodem(vocht) en geeft daarmee een indicatie van de hoeveelheid opgeloste ionen (geladen deeltjes). Door het uitvoeren van EGV-metingen op verschillende dieptes kunnen de locaties met kwel, en dus toestroming van ionenrijk grondwater, in kaart worden gebracht. Uit de met de prikstok uitgevoerde EGV-metingen in de Weerribben- Wieden is op te maken dat de EGV, zoals verwacht, nagenoeg lineair toeneemt in de diepte terwijl de temperatuur afneemt (Figuur 3.18). Op locaties 32, en 33, (gelegen in de Wieden) is de EGV op een diepte van 20 cm tot >1000 µS/cm, terwijl deze op grotere dieptes weer afneemt. Op locaties 26, 27, en 29 nemen de EGV-waarden sterk toe (>1000 µS/cm) op een diepte van 75 cm, op locatie 15 en 21 is dit op 1 m diepte. Rietplanten kunnen hier profijt van hebben door hun

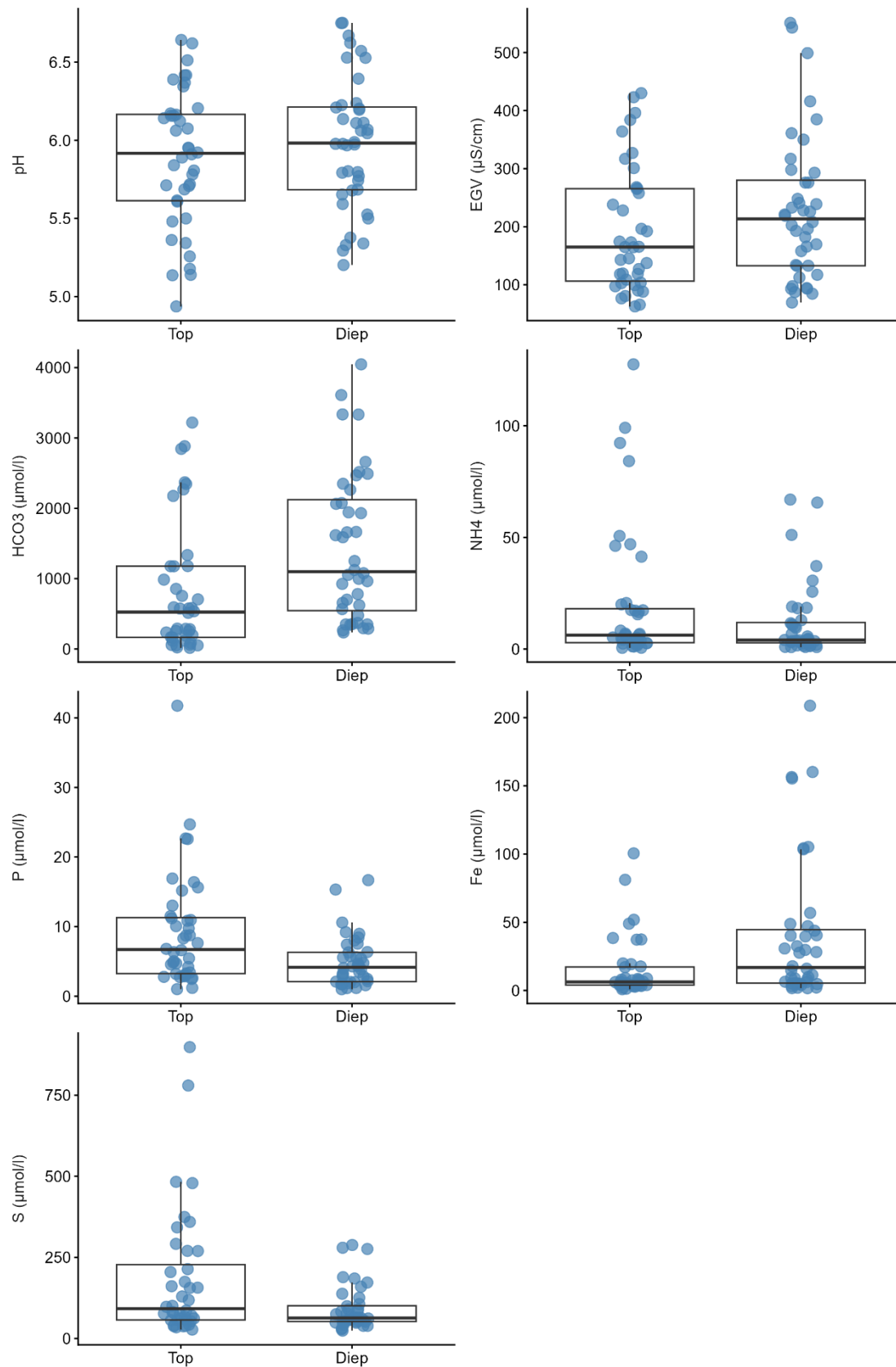
sterk diepe wortelgroei. Op locaties die ten tijde van de bemonstering geïnundeerd waren, was de EGV in de toplaag overwegend relatief hoog en/of hoger dan in diepere lagen (bijvoorbeeld locatie 38 en 40).



Figuur 3.18. Gemiddelde temperatuur (°C) (links) en EGV (μS/cm) (rechts) op verschillende diepten onder maaiveld in de Wieden en Weerribben.

Een lagere buffering in de toplaag is gunstig voor de groei van veenmossen, die dan ook in hoge dichtheden aanwezig waren. Veenmossen zijn gevoelig voor hoge bicarbonaatconcentraties (HCO_3^-) waardoor niet of slechts zeer zwak gebufferd water gunstig is ter hoogte van de veenmoslaag (Koks et al., 2022). Op basis van de buffering van het porievocht en deels ook bovengenoemde bodem nutriëntenconcentraties passen de onderzochte percelen binnen de overgangsvelden (basenarm en/of verzuurd veenmosrietland; van Diggelen et al., 2018; van Dijk et al., 2021). Bij een lage bicarbonaatbuffering ($<2000 \text{ HCO}_3^- \mu\text{mol/l}$) start ook de buffering via kationuitwisseling tegen protonen (H^+). Hierdoor kan calcium uitspoelen waardoor de veenmos gedomineerde vegetatiegroepen gevoelig zijn voor verdere verzuring (van Diggelen et al., 2018). Zowel in de bodem als in het porievocht zijn nog hoge calciumconcentraties waargenomen ($\sim 448 \mu\text{mol/l}$ op 20 cm diepte).

Veenmos gedomineerde vegetaties, zoals habitattypen veenmosrietlanden wat veel aanwezig is in de Weerribben-Wieden, is een zuur én voedselarm vegetatietype waardoor het belangrijk is dat grond- en oppervlaktewater voedselarm zijn. De fosforconcentratie is laag in het porievocht met gemiddeld $9 \mu\text{mol/l}$ in de toplagen en gemiddeld $5 \mu\text{mol/l}$ in de diepere bodemlagen (Figuur 3.19). De hoogste fosforconcentratie werd gemeten op locatie 18 in de toplaag. Bovendien zijn op veel locaties relatief hoge ijzerconcentraties ($> \sim 18 \mu\text{mol/l}$) gemeten, waardoor de Fe/P-ratio > 1 is en betekent dat er minder P-nalevering plaatsvindt. Daarnaast zijn de sulfide- en ammoniumconcentraties laag wat gunstig is voor rietgroei (Figuur 3.19).



Figuur 3.19. Nutriënten- en elementenconcentraties in het porievocht, weergegeven per diepte. Top = ±15 cm-mv, Diep= ±40 cm-mv. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10^e en 90^e percentiel. De mediaan wordt weergegeven door middel van de horizontale streep in de box. n=40. EGV=Elektrisch geleidend vermogen in μS/cm, concentraties in μmol/l.

In het onderzoek is ook op meerdere locaties rondom de onderzochte percelen het oppervlaktewater bemonsterd en geanalyseerd, in zowel de zomer- als winterperiode (zie paragraaf 3.1 waterkwaliteit). Op basis hiervan kan een inschatting worden gemaakt van de oppervlaktewaterkwaliteit en in hoeverre deze van invloed zou kunnen zijn op de bodemkwaliteit en rietgroei. Op enkele percelen stond ten tijde van de bemonstering in de zomer water op het maaiveld (locaties 2, 33, 38 en 40, zie paragraaf 3.1 bodemprofiel algemene beschrijving). Deze percelen staan dus in ieder geval tijdelijk onder invloed van oppervlaktewater. Helaas is van de meeste percelen niet bekend in welke mate bevoeiing plaatsvindt (zie paragraaf 3.1 locatiebeschrijving) en ook uit onze data is dit niet direct te herleiden. Omdat deze (beheer)informatie ontbreekt kunnen geen relaties worden afgeleid tussen oppervlaktewaterkwaliteit, bodemkwaliteit en rietgroei.

Samenvatting bodemkwaliteit en porievocht

- Zowel de toplaag (0-25 cm-mv) als de diepere laag (25-50 cm-mv) van de bodem van de verschillende percelen werd bemonsterd. Het betreft op alle locaties al da niet veraarde veenbodems, met een hoog organisch stofgehalte (gemiddeld 85%). De bodems waren licht zuur;;
- Het totaal P-gehalte van de bodem bleek in de toplaag hoger, dan in de onderliggende bodem (20 versus 15 mmol/kg droge bodem). IJzer (Fe) en zwavel (S) zijn van belang voor de fosforbeschikbaarheid. De totale ijzerconcentratie was 99 mmol/kg in de toplaag en de totale S-concentratie 245 mmol/kg, wat resulteert in een lage Fe:S ratio.
- Stikstof kwam vooral voor in de vorm van ammonium op de onderzochte locaties (gemiddeld 610 $\mu\text{mol/kg}$ droge bodem) en de calciumconcentraties waren relatief hoog (257 in de toplaag en 272 mmol/kg in de diepere laag);
- Concentraties in het porievocht van de bodem geven de directe beschikbaarheid voor de planten weer. Deze werd ook op de twee diepten gemeten;
- Het porievocht was in de toplaag zwak gebufferd en sterker gebufferd dieper in de bodem (gemiddeld 1441 $\mu\text{mol/l}$). Dit komt overeen met de EGV-metingen, die ook dieper in de bodem zijn bepaald. Op de meeste locaties geldt: hoe dieper, hoe hoger de EGV, wat een indicatie is dat de bodem onder invloed staat van toestromend ionenrijk grondwater;
- Het porievocht was verder relatief arm aan fosfor en stikstof (nitraat+ammonium), met een gemiddelde concentratie in de toplaag van respectievelijk 9 $\mu\text{mol/l}$ en 23 $\mu\text{mol/l}$.
- De bodemkwaliteit wordt in meer of mindere mate beïnvloed door het oppervlaktewater. Het is echter onbekend in hoeverre de locaties (in)direct bevoeid worden door oppervlaktewater en daarmee onbekend hoe dit de bodemkwaliteit beïnvloedt.

Algemene beschrijving chemische samenstelling riet- en vaatplanten

Naast de gemeten rietvariabelen geeft de chemische samenstelling van de rietplanten een beeld van de standplaatscondities en de kwaliteit van het riet. De chemische samenstelling van de plant is mede afhankelijk van de beschikbaarheid van de stoffen in de bodem. In zowel de zomer als in de winter is de chemische samenstelling (totale concentraties van nutriënten en mineralen in het plantmateriaal) van de rietplanten gemeten. Dit is ook gedaan voor de andere vaatplanten (gezamenlijk) die tijdens de zomerbemonstering verzameld werden. In Figuur 3.20 worden de nutriëntgehalten van de bemonsterde riet en overige planten weergegeven.

Uit de resultaten blijkt dat de fosfor-, stikstof-, en kaliumgehalten van de rietplanten lager zijn dan die van de overige vaatplanten, maar niet significant. De variatie in vooral fosfor en kalium lijkt iets groter te zijn bij de vaatplanten dan in riet. Dit kan mogelijk verklaard worden doordat de vaatplanten een combinatie zijn van allerlei verschillende soorten (inclusief riet) met mogelijk verschillende gehalten aan elementen. De rietplanten hebben tijdens het groeiseizoen een gemiddeld P-gehalte van $\sim 0,57$ mg/g,

N-gehalte van ~8,9 mg/g, C-gehalte van ~ 451 mg/g, K-gehalte van ~6,7 mg/g, en Si-gehalte van ~0,44 mg/g.

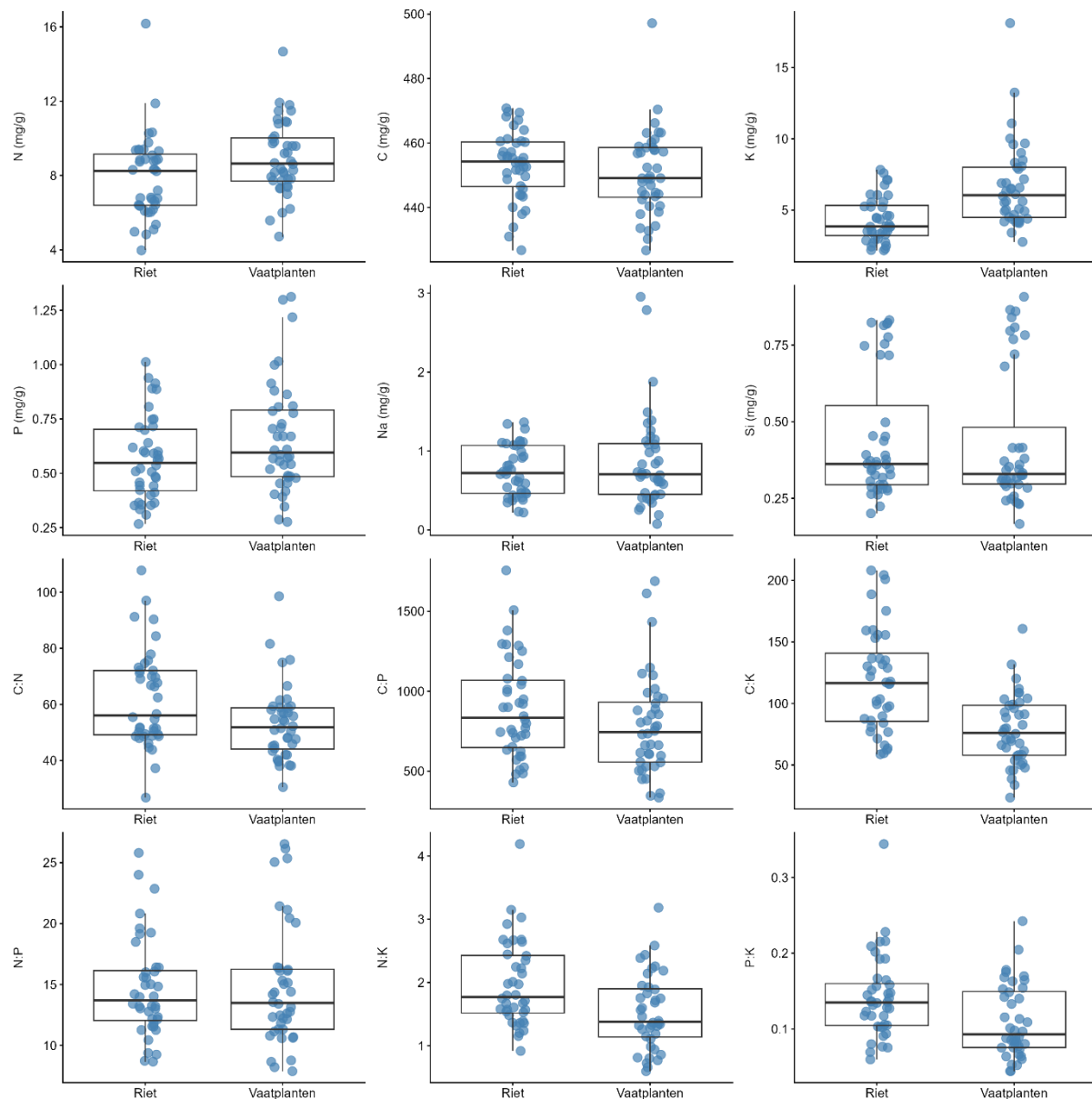
Aan het einde van het groeiseizoen vindt translocatie (verplaatsing) plaats van nutriënten en mineralen in het riet, waarbij de voedingstoffen worden gealloceerd in de wortelstokken (Greef en Horlings, 2016). Het riet dat in de winter werd bemonsterd bevat dan ook veel lagere nutriëntgehalten; P (~0,17 mg/g), N (~0,54 mg/g), en K (~0,69 mg/g).

In vergelijking met de vaatplanten bevat het riet doorgaans hogere C:N en C:P ratio's (dus minder fosfor en stikstof ten opzichte van koolstof), maar niet significant. Deze ratio's zijn van invloed op de afbreekbaarheid van het organisch plantenmateriaal. Hogere ratio's vertragen de afbraak waardoor stikstof en fosfor vertraagd vrijkomen in de bodem. Op basis van ratio's van nutriënten in de plant kunnen ook potentiële nutriëntenlimitaties in het riet in kaart worden gebracht. Hiervoor zijn dan ook de resultaten van het zomerseizoen gebruikt omdat de planten dan nog alle voedingstoffen bevatten. De N:P ratio van de rietplanten in deze studie is gemiddeld 14,8. Op locatie 13, 22, 25, 33, 34, 35, 39, en 40 zijn de N:P ratio's > 16, wat kan duiden op P-limitatie (Koerselman & Meuleman 1996, Tylová et al., 2013). Om indicaties voor nutriëntenlimitatie van N, P, en K vast te stellen in het riet kan ook gebruikt worden gemaakt van de grenswaarden vastgesteld door Olde Venterink et al. (2003). Hiervoor gelden de volgende grenswaarden (zie Figuur 3.21):

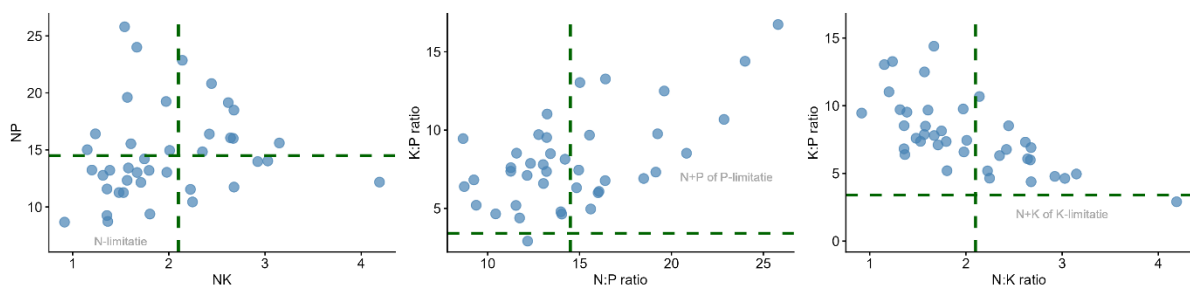
- N- limitatie: N:P ratio < 14,5 mg/g & N:K ratio < 2,1 mg/g;
- P of N+P-limitatie: N:P ratio > 14,5 mg/g & K:P ratio > 3,4 mg/g;
- K of N+K- limitatie: N:K ratio > 2,1 mg/g & K:P ratio < 3,4 mg/g.

Op basis van deze grenswaarden, waren op bijna de helft van alle locaties de rietplanten N-gelimiteerd (5, 6, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 23, 24, 26, 29, 30, 31, 32, 37). Op 13 locaties waren de rietplanten N+P of P-gelimiteerd (1, 2, 12, 13, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40). Op locatie 4 waren de planten K of N+K-gelimiteerd. Er zijn dus maar enkele locaties waarbij er geen indicaties voor nutriëntlimitatie van het riet zijn geconstateerd (3, 7, 8, 11, 27).

Hoewel er concrete aanwijzingen zijn voor nutriëntlimitaties is het goed te vermelden dat de genoemde grenswaarden voor nutriëntlimitaties geen harde grenzen zijn, maar indicaties. Het is op basis van deze uitkomsten dan ook niet goed mogelijk om af te leiden in welke mate deze factoren de rietopbrengst beïnvloeden. Om exact aan te tonen of een plant in groei door één of meerdere nutriënten gelimiteerd wordt zal experimenteel onderzoek verricht moeten worden.



Figuur 3.20. Nutriëntenconcentraties (in mg/g drooggewicht) en -ratio's (element: element) van de rietplanten en overige vaatplanten tijdens de zomerbemonstering. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10^e en 90^e percentiel. De mediaan wordt weergegeven door middel van de horizontale streep in de box. n=40.



Figuur 3.21. Verschillende plant-element-ratio's (N:P, N:K, K:P in gram:gram) tegen elkaar uitgezet. De ratio's geven inzicht in mogelijke nutriëntlimitaties voor de rietplanten (in de zomer).

In hoeverre de nutriëntengehaltes van de rietplanten, nutriëntverhoudingen en eventuele limitatie voor de rietgroei de spreiding van rietvariabelen (lengte, dikte, dichtheid, biomassa) kunnen verklaren wordt in paragraaf 3.3 besproken.

Samenvatting chemische samenstelling riet- en vaatplanten

- Over het algemeen blijken rietplanten lagere fosfor (P)-, stikstof (N)-, en kaliumgehaltes (K) te bevatten dan andere vaatplanten in de rietlanden.
- Tijdens het groeiseizoen hebben de rietplanten een gemiddeld P-gehalte van ~0,57 mg/g, N-gehalte van ~8,9 mg/g, koolstof (C)-gehalte van ~ 451 mg/g en K-gehalte van ~6,7 mg/g. Aan het einde van het groeiseizoen vindt verplaatsing plaats van nutriënten en mineralen in het riet, waarbij de voedingstoffen worden gealloceerd in de wortelstokken. Gehaltes in het winterriet zijn dan ook vele malen lager dan in het zomerriet.
- De verhoudingen tussen nutriëntgehaltes in de rietplanten indiceren dat een groot deel van de bemonsterde rietplanten in Weerribben-Wieden in hun groei gelimiteerd zouden kunnen zijn voor bepaalde nutriënten. In een groot deel van de locaties lijkt riet stikstof en/of fosfor gelimiteerd, op slechts enkele locaties zijn er indicaties voor kaliumlimitatie.

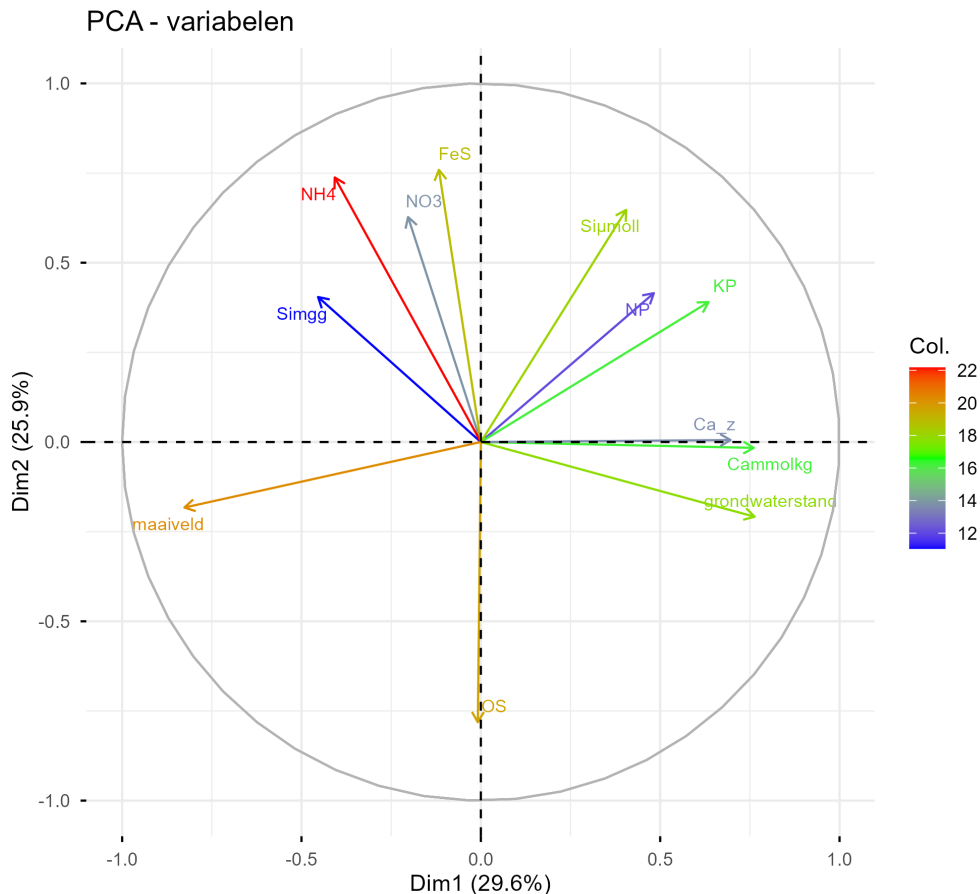
3.3 Sturende factoren in de rietproductie en rietkwaliteit

In het onderzoek was het doel om te achterhalen welke (abiotische) factoren de rietproductie en rietkwaliteit in Weerribben-Wieden beïnvloeden. Om dit te bereiken is er een correlatief onderzoek uitgevoerd, waarin rieteigenschappen (lengte, dikte, dichtheid, biomassa en hardheid), bodem- en hydrochemische metingen en meerdere omgevingsfactoren (bodemtypen, kraggedikte, overige vegetatie etc.) zijn meegenomen. In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van de zoektocht naar mogelijke verbanden en onderlinge relaties.

Factoren die de rietopbrengst beïnvloeden

Met behulp van een correspondentie-analyse (een zogenaamde PCA-analyse) is onderzocht welke van de factoren de aangetroffen variatie op de 40 locaties, de variatie in de rietopbrengst en rietkwaliteit, mogelijk kunnen verklaren.

De PCA-analyse toonde aan dat een beperkt aantal variabelen substantieel bijdroeg aan de eerste twee zogenoemde hoofdcomponenten. In Figuur 3.22 zijn hierom uitsluitend de variabelen weergegeven die de gevonden variatie het best kunnen verklaren. Meer concreet zijn dat enkel variabelen waarvan de bijdrage de gestelde drempelwaarde voor een bovengemiddelde bijdrage aan de variatie van 8,3 overschrijdt (zie methode). Hieruit blijkt dat verschillende abiotische factoren (in de bodem en het bodemporievocht) de variatie op de 40 onderzoekslocaties kunnen verklaren. Het gaat hierbij zowel om verschillende nutriënten in de bodem en in de plant (zoals ammonium en nitraat in het porievocht en de kalium/fosfor ratio in het riet) als om variabelen die te maken hebben met de basenrijdom van de bodem en de mate waarin locates in contact staan met oppervlaktewater (zoals de calciumconcentraties in de bodem en de grondwaterstand).



Figuur 3.22. PCA-analyse van de eerste twee hoofdcomponenten; alleen variabelen met een bijdrage boven de drempelwaarde (8,3) zijn weergegeven. De kleur geeft de relatieve bijdrage aan (rood = hoog, blauw = laag).

Een dergelijk overkoepelende analyse geeft goede inzichten in welke factoren de variatie kunnen verklaren en biedt houvast om variabelen te identificeren die onderling sterk correleren. Het is echter wel nog steeds lastig om hier concrete resultaten uit te halen. Hierom zijn er aanvullende analyses uitgevoerd waarmee inzichtelijk is gemaakt welke factoren de variatie in individuele rietvariabelen (of eigenschappen) het beste verklaren (zie ook paragraaf 2.6). Hieronder wordt per rietvariabele besproken welke factoren een significant verband tonen.

Verklarende factoren voor stengeldichtheid van riet

In de dataset werden geen (significante) factoren gevonden die sturend zijn voor de stengeldichtheid van riet.

