

Het belang van bodemtypen en nutriënten voor riet in de Loosdrechtse Plassen

Verkenning van abiotische knelpunten voor het broedhabitat van de grote karekiet



Eindrapport

Opdrachtgever: Vogelbescherming Nederland • Projectnummer: PR 18.039 • Rapportnummer: RP-18.039.19.8 •
Auteurs: Yvon Verstijnen, Fons Smolders, Jimmy de Fouw • Datum: 20-6-2019



Radboud Universiteit Nijmegen



Titel rapport:

Het belang van bodemtypen en nutriënten voor riet in de Loosdrechtse Plassen. Verkenning van abiotische knelpunten voor het broedhabitat van de grote karekiet

Auteurs:

Yvon Verstijnen, Fons Smolders (Onderzoekcentrum B-WARE), Jimmy de Fouw (Radboud Universiteit Nijmegen)

Opdrachtgever: Vogelbescherming Nederland



Rapportnummer:

RP-18.039.19.8

Contactgegevens:

Onderzoekcentrum B-WARE BV
Radboud Universiteit Nijmegen
Mercator III, Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen

Contactpersoon:

Yvon Verstijnen
Tel: 024-2122206
y.verstijnen@b-ware.eu
www.b-ware.eu

Aquatic Ecology & Environmental Biology
Radboud Universiteit Nijmegen
Huygens Building, Heyendaalseweg 135
6525 AJ Nijmegen

Jimmy de Fouw
Tel: 024-3652472
j.defouw@science.ru.nl
www.ru.nl/science/aquatic/

Dankwoord

Dit rapport is tot stand gekomen dankzij financiële bijdrage van Vogelbescherming Nederland. Nico Korporaal (beleidsmedewerker Wetlands) van de Vogelbescherming danken wij voor zijn persoonlijke betrokkenheid bij het tot stand komen van het project en leverde commentaar op het conceptrapport. Met name willen we Jan van der Winden bedanken voor zijn structurele bijdrage tijdens de projectrealisatie en zijn uitgebreide commentaar op het concept rapport. Martin Poot (Grote Karekieten werkgroep) adviseerde tijdens het startoverleg en keuze van veldlocaties. Waternet leverde data over waterpeil en waterkwaliteit in de Loosdrechtse Plassen. Winnie Rip en Gerard ter Heerdt (Waternet) danken wij voor het commentaar op het concept rapport. Natuurmonumenten faciliteerde het startoverleg in Fort-Kijkuit te Kortenhoef.

INHOUD

1	Inleiding	1
1.1	Probleemstelling.....	1
1.2	Riet geschikt voor grote karekieten	2
1.3	Loosdrechte Plassen	3
1.4	Doel en aanpak	3
1.5	Leeswijzer	3
2	Sturende factoren voor riet ontwikkeling - bureaustudie	5
2.1	Waterkwaliteit	5
2.2	