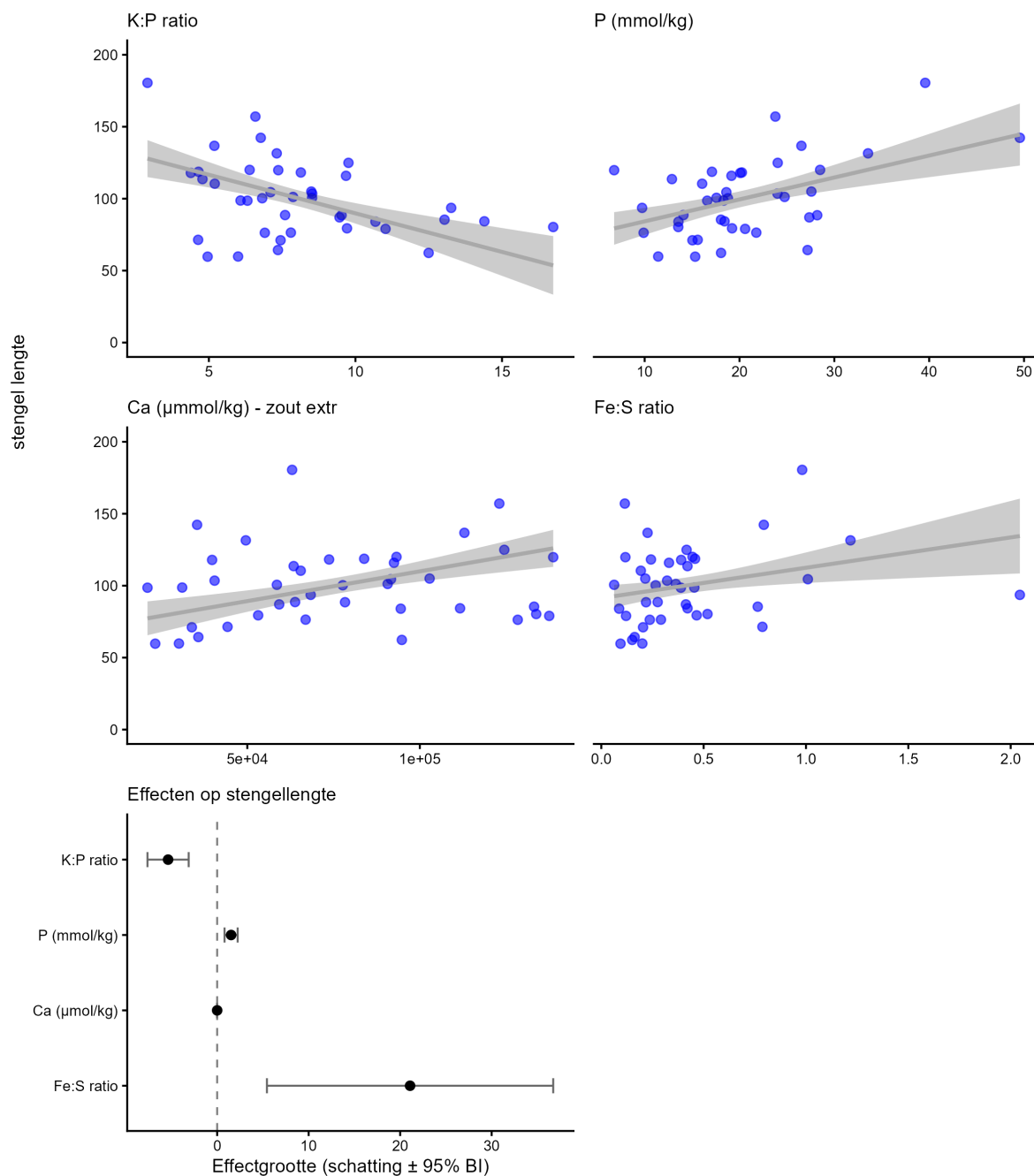
Verklarende factoren voor stengellengte van riet

De variatie in de stengellengte van riet kunnen het beste worden verklaard door de kalium:fosfor ratio in het riet, de fosforgehaltes van de bodem, het calciumgehalte van de bodem en de ijzer:zwavel (Fe:S) ratio in de bodem (Tabel 3.5 en Figuur 3.20). Het regressiemodel verklaart 58% van de variantie in stengellengte ($R^2 = 0,585$, $p < 0,001$). Deze vier variabelen hebben een significant effect op de stengellengte.

Met betrekking tot de zuur-basenbalans en de basenrijkdom van de bodem blijkt het plantbeschikbaar calcium (uit de zoutextractie ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)) de hoogst voorspellende waarde te hebben, in vergelijking met de pH, het elektrische geleidbaarheid (EGV) en de basenverzadiging. Bij hogere plant beschikbare calciumconcentraties zijn langere rietstengels aangetroffen. Er is een negatieve relatie waargenomen tussen stengellengte en de K:P-ratio in het riet, wat een indicatie kan zijn voor een mogelijke fosforbeperking. Dit wordt ondersteund door de positieve relatie die gevonden werd tussen het fosforgehalte in de bodem en de rietstengellengte. In andere woorden, bij een lagere K:P ratio (meer fosfor ten opzichte van kalium in de plant) en bij hogere fosforconcentratie in de bodem worden langere stengels aangetroffen. Daarnaast is er een positieve relatie aangetroffen met de ijzer:zwavel ratio in de bodem, bij hogere Fe:S ratio's zijn langere rietstengels aangetroffen. In de tabel is weergegeven wat de substantiële cumulatieve effecten (indicatie van de totale effectgrootte) zijn van deze variabelen over de laagste en hoogste waargenomen waarde (range) van de variabele.

Tabel 3.5. Overzicht van de significante variabelen voor stengel lengte en cummulatieve effect grootte in centimeters.

Variable	β	SE	t-waarde	p-waarde	Range	Cum. Effect
K:P ratio plant	-5.3621	1.1089	-4.84	<0.001	2.91 - 16.75	-74.2
P (mmol/kg) bodem	1.5249	0.3530	4.32	<0.001	6.8 - 49.6	65.2
Ca ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) bodem	0.0004	0.0001	4.50	<0.001	21073 - 138653	48.6
Fe:S ratio bodem	21.0835	7.7057	2.74	0.0097	0.06 - 2.04	41.8



Figuur 3.23. Relatie tussen rietstengellengte (cm) en de significante variabelen: kalium fosfor ratio in de plant (K:P), fosfor in de bodem (P, mmol kg⁻¹), calcium uit de zout extractie in de bodem (Ca, $\mu\text{mol kg}^{-1}$) en ijzer zwavel ratio in de bodem (Fe:S). Bovenste figuren tonen relaties met lineaire relatieve regressielijnen uit het model met 95%-betrouwbaarheidsintervallen (BI). Het onderste paneel geeft de geschatte effectgroottes ($\pm$ 95% BI) uit het regressiemodel weer.

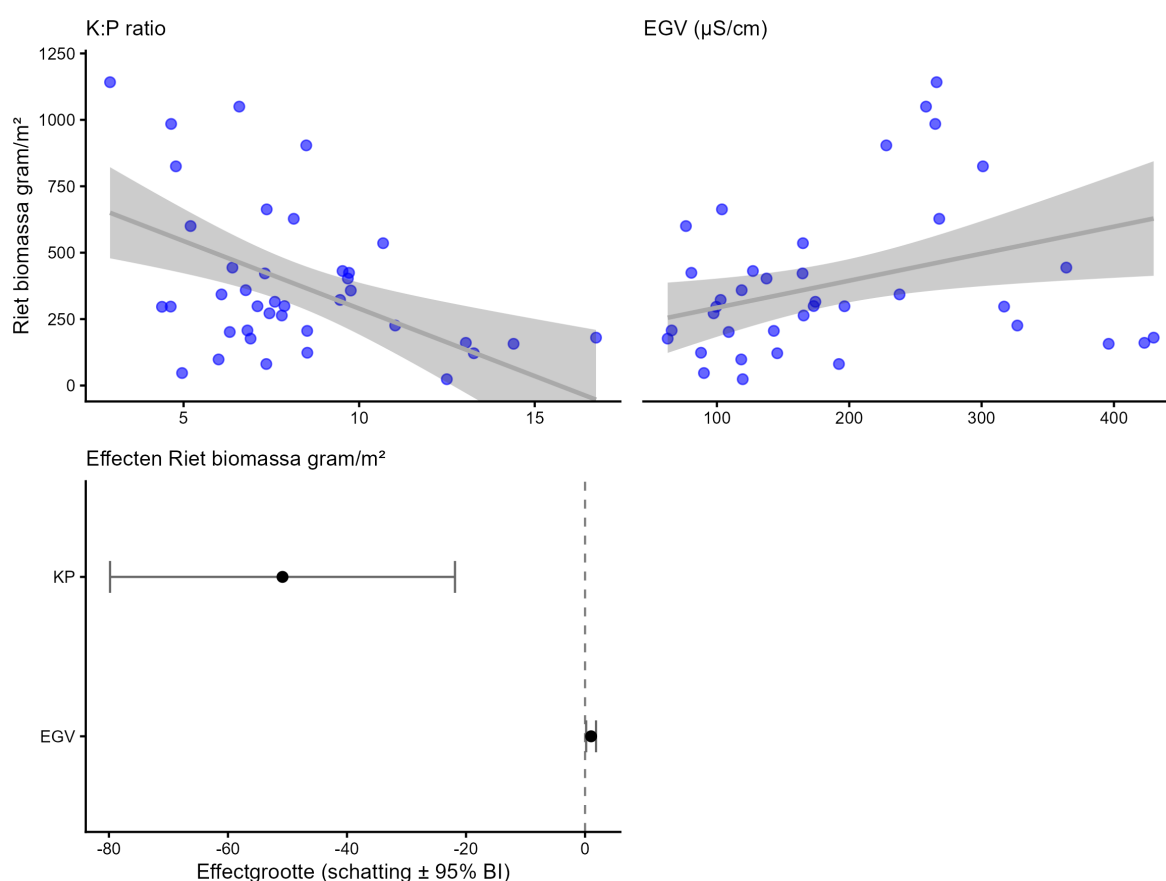
Verklarende factoren voor biomassa van riet

De variatie in de biomassa van riet wordt het beste verklaard door de kalium:fosfor ratio in het riet en het elektrisch geleidend vermogen (EGV) in de bodem. Deze variabelen, die een significant effect hebben op de droge **rietbiomassa** (gram per m²) van riet zijn weergegeven in Figuur 3.24 en Tabel 3.6. Het regressiemodel verklaart 25% van de variantie in droge biomassa ($R^2 = 0.25$, $p < 0.01$). De elektrische geleidbaarheid (EGV), blijkt binnen de zuur-basenbalans en de basenrijkdom van de bodem de meest

verklarende factor voor de biomassa van riet. Bij een hoger EGV in de bodem zijn hogere rietbiomassa's waargenomen (ook lijkt er in de relatie tussen het EGV en de rietbiomassa een optimum aanwezig te zijn tussen 200 en 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dit is hier niet nader statistisch geanalyseerd). Het EGV kan als maat geïnterpreteerd worden voor basenrijkdom: hoe meer opgeloste mineralen hoe hoger het EGV. Daarnaast wordt, net als bij stengellengte, een negatieve relatie gevonden met de K:P-ratio in het riet, wat een indicatie kan zijn voor een fosfortekort. Dus bij hogere K:P ratio's in de plant zijn lagere rietbiomassa's aangetroffen. In de tabel is weergegeven wat de substantiële cumulatieve effecten (indicatie van de totale effectgrootte) zijn van deze variabelen over de laagste en hoogste waargenomen waarde (range) van de variabele.

Tabel 3.6. Overzicht van de significante variabelen voor rietbiomassa (gram/m^2) en cumulatieve effect grootte in gram/m^2 .

Variabele	Beta	SE	t-waarde	p-waarde	Range	Cum_effect
Intercept	600.2928	123.0741	4.88	<0.001	-	-
K:P ratio in plant	-50.8335	14.2754	-3.56	0.0011	2.91 - 16.75	-703.5
EGV bodem	1.0171	0.4086	2.49	0.018	62.8 - 430.0	373.5



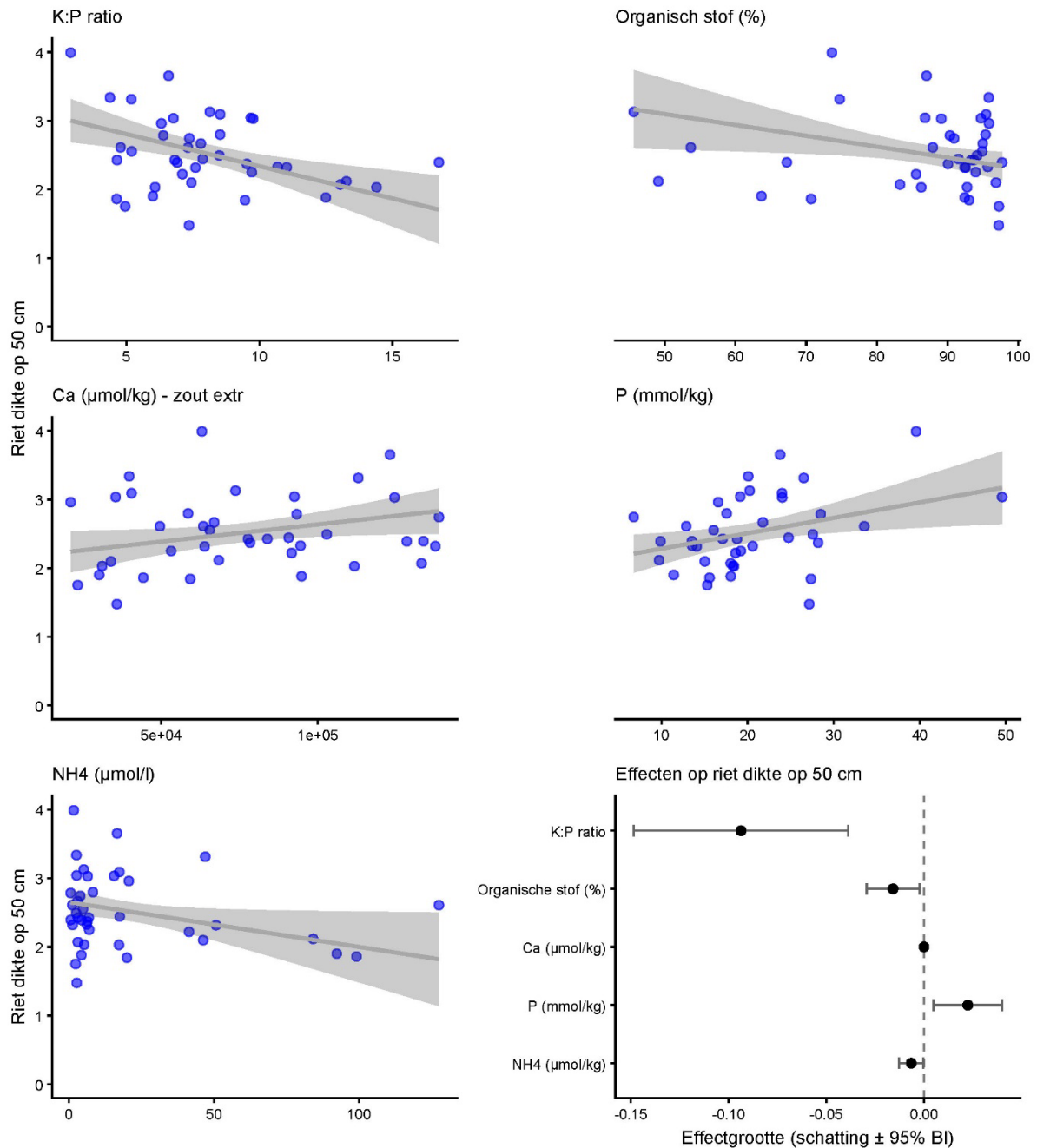
Figuur 3.24. Relatie tussen rietbiomassa (drooggewicht) (g/m^2) en de significante variabelen: kalium fosfor ratio in de plant (K:P op grambasis) en elektrische geleidbaarheid in de bodem (EGV in $\mu\text{S}/\text{cm}$). Bovenste figuren tonen relaties met lineaire relatieve regressielijnen uit het model met 95%-betrouwbaarheidsintervallen (BI). Het onderste paneel geeft de geschatte effectgroottes ($\pm$ 95% BI) uit het regressiemodel weer.

Verklarende factoren voor stengeldikte van riet

De variatie in de stengeldikte van riet wordt het beste verklaard door de kalium:fosfor ratio in het riet, de fosforconcentraties in de bodem, het organisch stofgehalte in de bodem, de (zoutextraheerbare) calciumconcentratie in de bodem en de ammoniumconcentratie in het porievocht. In Tabel 3.7 en Figuur 3.25 zijn de variabelen weergegeven die een significant effect hebben op **stengeldikte**. Het regressiemodel verklaart 41% van de variantie in stengelhardheid ($R^2 = 0,4097$, $p < 0,001$). Hier is eveneens een duidelijke negatieve relatie vastgesteld met de K:P-ratio in de plant, wat opnieuw wijst op een mogelijke fosforbeperking. Dit wordt ondersteund door de positieve relatie met het fosforgehalte in de bodem (Tabel 3.7 en Figuur 3.25). Bij een lagere K:P ratio (meer fosfor ten opzichte van kalium in de plant) en bij hogere fosforconcentratie in de bodem worden dikkere stengels aangetroffen. Voor de zuur-basenbalans en de basenrijkdom in de bodem blijkt de stengeldikte positief te correleren met hogere plant beschikbare calciumconcentraties in de bodem (Ca-NaCl-extractie). Anders gezegd, bij een hogere calciumconcentratie worden dikkere stengels aangetroffen. Het organisch stofgehalte in de bodem en de ammoniumconcentratie blijken een negatief verband op te leveren. Dus hoe hoger deze concentraties hoe dunner de rietstengels. In de tabel is weergegeven wat de substantiële cumulatieve effecten (indicatie van de totale effectgrootte) zijn van deze variabelen over de laagste en hoogste waargenomen waarde (range) van de variabele. De K:P-ratio in de plant geeft het sterkste cumulatieve effect: over de totale range waargenomen K:P ratio-waarden neemt de dikte het meest af.

Tabel 3.7. Overzicht van de significante variabelen voor stengeldikte in millimeter en cumulatieve effect grootte in millimeter.

Variabele	Beta	SE	t-waarde	p-waarde	Range	Cum_effect
Intercept	3.9282	0.7757	5.06	<0.001	-	
K:P-ratio plant	-0.0936	0.0270	-3.47	0.0014	2.91 – 16.75	-1.3
Organische stof (%)	-0.0158	0.0067	-2.37	0.023	45.6 – 97.7	-0.8
Ca-zout ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	0.0000	0.0000	2.11	0.042	21073.5 – 138653.1	0.6
Bodem-P (mmol kg^{-1})	0.0224	0.0086	2.60	0.014	6.8 – 49.6	1.0
NH_4^+ ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	-0.0065	0.0031	-2.13	0.041	0.6 – 127.6	-0.8



Figuur 3.25. Relatie tussen stengeldikte (mm, op 50 cm hoogte) en de significante variabelen: kalium fosfor ratio in de plant (K:P op grambasis), organische stof in de bodem (OS), calcium in de bodem (Ca (NaCl-extractie), $\mu\text{mol kg}^{-1}$), fosfor in de bodem (P, mmol kg^{-1}) en ammonium in het porievocht (NH₄, $\mu\text{mol l}^{-1}$). Bovenste figuren tonen relaties met lineaire relatieve regressielijnen uit het model met 95%-betrouwbaarheidsintervallen (BI). Het onderste paneel geeft de geschatte effectgroottes ($\pm$ 95% BI) uit het regressiemodel weer.

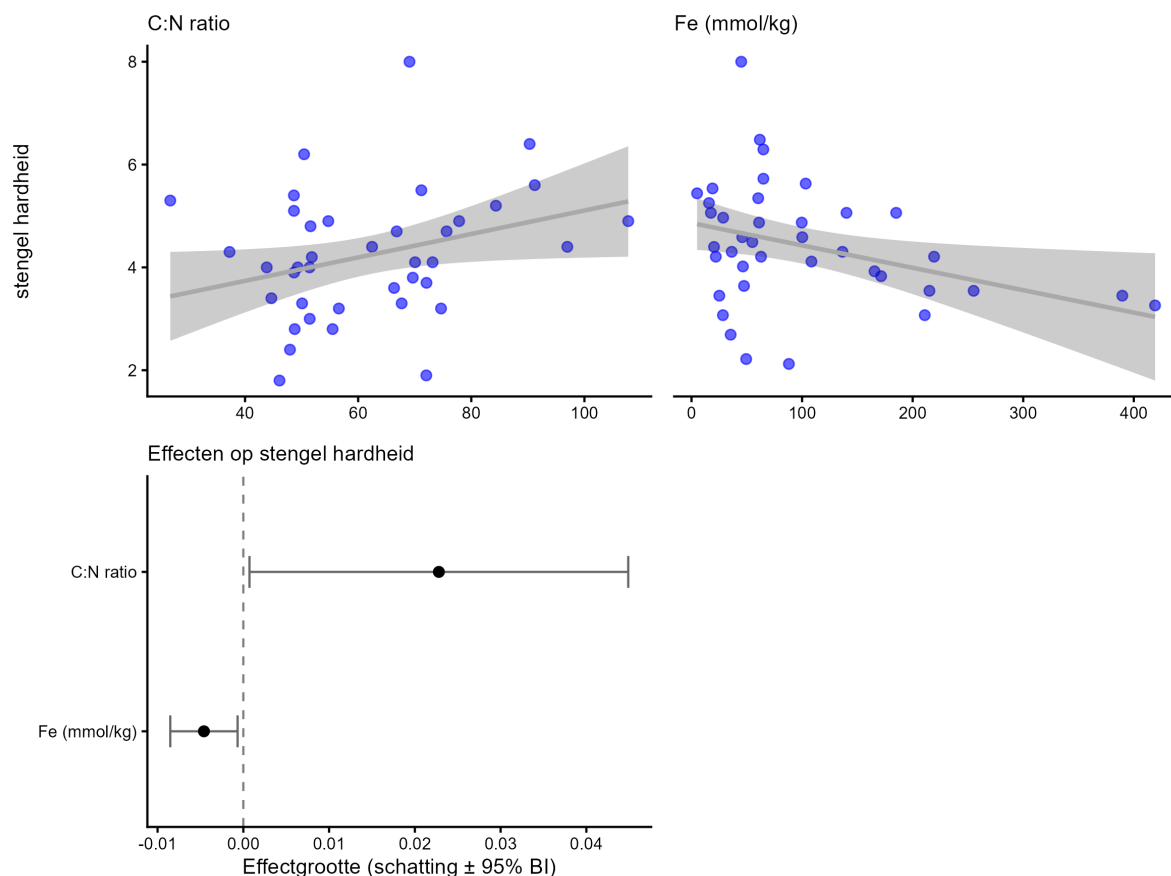
Verklarende factoren voor stengelhardheid van riet

De variatie in de stengelhardheid van riet worden in het beste verklaard door de koolstof:stikstof-verhouding in de rietplant (C:N-ratio) en de ijzerconcentratie in de bodem. De significante variabelen die samenhangen met **stengelhardheid** zijn weergegeven in Tabel 3.8 en Figuur 3.26. In tegenstelling tot de andere rietvariabelen blijken dus bij de stengelhardheid van riet andere factoren van belang te zijn. Voor variabelen die samenhangen met de zuur-basenbalans en de basenrijkdom zijn geen

significante relaties aangetoond. Het regressiemodel verklaart 36% van de variatie in stengelhardheid ($R^2 = 0,363$; $p < 0,001$). De koolstof:stikstof verhouding in de plant vertoont een positief verband. Hoe hoger deze verhouding (dus hoe meer minder stikstof t.o.v. koolstof) in het riet, hoe hoger de hardheid van de stengel. Bij hogere ijzerconcentraties wordt een lagere hardheid van de stengels aangetroffen. Het ijzergehalte in de bodem vertoont een vergelijkbaar sterk negatief effect. In de tabel is weergegeven wat de substantiële cumulatieve effecten (indicatie van de totale effectgrootte) zijn van deze variabelen over de laagste en hoogste waargenomen waarde (range) van de variabele (Tabel 3.8). Hoewel niet significant, is het verband tussen de siliciumconcentratie in riet en de hardheid van de rietstengels wel opvallend, met zachtere stengels naarmate de siliciumconcentratie hoger is (Bijlage Figuur 8.9). Deze relatie is tegenstrijdig met de verwachting dat silicium in de plant juist leidt tot een toename van de stengelhardheid (Greef en Horlings, 2016).

Tabel 3.8. Overzicht van de significante variabelen voor stengelhardheid en cumulatieve effectgrootte in stengellengte uitgedrukt in internodiale lengte.

Variabele	Beta	SE	t-waarde	p-waarde	Range	Cum_effect
Intercept	3.2816	0.6982	4.70	<0.001	-	
C:N ratio in riet	0.0228	0.0109	2.09	0.043	26.8 - 107.8	1.8
Fe (mmol/kg) bodem	-0.0046	0.0019	-2.37	0.023	5.0 - 419.2	-1.9



Figuur 3.26. Relatie tussen stengelhardheid en de significante variabelen: koolstof:stikstof ratio in de plant (C:N op grambasis) en het ijzergehalte in de bodem (Fe, mmol kg⁻¹). Bovenste figuren tonen relaties met lineaire relatieve regressielijnen uit het model met 95%-betrouwbaarheidsintervallen (BI). Het onderste paneel geeft de geschatte effectgroottes (± 95% BI) uit het regressie model weer.



Figuur 3.27. Enkele impressies van onderzochte rietlanden in het zomer- en winterseizoen.

Optimale condities voor gewenst riet

Vanuit het Natuurcollectief Noordwest Overijssel zijn kwaliteitswaarden/indicaties aangeleverd voor het riet ten aanzien van stengellengte (gewenst 150-250 cm). Verder is het gewenst dat het riet zo hard mogelijk is en dat er zoveel mogelijk stengels per vierkante meter zijn. Uit de data-analyse kwam een aantal duidelijke (significante) factoren die een relatie vertonen met bepaalde rietkenmerken zoals stengeldikte, dichtheid en biomassa (zie hiervoor). De vraag was vervolgens bij welke waarden van de significante factoren het gewenste riet bij benadering voorkomt. Met een gerichte data-analyse is getracht deze vraag te beantwoorden.

Het is belangrijk om hierbij te benadrukken dat het om correlaties gaat en niet direct om causale verbanden (oorzaak-gevolg) (zie ook paragraaf 2.6 en 5.2).

Lengte

De door het Natuurcollectief Noordwest Overijssel gewenste aangegeven lengte van rietstengels is: 150 tot 250 cm. Voor de bovengrens van rietlengte van 250 cm kunnen binnen deze studie geen harde uitspraken gedaan worden aangezien de gemiddelde lengtes in het onderzoek niet boven de 250 cm uitkomen. Bij stengellengtes van 150-250 cm worden de volgende gemeten waarden van de bijbehorende significante milieufactoren of plantwaardes gevonden:

- K:P ratio plant: < ca. 3
- P bodem: > ca. 50 mmol/kg
- Ca (zout) bodem: > ca. 150 mmol/kg

- Fe:S ratio bodem: > ca. 2

Biomassa in plaats van stengeldichtheid

Vanuit de riettelers is aangegeven dat de gewenste kwaliteit ten aanzien van stengeldichtheid zoveel mogelijk stengels per vierkante meter is. In de data-analyse werden geen duidelijke relaties tussen de stengeldichtheid en de onderzochte milieufactoren gevonden. Wel werden er relaties gevonden tussen biomassa en bepaalde factoren. Omdat er een verband is tussen biomassa en het aantal geoogste rietbossen (zie paragraaf 3.1.), is bekeken bij welke waarden van de bijbehorende significante factoren de hoogste biomassa's worden aangetroffen. Dit blijkt zo te zijn bij:

- K:P ratio plant: < ca. 5
- EGV porievocht: > ca. 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Hardheid

Hardheid is in dit onderzoek meegenomen als een grove maat door middel van het indrukken van de stengel en de knopen te tellen. De ranges van de bijbehorende significante variabelen zijn daarom ook zeer grove schattingen. Op basis van de verbanden lijken de hoogste hardheden voor te komen bij:

- C:N ratio plant: > ca. 100
- Fe bodem: < ca. 50 mmol/kg

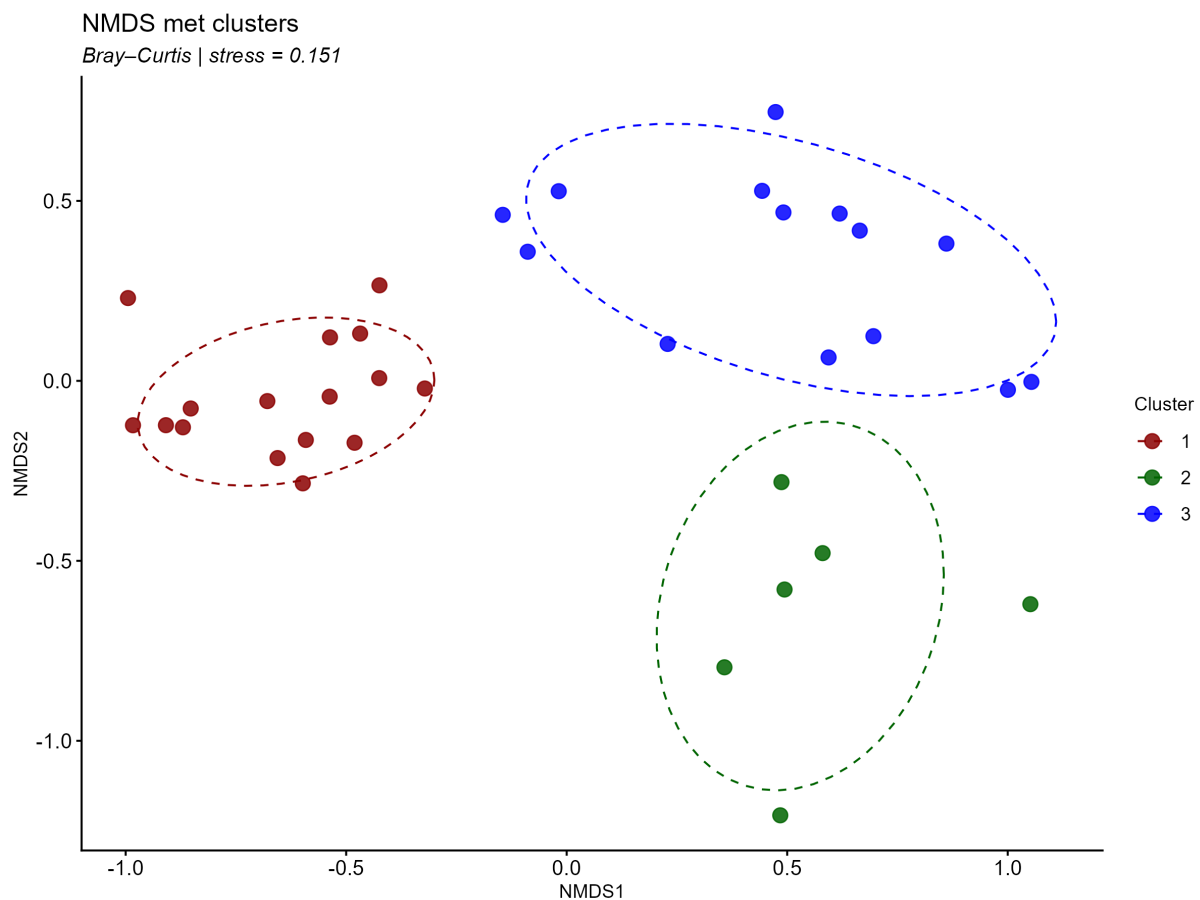
Successie en basenrijkdom als verklarende factor voor rietvariabelen

De Weerribben-Wieden is een laagveengebied waarbinnen verschillende vegetatie- en habitattypes voorkomen, e.e.a. afhankelijk van successie en beheer. Er zijn successiestadia die qua milieumomstandigheden geschikt zijn voor de groei van riet en successiestadia waarin riet zich minder goed kan ontwikkelen. Met name in de wat jongere successiestadia wordt riet aangetroffen, zoals in trilvenen en basenrijke veenmosietlanden. In de oudere successiestadia zoals zure veenmosrietlanden, moerasheide en moerasbossen is relatief maar weinig rietaanwezig. Om inzicht te krijgen in hoeverre deze successie in vegetatiesamenstelling en habitats de variatie in de aangetroffen rietvariabelen is een clusteranalyse, op basis van de vegetatiedie op de verschillende locaties is aangetroffen, uitgevoerd. In de clusteranalyse (zogenaamde NMDS analyse, zie paragraaf 2.6 voor details), vertegenwoordigt elk punt een vegetatieopname van een onderzoekslocatie (zie Figuur 3.28). Opnames die dicht bij elkaar liggen in het figuur hebben een vergelijkbare soortensamenstelling, terwijl opnames die ver uit elkaar liggen sterk verschillen in hun soortensamenstelling. De clusteranalyse resulteerde in drie groepen, waarbij met een aanvullende analyse (silhouette analyse en Permanova, zie paragraaf 2.6 voor details) ook aangetoond is dat deze drie clusters onderling voldoende onderscheidend vermogen hebben én ook significant van elkaar verschillen in soortensamenstelling ($F = 18,85$, $p = 0,001$). De clusterindeling verklaart 53% van de totale variatie in de vegetatiedata ($R^2 = 0,53$). Dit bevestigt dat de onderscheiden vegetatietypen en clustering ecologisch betekenisvol zijn.

Ook wanneer we de clusters bekijken langs een gradiënt van van nat naar droog en van basisch (sterker beïnvloed door oppervlaktewater) naar zuur (meer door regenwater beïnvloed), vertegenwoordigen deze clusters de verschillende successiestadia. Het gaat hierbij om de ontwikkeling van trilveen via veenmosrietland naar moerasheide, overeenkomend met beschrijvingen in o.a. Van Diggelen et al., 2018. Dit wordt ondersteund wanneer we bodemvariabelen, die indicatief zijn voor basen-zuur verhouding, uitzetten tegen een successiegradiënt (Figuur 3.30). Zo zien we dat cluster 3 (blauw) voornamelijk bestaat uit meer gebufferde locaties (o.a. hogere pH en meer calcium in de bodem). Dit betroffen dan ook voornamelijk locaties die werden aangemerkt als voorstadia van trilveen (habitatype H7140A) (zie

paragraaf 3.1 voor meer details). De locaties die tot cluster 1 (rood) worden gerekend, betreffen de locaties met zuurdere omstandigheden. Dit waren vooral veenmosrietland (habitatype H7140B) en vochtige (moeras) heide (habitatype H4010B).

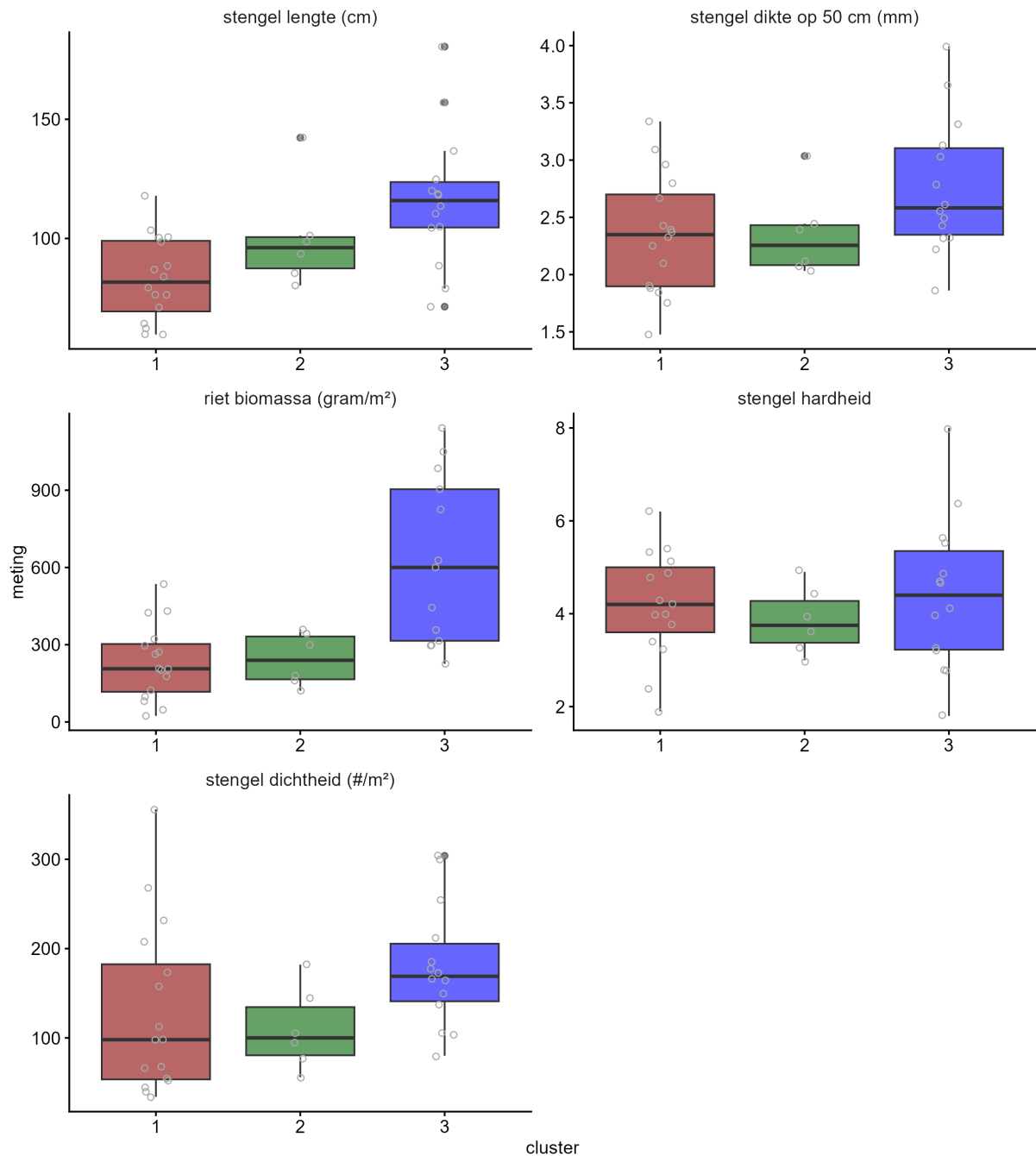
De locaties in cluster 2 (groen) wijken wat af van deze zuur-basenrijk/droog-nat gradiënt. Deze vallen dan ook niet duidelijk onder trilveen of veenmosrietland. Dit betroffen wel deels locaties met enkele karakteristieken van trilveen, die geïnundeerd waren en/of wat verruigde locaties (op basis van de hoge bedekking van vaatplanten en de hoge waterstand (inundatie) tijdens het veldbezoek). Op basis van de aanwezige vegetatiesamenstelling lijkt naar voren te komen dat deze locaties in cluster 2 afwijken van locaties in cluster 1 en 3 door de afwezigheid van mossen. Dit kan verklaard worden door inundatie omdat na langdurige inundatie mossen afsterven ofwel door verruiging omdat onder schaduwrijke condities de bedekking van mossen afneemt).



Figuur 3.28. NMDS ordinatie van vegetatieopnames gegroepeerd in drie clusters (stressfactor = 0,151). Opnames met vergelijkbare soortensamenstelling liggen dicht bij elkaar. Ellipsen geven de ruimtelijke verdeling van de clusters weer. De locaties die tot cluster 1 (rood) worden gerekend betreffen meer de locaties met zuurdere omstandigheden en zijn vooral veenmosrietland (habitatype H7140B) en vochtige (moeras) heide (habitatype H4010B). Locaties in cluster 3 (blauw) zijn meer gebufferde locaties (o.a. hogere pH en meer calcium in de bodem), en werden gekenmerkt als voorstadië van trilveen (habitatype H7140A). De locaties in cluster 2 (groen) wijken wat af van deze zuur-basenrijk/droog/nat gradiënt en betreffen geïnundeerde en verruigde locaties; zie Figuur 3.25.

De clustering van verschillende successiestadia werd geanalyseerd op verschillende voorkomende rietvariabelen (Figuur 3.29). Grofweg blijkt hieruit dat er een trend waarneembaar is dat in cluster 3 (voorstadium van trilveen (H7140A)) hogere waarden voor enkele rietvariabelen heeft dan cluster 1 (veenmosrietland (H7140B), vochtige heide (H4010B)) en cluster 2 (verruigde en geïnundeerde locaties). Meer concreet laten deze resultaten zien dat de successie van trilveen naar moerasheide, ofwel van natte en basische omstandigheden naar zure en droge omstandigheden, een negatief effect heeft op de

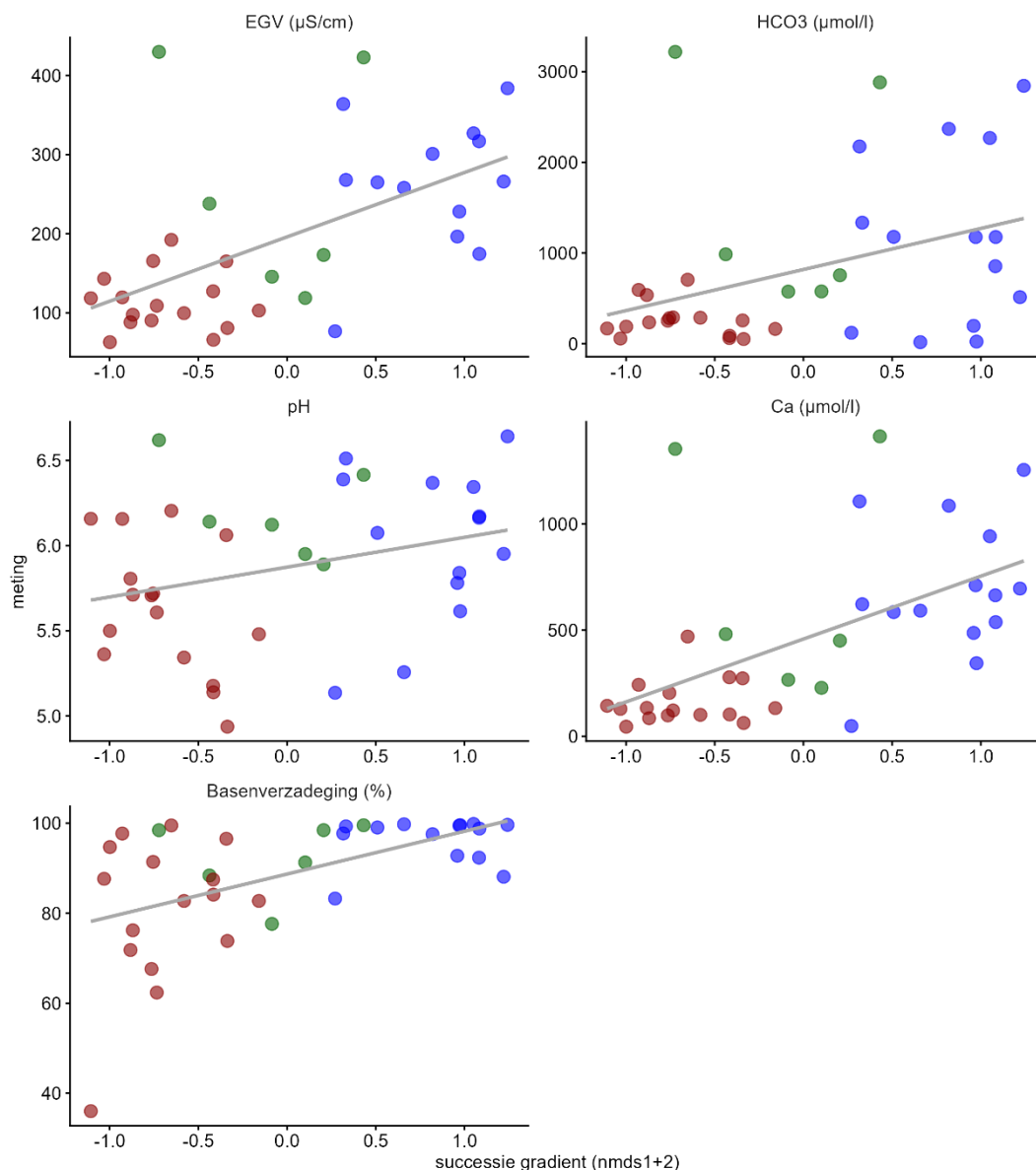
rietopbrengst. Dit verschijnsel komt tot uitdrukking in de kenmerkenstengellengte, stengeldikte en de biomassa van riet. Voor de variabelen stengelhardheid en stengeldichtheid komen verschillen tussen cluster 1 en 3 minder duidelijk naar voren. Cluster 2 valt hier tussen en is vaak niet duidelijk onderscheidend van de andere beide clusters.



Figuur 3.29. Rietvariabelen gemeten in de zomer per cluster. De rietlengte verschilt significant tussen cluster 1 en cluster 3 (Tukey HSD; $p < 0,01$). Daarnaast verschilt de rietbiomassa per m² significant tussen cluster 3 en cluster 1 (Tukey HSD; $p < 0,001$) en tussen cluster 3 en cluster 2 Tukey HSD; ($p < 0,01$). Voor de overige variabelen zijn geen significante verschillen waargenomen. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10^e en 90^e percentiel. De mediaan wordt weergegeven door middel van de horizontale streep in de box.

Wanneer de 3 gevonden clusters op basis van vegetatiesamenstelling uitgezet worden tegen abiotische parameters die indicatief zijn voor de basenrijkdom, dan komt duidelijk naar voren dat de locaties in de cluster 1 gekenmerkt worden door lagere concentraties calcium (Ca), bicarbonaat (HCO₃), een lager

Elektrisch Geleidend Vermogen (EGV), lagerepH en basenverzadiging dan de locaties die zich in cluster 3 bevinden (Figuur 3.30 en Bijlage Figuur 8.10). Dit komt goed overeen met eerdere studies aan standplaatscondities van deze verschillende successiestadia (Van Diggelen et al. 2018), waaruit bleek dat bij de successie van trilveen naar veenmosrietland en moerasheide de invloed van oppervlaktewater afneemt en hiermee pH en de basenverzadiging sterk afnemen. De locaties in cluster 2 bevinden zich hier tussen en zijn minder onderscheidend. Ook is in cluster 2 een grote variatie zichtbaar van sterk basenrijke en basische omstandigheden, naar basenarmere en zuurdere omstandigheden. Deze variatie is te verklaren door de eigenschappen van de locaties. Zo zijn de locaties in cluster 2, die geïnundeerd worden met oppervlaktewater, veel basenrijker en basischer en zijn de verruigde locaties basenarmen en zuurder.



Figuur 3.30. Relatie tussen de successiegradiënt (NMDS1 + NMDS2; zie Figuur 3.23) en omgevingsvariabelen van de kraggenbodem. Weergegeven zijn het elektrisch geleidingsvermogen (EGV in $\mu\text{S}/\text{cm}$), de bicarbonaatconcentratie (HCO_3^-), de pH (porievocht), en de calciumconcentratie ($\mu\text{mol}/\text{l}$) in het porievocht en de basenverzadiging (%) van de bodem. De gekleurde punten representeren verschillende successiestadia langs de gradiënt uit de NMDS cluster analyse, 1: rood 2: groen en 3: blauw (zie Figuur 3.23 en Figuur 3.24).

Samenvatting verklarende factoren rietopbrengst

- Er blijken meerdere abiotische factoren en omgevingsfactoren die de variatie in de 40 onderzoekslocaties en de variatie in de rietopbrengst te kunnen verklaren. Deze factoren kunnen echter soms ook onderling sterk correleren en per rietparameter verschillen. Grof samengevat lijken er op hoofdlijnen wel twee factoren te zijn die de meeste variatie verklaren, namelijk (1) de nutriëntenbeschikbaarheid en (2) de basenrijkdom en successie.

Verklarende factoren voor variatie in rietvariabelen

- De variatie in **rietstengellengte** wordt het best verklaard door K:P ratio in het riet, het fosforgehalte van de bodem, het calciumgehalte van de bodem en de ijzer:zwavel ratio in de bodem. Bij lagere K:P ratio's in het riet en hogere fosforconcentraties in de bodem zijn langere stengels aangetroffen. En bij hogere calciumconcentraties en hogere ijzer:zwavel ratio in de bodem zijn langere riet stengels aangetroffen.
- De variatie in de **rietbiomassa** wordt in het beste verklaard door de K:P ratio in het riet, en het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) in de bodem. Bij een hoger EGV (wat als maat gezien kan worden voor de basenrijkdom) in de bodem zijn hogere rietbiomassa's waargenomen. Bij lagere K:P ratio's in het riet zijn hogere rietbiomassa's aangetroffen.
- De variatie in **rietstengeldikte** wordt het best verklaard door de K:P ratio in het riet, het organisch stofgehalte in de bodem, het plant beschikbare calciumgehalte in de bodem, het fosforgehalte van de bodem en de ammoniumconcentratie in het porievocht. Bij een lagere K:P ratio (meer fosfor t.o.v. kalium in de plant), bij een hoger plant beschikbaar calciumgehalte en bij een hoger fosforgehalte van de bodem worden dikkere stengels aangetroffen. Bij hogere organische stofgehalten en een hoger ammoniumconcentratie worden dünnere rietstengels aangetroffen.
- De variatie in **rietstengelhardheid** wordt het best verklaard door de verhouding tussen kooldstof en stikstof (C:N) in de plant en het ijzergehalte van de bodem. Bij een hogere C:N ratio in het riet (minder stikstof t.o.v. koolstof) is de maat voor hardheid hoger. En bij een hoger ijzergehalte is de maat voor hardheid lager.

Vegetatieve successie en basenrijkdom als verklarende factor

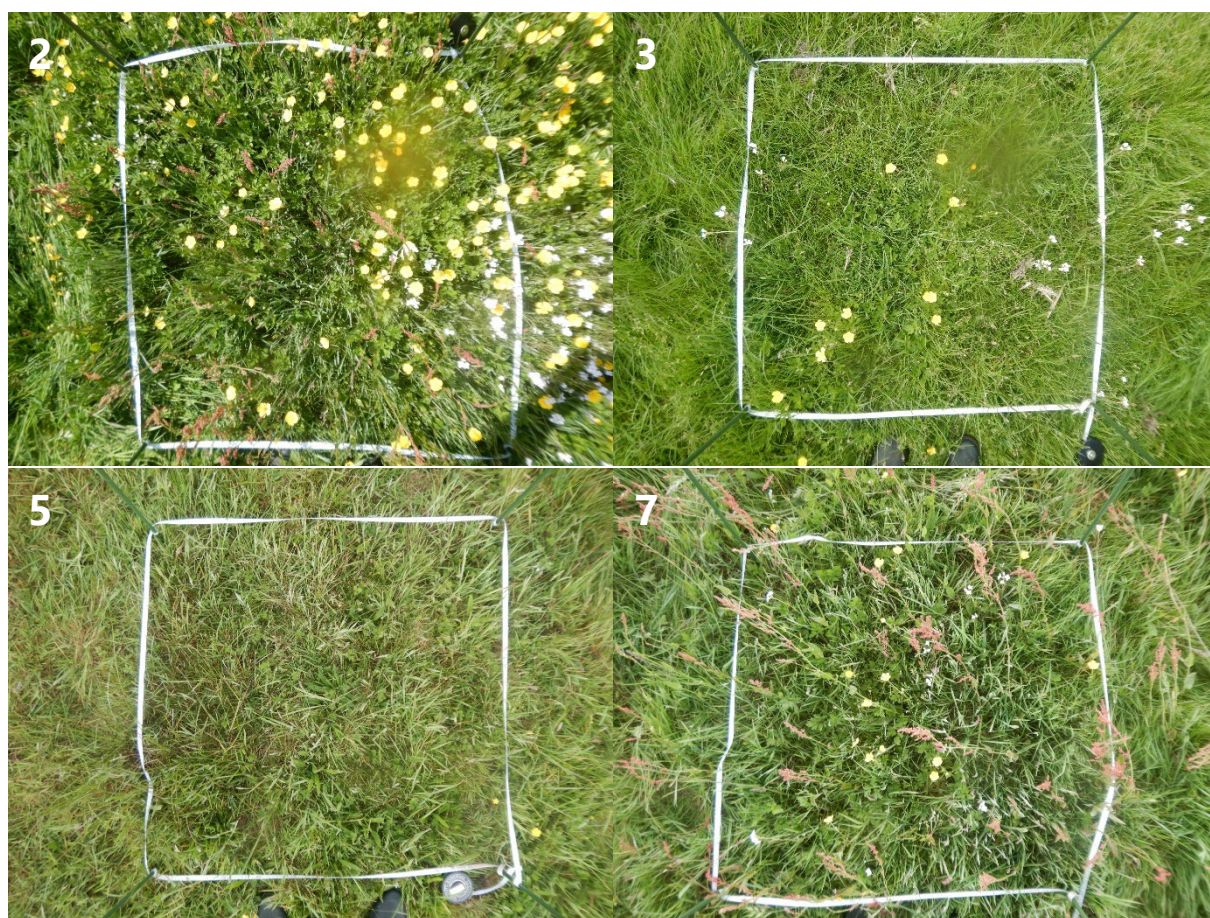
- Met behulp van een clusteranalyse, op basis van de vegetatie die op de verschillende onderzoekslocaties is aangetroffen, konden 3 verschillende clusters worden onderscheiden. Cluster 1 bestaande uit locaties met zuurdere omstandigheden (vooral veenmosrietland (habitattype H7140B) en vochtige (moeras) heide (habitattype H4010B). Cluster 3 bestaande uit locaties die beter gebufferd zijn (o.a. hogere pH en meer calcium in de bodem) wat voorstadien van trilveen en trilveen (habitattype H7140A) betreffen. Cluster 2, die wat afwijkt van deze zuur-basenrijk/droog-nat gradiënt. Dit betroffen locaties met een erg lage mosbedekking door inundatie (bevloeiing) en verruiging (schaduw).
- Uit een vergelijking van de clusters met de abiotische standplaatscondities blijkt ook dat vooral cluster 1 zuurder en basenarmer is (lagere pH, basenrijkdom etc.) en cluster 3 basischer en basenrijker (hogere pH en basenrijkdom). Ook bleek dat met name stengellengte van riet, stengeldikte van riet en de rietbiomassa hoger zijn in cluster 3 t.o.v. cluster 1. Uit deze analyses blijkt dat naast van de factoren die direct de variatie in rietvariabelen verklaren ook de habitatsuccessie van verlanding in het laagveen de rietproductie kan beïnvloeden. Met name de locaties met een wat jongere (nattere en basenrijkere) fase van deze successiestadia hebben een hogere rietproductie. Bij toenemende successie naar verzuurde veenmosrietlanden worden de locaties minder geschikt voor rietteelt en neemt de rietproductie af.

3.4 Veenweidepercelen

Kenmerken veenweidepercelen

Rondom de Weerribben-Wieden zijn in totaal 9 veenweidepercelen onderzocht op bodem- en waterkwaliteit in relatie tot eventuele geschiktheid voor rietteelt. Qua methodiek werd aangesloten bij het onderzoek van de rietpercelen, zodat resultaten met elkaar vergeleken konden worden.

De vegetatie op de veenweidepercelen was voornamelijk gras gedomineerd (Engels raaigras-*Lolium perenne*) met variërende aanwezigheid van voornamelijk gestreepte witbol (*Holcus lanatus*), veldzuring (*Rumex acetosa*), en kruipende boterbloem (*Ranunculus repens*). In mindere mate werden ook pinksterbloem (*Cardamine pratensis*), vogelmuur (*Stellaria media*), en witte klaver (*Trifolium repens*) aangetroffen (zie Figuur 3.31).



Figuur 3.31. Overzichtsfoto's van de vegetatie op enkele veenweidepercelen. Foto's: Jeroen Graafland.

Bodemchemische samenstelling

Voor bodemchemische analyses is zowel de toplaag van de bodem (0-15/25cm - mv) als een diepere bodemlaag (20/30-40/50 cm-mv) bemonsterd op de veenweidepercelen. De precieze bemonsteringsdiepten waren afhankelijk van de bodemtypen die in het veld werden aangetroffen. De toplaag van de bodems op de verschillende locaties bestaan voornamelijk uit klei met een hoog organisch stofgehalte. De diepere bodemlagen bestonden uit veen, veraard veen of venige klei (Zie Bijlage 4 voor enkele diepteprofielen).

Wanneer de onderzochte veenweidepercelen worden vergeleken met de rietpercelen blijkt het organisch stofgehalte gemiddeld een stuk lager te zijn op de veenweidepercelen. Het organisch stofgehalte van de bodems van de veenweidepercelen neemt toe in de diepere bodemlagen; met gemiddeld ~18% op de top en gemiddeld ~51% in de diepte. Bovendien is de massa/volume verhouding groter (top~0,7 en diep ~0,4) en zijn aluminium concentraties gemiddeld hoger (Al-t: top ~545 mmol/kg en diep ~488 mmol/kg). Dit geeft aan dat de veenweidepercelen wat kleiiger zijn dan de rietpercelen. Het luthumpercentage is namelijk indicatief voor het kleigehalte van bodems. De pH-zout was gemiddeld 4,6 en de basenverzadiging met >90 % hoog (top: 92,7%, diep: 92,3 % (strontiumextractie), en vergelijkbaar met de rietpercelen.

Met betrekking tot de nutriëntengehaltes van de bodem zijn er enkele overeenkomsten gevonden, maar ook veel verschillen. Zo is de totale fosforconcentratie in de toplaag gemiddeld 24 mmol/kg en dieper in de bodem 18 mmol/kg, en daarmee vergelijkbaar met de rietpercelen. Echter, zijn de labiel-P concentraties fors lager met gemiddeld ~3,1 $\mu\text{mol/kg}$ in de toplaag en ~4,8 $\mu\text{mol/kg}$ in de diepere bodemlagen. De plantbeschikbaarheid van fosfor in deze bodems is relatief laag en met oog op rietproductie minder gunstig. Echter, hierdoor zijn de kans op verruiging en concurrentie met andere planten ook minder groot. De bodems van de veenweidepercelen bevatten, door het hogere kleiaandeel in de bodem, hogere gehalten aan P-bindende stoffen zoals aluminium en ijzer (top ~354 mmol/kg, diep ~468 mmol/kg). De hoeveelheid calcium in de toplaag van de veenweidepercelen is veelal lager, dan die in de rietpercelen werd aangetroffen (Ca-t: top ~97 mmol/kg, Ca-z: top ~29 mmol/kg). Daarnaast is de beschikbaarheid van stikstof hoog in de toplaag (NO_3^- : ~281 $\mu\text{mol/kg}$, NH_4^+ : ~153 $\mu\text{mol/kg}$) en zijn deze hoger in de diepere bodemlaag (NO_3^- : ~386 $\mu\text{mol/kg}$, NH_4^+ : ~844 $\mu\text{mol/kg}$). Er is in deze bodems dus betrekkelijk veel vrij stikstof aanwezig ten opzichte van vrij beschikbaar fosfor. Bovendien zijn de kalium- en siliciumconcentraties iets hoger (K-t: ~28 mmol/kg, Si-t: ~30 mmol/kg). De sulfaatconcentraties voldoende laag (S: 40-171 mmol/kg in die diepte).

Van de bodemonsters, die op 2 verschillende dieptes op de veenweidepercelen werden verzameld, werden de concentraties ionen die vrij in de bodem aanwezig zijn met een waterextractie bepaald. Hieruit blijkt dat zowel de toplaag van de bodem als de dieper gelegen bodem licht zuur tot basisch is met een pH van gemiddeld 5,4. De calciumconcentraties in het waterextract zijn hoog in de toplaag (557 $\mu\text{mol/l}$) en zeer hoog in de diepere bodemlaag (1074 $\mu\text{mol/l}$), en daarmee hoger dan in het porievocht van de onderzochte rietpercelen. De fosforconcentratie in het waterextract van de toplaag en van de dieper gelegen bodem zijn relatief laag met respectievelijk 2,8 $\mu\text{mol/l}$ en 2,4 $\mu\text{mol/l}$. De ijzerconcentraties zijn juist hoog (top ~22 $\mu\text{mol/l}$, diep ~40 $\mu\text{mol/l}$). Zowel voor nitraat (top ~190 $\mu\text{mol/l}$, diep ~194 $\mu\text{mol/l}$ bodem), ammonium (top ~8 $\mu\text{mol/l}$, diep ~75 $\mu\text{mol/l}$ bodem), als sulfaat (top ~412 $\mu\text{mol/l}$, diep ~1060 $\mu\text{mol/l}$ bodem) zijn de concentraties hoger in het waterextract van de veenweidepercelen dan in het porievocht van de rietpercelen. Een één-op-één-vergelijking van concentraties vrij aanwezige ionen in het porievocht met concentraties gemeten in het waterextract is lastig door de verschillende bemonstering/analysemethodes, maar geeft wel een goede indicatie.

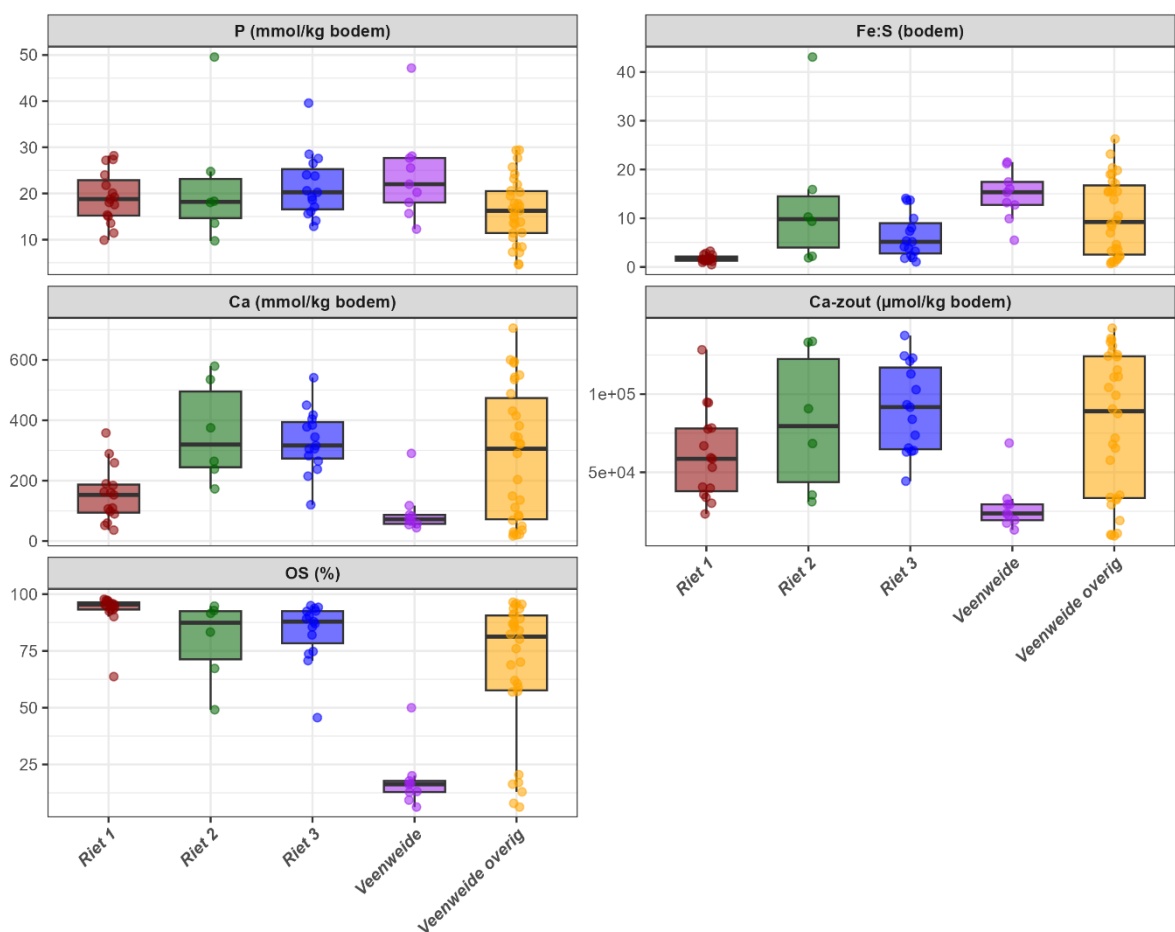
Oppervlaktewater veenweidepercelen

Naast de bodem is rondom de veenweidepercelen het dichtstbijzijnde oppervlaktewater bemonsterd. In totaal zijn 8 oppervlaktewatermonsters geanalyseerd. Het oppervlaktewater heeft een gemiddelde pH van 7,8 en is veelal sterk gebufferd (HCO_3^- > 2000 $\mu\text{mol/l}$, Alk: 2,6-3,4 meq/l). Het oppervlaktewater rondom perceel 4 is matig gebufferd (HCO_3^- > 1000 $\mu\text{mol/l}$, Alk: 1,7 meq/l). De (totaal) fosforconcentratie is grotendeels laag (tot-P < 5 $\mu\text{mol/l}$), hoewel rondom perceel 5 de totaal fosforconcentratie was verhoogd (tot-P: 13,2 $\mu\text{mol/l}$). Echter, vanwege relatief hoge ijzerconcentraties (hoger dan in de Weerribben-Wieden) blijven de Fe/P ratio's > 1, waardoor het fosfaat gemakkelijk aan ijzer zal binden. De ortho-fosfaatconcentraties (beschikbaar PO_4) zijn dan ook overal laag ($\leq 0,3$ $\mu\text{mol/l}$), het risico op

algenbloei is daarmee ook laag. Daarnaast zijn nitraat- en ammoniumconcentraties relatief laag (Zie Bijlage 4). Samengevat lijkt het oppervlaktewater in de watergangen rondom de veenweidepercelen op het eerste oog geschikt voor bevoeiing voor eventueel rietteelt. Wel moet hierbij vermeld worden dat het slechts een momentopname betreft en bij inundatie als gevolg van bevoeiing de samenstelling van de bodem een grotere invloed zal hebben op de condities dan de samenstelling van het oppervlaktewater waarmee de veenweide bevoeid wordt.

Vergelijking veenweide met rietpercelen

Op basis van de aangetroffen vegetaties op de rietpercelen konden 3 clusters worden afgeleid (zie paragraaf 3.3). In Figuur 3.32 zijn enkele voor de rietopbrengst invloedrijke abiotische variabelen weergegeven voor zowel de drie verschillende rietclusters als de veenweidepercelen. Voor de veenweidepercelen zijn de hiervoor besproken resultaten opgenomen (in paars) en de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek rondom de Weerribben-Wieden (in geel) (Smolders & Verstijnen, 2021; Tomassen et al., 2025).



Figuur 3.32. Boxplots van enkele variabelen die significant negatief of positief zijn gecorreleerd aan één of meerdere rietvariabelen (lengte, dikte, biomassa; zie paragraaf 3.3.1) weergegeven per rietcluster (1,2,3) en de huidige/ historisch onderzochte veenweidepercelen. De variabelen P, Fe/S ratio, en de calcium (zout) concentraties van de bodem zijn positief gecorreleerd aan rietdikte, -lengte of -biomassa. Het organisch stofgehalte van de bodem is negatief gecorreleerd aan rietdikte, -lengte of -biomassa. Rood = Riet cluster 1, Groen = Riet cluster 2, Blauw = Riet cluster 3, Paars = Veenweidepercelen, Oranje= overige onderzochte veenweidepercelen uit eerdere onderzoeken (2020 & 2024). Riet 1: n= 16, Riet 2: n= 6, Riet 3: n=14, Veenweide: n= 9, Veenweide overig: n=30.

Met betrekking tot het fosforgehalte (P) laten de veenweidepercelen vergelijkbare waarden zien in de bodem ten opzichte van de rietpercelen op basis van drooggewicht. Op basis van versgewicht waren de g hoger in de recent onderzochte veenweidepercelen (paars) (dit komt door de kleiigheid van deze bodems). De Fe:S ratio van de bodem lijkt toe te nemen in de recent onderzochte veenweidepercelen, deze is dan ook significant hoger ten opzichte van de clusters 1 en 3 ($P < 0.05$; GLM; Figuur 3.32). Uit de analyses van de rietpercelen bleek dat een hogere Fe:S ratio de lengte van het riet positief kan beïnvloeden. Data van de veenweidepercelen, gemeten in eerdere onderzoeken, laat echter zien dat de variatie in Fe:S groot is. Daarnaast het de calcium-zout gehalte significant lager in de recent onderzochte veenweidepercelen in vergelijking met cluster 3 ($P < 0.005$; GLM; Figuur 3.32), en is daarmee in het kader van rietontwikkeling ongunstiger (kortere rietstengels). Het calcium-totaal gehalte laat een vergelijkbaar beeld zien. Echter indiceert data van de overige veenweidepercelen in de buurt dat er grote variatie is. De mate van het landbouwkundig gebruik en intensiteit van (vroegere) bekalking op de toplaag kunnen hierop van invloed zijn. Voor het organisch stofgehalte van de bodem is een significant negatieve correlatie gevonden met één of meerdere riet parameters (lengte, dikte, biomassa; paragraaf 3.3). Het organisch stofgehalte is significant lager in de toplaag van de bodem van de onderzochte veenweidepercelen ten opzichte van de rietpercelen ($P < 0.005$; GLM; Figuur 3.32), en is daarmee gunstig voor de ontwikkeling van dikker riet. In de overige veenweidepercelen (gemeten in eerdere onderzoeken) is er veel variatie in het organisch stofgehalte en zijn ook toplagen met een zeer hoog organisch stofgehalte gemeten (Figuur 3.32). Dit zijn voornamelijk percelen in Olde Maten waar het organisch stofgehalte doorgaans $> 50\%$ was van de toplaag van de bodem, als gevolg van droger en sterker veraard veen. Dit is dan ook niet wenselijk.

Samenvatting verklarende factoren rietopbrengst en rietkwaliteit

- De bodems van de onderzochte veenweidepercelen zijn over het algemeen kleiiger dan de rietlanden.
- Het totaal-fosfor gehalte van de bodem (mmol/kg droge bodem) is vergelijkbaar tussen de rietpercelen en de veenweidepercelen, maar labiel-P (P-z) is beduidend lager in de veenweidepercelen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het hoge ijzergehalte van de bodem. Bovendien is betrekkelijk veel vrij stikstof aanwezig in de veenweidepercelen in vergelijking met de rietlanden.
- Wanneer de abiotische gegevens die een duidelijke (significante) relatie hebben met stengellengte, stengeldikte en/of rietbiomassa worden vergeleken tussen de rietlanden en de veenweidepercelen dan worden de volgende punten duidelijk:
 - Mogelijk kunnen de hogere Fe:S ratio's in de bodem van de veenweidepercelen de stengellengte van het riet bevorderen;
 - Het lagere calcium-zout gehalte van de bodem van de veenweidepercelen is ongunstig voor de stengellengte van het riet. Het landbouwkundig gebruik en de mate van bekalking per perceel is hierop van invloed;
 - Het fosforgehalte van de toplaag van de riet- en veenweidepercelen komt ongeveer overeen.
- Op basis van het onderzoek aan de veenweidepercelen en vergelijking met de onderzochte rietpercelen lijken de veenweidepercelen bodemchemisch geschikt te zijn voor rietteelt. Wel zal nog nader bekeken moeten worden hoe deze condities beïnvloed worden als de percelen natter worden, onder andere door (tijdelijke) inundatie.

4 Synthese

4.1 Welke (abiotische) factoren beïnvloeden de rietproductie in de Weerribben-Wieden?

In dit correlatieve onderzoek werd een veertigtal locaties verspreid over Nationaal Park Weerribben-Wieden onderzocht op allerlei (a)biotische factoren om te achterhalen welke van deze factoren een duidelijke relatie vertonen met de rietproductie. Hiertoe werden verschillende rietvariabelen gemeten: stengellengte, stengeldikte, biomassa, dichtheid (aantal stengels per vierkante meter) en 'hardheid' van de stengels. Op de onderzoeklocaties werden vegetatieopnames gemaakt en verschillende fysisch-chemische variabelen in de bodem en het porievocht bepaald (zie details in hoofdstuk 2). Op de locaties was sprake van een veenbodem als onderdeel van een kragge of veen op zand(bodem); met wisselende grondwaterstanden.

Algemene beschrijving resultaten

De rietvariabelen gemeten op de percelen lieten een range zien van locaties met lager, dunner riet tot locaties met hoger, dikker riet. Vlak voor de rietoogst waren de stengels gemiddeld 120 cm lang en 2,4 mm dik. De dichtheid van de stengels bedroeg gemiddeld 148 stengels/m² met een gemiddelde biomassa van 422 g/m². De gemiddelde stengellengte en -dikte lijken daarmee aan de lage kant te zijn voor kwalitatief bruikbaar riet voor dakdekking (RDMZ, 2005; Köbbing et al., 2013; de Bruijn, 2024). De gemeten dichtheid van rietstengels is vergelijkbaar met dichtheid van rietstengels in vitale rietvelden in Europa (114-193 stengels/m²; van der Putten, 1997). De stengeldichtheid hing in het huidige onderzoek nauwelijks samen met de lengte of dikte van het riet. Hoewel door Greef & Horlings (2016) wel beschreven wordt dat bijvoorbeeld voedselrijk water leidt tot een hogere dichtheid aan rietstengels, én langer riet met een lagere hardheid. Er werden verder in het huidige onderzoek geen vraatsporen gezien aan de rietplanten. Begrazing lijkt dus geen rol te spelen in de achteruitgang van rietgroei in de Weerribben-Wieden.

Naast riet groeide er nog andere plantensoorten op de onderzochte percelen, die mogelijk zouden kunnen concurreren met riet om voedingsstoffen. Op verschillende locaties was veel veenmosgroei en/of struikopslag of groei van grassen en russen tussen het riet. Een hogere bedekking van vaatplanten ging grofweg gepaard met minder rietstengels per vierkante meter. De vegetatiesamenstelling in laagveensystemen (zoals de Weerribben-Wieden) geeft een indicatie voor de mate van verlanding (mate van successie) van petgaten. Langs deze successiegradiënt veranderen ook de condities voor rietgroei en rietproductie (zie ook paragraaf 3.1). In het algemeen waren de onderzochte locaties in te delen in jongere successiestadia (nattere en basenrijkere omstandigheden) tot oudere successiestadia (zuurdere en drogere omstandigheden). De verschillende successiestadia ontwikkelen zich onder bepaalde standplaatscondities, maar beïnvloeden deze ook zelf. Veenmossen verzuren bijvoorbeeld actief hun omgeving. Zo ontwikkelen de successiestadia van trilveen naar veenmosrietland naar moerasheide. Langs deze gradiënt neemt voornamelijk de basenrijkdom af, door de afname van de invloed van oppervlaktewater. Dit leidt tot een hogere pH en basenrijkdom in het trilveenstadium en lagere pH en lagere basenrijkdom in de veenmosrietlanden en moerasheide (Van Diggelen et al. 2018). Tevens is bekend dat verdroging, verzuring en atmosferische stikstofdepositie deze successie versnellen naar zuurdere en basenarmere omstandigheden (Van Diggelen et al., 2018; Van Dijk et al. 2021). In de Weerribben en Wieden bevinden zich, net als in andere laagveengebieden in Nederland verschillende stadia van deze successie. In de Wieden en Weerribben zijn de basenrijke beginstadia van de verlanding (habitattype trilveen) in vergelijking met andere laagveengebieden echter goed vertegenwoordigd.

De vegetatie groeit op een bodem met daarin verschillende concentraties aan voedingsstoffen (nutriënten: zoals fosfor en stikstof). De veenbodems in de Weerribben en Wieden bevatten gemiddeld 20 mmol P/kg droge bodem in de toplaag. Plant-beschikbaar stikstof kwam vooral voor in de vorm van ammonium op de onderzochte locaties (gemiddeld 610 $\mu\text{mol/kg}$ droge bodem) en de calciumconcentraties waren relatief hoog (257 mmol/kg droge bodem in de toplaag). Het porievocht in de toplaag van de bodem was zwak gebufferd en sterker gebufferd dieper in de bodem (gemiddeld 1441 $\mu\text{mol HCO}_3^-/\text{l}$). Het porievocht bleek ook relatief arm aan fosfor en stikstof (nitraat+ammonium). In vergelijking met andere laagveengebieden in Nederland zijn de percelen in de Weerribben-Wieden relatief voedselarm en basenrijk (Van Diggelen et al. 2018).

De fysisch-chemische samenstelling van de bodem en in mindere mate van het oppervlaktewater (van onderaf in de kragge ofwel direct via bevoeiing en/of inundatie) beïnvloeden de standplaatsfactoren van riet en daarmee ook de chemische samenstelling van de rietplanten (en overige vaatplanten). Tijdens het groeiseizoen bevatten de rietplanten een gemiddelde fosforgehalte van $\sim 0,57$ mg/g, stikstofgehalte van $\sim 8,9$ mg/g en kaliumgehalte van $\sim 6,7$ mg/g. Het gemiddelde stikstofgehalte (N) was vergelijkbaar met onderzochte rietplanten in bijvoorbeeld de Loosdrechtse Plassen. Fosfor (P) en kalium (K) in het riet waren hoger in de Weerribben en Wieden dan in de Loosdrechtse Plassen, waar de rietplanten een P-tekort hebben (Verstijnen et al., 2019). N-, P- en K-gehalten in het riet in de Weerribben-Wieden waren echter lager dan op andere locaties in Nederland (Güsewell en Koerselman, 2002). De verhoudingen tussen nutriëntgehalten van de rietplanten wijzen erop dat veel rietplanten in de Weerribben-Wieden in hun groei gelimiteerd zouden kunnen zijn door stikstof en/of fosfor. In de winter zijn de nutriëntgehalten in de rietplanten vele malen lager, doordat de voedingsstoffen actief naar de wortelstokken worden getransporteerd.

Sturende factoren in rietproductie

Al met al zijn er in het onderzoek veel factoren gemeten die van invloed kunnen zijn op de groei van riet en daarmee op de gemeten rietvariabelen (lengte, dikte, dichtheid, biomassa en hardheid) en dus de rietproductie. Door gebruik te maken van statistische analyses (paragraaf 2.6) is bepaald welke factoren de aangetroffen variatie in de verschillende gemeten rietvariabelen en rietproductie het best kunnen verklaren. Deze zijn weergegeven per rietvariabele in Tabel 4.1 (details in paragraaf 3.3). Op basis van de (beperkte) aangeleverde gegevens over rietopbrengsten (in bossen/ha) kan voorzichtig gesteld worden dat de factoren die van invloed zijn op stengellengte, stengeldikte, maar vooral biomassa ook van invloed zijn op de rietopbrengst (paragraaf 3.1). Samengevat zijn dit (Tabel 4.1) de abiotische factoren die de rietproductie het meest lijken te beïnvloeden. Dit is nog verder samengevat in Figuur 4.1.

Tabel 4.1. Opsomming van de omgevingsvariabelen die significant van invloed zijn op de verschillende rietvariabelen (zie details paragraaf 3.3). Rode variabelen=negatief effect, groene variabelen=positief effect op de betreffende rietvariabele. N.B. voor rietdichtheid werden geen significante factoren gevonden.

Stengellengte	Stengeldikte	Biomassa	'Hardheid'
K:P ratio plant	K:P ratio plant	K:P ratio plant	C:N ratio plant
P (mmol/kg) bodem	Organische stof (%) bodem	EGV bodem	Fe (mmol/kg) bodem
Ca (zout-extr.) ($\mu\text{mol/kg}$) bodem	Ca (zout-extr.) ($\mu\text{mol/kg}$) bodem		
Fe:S ratio bodem	P (mmol/kg) bodem		
	NH_4^+ ($\mu\text{mol l}^{-1}$) porievocht		

Hieruit blijkt dat er niet één factor is die alles verklaart. Er blijken uiteindelijk drie belangrijke sporen te naar voren te komen, namelijk:

1. Nutriëntenbeschikbaarheid

- a. Fosfor in de bodem, K:P-ratio in de plant, C:N ratio in de plant, Fe:S ratio, Fe in de bodem, organische stof, ammonium in porievocht.

2. Basenrijkdom

- a. Organische stof, (plant beschikbaar) calcium in de bodem, EGV in de bodem.

3. Successie

- a. Successiestadium.

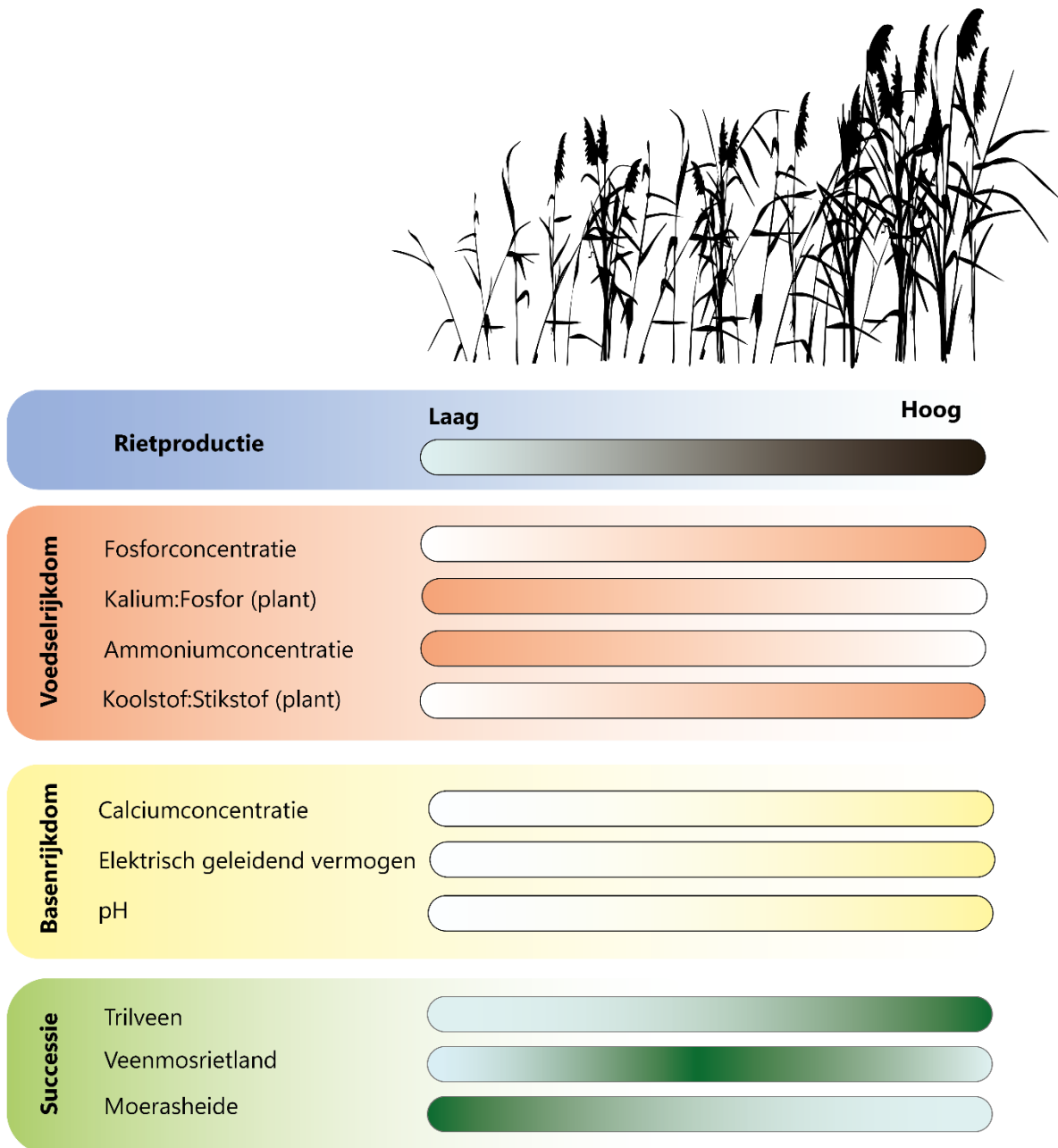
Deels lopen deze drie sporen door elkaar heen, ze hebben immers ook invloed op elkaar. De sporen zijn daarom niet strikt van elkaar te scheiden. Met name basenrijkdom en successie zijn sterk aan elkaar gekoppeld. Dit onderzoek geeft wel duidelijk aan dat zowel nutriëntenbeschikbaarheid als de basenrijkdom en de successie van grote invloed zijn op de rietproductie. In welke mate welke van deze twee ofwel een combinatie hiervan een rol spelen kan lokaal van perceel tot perceel verschillen.

Uit de literatuurstudie van de Bruijn (2024) kwam reeds naar voren dat rietgroei door veel verschillende en vaak onderling samenhangende factoren wordt beïnvloed. In de literatuurstudie werd benoemd dat naast voedselbeschikbaarheid ook waterdynamiek, ophoping van organisch materiaal en saliniteit het meest belangrijk lijken (zie ook Hoofdstuk 1). Veel van deze onderzoeken zijn niet uitgevoerd met het oog op 'productieriet' maar op riet op natuurlijker habitats, zoals riet in estuaria, langs rivieren en langs meren waar de planten in veel grotere mate ook door golfslag en waterstandfluctuaties beïnvloedt worden. Door Greef en Horlings (2016) (wel gericht op 'productieriet') wordt verder benoemd dat mogelijke omgevingsfactoren die de rietkwaliteit beïnvloeden waterkwaliteit en luchtkwaliteit zijn. Luchtkwaliteit is in onze studie niet meegenomen, waterkwaliteit wel, maar niet als directe factor per locatie. In ons onderzoek is wel de bodem- en porievochtkwaliteit meegenomen. Een deel van zojuist genoemde mogelijke factoren komen dus ook uit ons onderzoek.

Nutriëntenbeschikbaarheid is een belangrijke factor, waar riet doorgaans groeit in gebieden die mesotroof tot eutroof zijn (Romero et al. 1999, Tylová et al. 2013, Weeda et al. 1994). Té voedselrijke condities kunnen echter negatief uitpakken voor de rietgroei, maar een te lage nutriëntenbeschikbaarheid kan ook zorgen voor minder rietgroei. Waarschijnlijk geldt er een optimale nutriëntenrange waaronder de rietplanten bijvoorbeeld zoveel mogelijk biomassa maken (de Fouw et al., 2021; Van der Winden & Van Gemeren, 2018; Verstijnen et al., 2019). De resultaten van het huidige onderzoek geven dan ook aan dat lagere fosforgehaltes in de bodem én hoge ammoniumconcentraties in het porievocht kunnen leiden tot korter en/of dunner riet. Het lijkt er dus op dat voor goed productieriet de nutriëntenbeschikbaarheid niet in balans is: qua fosforbeschikbaarheid aan de lage kant en qua beschikbaarheid van ammonium (stikstof) aan de hoge kant. De fosforlimitatie in de percelen kan meerdere oorzaken hebben, zoals afvoer door maaien en afvoeren, afname door successie, en afname van fosforconcentraties in het oppervlaktewater gedurende de afgelopen decennia (waar actief aan gewerkt wordt om de N2000- en Kaderrichtlijn Water (KRW)-doelen te halen (Cusell et al. 2022, Cusell 2014)). Over de bijdrage van verschillende oorzaken kunnen op basis van de hier verkregen resultaten geen uitspraken gedaan worden en dit kan per locatie verschillen door verschillen in beheer, wel of geen toepassing van bevoeiing en de mate van indringing van oppervlaktewater in de percelen dan wel van onderaf door de kragge. Dit blijft complex en het is ook niet goed bekend waar de rietplanten in de Weerribben-Wieden voornamelijk hun voedingstoffen en mineralen precies vandaan halen; of dit meer oppervlakkig is, dieper in de wortelzone of zelfs van onder de kragge.

De verhoogde ammoniumconcentraties zouden verklaard kunnen worden door de toegenomen atmosferische stikstofdepositie in de regio (Van Diggelen et al. 2018, Bobbink 2021, Van Dijk et al, 2021, Bobbink et al. 2022). Stikstofdepositie kan bijdragen aan een overmaat aan stikstof in de bodem en

daarmee aan de kwaliteit van het riet (Greef en Horlings, 2016; Guan et al., 2019). Een verhoogde N-beschikbaarheid en daarmee hogere N:P ratio in het riet kan leiden tot relatieve P-limitatie (Olde Venterink et al., 2003). Daarnaast kan stikstofdepositie ook leiden tot verzuring van de bodem en hiermee de successie van basische naar zure condities stimuleren. Zo bleek ook uit eerder onderzoek aan veenmosrietlanden dat de pH in de wortelzone lager was in veenmosrietlanden met hogere atmosferische stikstofdepositie (Van Diggelen et al. 2018, Van Dijk et al. 2021).



Figuur 4.1. Een samenvattende schematische weergave van de belangrijke factoren langs een schaal van rietproductie, met een lage rietproductie links en een hoge rietproductie rechts in het figuur. De factoren zijn in drie categorieën ingedeeld; voedselrijkdom (nutriëntbeschikbaarheid) (in rood), basenrijkdom (in geel) en vegetatieve successie (in groen), hoe donkerder de kleur hoe hoger.

Over het algemeen lijken de rietvariabelen stengellengte, stengeldikte, en biomassa vergelijkbare correlaties te vertonen met de gemeten variabelen/factoren. Stengeldichtheid wijkt hier iets van af en stengelhardheid vertoont andere correlaties. In de huidige studie is stengelhardheid bepaald door in het

veld te bepalen bij welke knoop de stengel gemakkelijk indeukt. Dit is niet een hele exacte meetwaarde, maar geeft wel een indicatie voor de hardheid van de rietstengel. In de literatuur wordt de stevigheid (hardheid) of verteerbaarheid van rietstengels toegeschreven aan de concentraties van lignine en silicium in de rietplant (Greef en Horlings 2016). In deze studie zijn de lignineconcentraties niet bepaald, maar wel de totale siliciumconcentraties in de plant. Hieruit kwam echter juist een negatieve (tegenovergestelde) relatie naar voren: dus hoe hoger de siliciumconcentratie hoe lager de hardheid van de rietstengel. Het lijkt er dus sterk op dat, in tegenstelling wat in Greef en Horlings (2016) beschreven is, de siliciumconcentratie in de plant geen goede indicatie is voor de hardheid van de stengel, eerder juist het tegenovergestelde. In artikelen over plantenfysiologie is ook beschreven dat silicium de opname van nutriënten en de biomassa-productie kan bevorderen én dat silicium koolstofverbindingen in de plant (zoals lignine) kan vervangen en hiermee dus mogelijk juist de hardheid/stevigheid van de plant verlagen (Huang et al. 2025). In de huidige studie zijn niet afdoende gegevens verzameld om in meer detail hierop in te gaan, maar kan wel geconcludeerd worden dat totale siliciumconcentratie mogelijk geen goede indicatie is voor de hardheid/stevigheid van rietstengels. De variatie van siliciumconcentraties in de onderzochte percelen lijkt waarschijnlijk veroorzaakt te zijn door Si-rijkere zandbodem in de ondergrond en/of aanvoer van Si-rijker inlaatwater, maar dit is niet in detail onderzocht.

Riet kan niet alleen de voedingsstoffen en mineralen uit de bodem halen, maar ook uit het grond- en oppervlaktewater, zowel in de wortelzone als van onder de kragge indien de plant daar wortels heeft (wat in het onderzoek overal het geval was). Zeker wanneer de bodem voedselarm is, kunnen voedingsstoffen uit het grond- en oppervlaktewater ook van belang zijn. Daarnaast kan de samenstelling van het oppervlaktewater de bodemkwaliteit beïnvloeden. Dit is uiteraard erg afhankelijk van de mate waarin de bodem in contact staat met het oppervlaktewater. Zeker in kraggensystemen kan de invloed van oppervlaktewater in jonge dunne kraggen nog groot zijn, maar neemt deze in oudere en dikkere kraggen sterk af. Op locaties waar inundatie optreedt door peilfluctuaties ofwel actief bevoeid worden, neemt de invloed van oppervlaktewater logischerwijs ook toe. De waterkwaliteit in de Weerribben-Wieden is in de afgelopen decennia veranderd, waarbij veelal is gestuurd op het verlagen van de fosforconcentraties door de fosforbelasting te verlagen en tegelijkertijd de basenrijkdom hoog te houden, ten behoeve van de KRW-doelen en instandhouding en uitbreiding Natura2000 habitattypen (Cusell et al. 2022). Deze maatregelen, en de afgenomen fosforconcentraties in het oppervlaktewater kunnen eraan bijgedragen hebben dat (1) ook de fosforbeschikbaarheid op de percelen is afgenomen, (2) fosforlimitatie in rietplanten op een deel van de locaties toegenomen is en (3) er een afname is in rietgroei en de opbrengsten op deze percelen. Het complexe hierbij is wel dat juist de meest basenrijke locaties met goed ontwikkelde habitattypen -trilveenvegetaties- juist ook gelimiteerd zijn in fosfor (Cusell et al. 2014b; Van Diggelen et al. 2018). Hogere concentraties van calcium en ijzer kunnen namelijk ook verbindingen aangaan met fosfor waardoor het minder makkelijk beschikbaar is voor planten (Kooijman et al. 2020). Het is dus zeker niet zo dat basenrijk ook nutriëntrijk is of zuur altijd nutriëntarm, dit zijn verschillende processen die door elkaar heen kunnen lopen en sterk afhankelijk zijn van de beschikbaarheid van basen en nutriënten (concentraties), de aan- en afvoer van basen en nutriënten door de tijd (flux) en de interactie met (grond-)waterstand en de opname door planten (Lamers et al. 2015). De precieze invloed van de verandering van het oppervlaktewater of water onder de kragge kon in dit correlatieve onderzoek niet meegenomen worden.

Zoals eerder benoemd blijkt uit meerdere studies dat rietproductie afhankelijk is van meerdere factoren en niet altijd eenduidig te koppelen aan nutriëntenbeschikbaarheid (Ostendorp 1989, van der Putten 1997, Tylová et al. 2013). Ook uit onze studie en uit de eerdere studie van Van Hall-Larenstein (Daemen et al., 2021) in de Weerribben-Wieden bleek op basis van enkele metingen op een beperkt aantal percelen dat naast voedselrijkdom ook de successie een rol speelt in de verminderde rietopbrengsten. De basenrijkdom/buffering van de bodem bleek in onze studie onderscheidend te zijn tussen

verschillende vegetatietypen en de hieraan gekoppelde successiestadia. De jongere successiestadia (met name trilveen) waren meer gebufferd (o.a. meer calcium in de bodem en hogere EGV) dan de oudere stadia (met name veenmosrietland) en hadden een hogere rietopbrengst. Riet groeit doorgaans optimaal op licht zuur tot licht basische omstandigheden (de Bruijn, 2024). Bij successie neemt de invloed van basenrijk (o.a. calcium) oppervlaktewater af en wordt de omgeving steeds zuurder. Dit komt zowel door een afname van de invloed van oppervlaktewater van onderaf doordat de kragge dikker wordt en door afname van oppervlaktewater vanaf de rand ofwel van bovenaf doordat de kragge hoger boven het oppervlaktewater komt en inundaties minder of niet meer voorkomen. Dit leidt tot lagere grondwaterstanden, snellere verdroging, verzuring en een grotere invloed van regenwater. Deze factoren samen kunnen de groei van andere plantensoorten bevorderen. De afgelopen decennia blijkt dat in veel laagveengebieden de successie van reeds bestaande kragges versneld wordt door verdroging, vermesting en verzuring (van Diggelen et al., 2018). Dit kan hebben bijgedragen aan de waargenomen afgenomen rietopbrengsten in bepaalde percelen. Het moet wel benadrukt worden dat de resultaten in dit huidige onderzoek correlaties zijn en geen causale verbanden. Daarbij kunnen de oorzaken van een eventuele afname van de rietopbrengst per perceel verschillen. Uit de vergelijking van de aanwezige vegetatie op de onderzochte percelen met oudere vegetatieopname komt dan ook een divers beeld naar voren. Er zijn zeker percelen waar op basis van de vegetatiesamenstelling aanwijzingen zijn dat er verzuring opgetreden is en dat er een verlaging van de nutriëntbeschikbaarheid heeft plaatsgevonden. Maar er zijn ook percelen waar op basis van de vegetatiesamenstelling juist aanwijzingen zijn voor een basenaanrijking en eutrofiëring (toename van voedselrijkdom). Dit benadrukt dat de sturende factoren voor de rietgroei ook lokaal kunnen verschillen en dat ook beheer hier een rol in kan spelen. Uit dit onderzoek komen dus naar voren dat er verschillende relaties bestaan tussen verschillende rietvariabelen en abiotische factoren. Welke achterliggende processen ten grondslag liggen aan de afname van de rietproductie in de afgelopen decennia kan hiermee echter niet verklaard worden omdat de historische situatie niet goed bekend is. Het is dus simpelweg niet bekend hoe deze factoren (zoals de fosforbeschikbaarheid of de basenrijkdom) in de percelen in de afgelopen decennia veranderd zijn.

4.2 Effecten van beheer

Effecten van beheermaatregelen zijn in de huidige studie niet onderzocht, hier kunnen dus ook geen harde uitspraken over gedaan worden. Ondanks dat er navraag is gedaan naar het gevoerde beheer op de onderzochte percelen is het niet gelukt voldoende gegevens op een gestandaardiseerde wijze boven tafel te krijgen. De huidige onderzoekopzet en beschikbaarheid van data lenen zich dan ook niet goed om uitspraken te doen over de effecten van beheermaatregelen. Wel kunnen er op basis van 'expert judgement' en kennis uit andere studies indicaties gegeven worden over mogelijke effecten van verschillende beheermaatregelen. Enkele maatregelen die hier besproken worden zijn: bevoeiing, maaien en afvoeren, plaggen en bemesten.

Bevoeiing

Bevoeiing ofwel inundatie kent verschillende vormen. Zo is er (1) een 'natuurlijke' vorm van inundatie door fluctuaties in het oppervlaktewaterpeil waardoor periodiek percelen geïnundeerd worden. In een historische context trad deze vorm van inundatie veel vaker op dan onder de huidige condities met een veel intensiever waterpeilbeheer met een veel smallere peilmarge. Maar nog steeds zijn er delen van percelen in de Wieden en Weerribben die door kleine fluctuaties in het oppervlaktewaterpeil periodiek geïnundeerd worden ofwel waar de wortelzone door oppervlaktewater beïnvloed wordt. Daarnaast is er (2) actieve inundatie van percelen door bevoeiing van percelen. Bij actieve bevoeiing wordt het

oppervlaktewater actief een perceel opgepompt en is de aanvoer van water en stoffen in het water over de tijd vaak dan ook vele malen hoger dan bij 'natuurlijke' inundatie (Cusell et al. 2026). Uit recente onderzoeken aan bevloeiing (in het kader van instandhouding en uitbreiding van basenrijke natuurstype in laagveengebieden) blijkt dat bevloeiing kan leiden tot een verhoging van de basenrijkdom van de bodem, indien er bevoeid wordt met basenrijk oppervlaktewater (Aggenbach et al. 2021, Cusell et al. 2026). Tevens bleek dat indien er inundatie optreedt met basenrijk oppervlaktewater, de successie van de vegetatie en verzuring en verdroging af kan remmen, mede doordat de veenmossen sterk in hun groei geremd worden of zelfs afsterven (Koks et al. 2022, Cusell et al. 2026). Enkele van deze experimenten hebben ook in de Wieden (Aggenbach et al. 2020) en in de Weerribben (Aggenbach et al. 2022) plaatsgevonden. Naast een verhoging van de basenrijkdom kan bevloeiing ook de beschikbaarheid van nutriënten verhogen, deels door de fluctuatie in waterstanden en deels door de aanvoer van nutriënten vanuit het oppervlaktewater. Dit effect is uiteraard sterk afhankelijk van de samenstelling van het oppervlaktewater en het debiet (en flux/hoeveelheid) water waarmee bevoeid wordt, de duur van de inundatie en de samenstelling van de bodem. Zo bleek bijvoorbeeld in het bevloeiingsexperiment in de Weerribben, waar door een hoge wegzijging in de experimentele vakken een hoog debiet gehanteerd moest worden om inundatie te realiseren, dit op termijn leidde tot een verhoogde aanvoer van nutriënten, een verhoging van de fosforconcentraties en verruiging van de experimentele onderzoeksplots (Aggenbach et al. 2022). Het toepassen van de maatregel bevloeiing kan de basenrijkdom van de bodem verhogen en de vegetatiesuccessie afremmen. En bevloeiing kan in mindere mate ook bijdragen aan een verhoging van de nutriëntbeschikbaarheid. Bevloeiing leidt er in ieder geval toe dat de invloed van het oppervlaktewater sterk wordt vergroot en veel verder in het perceel doordringt dan zonder bevloeiing. Het effect van deze maatregel is wel erg sterk afhankelijk van de samenstelling van het water, de hoeveelheid en de inundatieduur. Het is waarschijnlijk dat er ook voor de rietproductie sprake zal zijn van een optimum in samenstelling van het water, inundatieduur en diepte. Waar dat optimum precies ligt vraagt om nader experimenteel onderzoek.



Figuur 4.2. Enkele impressies van rietlanden met rietteelt in de Wieden en Weerribben en een rietland tijdens bevloeiing (rechtsonder).

Maaien en afvoeren

Het huidige beheer van percelen met rietteelt in grotere laagveengebieden zoals de Weerribben en Wieden betreft vaak een combinatie van rietteelt met natuurbeheer. Dit betekent dat in de winter de vegetatie gemaaid en afgevoerd wordt. Dit is dus niet een aanvullende beheermaatregel, maar wel een maatregel waarmee in potentie ook voedingsstoffen worden afgevoerd. Doormiddel van jaarlijks maaien en afvoeren zal op termijn de bodem langzaam maar zeker kunnen verschrallen doordat er voedingsstoffen worden afgevoerd. Verhoudingsgewijs worden er echter met rietteelt weinig nutriënten afgevoerd omdat de vegetatie pas na het groeiseizoen geoogst wordt en hierdoor het merendeel van nutriënten en andere belangrijke mineralen en voedingsstoffen door de planten getransporteerd zijn naar de wortelstokken. De verschillen in nutriëntgehalten in riet tussen de zomer en de winter laten dit dan ook duidelijk zien (paragraaf 3.2). Uit een grove inschatting op basis van de fosforconcentraties in de rietplanten in vergelijking met fosforconcentraties in de bodem komt dan ook naar voren dat het maaien en afvoeren van de vegetatie in het winterseizoen tot een verwaarloosbare afvoer van nutriënten leidt (zowel voor fosfor als stikstof) en hiermee over de jaren heen ook slechts een kleine bijdrage zal leveren aan de nutriëntenlimitaties in de rietlanden in de Weerribben en Wieden.

Plaggen

De maatregel plaggen zou toegepast kunnen worden met als doel het afvoeren van de verzuurde toplaag van de bodem én het terugzetten van de successie. Naast het afvoeren van de verzuurde toplaag, zal middels plagwerkzaamheden ook het maaiveld dalen en daarmee de invloed van oppervlaktewater kunnen vergroten en de kans op periodieke inundaties toenemen (zie ook maatregel bevoeiing) (Van Diggelen et al., 2021). Wel worden tijdens het plaggen ook de in de toplaag aanwezige nutriënten afgevoerd. Omdat in veel van de rietlanden de nutriëntconcentraties in de toplaag niet veel hoger zijn dan wat dieper in de bodem hoeft dit niet per se een probleem te vormen.

Bemesten

Een simpele maatregel om nutriëntentekorten op te heffen is door de nutriënten waar een limitatie in is ontstaan toe te voegen, ofwel bemesten. Directe bemesting van rietlandpercelen in het N2000 gebieden Weerribben en Wieden gaat echter in tegen de doelstelling vanuit de N2000 voor instandhouding en uitbreiding van N2000 habitatype waarbij het water- en natuurbeheer er juist op gericht is de beschikbaarheid van nutriënten te verlagen. Uit de huidige studie komt echter wel naar voren dat er meerdere indicaties zijn dat de rietgroei en rietproductie op een deel van de percelen onder de huidige condities geremd zou kunnen worden door een tekort aan nutriënten, van met name fosfor. We beschikken niet over gegevens van de bodem- en plantsamenstelling van deze percelen in het verleden, dus we kunnen niet hard onderbouwen dat de nutriëntlimitatie in de onderzochte rietlanden is toegenomen. Indien er toch bemest zou worden is het wel zaak goed te bekijken waarmee en met welke dosering te bemesten, omdat een te hoge beschikbaarheid van nutriënten of een scheve verhouding van nutriënten ook nadelig kan zijn voor rietgroei en de rietopbrengst. Dit kan namelijk leiden tot een sterkere concurrentie met andere vaatplanten (verruiging, zoals ook door rietsnijders is waargenomen die daarmee geëxperimenteerd hebben), fysiologische stress voor riet ofwel mogelijk te snel groeiend slap riet wat mogelijk niet aan de eisen voor dakriet voldoet. Daarnaast ontstaat bij bemesting snel het risico op uitspoeling van nutriënten naar de omgeving met mogelijke negatieve gevolgen voor de waterkwaliteit en de Natura2000 en KRW-doelstellingen.

Bekalken

Bekalking van percelen kan de basenrijkdom van de bodem verhogen. Bekalking is het meest effectief in combinatie met een verhoging van de invloed van oppervlaktewater, anders kan ook na bekalking de bodem weer snel verzuren (Van Diggelen et al. 2015, Kanters et al. 2022). Bekalking kan ook zeker met schommellende grondwaterstanden de mineralisatie van veen stimuleren en hiermee mogelijk leiden tot een lichte verhoging van de nutriëntbeschikbaarheid wat tot in bepaalde mate een positief effect kan hebben op de rietproductie (wanneer de nutriëntenbeschikbaarheid te hoog wordt kan weer verzuiging ontstaan). Maar met de toepassing van bekalking op rietlanden kan ook een risico op uitspoeling van nutriënten naar de omgeving ontstaan met mogelijke negatieve gevolgen voor de waterkwaliteit en de N2000 doelstellingen.

4.3 Hoe verder met rietteelt in de Weerribben-Wieden in een bredere context?

Uit informatie van betrokken rietsnijders blijkt dat de rietopbrengst op het merendeel van de percelen de laatste decennia afneemt ofwel stabiel blijft. In dit onderzoek zijn zo goed mogelijk de sturende abiotische factoren voor rietteelt in de Weerribben en Wieden beter in beeld gebracht.

Binnen dit onderzoek werd geen analyse gedaan naar de effecten van beheermaatregelen op de rietproductie (zie ook paragraaf 4.2). Op de verschillende percelen worden echter wel periodiek beheermaatregelen uitgevoerd om zo de rietproductie op peil te houden. Beheermaatregelen die op perceelniveau toegepast kunnen worden om de nutriëntbeschikbaarheid en/of de basenrijkdom, of successie te beïnvloeden zijn bijvoorbeeld bevoeiing, plaggen, bemesting en bekalking (zie paragraaf 4.2 voor details). Daarnaast zijn er ook maatregelen die op grotere schaal (gebiedsschaal ofwel regionale schaal) genomen kunnen worden. Hierbij valt te denken aan waterbeheer (waterkwantiteit), waterpeilfluctuaties, waterzuivering (waterkwaliteit) en ook het terugdringen van de stikstofdepositie.

Aangezien de Weerribben-Wieden een Natura2000-gebied is, zijn er bepaalde doelstellingen voor het gebied, zoals de instandhouding en uitbreiding van natuurdoelen en specifieke Natura2000 habitattypen. Om de voor het Natura2000 gebied gestelde doelen te halen wordt in de Weerribben en Wieden o.a. actief ingezet op zowel zomer- als wintermaaibeheer en op verlaging van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater en het behouden/verhogen van de basenrijkdom van het oppervlaktewater. Het doel van deze maatregelen is de instandhouding en uitbreiding van natuurdoelen en specifieke habitattypen (met een nadruk op habitatype trilveen) en het tegengaan van de door verdroging, verzuring en vermesting versnelde successie. De rietteelt is ten dele ook een vorm van natuurbeheer om bepaalde doelen te behalen. Zo worden doormiddel van het maaien de rietlanden open gehouden en de successie naar bijvoorbeeld moerasbos of rietruigte afgeremd. Tevens is het rietsnijden van cultuurhistorische en economische waarde. De resultaten van de huidige studie duiden op twee sturende factoren die de afname in rietproductie kunnen verklaren: de nutriëntenbeschikbaarheid en de basenrijkdom/successie. Het wegnemen van deze belemmerende factoren voor de rietproductie zullen deels tegen de Natura-2000 doelstellingen ingaan (nutriëntenbeschikbaarheid) en deels deze juist kunnen versterken (basenrijkdom/vegetatieve successie). Een verhoging van de basenrijkdom is een maatregel die niet alleen de Natura2000-doelstellingen ten goede zou komen maar voor een aantal percelen ook de rietproductie zou kunnen stimuleren. Het verhogen van nutriëntbeschikbaarheid zou voor een aantal percelen de rietproductie ten goede kunnen komen, maar leidt tegelijkertijd tot risico's tot eutrofiering van de omgeving en kan hiermee tegen de Natura-2000 doelstellingen ingaan. De indicatie dat op enkele percelen nutriëntenlimitaties de rietproductie onder de huidige condities lijken te belemmeren in combinatie met de doelstellingen vanuit het Natura-2000 gebied kunnen in de toekomst ertoe leiden dat de rietproductie verder zou afnemen.

Mogelijk zijn er in de toekomst ook mogelijkheden voor extra rietteelt in de omgeving van het Natura2000 gebied. Buiten het Natura2000-gebied, zoals op de veenweidepercelen gelden de doelstellingen van Natura2000 immers niet en is de bodem door agrarisch landgebruik waarschijnlijk voedselrijker dan binnen het Natura2000-gebied. Tegelijkertijd speelt in de veenweidepolders de problematiek van bodemdaling en verhoogde broeikasgasemissies en wordt er lokaal nagedacht over vernatting van veenweidepercelen in de toekomst om deze bodemdaling en broeikasgasemissies af te remmen. Op landelijke schaal wordt er de laatste jaren dan ook veel onderzoek verricht aan andere vormen van landgebruik in het veenweidelandschap onder nattere condities. Een van de mogelijkheden waar naar gekeken wordt is het inrichten van bufferzones rondom Natura2000 gebieden, het vernatten van veen(weide)percelen en het toepassen van natte teelten (ook wel paludicultuur genoemd) (Fritz et al. 2014, Wichmann et al. 2016, Temmink et al. 2023). Met name natte teelten zou een toepassing kunnen zijn waarin agrarische gebruik op een aangepaste manier voortgezet kan worden onder nattere condities waardoor tegelijkertijd bodemdaling en broeikasgasemissies gereduceerd worden (Geurts et al., 2019; Jong et al., 2021). Rietteelt is zo'n vorm van paludicultuur (Becker et al., 2020) en zou daarmee rondom de Weerribben en Wieden kunnen worden toegepast en ook als bufferzone kunnen dienen tussen het Natura2000 gebied en de agrarische veenweiden. De inrichting van een dergelijke bufferzone biedt mogelijk kansen voor aanvullende rietteelt en rietmoerassen en de hieraan gekoppelde biodiversiteit buiten de Natura2000 grenzen. Het creëren van nieuw rietland/moeras vanuit voormalige landbouwgronden is het vormen van een nieuw (eco)systeem. Uit verkennend onderzoek is gebleken dat omvorming van landbouwgronden naar eutrofe moerassen zoals rietlanden gebaat is bij meer kennis over de abiotische randvoorwaarden, een aanpasbaar water(peil)beheer en eventuele rietaanplant om rietvelden een goede start te geven (de Fouw et al., 2021). Op basis van onze data en expert judgement lijken er mogelijkheden te zijn voor omvorming naar veenweidegrasland naar vernatte percelen met rietteelt of rietmoeras in de omgeving van de Weerribben. Om een gedegen oordeel over te vellen over de geschiktheid van percelen voor toekomstige rietteelt zou op perceelniveau aanvullend onderzoek verricht moeten worden en zullen praktijkpilots uitgevoerd moeten worden. Deze toekomstbeelden over de (her)inrichting van het landschap en mogelijkheden voor rietteelt vergen wel grote uitgaven voor de regio, riettelers, agrariërs, omwonenden en uitgaven voor de planologie en gebiedsinrichting. Dit gaat dan ook ver buiten de doelstelling van de huidige studie.

4.4 Kennislacunes en beperkingen van het onderzoek

Dit onderzoek was gericht op de sturende (met name) abiotische condities voor rietproductie in de Weerribben en Wieden. Het is gelukt om deze (a)biotische condities goed in beeld te brengen. Tijdens het onderzoek zijn er echter ook enkele kennislacunes naar voren gekomen die hier kort worden benoemd.

- Het is minder goed bekend hoe de in deze studie bepaalde condities zich verhouden tot andere rietlanden waar riet geteeld wordt voor dakriet (zowel binnen als buiten Nederland). En daarmee is het ook onbekend hoe de rietproductie op die locaties zich verhoudt tot de abiotische omstandigheden waarin het riet groeit. Er zijn wel studies aan de abiotische omstandigheden, maar studies die op een gedegen wijze zowel de abiotische condities en omgevingscondities én de rietvariabelen bepaald hebben zijn ons niet bekend. Het zou interessant en waardevol zijn om met behulp van dergelijke gegevens meer inzicht te krijgen in (a) hoe de (trends in) rietopbrengsten in de Weerribben en Wieden zich verhouden tot andere locaties; en (b) of dezelfde of juist andere (a)biotische condities sturend zijn op andere locaties.
- In het huidige onderzoek is expliciet gekozen voor een correlatief onderzoek. Er is gekozen voor het opzoeken van een zo groot mogelijke spreiding in ruimte, opbrengsten, abiotische condities, vegetatiesamenstelling etc. binnen één groeiseizoen in het gebied. Hiermee is bewust allerlei

variatie uitgesloten om zo goed mogelijk te kunnen onderzoeken hoe de abiotische en omgevingsvariabelen de variatie in rietvariabelen verklaren. Dit betekent echter ook dat de effecten van andere factoren zoals de invloed van klimaatsverandering, invloed van weersomstandigheden (droogte, neerslag, vorst, warmte), lange termijnveranderingen in bijvoorbeeld lucht- en waterkwaliteit en effecten van beheermaatregelen op de rietopbrengst niet onderzocht zijn. Tijdens de startbijeenkomst en via aangeleverde informatie kwam bijvoorbeeld naar voren dat er aanwijzingen zijn dat de rietopbrengst afnam na extreem droge jaren, zoals in 2018/2019. Tevens werd benoemd dat de veranderende waterkwaliteit in de afgelopen jaren mogelijk een negatief effect lijkt te hebben op de rietopbrengsten. Deze informatie is uiteraard wel benoemd in dit rapport waar van toepassing, maar het nader onderzoeken van de daadwerkelijke effecten van deze mogelijke relaties zou een andere onderzoeksopzet vereisen.

- Tijdens het onderzoek bleek dat op locaties waar sprake is van een kragge, de rietwortels doorgaans door de kragge heen groeien en ook wortelen in de waterige laag onder de kragge. De verwachting is dat het riet een deel van de voedingsstoffen hier vandaan haalt. We hebben echter de bodem tot 50 cm-mv gemeten en niet gemeten (op één locatie na) wat de samenstelling is van het water onder de kragge. Daardoor is het ook niet meegenomen in het model (zie paragraaf 2.6) en kunnen we geen uitspraken doen over de invloed van dit water op de productie van het riet.
- In het onderzoek hebben we verschillende rietvariabelen gemeten (stengellengte, stengeldikte, biomassa, stengeldichtheid en 'hardheid' van de stengels). In veel gevallen worden lengte en dikte als belangrijk parameters benoemd voor een goede rietopbrengst alsmede de opbrengst in aantal bossen per hectare. Het aantal rietbosjes per hectare is uiteindelijk de oogst waar het de rietsnijder om gaat. We hebben echter binnen deze studie van te weinig betrokkenen de opbrengstgegevens ontvangen om onze resultaten goed uit te kunnen zetten tegen het aantal bossen per hectare. De gegevens die we wél ontvangen hebben lieten een verband zien met vooral biomassa en in iets mindere mate met dikte en lengte. Ondanks het gebrek van veel gegevens, kan er wel van uitgegaan worden dat deze variabelen een goede indicatie geven voor het aantal bossen per hectare. Samengevat zien we wel veel overeenkomsten in de trends tussen stengellengte, stengeldikte, stengeldichtheid van riet en rietbiomassa. 'Stengel hardheid' lijkt overigens een minder duidelijke maat die van belang is voor de rietopbrengst. Onze resultaten laten verder zien dat er niet één omgevingsvariabele is die van significante invloed is op alle rietvariabelen, maar dat juist verschillende omgevingsvariabelen meespelen voor verschillende rietvariabelen. Eventueel te kiezen beheermaatregelen kunnen dan ook bepalend zijn in het verbeteren van bijvoorbeeld ofwel lengte ofwel dikte. Voor toekomstig onderzoek ofwel voor concreter handelingsperspectief en keuzes in beheermaatregelen is het hierom van belang meer inzicht te hebben in welke van de rietvariabelen de belangrijkste is voor de productie en oogst voor bijvoorbeeld dakriet.
- Hoewel we in dit onderzoek veel verschillende (abiotische) omgevingsfactoren in relatie tot verschillende rietvariabelen hebben onderzocht, zijn de effecten van verschillende beheermaatregelen om de rietopbrengsten te verbeteren niet onderzocht. Op basis van huidige kennis en ervaring is wel getracht enig inzicht te geven in bepaalde mogelijke beheermaatregelen zowel op perceelniveau binnen het Natura2000-gebied (paragraaf 4.2) als ook buiten het Natura2000-gebied (paragraaf 4.3). De huidige studie zou wel een basis kunnen vormen voor veldexperimenten en/of praktische pilots waarin de effecten van beheermaatregelen in rietlanden ofwel de toepassing van rietteelt op vernatte voormalige veenweidepercelen onderzocht zouden kunnen worden (zie paragraaf 5.2 voor aanbevelingen).

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Er is een correlatief onderzoek uitgevoerd in Nationaal Park Weerribben en Wieden waarin op een 40-tal locaties de rietvariabelen (stengellengte, -dikte, -dichtheid, -biomassa en hardheid van de rietstengels) de abiotische condities (nutriëntenbeschikbaarheid, basenrijkdom, pH etc.) en omgevingsvariabelen (bodemtypen, kraggedikte, vegetatiesamenstelling etc.) gemeten zijn. Hierbij is getracht zoveel mogelijk van de aanwezige variatie binnen percelen met wintermaaibeheer in het gebied mee te nemen om hiermee te achterhalen welke factoren de aangetroffen variatie in rietvariabelen het best kunnen verklaren. Aanvullend hierop zijn de condities binnen het Nationaal Park Weerribben-Wieden vergeleken met enkele locaties in het omliggende veenweidegebied.

Uit het onderzoek kunnen verschillende conclusies getrokken worden:

- Er blijken meerdere abiotische factoren en omgevingsfactoren te zijn die een relatie hebben met de rietopbrengsten. Deze factoren hebben echter soms ook onderling een relatie en kunnen verschillen per rietvariabele en locatie.
- Grof samengevat blijken twee typen factoren de meeste variatie te verklaren, dat zijn:
 - (1) de nutriëntenbeschikbaarheid;
 - (2) de basenrijkdom
 - (3) de successie

De stengellengte, stengeldikte en biomassa van riet blijken hoger te zijn op locaties met een hoger fosforgehalte van de bodem, lagere K:P ratio's in de plant en een hogere basenverzadiging in de bodem. De stengelhardheid wijkt hier vanaf, deze blijkt hoger te zijn op locaties met hogere C:N ratio's in de plant en lagere ijzerconcentraties in de bodem. Naast de abiotische factoren die de variatie in verschillende rietvariabelen verklaarde bleken ook de successie en de basenrijkdom gezamenlijk een verklarende factor voor de rietproductie. Zo bleek dat met name stengellengte van riet, stengeldikte van riet en de rietbiomassa hoger zijn in de basenrijkere, vroege stadia van de vegetatieve successie in laagvenen en afnemen naarmate de successie voortschrijdt naar zuurdere en drogere successiestadia.

- Effecten van beheermaatregelen zijn in de huidige studie niet onderzocht, hier kunnen dus ook geen uitspraken over gedaan worden. Het huidige onderzoek geeft wel goed inzicht in welke factoren de rietproductie beïnvloeden en waar met beheer op gericht kan worden.
- Ook is uit de analyses in enkele veenweidepercelen rondom de Wieden Weerribben gebleken dat de condities hier gunstig zouden kunnen zijn voor rietteelt. Voor de toekomst van de rietteelt in de regio van de Weerribben en Wieden in een bredere context wordt aangeraden rietteelt te blijven combineren met natuurbeheer in het Natura-2000 gebied, maar ook de mogelijkheden te onderzoeken voor potentiële rietteelt op vernatte veenweidepercelen en/of de ontwikkeling van rietmoerassen in bufferzones tussen het Nationale park en de omliggende landbouwpolders.

5.2 Aanbevelingen

- *Toekomstig handelingsperspectief*

Uit het huidige onderzoek zijn verschillende factoren naar voren gekomen die de rietproductie in de rietlanden in de Wieden en Weerribben beïnvloeden. Dit biedt veel inzicht, maar betreffen correlatieve verbanden en zijn geen causale relaties ('oorzaak-gevolg'). Direct inzicht in factoren die de rietproductie op een bepaald perceel belemmeren is complex. Wel kan een indicatie verkregen worden doormiddel van bodem- en plantanalyses te verrichten op een bepaald perceel en een vergelijking te maken met de in deze studie aangetroffen ranges.

Om meer inzicht te krijgen in direct causale effecten van bepaalde factoren op de rietproductie dient aanvullend onderzoek verricht te worden om deze aan te kunnen tonen. Met dit inzicht kunnen vervolgens gerichte maatregelen worden gekozen. Hierbij wordt gedacht aan een combinatie van laboratorium- en veldexperimenten waarin onder gecontroleerde condities de effecten van bepaalde factoren op de rietgroei en -productie worden onderzocht. In paragraaf 4.2 is kort beschreven wat er bekend is over mogelijk effecten van diverse beheermaatregelen. De resultaten van deze studie geven inzichten in de 'stuurknoppen' waardoor aanvullende onderzoeken middels veldexperimenten of pilotproeven efficiënt vormgegeven kunnen worden. De kans is groot dat daarmee een concreet handelingsperspectief opgesteld kan worden. We voorzien een onderzoeksopzet waarbij over een periode van circa 5 jaar op enkele locaties (bijvoorbeeld vijf locaties) met een lage rietproductie onder gecontroleerde condities onderzocht wordt of de rietproductie verhoogd kan worden door de effecten van verschillende maatregelen te onderzoeken. Hiervoor zouden op delen van percelen (in vergelijkbare vlakken en met herhalingen) effecten van maatregelen op de rietgroei en rietopbrengst gemonitord kunnen worden. Hierbij kan gedacht worden aan de onderstaande maatregelen: plaggen, inundatie (doormiddel van bevoeiing), bekalking, bemesting. Daarnaast kunnen ook combinaties van bovenstaande maatregelen onderzocht worden. Zulke veldexperimenten zijn uitermate geschikt voor dit soort praktisch toegepaste vragen. Een belemmering van veldexperimenten kan wel zijn dat het lastig kan zijn de effecten van verschillende factoren uit elkaar te rafelen. Om effecten van specifieke behandelingen op rietgroei in meer detail in beeld te krijgen zouden laboratoriumexperimenten uitgevoerd kunnen worden. Hierbij kan gedacht worden aan het uitvoeren van zogenaamde mesocosmos-experimenten onder gecontroleerde condities waarin behandelingen met meerder herhalingen onderzocht en statistisch getoetst zouden kunnen worden.

- *Waar haalt riet zijn voedingsstoffen en mineralen vandaan*

Van riet is bekend dat het lange en diepe wortels kan maken, dat is ook in de huidige studie waargenomen, met wortels die soms diep onder kragge uitkwamen. Het is echter niet goed bekend welke wortels van de plant nog vitaal zijn en waar en in welke bodemlagen de planten voedingsstoffen en mineralen vandaan halen. Dit kan oppervlakkig in de wortelzone zijn, maar ook dieper in de wortelzone of zelfs het oppervlaktewater ofwel in onderliggende waterbodem onder de kragge. Hier kan dan ook (afhankelijk van de kraggedikte en worteldiepte) een invloed zijn van de samenstelling van het oppervlaktewater en de rietkwaliteit. Het is echter met de hier verzamelde gegevens niet mogelijk om aan te tonen of en in welke mate riet voedingsstoffen en mineralen alleen de bodem of ook uit het onderliggende oppervlaktewater en waterbodem haalt. Een te lage beschikbaarheid van nutriënten, zoals fosfor, kan tot limitaties leiden en een verlaagde rietgroei. Maar een te hoge beschikbaarheid van nutriënten, zoals fosfor, kan ook leiden tot verzuivering van rietlanden en een slechtere rietkwaliteit. Aanvullend onderzoek aan waar riet zijn voedingsstoffen en mineralen precies vandaan haalt kan inzicht geven in handelingsperspectief om de condities voor rietgroei en rietproductie te verbeteren.

- Effecten op rietproductie meenemen in lopende en toekomstige projecten & onderzoeken*

Uit deze studie en het literatuuronderzoek is naar voren gekomen dat er verhoudingsgewijs meer onderzoek gedaan is aan de effecten van water- en natuurbeheer op bodemprocessen, soorten en habitattypen dan hoe deze effecten doorwerken op rietgroei en rietproductie. Wij bevelen dan ook aan om in lopende en toekomstige projecten en onderzoeken in laagveenlandschappen ook de effecten op rietvariabelen en hiermee op rietproductie mee te nemen. Dit geldt zowel voor lopende en toekomstige inrichting- en uitvoeringsprojecten als onderzoeksprojecten. Vaak zouden hier met beperkte extra inzet van tijd en budget ook de effecten op rietgroei en rietproductie meegenomen kunnen worden. Bijvoorbeeld door alleen de rietstengeldichtheid, -dikte en -lengte te meten van 10 representatieve stengels. Dat vraagt vaak om slechts zo'n 10-15 minuten aan extra werk bij een vegetatieopname maar levert waardevolle informatie op.
- Effecten van weer en klimaatsverandering*

Binnen de huidige studie is er bewust gekozen om onderzoek te doen in één kalenderjaar om hiermee zo goed mogelijk de effecten van de condities op de rietvelden op de rietproductie in beeld te brengen en door weer en klimaat veroorzaakte variatie zo veel mogelijk uit te sluiten. Nu zijn er wel allerlei aanwijzingen dat ook factoren als droogte, neerslag, vorst en waterstandfluctuaties de rietproductie van jaar tot jaar kunnen beïnvloeden. We adviseren dit beter te analyseren via ofwel een nadere analyse van beschikbare oogstgegevens en klimaat-/weergegevens in het verleden en/of dergelijk soort gegevens (beter) te gaan monitoren.
- Effecten van historie en beheer*

Binnen de huidige studie heeft de nadruk gelegen op de (biogeochemische) standplaatsfactoren in relatie tot rietproductie. Andere factoren als de effecten van beheer (zoals het moment van maaien, toepassing en intensiteit van bevloeiing e.d.), de ouderdom van de kragge, eventuele verdichting van de bodem voor maaien met zwaar materiaal en het historisch gebruik zijn in dit onderzoek niet onderzocht. Dit kunnen echter wel factoren zijn die van invloed kunnen zijn op rietgroei en rietproductie op percelen, welke ten dele ook indirect terugkomen in de in deze studie onderzochte variabelen.
- Effecten in de Weerribben-Wieden in een bredere context*

In deze studie zijn verschillende factoren onderzocht die de rietproductie in de rietlanden in de Weerribben en Wieden beïnvloeden. Voor een bredere context en inzicht in welke factoren rietgroei en rietproductie beïnvloeden in Nederland of zelfs daarbuiten, adviseren we vergelijkbare gegevens ofwel een selectie van gegevens als in deze studie ook in andere gebieden te verzamelen waar riet geteeld wordt om nog beter in beeld te krijgen welke factoren het meest sturend zijn. Dergelijke gegevens kunnen meer inzicht bieden in (a) hoe de (trends in) rietopbrengsten in de Weerribben en Wieden zich verhouden tot andere locaties; en (b) of dezelfde of juist andere (a)biotische condities sturend zijn op andere Nederlandse ofwel buitenlandse locaties. Hierbij kan gedacht worden aan andere gebieden in Nederland zoals de Alde Feanen, Nieuwkoopse plassen, Oostelijke vechtplassen etc. maar ook naar regio's met rietteelt in landen als bijvoorbeeld Polen, Roemenië en landen in de Baltische staten. Ook de mogelijkheden voor rietteelt in de randzones van natuurgebieden, bufferzones om de natuurgebieden en de omliggende veenweidepolders zouden onderzocht kunnen worden. Hier kunnen ook andere doelstelling als het vernatten van veenbodems ter reductie van bodemdaling en broeikasgasemissies te reduceren, de ontwikkeling van bufferzones om Natura 2000-gebieden, de ontwikkeling van eutrofe moerassen en de toepassing van natte teelten op vernatte veenweidebodems samenkomen.

- *Invloed van abiotische en omgevingscondities op rietkwaliteit voor dakriet*
In deze studie is gekeken naar welke factoren de rietproductie beïnvloeden. Ook is er gekeken naar bepaalde aspecten van de chemische samenstelling van de rietplanten (totale elementconcentraties en nutriëntstoichiometrie) in de zomer én in de winter. Maar naast deze gegevens en algemenere gegevens als rietstengellengte en -dikte e.d. is er niet naar de kwaliteit en samenstelling van het riet gekeken. Er is bijvoorbeeld niet gekeken naar lignineconcentraties, of de mate van afbreekbaarheid van de rietstengels. Hierdoor kunnen we geen uitspraken doen over of en op welke manier de verbanden die aangetroffen zijn tussen abiotische factoren en de rietproductie de duurzaamheid van het riet als dakriet beïnvloeden. Het wordt hierom geadviseerd hier meer kennis over te verzamelen zodat beter ingeschat kan worden welke omstandigheden in de rietlanden van belang zijn voor de duurzaamheid van riet op het dak.
- *Rietopbrengst monitoren*
Binnen dit project is er veel kennis vergaard over welke factoren de rietopbrengst verklaren. Er is echter helaas slechts van een paar percelen goed bekend wat de opbrengst aan rietbossen per hectare is en hoe deze door de jaren heen is veranderd. We adviseren dan ook om de rietopbrengst op, in ieder geval de onderzoeklocaties, in de komende jaren zorgvuldig bij te houden. Het gaat hierbij om het aantal bossen per hectare en de dikte van die bossen. Dit is een relatief kleine moeite en deze informatie is van groot belang om de ontwikkeling van de rietproductie te blijven monitoren. En dit biedt tevens een goede basis om over een aantal jaren een eventuele vervolg/herhaalmonitoring mogelijk te maken om hiermee nog beter inzicht te krijgen in welke factoren rietgroei en rietproductie beïnvloeden. Daarnaast zou het erg waardevol zijn om meer informatie te verzamelen over rietopbrengsten in het verleden en trends van deze opbrengsten door de tijd. Waarschijnlijk zijn er meer (historische) gegevens aanwezig bij rietsnijders zelf ofwel in archieven. Vergelijkingen van trends van rietopbrengsten in het (verre) verleden met oude gegevens over de samenstelling van de bodem en het oppervlaktewater zouden interessante inzichten op kunnen leveren.
- *Herhaling van deze studie over 10 jaar*
Eén van de ontbrekende onderdelen in de huidige studie is het ontbreken van een historische reconstructie. Het is niet mogelijk om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van belangrijke abiotische parameters zoals de fosforbeschikbaarheid en basenrijkdom in de bodem. Het is daardoor niet mogelijk om vast te stellen hoe en of de chemische samenstelling van de bodem veranderd is door de tijd en wat het effect daarvan is geweest op de rietproductie en of de afname van het nutriëntaanbod in het oppervlaktewater, ofwel beheermaatregelen daar een rol in hebben gespeeld. We adviseren daarom om het huidige onderzoek over circa 10 jaar op dezelfde locaties te herhalen in combinatie met een monitoring van de rietopbrengst en het gevoerde beheer door de jaren (zie ook vorige punt).



Figuur 5.1. Impressie van het veldwerk, waaronder de prikstokmeting (linksonder) en bodembemonstering (rechts).

6 Dankwoord

We willen via deze weg onze opdrachtgever, het Natuurcollectief Noordwest-Overijssel en in het bijzonder Wout van de Belt en Egbert Wever, bedanken voor het vertrouwen in ons consortium voor het uitvoeren van dit onderzoek en de prettige samenwerking. Daarnaast zijn we Part-Ner en Stimuland dankbaar voor hun bijdrage aan de organisatie van de subsidie voor dit onderzoek en de hulp aan het organiseren van informatieavonden en kennisuitwisselingsmomenten tijdens het project. We willen SBNL Natuurfonds en Provincie Overijssel hartelijk danken voor de financiering van dit onderzoek.

En dit onderzoek was niet mogelijk geweest zonder de enthousiaste medewerking van alle rietsnijders, pachters en rietlandeigenaren, Natuurmonumenten en Staatsbosbeheer aan dit onderzoek. Dank voor de toegang tot percelen, het lenen van bootjes en het leveren van praktische informatie over de percelen.

Tot slot was dit onderzoek niet mogelijk geweest door de praktische hulp van vele collega's en studenten tijdens de vele lange veldwerkdagen in de zomer én in de winter. Dank aan al de laboranten van Onderzoekcentrum B-WARE voor het verwerken en analyseren van alle water-, bodem- en rietmonsters. Piet-Jan Westendorp wordt bedankt voor het kritisch becommentariëren en tekstueel aanscherpen van de rapportage.

Wij hebben ons met heel veel plezier samen met jullie allen verder verdiept in de wereld van het riet.

Veel dank!

Yvon, Gijs, Eva, Koen, Casper, Jim & Fons

7 Literatuur

- Adams, J.B., & Bate, G.C. (1999). Growth and photosynthetic performance of *Phragmites australis* in estuarine waters: a field and experimental evaluation. *Aquatic Botany*, 64(3-4), 359-367. [https://doi.org/10.1016/s0304-3770\(99\)00063-7](https://doi.org/10.1016/s0304-3770(99)00063-7)
- Aggenbach, C.J.S., Cirkel, D.G., Cusell, C., Van Dijk, G. & Kooijman, A.M. (2020). Onderzoek naar bevoeiing als beheermaatregel voor behoud en herstel van basenrijke trilvenen. Rapportnr. 2020/OBN241-LZ, VBNE, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S., Nijp, J.J., Van Dijk, G., Koks, A., Cusell, C. & Kanters, S. (2022) Bevoeiing ter bevordering van trilveenvegetatie in de Weerribben. Rapportnr. 2021.093, KWR, Nieuwegein.
- Bacci, G., Cerri, M., Lastrucci, L., Ferranti, F., Ferri, V., Foggi, B., . . . Mengoni, A. (2018). Applying predictive models to decipher rhizobacterial modifications in common reed die-back affected populations. *Science of The Total Environment*, 642, 708-722.
- Bakker, E. S., Veen, C., ter Heerdt, G., Huig, N., & Sarneel, J. (2018). High grazing pressure of geese threatens conservation and restoration of reed belts. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1649.
- Becker, L., Wichmann, S., & Beckmann, V. (2020). Common reed for thatching in northern Germany: Estimating the market potential of reed of regional origin. *Resources*, 9(12), 1–21. <https://doi.org/10.3390/resources9120146>
- Belgers, J. D. M., & Arts, G. H. P. (2003). Moerasvogels op peil; deelrapport 1: peilen op riet; literatuurstudie naar de sturende processen en factoren voor de achteruitgang en herstel van jonge verlandingspopulaties van riet (*Phragmites australis*) in laagveenmoerassen en rivierkleigebieden.
- Bresciani, M., Stroppiana, D., Fila, G., Montagna, M., & Giardino, C. (2009). Monitoring reed vegetation in environmentally sensitive areas in Italy. *Italian Journal of Remote Sensing*, 41(2), 125-137.
- Brouwer, E., A.H.W. Koks, J. van Doorn & M. van Mullekom (2024) GRIP: 'levende' database koppelt vegetatie en bodemsamenstelling. *Landschap* 41(2): 96-107.
- Bobbink R (2021) Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen. Rapportnummer RP-20.135.21.35
- Bobbink, R., van Dijk, G., Remke, E. and Tomassen, H., (2022) Herstelbaarheid van door stikstofdepositie aangetaste Natura 2000-habitattypen: een overzicht. Onderzoekcentrum BWARE, Nijmegen. Rapportnummer RP-21.117, 21.
- de Bruijn, M. (2024) Which factors influence the production of *Phragmites australis*? Student review report. Radboud University Nijmegen & B-WARE Research Centre.
- Clymo, R.S. (1963) Ion exchange in Sphagnum and its relation to bog ecology. *Annals of Botany*, 27(106), 309–324.
- Čížková, H., Kučera, T., Poulin, B., & Květ, J. (2023). Ecological basis of ecosystem services and management of wetlands dominated by common reed (*Phragmites australis*): European perspective. *Diversity*, 15(5), 629.
- Cope, T. A., & Gray, A. J. (2009). Grasses of the British Isles. BSBI Handbook 13. Botanical Society of the British Isles
- Croon, F. W. (2013). Saving reed lands by giving economic value to reed. *Mires and Peat*, 13, 10.
- Cusell, C. (2014). Preventing acidification and eutrophication in rich fens: Water level management as a solution? Proefschrift, Universiteit van Amsterdam.
- Cusell, C., Kooijman, A.M., Mettrop, I.S., Lamers, L.P.M. (2013). Natura 2000 Kennislacunes in De Wieden & De Weerribben. Bosschap, bedrijfchap voor bos en natuur.

- Cusell, C., Kooijman, A., Fernandez, F., van Wirdum, G., Geurts, J.J., van Loon, E.E., Kalbitz, K. and Lamers, L.P. (2014b). Filtering fens: mechanisms explaining phosphorus-limited hotspots of biodiversity in wetlands adjacent to heavily fertilized areas. *Science of the Total Environment*, 481, pp.129-141.
- Cusell, C., Kooijman, A. and Lamers, L.P. (2014). Nitrogen or phosphorus limitation in rich fens?-Edaphic differences explain contrasting results in vegetation development after fertilization. *Plant and Soil*, 384(1), pp.153-168.
- Cusell, C., Mandemakers J.J., van Dijk G., Kooijman, A.M. (2022). Onderzoek verbeteren waterkwaliteit Wieden en Weerribben: eindrapport systeemanalyse. Referentie 105305/22-008.936. Witteveen+Bos, Utrecht.
- Cusell, C., G. van Dijk, J.J.M. Geurts, A.M Kooijman, S. Kanters, A.H.W. Koks, J.J Nijp, C. Aggenbach, E. Dorland (2026) Herstellen van basenrijke venen door het inbrengen van basen: synthese van uitgevoerde onderzoeken, Rapport nummer UPN-2022-004-LZ, Kennisnetwerk OBN, Driebergen.
- Daemen R., van Heeteringen L., van Middelkoop M., Vandyck R., & Verheijen A. (2021). Onderzoeksrapport Afnemende Rietopbrengst De Wieden. Rapport van Hogeschool van Hall Larenstein.
- Van Diggelen, J.M.H., Bense, I.H.M., Brouwer, E., Limpens, J., Van Schie, J.M.M., Smolders, A.J.P. & Lamers, L.P.M. (2015) Restoration of acidified and eutrophied rich fens: Long-term effects of traditional management and experimental liming. *Ecological Engineering*, 75: 208 - 216.
- Van Diggelen, J.M.H. van, G. van Dijk, C. Cusell, J. van Belle, A.M. Kooijman, T. van den Broek, R. Bobbink, I.S. Mettrop, L.P.M. Lamers & A.J.P. Smolders (2018) *Onderzoek naar de effecten van stikstof in overgangs- en trilvenen, ten behoeve van het behoud en herstel van habitattypen H7140 (Natura 2000)*. Rapport 2018/OBN000-LZ. VBNE, Driebergen.
- Van Diggelen, J.H.M., Van den Broek, T., Van Dijk, G. & Smolders, A.J.P. (2021) Natura 2000 onderzoek naar veenmosrietlanden (H7140B) in Nieuwkoopse plassen & de Haack: effecten van herstelstrategieën in het kader van PAS. Rapportnr. RP-15.064.18.64, B-WARE, Nijmegen.
- Dijk, G. van, J.M.H. van Diggelen, C. Cusell, J. van Belle, A. Kooijman, T. van den broek, R. Bobbink, I. Mettrop, L.P.M. Lamers & A.J.P. Smolders (2021) Chemische condities in trilveen en effecten van stikstofdepositie. *De Levende Natuur* 122: 84-87.
- Engloner, A. I. (2009). Structure, growth dynamics and biomass of reed (*Phragmites australis*) - A review. *Flora*, 204(5), 331-346.
- de Fouw, J., van der Hut, R., Bakker, E., Smolders, A., & Westendorp, P. (2021). Inrichting, ontwikkeling en beheer van moerassen op voormalige landbouwgrond: Een eerste verkenning van de ontwikkeling van eutrofe moerassen. Driebergen, Kennisnetwerk OBN. Rapportnummer 2021/OBN249-LZ.
- Fritz, C., L. Lamers, G. van Dijk, A. Smolders, and H. Joosten. (2014). "Paludicultuur – kansen voor natuurontwikkeling en landschappelijke bufferzones op natte gronden." *Vakblad Natuur Bos Landschap* 11, no. 105: 4–9
- Geurts, J. J., van Duinen, G. A., & Belle, J. V. (2019). Recognize the high potential of paludiculture on rewetted peat soils to mitigate climate change.
- Gigante, D., Venanzoni, R., & Zuccarello, V. (2011). Reed die-back in southern Europe? A case study from Central Italy. *Comptes Rendus Biologies*, 334(4), 327-336. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crvi.2011.02.004>

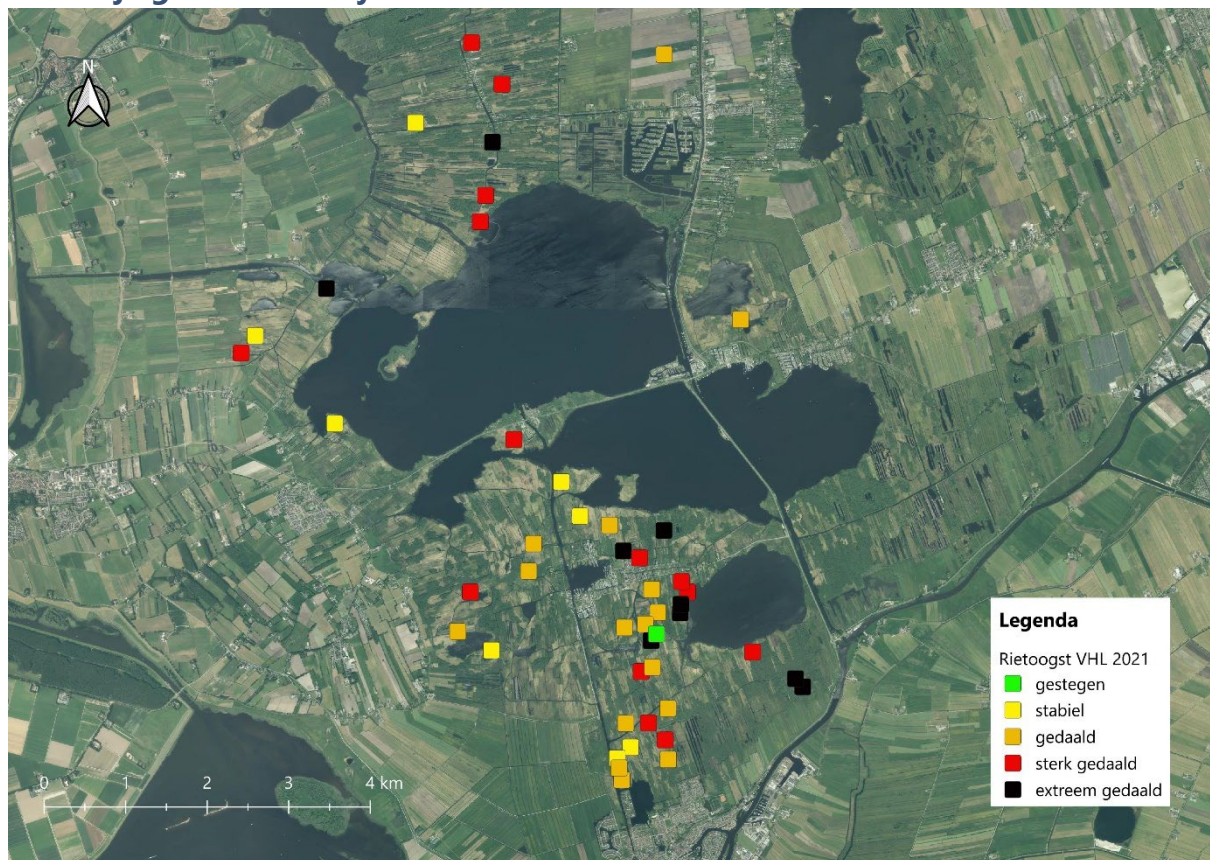
- Goes, D.J. van der, T. van de Vondervoort & M. Langbroek (2023). G&G-rapport 2023-019. Vegetatie- en Florakartering De Wieden en Weerribben 2020-2022. In opdracht van Provincie Overijssel.
- Gorham, E., & Pearsall, W. H. (1956). Acidity, Specific Conductivity and Calcium Content of Some Bog and Fen Waters in Northern Britain. *Journal of Ecology*, 44(1), 129-141. <https://doi.org/10.2307/2257157>.
- Graveland, J. (1999). Waterriet, moerasvogels en peildynamiek. *De levende natuur*, 100(2), 50-53.
- Greef, J. M., & Horlings, H. S. (2016). De kwaliteit van riet. Ontwikkeling van een testmethode voor de beoordeling van de kwaliteit van riet. Riet ABC.
- Guan, B., Xie, B., Yang, S., Hou, A., Chen, M., & Han, G. (2019). Effects of five years' nitrogen deposition on soil properties and plant growth in a salinized reed wetland of the Yellow River Delta. *Ecological Engineering*, 136, 160-166.
- Güsewell, S. & Koerselman, M. (2002). Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* 5: 37-61.
- Huang, B., Xu, D., Zhou, W., Wu, Y. and Mou, W. (2025). Silicon Reduce Structural Carbon Components and Its Potential to Regulate the Physiological Traits of Plants. *Plants*, 14(12), p.1779.
- lital, A., Klõga, M., Kask, Ü., Voronova, V. & Cahill, B. (2012). Reed harvesting. In: Schultz-Zehden, A. & Matczak, M. (eds.) *Compendium: An Assessment of Innovative and Sustainable Uses of Baltic Marine Resources*, Maritime Institute in Gdansk, Gdansk, 103–124.
- De Jong, M., Van Hal, O., Pijlman, J., Van Eekeren, N., & Junginger, M. (2021). Paludiculture as paludifuture on Dutch peatlands: An environmental and economic analysis of Typha cultivation and insulation production. *Science of the Total Environment*, 792, 148161.
- Kanters, S., Cusell, C., Teurlincx, S., Mathu, L., Ursem, M., De Senerpont Domis, L. & Kooijman, A.M. (2022). Evaluatie van bekalken in laagveengebieden: Mogelijke herstelmaatregel in trilvenen, blauwgraslanden, veenmosrietlanden en dotterbloemhooilanden. Rapportnr. OBN-2020-114-LZ, Kennisnetwerk OBN, Driebergen.
- Kassambara, A., & Mundt, F. (2020). factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses (R package version 1.0.7)
- Köbbing, J. F., Thevs, N., & Zerbe, S. (2013). The utilisation of reed (*Phragmites australis*): a review. *Mires and peat*, 13, 01.
- Koerselman, W., and A. F. Meuleman. (1996). The vegetation N: P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology* 33:1441-1450.
- Kooijman, A.M., Cusell, C., Hedenäs, L., Lamers, L.P., Mettrop, I.S. and Neijmeijer, T. (2020). Re-assessment of phosphorus availability in fens with varying contents of iron and calcium. *Plant and Soil*, 447(1), pp.219-239.
- Kooistra, L., & Horlings, H. (2023). Riet voor dakbedekking. Retrieved 19-11-24 from https://kennis.cultureelerfgoed.nl/index.php/Riet_voor_dakbedekking.
- Koks, A.H.W., C. Fritz, A.J.P. Smolders, K. Rehlmeier, J.T.M. Elzinga, S. Krosse, L.P.M. Lamers & G. van Dijk (2022). Sphagnum bleaching: Bicarbonate 'toxicity' and tolerance for seven Sphagnum species. *Plant Biology* doi:10.1111/plb.13423.
- Kuprina, K., Seeber, E., Schnittler, M., Landeau, R., Lambertini, C., & Bog, M. (2022). Genetic diversity of common reed in the southern Baltic Sea region—Is there an influence of disturbance? *Aquatic Botany*, 177, 103471.
- Kushl, H., & Kohl, J. G. (1992). Nitrogen accumulation, productivity and stability of reed stands (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel) at different lakes and sites of the 16 lake districts of

- Uckermark and Mark Brandenburg (Germany). *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 77(1), 85-107. <https://doi.org/10.1002/iroh.19920770107>.
- Lahtinen, L., Mattila, T., Myllyviita, T., Seppala, J., & Vasander, H. (2022). Effects of paludiculture products on reducing greenhouse gas emissions from agricultural peatlands. *Ecological Engineering*, 175, 106502.
- Lamers LP, Vile MA, Grootjans AP, Acreman MC, van Diggelen R, Evans MG, Richardson CJ, Rochefort L, Kooijman AM, Roelofs JG, Smolders AJ. (2015) Ecological restoration of rich fens in Europe and North America: from trial and error to an evidence-based approach. *Biological Reviews*. 2015 Feb; 90(1):182-203.
- Olde Venterink, H., Wassen, M. J., Verkroost, A., & De Ruiter, P. (2003). Species richness–productivity patterns differ between N-, P-, and K-limited wetlands. *Ecology*, 84(8), 2191-2199.
- Olsen S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe & L.A. Dean (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture circular No. 939. <https://archive.org/download/estimationofavai939olse/estimationofavai939olse.pdf>
- Ostendorp, W. (1991). Damage by episodic flooding to Phragmites reeds in an prealpine lake - Proposal of a model. *Oecologia*, 86(1), 119-124. <https://doi.org/10.1007/bf00317398>.
- Matyuk, I. S. (1960). Some types of reed growths in the delta of the river Volga. *Botanicheskii Zhurnal SSSR*, 45, 1681-1687.
- Nat, E. & R. Daalder (1999). Vegetatiekartering De Wieden. Deelrapport 1: vegetatie. O&B rapport no. 97-14. In opdracht van Vereniging Natuurmonumenten.
- Pol, A., Renkema, G.H., Tangerman, A. et al. (2018) Mutations in SELENBP1, encoding a novel human methanethiol oxidase, cause extraoral halitosis. *Nat Genet* 50, 120–129. <https://doi.org/10.1038/s41588-017-0006-7>.
- van der Putten, W.H. (1997) Die-back of Phragmites australis in European wetlands: an overview of the European research programme on reed die-back and progression (1993–1994). *Aquatic Botany* 59:263-275.
- Reed, H. (2025). Schönes aus Reet. Bekeken op 22-7 from <https://www.hiss-reet.de/nl/>
- Romero, J. A., Brix, H., & Comín, F. A. (1999). Interactive effects of N and P on growth, nutrient allocation and NH₄ uptake kinetics by Phragmites australis. *Aquatic botany*, 64(3-4), 369-380.
- RDMZ (2005). De kwaliteit van riet als dakdekking; info restauratie en beheer, nr. 10, 4e druk. Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist.
- Sardans, J., & Peñuelas, J. (2021). Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*, 10(2), 419.
- Schaminée, J.H.J., Weeda, E.J. & Westhoff, V. (1995). De vegetatie van Nederland. Deel 2: Plantengemeenschappen van wateren, moerassen en natte heiden. Opulus.
- Sollie, S. (2007). Littoral zones in shallow lakes. Contribution to water quality in relation to water level regime. PhD thesis, Utrecht University, Faculty of Science. 144 pp.
- Smolders, A., & Verstijnen, Y. (2021). Eindrapportage: Bodemonderzoek potentiële locaties Biocascade, Deelonderzoek pilot Biocascade in de Wieden-Weerribben. Rapportnummer: RP-20.127A.20.107.
- Temmink, R.J., Robroek, B.J., van Dijk, G., Koks, A.H., Käärmelahti, S.A., Barthelmes, A., Wassen, M.J., Ziegler, R., Steele, M.N., Giesen, W. and Joosten, H. (2023). Wetscapes: Restoring and maintaining peatland landscapes for sustainable futures. *Ambio*, 52(9), pp.1519-1528.

- Tomassen, H., Van Mullekom, M., & Smolders, A. (2025). Eindrapportage Bodem- en hydrochemisch onderzoek Olde Maten en Veerslootlanden. Rapportnummer: RP-24.049.24.92
- Tóth, V. R. (2016). Reed stands during different water level periods: physico-chemical properties of the sediment and growth of *Phragmites australis* of Lake Balaton. *Hydrobiologia*, 778(1), 193-207.
- Tylová, E., L. Steinbachová, A. Soukup, V. Gloser, and O. Votrubová. (2013). Pore water N:P and $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ alter the response of *Phragmites australis* and *Glyceria maxima* to extreme nutrient regimes. *Hydrobiologia* 700:141-155.
- Vakfederatie Rietdekkers (n.d.) Natuurlijk riet. Opgevraagd van <https://riet.com/kennisbank/natuurlijk-riet>, januari 2026.
- Vermaat, J. E., Bos, B., & Van Der Burg, P. (2016). Why do reed beds decline and fail to re-establish? A case study of Dutch peat lakes. *Freshwater Biology*, 61(9), 1580-1589.
- Verstijnen, y., Smolders, A., & de Fouw, J. (2019). Het belang van bodemtypen en nutriënten voor riet in de Loosdrechtse Plassen. Verkenning van abiotische knelpunten voor het broedhabitat van de grote karekiet.
- Weeda, E., J., Westra, R., Westra, C., & Westra, T. (1994). Nederlandse oecologische Flora, wilde planten en hun relaties 5. KNNV.
- Wichmann, S. (2017). Commercial viability of paludiculture: A comparison of harvesting reeds for biogas production, direct combustion, and thatching. *Ecological Engineering*, 103, 497-505. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.018>
- Wichtmann, W., C. Schröder, H. Joosten (2016). Paludiculture-Productive Use of Wet Peatlands (Schweizerbart Science Publishers).
- Van der Winden, J. (2016). Herstel van rietkragen in de Vechtplassen voor de grote karekiet. Maatregelen om op korte termijn het habitat van de grote karekiet te verbeteren. Rapport 16.01, Jan van der Winden Ecology, Utrecht.
- Van der Winden, J., & Van Gemeren, J. (2018). Inventarisatie van waterrietkragen in de Reeuwijkse plassen. Verkenning van knelpunten en oplossingen voor rietkragen als leefgebied voor de grote karekiet. Rapport 2018-06, Jan van der Winden Ecology, Utrecht/ Rapport 17A083, Watersnip Advies, Reeuwijk.
- Van der Winden, J., Heunks, E., & Poot, M. (2021). Grote karekiet profiteert voorzichtig van herstel rietkragen in de Oostelijke Vechtplassen. Maatregelen om op korte termijn het habitat van de grote karekiet te verbeteren. de Kruisbek, 1.
- Zemlin, R., Kuhl, H., & Kohl, J.-G. (2000). Effects of seasonal temperature on shoot growth dynamics and shoot morphology of common reed (*Phragmites australis*). *Wetlands Ecology and Management*, 8(6), 447-457. <https://doi.org/10.1023/A:1026566103296>.

8 Bijlagen

8.1 Bijlage 1. Ruimtelijk overzicht locaties eerder onderzoek VHL



Figuur 8.1. Overzicht van de locaties waar gegevens van zijn opgehaald in de studie van Van Hall-Larenstein. De kleuren geven de trends weer in rietopbrengst in afgelopen jaren.

8.2 Bijlage 2. Vegetatieontwikkeling 1994-2022

Meetlocatie	Kartering Wieden (1994) en Weerribben (1997)	Kartering 2020-2022	Habitattype o.b.v. onderzoek 2024	Verzuring t.o.v. 1994/1997	Eutrofiëring t.o.v. 1994/1997
1	HTY: 052 BLOEMRIJK RIETLAND STY: (052) 03 Riet-grote wederik type	Veenmosrietland (H7140B) 09A2-9 Veenmosrietland, vorm met Gewoon haarmos	H7140B	verzuring	mogelijk wat verarming
2	geen data	Veenmosrietland (H7140B) 09A2-7+09A2-3 Veenmosrietland, vorm met Ronde zonnedauw Veenmosrietland met Moerasvaren, vorm met Tweerijige zegge	H7140B	geen verandering	geen verandering
3	054 VERRUIGD/SOORTENARM RIETLAND (054) 02 Riet-moeraszegge type	Overige helofytenvegetaties 08C-7 Vegetatie van Paddenrus en Riet	H7140B	nd	nd
4	052 BLOEMRIJK RIETLAND (052) 02 Riet-echte valeriaan type	Overige helofytenvegetatie 08C-8 Vegetatie van Hennegras en grote zeggen	voor H7140A	geen verandering	geen verandering
5	052 BLOEMRIJK RIETLAND (052) 03 Riet-grote wederik type	Veenmosrietland (H7140B) 09A2-7 Veenmosrietland, vorm met Ronde zonnedauw Veenmosrietland, vorm met Biezenknoppen Veenmosrietland, vorm met soorten van Dotterbloemhooiland	H7140B	mogelijk lichte verzuring	geen verandering
6	054 VERRUIGD/SOORTENARM RIETLAND (054) 01 Riet-hennegras type	Trilveen (H7140A) 09B3-5+09B3-4 Trilveen, vorm met Ronde zegge, (Zompzegge) en Gewoon puntmos Trilveen, vorm met Plat blaasjeskruid en Riet	H7140A/H7140B	mogelijk wat basenaanrijking	geen verandering
7	052 BLOEMRIJK RIETLAND (052) 02 Riet-echte valeriaan type	Trilveen (H7140A) 09B2-1 Vegetatie van Draadzegge, typische vorm	H7140A	sterke basenaanrijking	verarming
8	111 VEENMOSRIETLANDEN (VERBOND VAN ZOMP- EN ZWARTE ZEGGE) (111) 00 Riet-haarmos type	Overige helofytenvegetaties 08C6-1 Vegetatie van Stijve zegge, typische vorm	voor H7140A	geen verandering	mogelijk wat eutrofiëring
9	052 BLOEMRIJK RIETLAND (052) 03 Riet-grote wederik type	Veenmosrietland (H7140B) 09A2-10 Veenmosrietland, vorm met Hennegras	H7140B	geen verandering	mogelijk wat eutrofiëring
10	111 VEENMOSRIETLANDEN (VERBOND VAN ZOMP- EN ZWARTE ZEGGE) (111) 00 Riet-haarmos type	Veenmosrietland (H7140B) 09A2-10 Veenmosrietland, vorm met Hennegras	H7140B	verzuring	mogelijk wat eutrofiëring

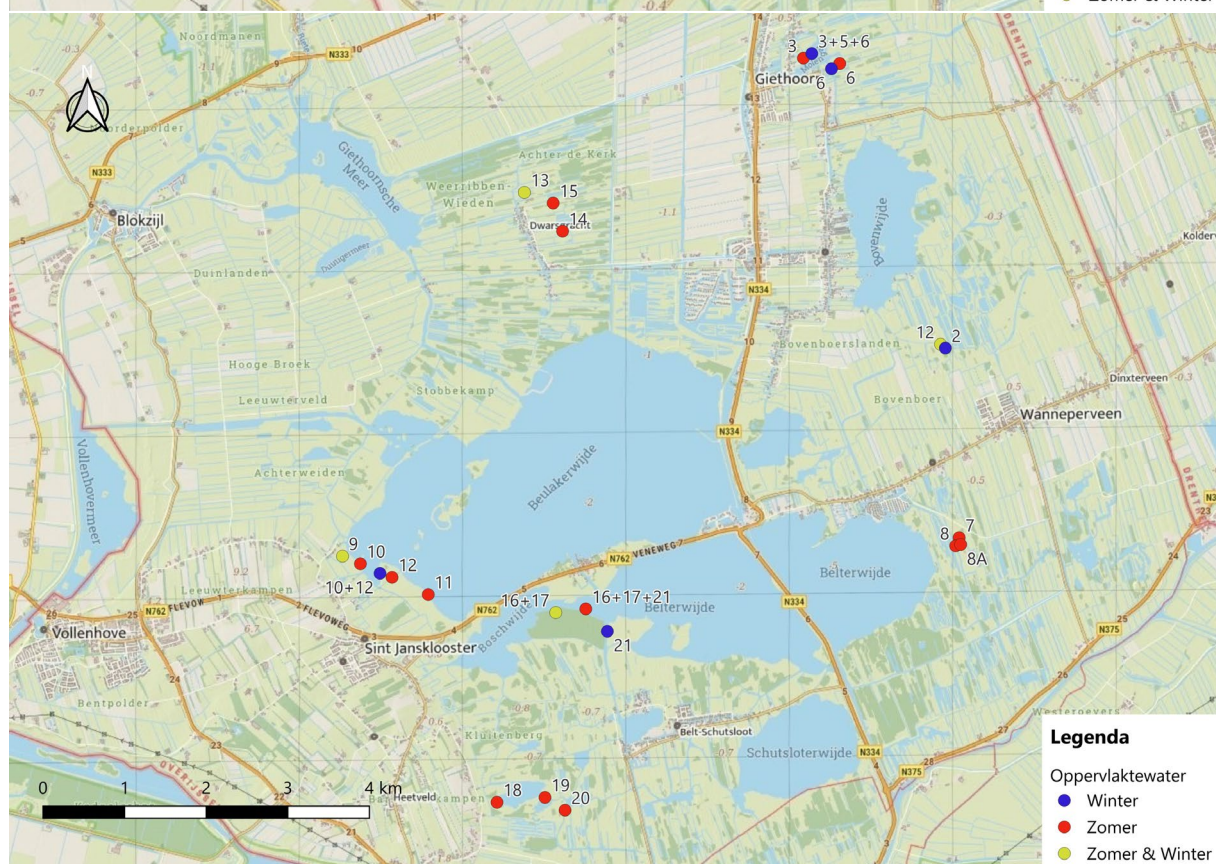
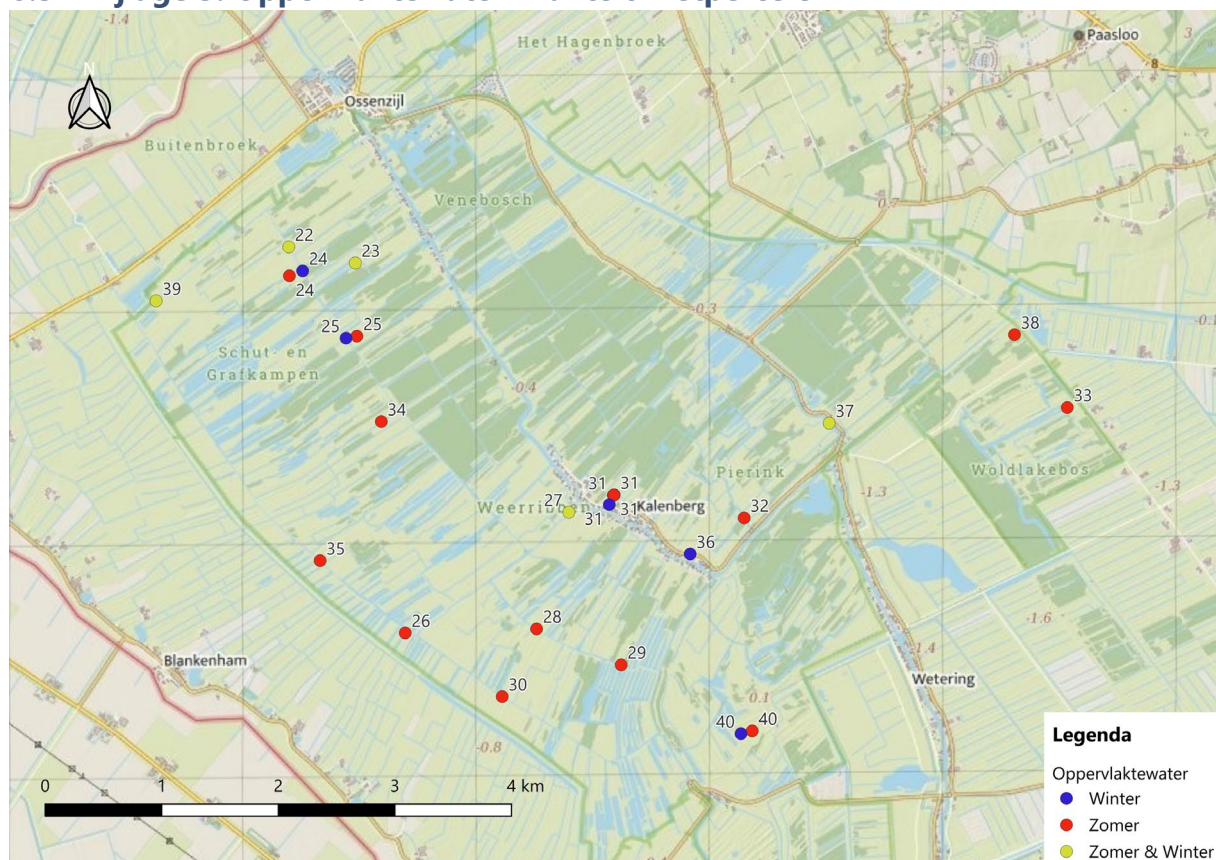
11	111 VEENMOSRIETLANDEN (VERBOND VAN ZOMP- EN ZWARTE ZEGGE) (111) 01 Riet-veenmos type	Veenmosrietland (H7140B) Overige ruigten 09A2-1+32A1-4 Veenmosrietland met Moerasvaren, typische vorm Ruigte met Hennegras, vorm met Grote wederik	H7140B	mogelijk wat basenaanrijking	mogelijk wat eutrofiëring
12	062 VEGETATIES VAN DE GLANSHAVEN-ORDE 'OVERGANGSGRASLANDEN' (062) XX Gewoon reukgras- gestreepte witbol type	Overige helofytenvegetaties Moerasvaren-rietland 08B3-1+08B3-3 Vegetatie van Riet, typische vorm Vegetatie van Riet en Moerasvaren, typische vorm Veenmosrietland met Moerasvaren, typische vorm	mogelijk voor H7140A	geen verandering	mogelijk wat eutrofiëring
13	093 NATTE RUITEN (093) 02 Moeraszegge-grote kattestaart type	Ruigten met Moerasspirea en Moeraswolfsmelk (H6430A) 32A1-1 Ruigte met Moerasspirea, typische vorm	onbekend	onbekend	onbekend
14	093 NATTE RUITEN (093) 02 Moeraszegge-grote kattestaart type	Veenmosrietland (H7140B) Overige helofytenvegetaties 09A2-1+08B3-2 Veenmosrietland met Moerasvaren, typische vorm Vegetatie van Riet, vorm met Gewone dotterbloem	H7140A/H7140B	mogelijk lichte verzuring	verarming
15	052 BLOEMRIJK RIETLAND (052) 01 Riet-moerasspirea type	Trilveen (H7140A) 09A3-4 Vegetatie met Sterzegge en/of Zompzegge, trilveenvorm	H7140A	geen verandering	verarming
16	052 BLOEMRIJK RIETLAND (052) 03 Riet-grote wederik type	Veenmosrietland (H7140B) 09A2-6 Veenmosrietland, vorm met Biezenknoppen	H7140B	geen verandering	geen verandering
17	111 VEENMOSRIETLANDEN (VERBOND VAN ZOMP- EN ZWARTE ZEGGE) (111) 00 Riet-haarmos type	Veenmosrietland (H7140B) 09A2-1 Veenmosrietland met Moerasvaren, typische vorm	H7140B	geen verandering	geen verandering
18	052 BLOEMRIJK RIETLAND (052) 03 Riet-grote wederik type	Veenmosrietland (H7140B) 09A2-7 Veenmosrietland, vorm met Ronde zonnedaauw	H7140B	geen verandering	geen verandering
19	052 BLOEMRIJK RIETLAND (052) 01 Riet-moerasspirea type	Moerasvaren-rietland 08B3-4 Vegetatie van Riet en Moerasvaren, vorm met Moeraszegge	mogelijk voor H7140A	geen verandering	geen verandering
20	052 BLOEMRIJK RIETLAND (052) 01 Riet-moerasspirea type	Ruigten met Moerasspirea en Moeraswolfsmelk (H6430A) 32A1-3	mogelijk voor H7140A	geen verandering	mogelijk wat eutrofiëring

		Ruigte met Moerasspirea, vorm met Hennegras			
21	052 BLOEMRIJK RIETLAND (052) 01 Riet-moerasspirea type	Veenmosrietland (H7140B) 09A2-1+09A2-10 Veenmosrietland met Moerasvaren, typische vorm Veenmosrietland, vorm met Hennegras	H7140B	mogelijk lichte verzuring	mogelijk wat eutrofiëring
22	1Ca (Gemeenschap van Riet, vorm van Scherpe Zegge) +3Ea (Gem van Moerasvaren en Pluimzegge, typische vorm)	HFDTYPE Moerasheide (H4010B) LABEL 11B2-2 Typenaam 1: Moerasheide, vorm met Gewone dophei Typenaam 2: Vegetatie van Stijve zegge, vorm met Moerasvaren	H4010B	verzuring	mogelijk wat verarming
23	1Ce (Gemeenschap van Riet, vorm inops)	HFDTYPE Overige helofytenvegetaties LABEL 08-10 Typenaam 1: Rietvegetatie, pionievorm	soortenarm rietland (onbekend)	geen verandering	geen verandering
24	1Cf (Gemeenschap van Riet, vorm van Puntmos/Moeraswalstro en natte kr.) +5Ea (Gem v Riet en Moerasvaren, Typische vorm)	HFDTYPE Veenmosrietland (H7140B) LABEL 09A2-1+09A2-4 Typenaam 1: Veenmosrietland met Moerasvaren, typische vorm Typenaam 2: Veenmosrietland met Moerasvaren, vorm met Pluimzegge	H7140B	geen verandering	geen verandering
25	2Eb (Gem v Moerasvaren en Stijve zegge, V v veenmos) + 5Eb (Gem v Riet en Moerasvaren, V v veenmos)	HFDTYPE Veenmosrietland (H7140B) LABEL 09A2-11 Typenaam 1: Vegetatie van Draadzegge en veenmossen, vorm met Moerasstruisgras	H7140B	geen verandering	geen verandering
26	2Eb (Gem v Moerasvaren en Stijve zegge, V v veenmos) + 5Eb (Gem v Riet en Moerasvaren, V v veenmos)	HFDTYPE Veenmosrietland (H7140B) HFDTYPE2 Trilveen (H7140A) 09A2-11+09B3-1 Label 1 Vegetatie van Draadzegge en veenmossen, vorm met Moerasstruisgras Label 2 Trilveen, vorm met Rood schorpioenmos en/of Plat blaasjeskruid	H7140A/H7140B	basenaanrijking	geen verandering
27	1Cd (Gem v Riet, V v Haagwinde, ruigtkruidenarm) + 1Ce (Gem v Riet, V v (Haagwinde), Hennegras, ruigtkruiden) +5Dc (Gem v Oeverzegge, verruigd)	HFDTYPE Overige kleine zeggenvegetaties LABEL 09-6 Typenaam 1: Vegetatie van Paddenrus, vorm Moerasstruisgras en Gewone waternavel Typenaam 2: Veenmosrietland, vorm met soorten van Dotterbloemhooiland	voor H7140A	geen verandering	geen verandering

28	geen data	HFDTYPE Veenmosrietland (H7140B) LABEL 09A2-7 Typenaam 1: Veenmosrietland, vorm met Ronde zonnedaauw Typenaam 2: Vegetatie van Draadzegge en veenmossen, vorm met Moerasstruisgras	H7140B	nd	nd
29	1Z (Niet gekarteerd)	HFDTYPE Trilveen (H7140A) HFDTYPE2 Galigaanvegetaties (H7210) LABEL 09B3-3+08C5-2 Typenaam 1: Trilveen, vorm met Draadzegge, Sterrengoudmos en/of Rood schorpioenmos Typenaam 2: Vegetatie van Galigaan, vorm met Wateraardbei Typenaam 3: Trilveen, vorm met Rood schorpioenmos en/of Groenknolorchis	H7140A	nd	nd
30	2Eb (Gem v Moerasvaren en Stijve zegge, V v veenmos) + 3Eb (Gem v Moerasvaren en Pluimzegge, V v veenmos opm. kamvaren ontbreekt)	HFDTYPE Trilveen (H7140A) FDTYPE 2 Veenmosrietland (H7140B) LABEL 09B2-1+09A2-12 Typenaam 1: Vegetatie van Draadzegge, typische vorm Typenaam 2: Vegetatie van Draadzegge en veenmossen, vorm met Hennegrass Typenaam 3: Veenmosrietland met Moerasvaren, vorm met Stijve zegge	H7140B	geen verandering	geen verandering
31	1Cg (Gem v Riet, V v Stijve zegge)	HFDTYPE Trilveen (H7140A) LABEL 09B3-2+09B3-5 Typenaam 1: Trilveen, vorm met Rood schorpioenmos en/of Groenknolorchis Typenaam 2: Trilveen, vorm met Ronde zegge, (Zompzegge) en Gewoon puntmos	H7140A	basenaanrijking	verarming
32	1Cc (Gem v Riet, V v Oeverzegge/Moeraszegge)	HFDTYPE Veenmosrietland (H7140B) LABEL 09A2-6 Typenaam 1: Veenmosrietland, vorm met Biezenknoppen	H7140B	verzuring	verarming
33	geen data	HFDTYPE Trilveen (H7140A) LABEL 09B3-4+09B2-1 Typenaam 1: Trilveen, vorm met Plat blaasjeskruid en Riet Typenaam 2: Vegetatie van Draadzegge, typische vorm Typenaam 3: Vegetatie met Paddenrus en Klein blaasjeskruid	mogelijk voor H7140A	nd	nd

34	2Ea (Gem v Moerasvaren en Stijve zegge, Typische vorm)	HFDTYPE Moerasheide (H4010B) LABEL 11B2-2 Typenaam 1: Moerasheide, vorm met Gewone dophei	H4010B	verzuring	mogelijk lichte verarming
35	1Fb (Gem v Veenmosrietland, V v Gewoon haarmos) + 2Eb (Gem v Moerasvaren en Stijve zegge, V v veenmos).	HFDTYPE Veenmosrietland (H7140B) HFDTYPE 2 Trilveen (H7140A) LABEL 09A2-2+09B3-1 Typenaam 1: Veenmosrietland met Moerasvaren, vorm met Stijve zegge Typenaam 2: Trilveen, vorm met Rood schorpioenmos en/of Plat blaasjeskruid Typenaam 3: Vegetatie van Draadzegge, vorm met Trilveenveenmos	H4010B	mogelijk lichte basenaanrijking	geen verandering
36	geen data	HFDTYPE Veenmosrietland (H7140B) LABEL 09A2-6 Typenaam 1: Veenmosrietland, vorm met Biezenknoppen	???	nd	nd
37	8Eb (Gem v Draadzegge, inops)	HFDTYPE Trilveen (H7140A) LABEL 09B2-1 Typenaam 1: Vegetatie van Draadzegge, typische vorm	H7140A	geen verandering	geen verandering
38	geen data	HFDTYPE Trilveen (H7140A) LABEL 09B3-1 Typenaam 1: Trilveen, vorm met Rood schorpioenmos en/of Plat blaasjeskruid	H7140A	nd	nd
39	2Ea (Gem v Moerasvaren en Stijve zegge, Typische vorm)	HFDTYPE Moerasvaren-rietland LABEL 08B3-4+08B3-7 Typenaam 1: Vegetatie van Riet en Moerasvaren, vorm met Moeraszegge Typenaam 2: Vegetatie van Riet en Moerasvaren, vorm met Stijve zegge	mogelijk voor H7140A	geen verandering	geen verandering
40	6Ea(Mesotroof rietland, Typische vorm)	geen data	nd	nd	nd

8.3 Bijlage 3. Oppervlaktewaterkwaliteit Rietpercelen



Figuur 8.2. Overzicht van de oppervlaktewaterlocaties rondom de onderzochte rietpercelen. **Tabel 8.1.** Overzicht van de oppervlaktewaterkwaliteit op locaties nabij de bemonsterde rietpercelen in zowel de Weerribben als Wieden (zomer en winter). Alk.=alkaliniteit, EGV=elektrisch geleidend vermogen.

Locatie	Gebied	Zomer/ Winter	mEq/l μS/cm μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l μmol/l															
			pH	Alk.	EGV	CO ₂	HCO ₃	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Ca	Fe	P	S	Si
22	Weerribben	Zomer	7,2	3,0	440	437	3141	0,8	3,5	0,5	828	62	982	1478	1,3	1,0	191	18
22	Weerribben	Winter	6,9	1,6	282	459	1544	19,6	0,7	0,0	633	81	687	862	8,7	0,5	203	132
23	Weerribben	Zomer	6,2	0,9	131	1432	895	3,0	4,0	0,5	389	5	312	353	10,1	1,7	52	94
23	Weerribben	Winter	6,3	1,8	277	1838	1515	7,5	0,7	0,1	602	73	629	894	4,4	0,1	153	82
24	Weerribben	Zomer	7,5	3,0	428	235	3316	5,9	3,6	0,3	793	58	931	1422	0,4	1,0	190	30
24	Weerribben	Winter	7,1	1,5	281	302	1577	22,3	0,9	0,1	643	87	704	866	9,0	0,5	214	129
25	Weerribben	Zomer	6,9	2,8	422	884	2738	5,9	3,7	0,3	794	67	932	1388	1,4	1,5	216	55
25	Weerribben	Winter	7,0	1,9	314	411	1678	32,9	1,6	0,0	683	116	743	975	11,6	1,1	265	121
26	Weerribben	Zomer	8,1	2,1	300	45	2252	5,8	3,6	0,2	655	44	683	897	0,4	0,5	120	35
26	Weerribben	Winter	7,5	1,7	279	147	1778	3,3	0,1	0,2	620	59	676	913	1,9	0,2	153	75
27	Weerribben	Zomer	7,4	3,3	438	296	3066	0,5	0,4	0,2	686	52	741	1614	6,7	1,4	216	37
27	Weerribben	Winter	6,9	1,6	331	397	1368	101,5	10,4	0,2	751	127	846	931	24,5	3,2	354	158
28	Weerribben	Zomer	7,4	2,9	412	292	2977	0,3	0,7	0,3	693	69	737	1438	2,0	0,9	190	62
28	Weerribben	Winter	7,0	1,5	295	404	1586	36,2	2,1	0,1	647	89	683	920	12,8	1,1	269	133
29	Weerribben	Zomer	7,3	3,2	457	452	3412	0,4	0,4	0,3	868	55	969	1557	2,5	0,9	161	63
29	Weerribben	Winter	7,1	1,9	299	309	1701	22,3	0,6	0,0	657	71	731	969	8,4	0,6	209	114
30	Weerribben	Zomer	7,6	2,9	419	176	3069	0,7	0,5	0,3	784	53	848	1417	1,5	0,7	151	61
30	Weerribben	Winter	7,1	1,7	280	286	1671	5,1	0,3	0,2	635	57	689	916	2,2	0,2	156	73
31	Weerribben	Zomer	6,3	2,4	297	2462	2155	0,6	9,0	4,0	604	79	617	968	21,9	11,3	78	166
31	Weerribben	Winter	6,1	0,8	199	831	478	0,5	25,4	10,0	715	207	1061	522	31,3	20,0	196	145
32	Weerribben	Zomer	7,4	4,4	623	485	4612	29,1	12,6	0,8	1389	44	1727	2231	15,8	1,5	84	208
33	Weerribben	Zomer	7,1	4,2	619	756	4194	0,5	0,7	0,0	1359	29	1666	2109	1,1	0,9	75	182
34	Weerribben	Zomer	6,6	0,8	130	385	581	5,7	3,7	0,1	349	6	313	326	1,4	0,6	63	4
35	Weerribben	Zomer	7,5	2,5	356	202	2715	5,4	3,5	0,1	693	50	778	1133	1,1	0,7	149	22
35	Weerribben	Winter	7,2	1,7	292	277	1840	3,7	0,1	0,1	645	66	706	978	2,2	0,1	171	61
36	Weerribben	Winter	6,4	1,3	209	803	929	0,1	0,9	1,9	680	99	780	572	64,4	7,6	72	125

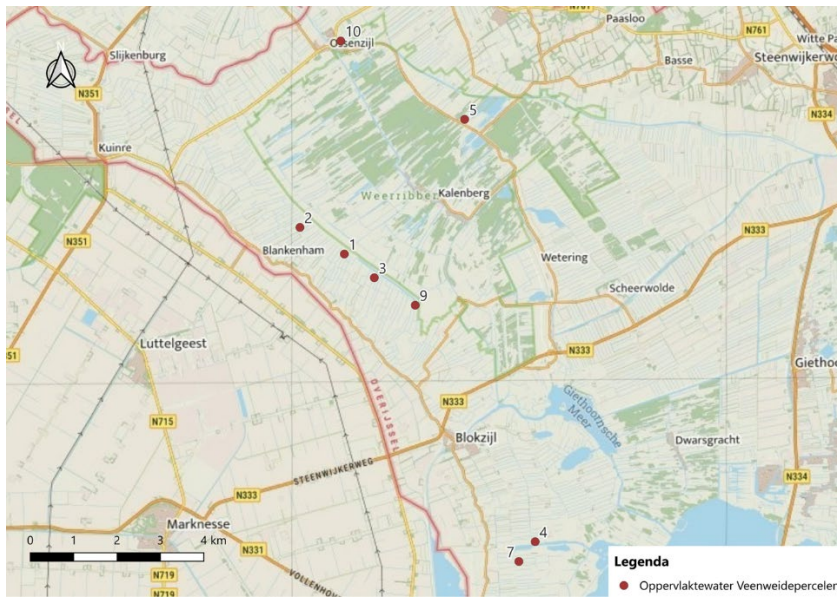
37	Weerribben	Zomer	7,3	3,3	488	502	3754	1,2	0,5	0,0	1041	42	1117	1651	6,2	0,9	123	99
37	Weerribben	Winter	6,9	2,6	394	899	2804	0,0	0,3	1,1	1324	54	1610	1413	52,3	5,2	124	185
38	Weerribben	Zomer	7,0	3,6	532	901	3628	0,3	0,7	0,1	1138	90	1388	1779	1,5	1,4	126	101
39	Weerribben	Zomer	7,2	3,0	441	420	3070	5,2	3,4	0,0	834	62	969	1466	1,1	0,7	203	9
39	Weerribben	Winter	7,1	1,6	306	260	1385	64,4	1,9	0,8	690	174	675	875	19,8	2,3	342	140
40	Weerribben	Zomer	7,5	3,0	439	246	3111	0,6	1,8	0,5	1012	80	1256	1472	1,2	0,6	94	65
40	Weerribben	Winter	7,1	1,0	235	218	1031	65,0	0,2	0,3	571	108	678	685	2,4	0,3	195	15
1+2	Wieden	Zomer	7,3	1,7	291	201	1816	0,1	1,3	0,1	656	74	669	857	11,1	1,3	152	2
1+2	Wieden	Winter	7,3	1,8	287	215	1834	10,9	0,5	0,0	639	89	689	1076	12,1	0,8	142	52
2	Wieden	Winter	5,8	0,9	216	2506	646	0,1	1,6	0,1	751	23	1016	688	135,1	0,4	67	459
3	Wieden	Zomer	7,5	2,9	384	221	2731	0,3	0,6	0,0	681	69	712	1332	14,2	1,7	124	12
3+4+5	Wieden	Winter	7,6	2,1	348	148	2259	49,0	10,5	0,2	684	151	727	1317	36,2	3,9	217	158
6	Wieden	Zomer	6,6	1,6	283	1032	1562	0,4	0,8	0,1	581	42	635	921	4,2	1,2	211	5
6	Wieden	Winter	7,5	3,1	323	186	2181	13,7	0,5	0,1	668	118	743	1237	14,5	1,0	169	55
7	Wieden	Zomer	7,0	3,8	461	924	3479	10,2	1,2	0,1	673	52	736	1772	75,1	4,0	81	150
8	Wieden	Zomer	7,6	2,8	400	189	2917	9,4	3,7	0,1	766	74	814	1382	13,8	1,1	121	44
8A	Wieden	Zomer	7,1	4,0	470	699	3866	0,6	4,2	0,1	691	44	795	1812	6,3	0,8	62	75
9	Wieden	Zomer	6,8	2,5	382	902	2265	0,1	1,2	0,2	746	68	801	1207	15,4	2,8	147	63
9	Wieden	Winter	6,4	1,6	294	1519	1587	100,0	9,3	1,0	646	113	774	778	20,5	5,7	167	176
10+12	Wieden	Winter	7,6	2,4	379	163	2589	29,9	6,5	0,5	829	83	962	1150	7,9	1,1	145	95
11	Wieden	Zomer	8,1	2,5	381	55	2687	0,3	1,0	0,0	796	93	824	1209	3,8	1,0	173	36
12	Wieden	Zomer	7,1	2,6	382	508	2364	0,2	2,3	0,1	762	93	800	1205	22,6	1,6	179	74
13	Wieden	Zomer	7,2	2,7	422	426	2629	0,3	1,6	0,0	894	57	1010	1325	13,9	1,4	137	40
13	Wieden	Winter	7,5	2,5	426	204	2669	104,5	18,8	0,1	877	108	1097	1653	60,2	3,8	274	210
14	Wieden	Zomer	7,0	2,4	352	578	2217	0,1	1,1	0,1	688	9	721	1421	1,1	3,7	102	4
15	Wieden	Zomer	7,0	2,1	313	458	2038	0,0	1,2	0,2	616	41	621	1028	1,2	1,1	106	27
16+17	Wieden	Zomer	7,0	2,2	359	496	2045	0,1	1,5	0,3	775	82	827	1080	4,5	0,6	158	29
16+17	Wieden	Winter	7,2	1,9	326	312	1917	3,2	4,5	0,3	769	74	839	921	8,5	1,1	214	92
18	Wieden	Zomer	7,8	1,8	286	59	1720	0,4	0,5	0,2	678	79	635	784	3,7	0,5	162	8
19	Wieden	Zomer	7,3	1,7	298	190	1653	0,0	1,6	0,2	686	75	639	834	8,6	0,6	165	12
20	Wieden	Zomer	7,2	2,3	362	361	2252	0,1	1,3	0,4	806	83	788	1099	5,4	0,5	178	10

20	Wieden	Winter	7,1	1,8	307	277	1614	6,6	0,7	0,0	791	98	810	887	4,8	0,0	191	55
21	Wieden	Winter	7,8	2,5	355	98	2406	13,3	3,7	0,2	813	84	857	1056	3,8	0,8	158	53
16+17+21	Wieden	Zomer	7,5	2,3	365	165	2354	0,0	1,5	0,4	742	71	763	1147	4,3	0,7	167	39

8.4 Bijlage 4. Aanvullende informatie veenweidepercelen

Tabel 8.2. Oppervlaktewaterkwaliteit nabij de bemonsterde veenweidepercelen.

Loca tie	Gebied	p H															
			Alk.	EGV	CO ₂	HCO ₃	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Ca	Fe	P	S	Si
1	Weerrib	7,	3,4	492	117	302	0,8	6,1	0,1	935	63	119	162	10,5	0,8	217	10,2
	ben	8				5						1	1				
2 & 6	Weerrib	8,	2,7	398	6,1	212	0,6	0,9	0,3	783	49	888	126	15,5	3,6	305	0
	ben	9				6							3				
3	Weerrib	7,	3,3	478	255	304	0,6	1,1	0,1	918	57	110	158	7,3	0,6	219	5,6
	ben	5				4						3	1				
4	Weerrib	8,	1,7	421	8,9	135	0,5	0,6	0,1	141	113	155	863	3,0	1,2	432	0
	ben	6				7				6		9					
5	Weerrib	6,	3,0	388	681	221	0,9	17,6	0,1	830	6	909	141	57,7	13,2	192	0
	ben	9				8							4				
7	Weerrib	7,	2,8	451	316	242	0,5	0,7	0,2	113	48	129	130	12,4	0,9	223	0
	ben	3				5				4		5	5				
9	Weerrib	7,	3,2	457	84	291	0,5	0,2	0,2	887	56	105	154	1,4	0,4	217	11,7
	ben	9				0						1	0				
10	Weerrib	7,	2,7	374	214	229	0,6	0,7	0,3	129	57	914	734	11,3	4,2	126	0
	ben	4				5				9							

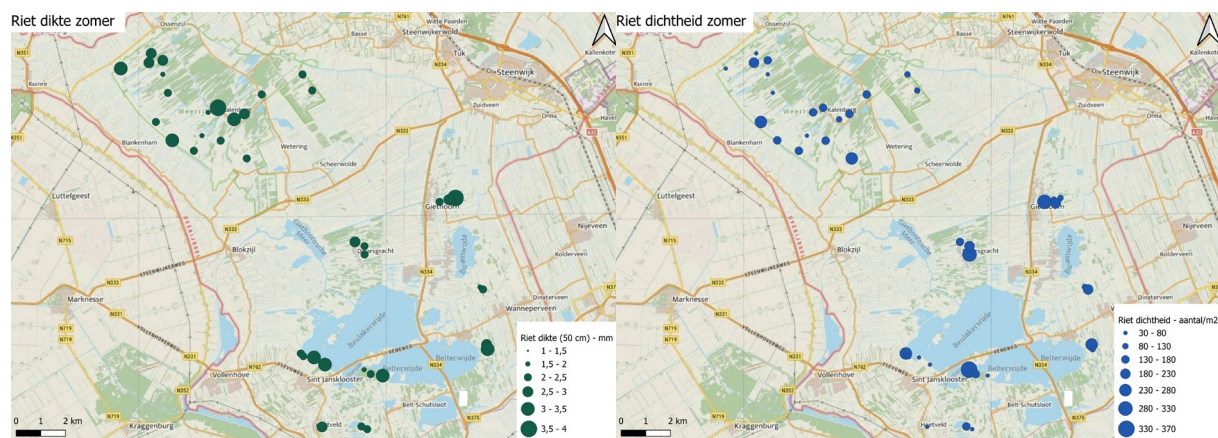


Figuur 8.3. Overzicht van de oppervlaktewaterlocaties rondom de veenweidepercelen.



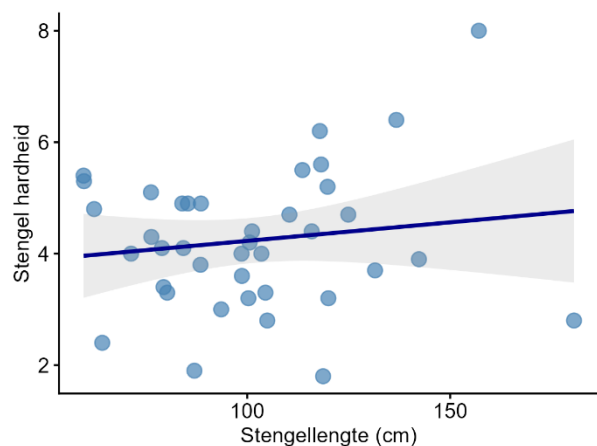
Figuur 8.4. Overzichtsfoto's van enkele boorprofielen van de veenweidepercelen. Foto's: Jeroen Graafland.

8.5 Bijlage 5. Ruimtelijke variatie rietvariabelen

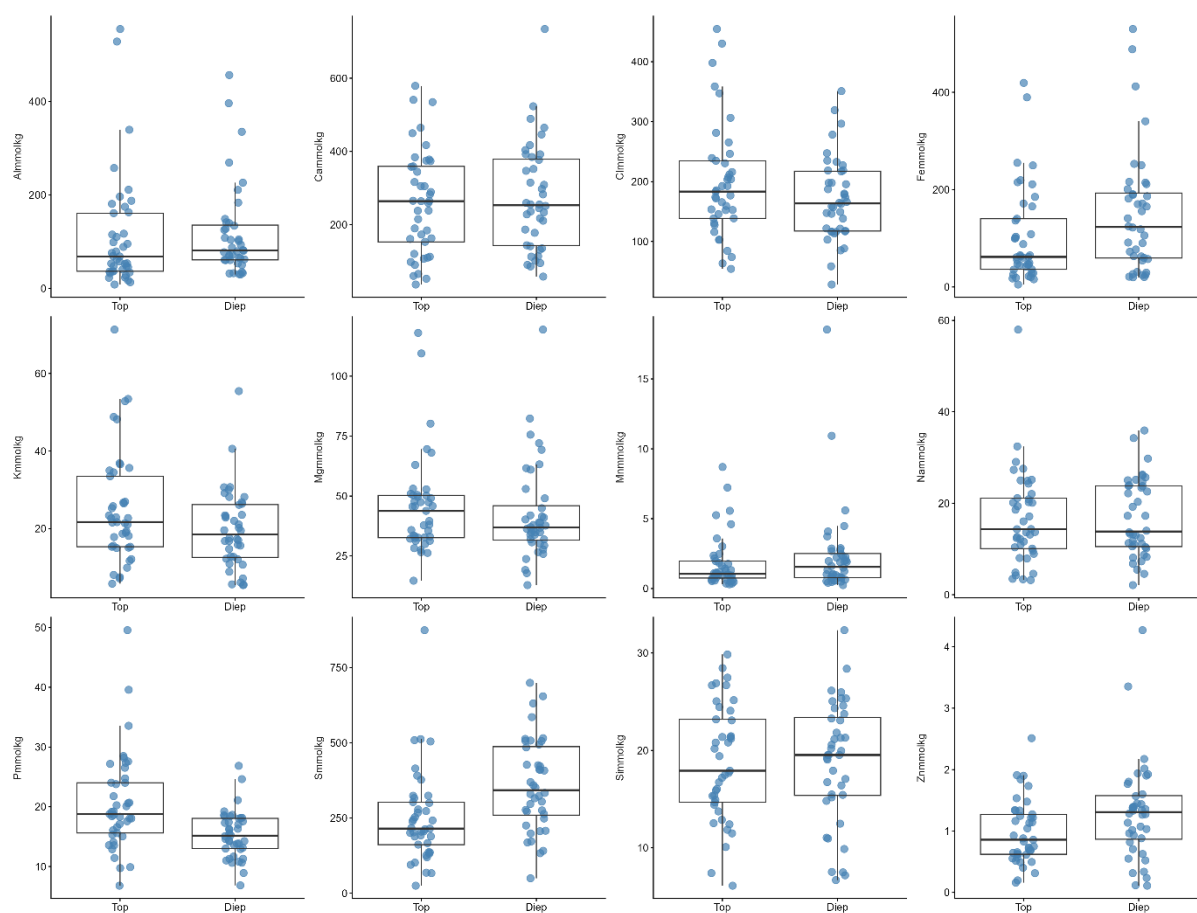


Figuur 8.5. Overzicht van de ruimtelijke variatie in riet dikte (50 cm) en riet dichtheid (aantal stengel/m²)

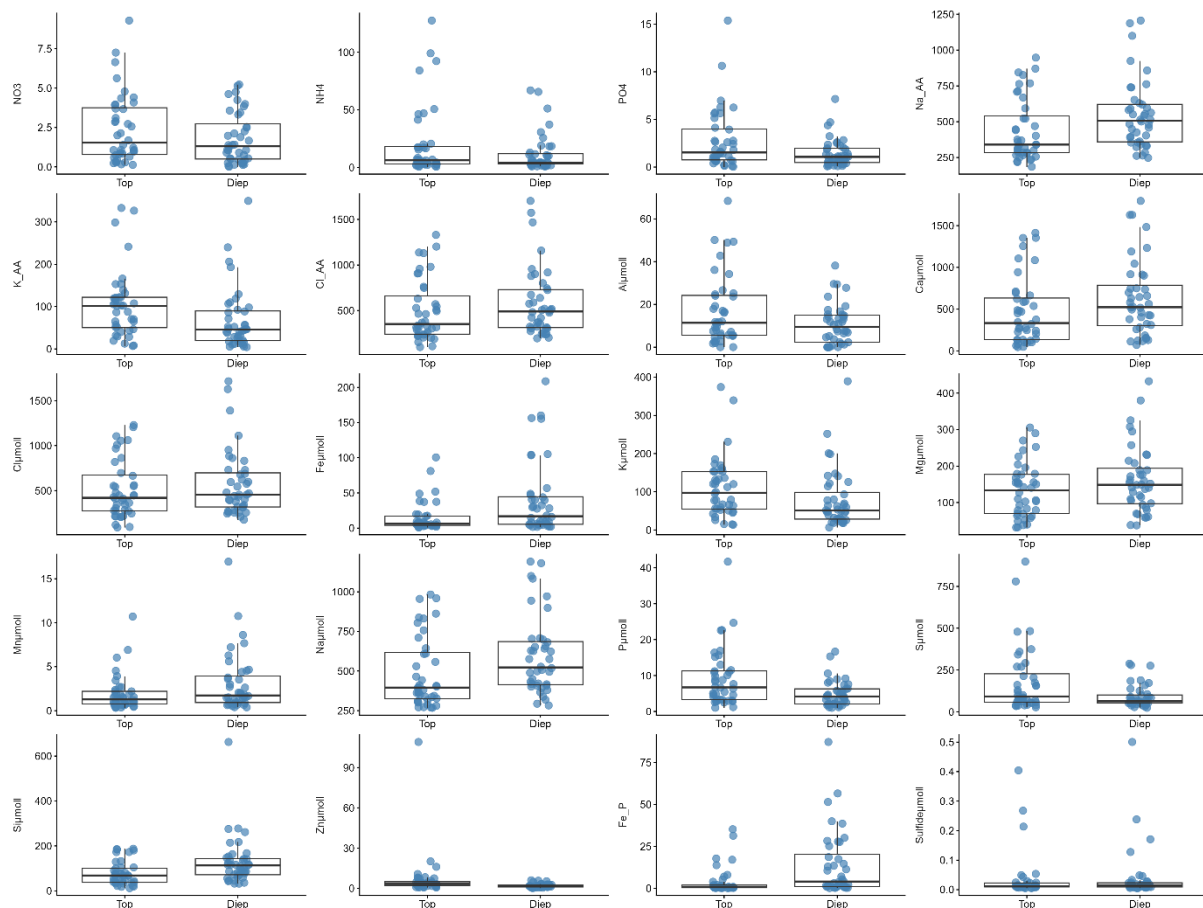
8.6 Bijlage 6. Aanvullende grafieken gemeten variabelen



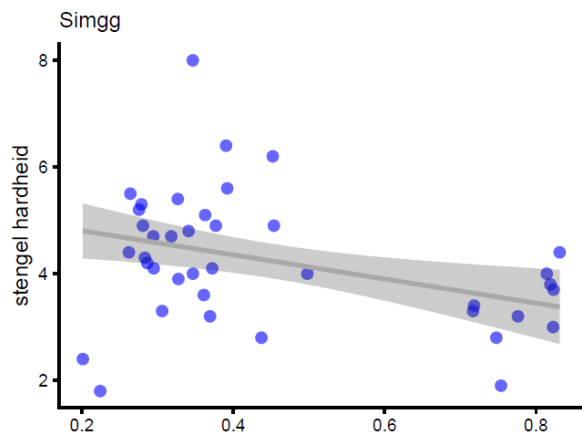
Figuur 8.6. Onderlinge correlatie tussen stengellengte (cm) en 'hardheid' van de stengel, op basis van gemiddelde per locatie. De blauwe lijn is de regressielijn, de grijze balken het 95%-betrouwbaarheidsinterval.



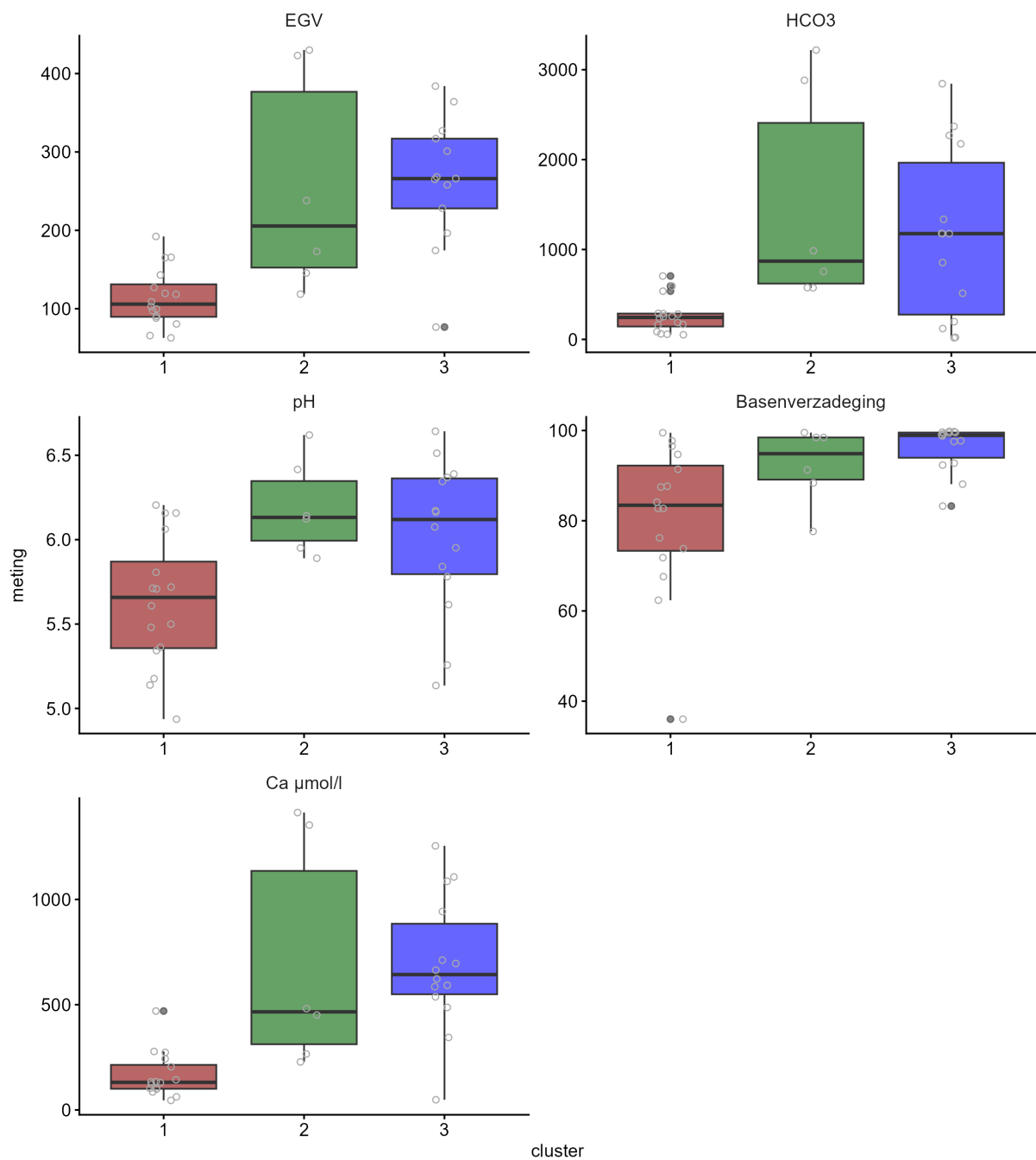
Figuur 8.7. Elementenconcentraties in de bodem (mmol/kg drooggewicht) per bemonsterde diepte. Top = 0-20 cm-mv, Diep= 20-40 cm-mv. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10^e en 90^e percentiel. De mediaan wordt weergegeven door middel van de horizontale streep in de box. n=40.



Figuur 8.8. Nutriënten- en elementenconcentraties in het porievocht, weergegeven per diepte. Top = ± 15 cm-mv, Diep = ± 40 cm-mv. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10^e en 90^e percentiel. De mediaan wordt weergegeven door middel van de horizontale streep in de box. $n=40$.



Figuur 8.9. Relatie tussen stengelhardheid en siliciumgehalte in de plant (Si , mg g^{-1} drooggewicht), met de lineaire relatieve regressielijn uit het model met 95%-betrouwbaarheidsintervallen (BI).



Figuur 8.10. Verschillende variabelen van de zuur-basenbalans gemeten in de toplaag van de bodem, per vegetatiecluster weergegeven. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10^e en 90^e percentiel. De mediaan wordt weergegeven door middel van de horizontale streep in de box.

8.7 Bijlage. 7. Vragenlijst

Naam:

1. Locatienummer van het perceel(staat op de meegestuurde kaart)
2. Wat is de opbrengst van dit perceel geweest afgelopen jaar (winter 2024/2025)? Graag aangeven in aantal bosjes (handelsmaat) per hectare
.....
3. Is dit perceel begreppeld? Ja of Nee (omcirkel wat van toepassing is)
4. Wordt dit perceel bevloeid?
 - a. Ja of Nee (omcirkel wat van toepassing is)
 - b. Zo ja, betreft dit bevoeiing met windmolen, pomp of op andere wijze?
.....
.....
 - c. In welke maanden in het jaar wordt er bevloeid?
.....
.....
 - d. Hoe intensief is de bevoeiing, m.a.w. hoe hoog staat het water boven maaiveld tijdens bevoeiing? In cm boven maaiveld
5. Is het perceel geplagd in het verleden?
 - a. Ja of Nee (omcirkel wat van toepassing is)
 - b. Zo ja, in welk jaar?
 - c. Zo ja, hoe diep is er destijds geplagd? In cm beneden maaiveld
6. Zijn er andere beheermaatregelen op dit perceel uitgevoerd welke van belang kunnen zijn voor ons onderzoek? Zo ja welke;
.....
.....
7. Heeft u nog andere ervaringen met beheer in het verleden ofwel eigenschappen van de percelen welke volgens u invloed hebben gehad op rietgroei en de opbrengst?
.....
.....

8.8 Bijlage 8. Overzicht modelinput

Tabel 8.3. Overzicht van de uiteindelijke meegenomen verklarende variabelen in het model. Zie paragraaf 2.6 voor de details over de totstandkoming van deze lijst.

Verklarende variabele	biomassa	hardheid	dikte (50 cm)	lengte
Plant				
K:P ratio	✓	✓	✓	✓
C:N ratio	✓	✓		✓
Si mg/g	✓	✓	✓	✓
K mg/g	✓			✓
Bodem				
P mmol/kg	✓	✓	✓	✓
Fe mmol/kg		✓		
Ca mmol/kg	✓	✓	✓	✓
Ca-zout extract µmol/kg	✓	✓	✓	✓
Fe:S ratio	✓		✓	✓
Organisch materiaal	✓	✓	✓	✓
Porievocht				
P µmol/l	✓			
Si µmol/l	✓	✓	✓	
NO ₃ µmol/l	✓	✓	✓	✓
NH ₄ µmol/l	✓	✓	✓	✓
Omgeving				
Grondwaterstand	✓	✓	✓	✓
Zuur-basenbalans				
Ca-zout extract µmol/kg	✓	✓	✓	✓
pH porievocht	✓	✓	✓	✓
EGV porievocht	✓	✓	✓	✓
Basenverzadiging bodem	✓	✓	✓	✓



Toernooiveld 1
Mercator III gebouw
6525 ED Nijmegen

IBAN: NL23 RABO 0167 8984 93
BTW: NL 811402496B01
KvK: 09131250

024 212 2200
info@b-ware.eu
www.b-ware.eu

**Biogeochemical Water management
& Applied Research on Ecosystems**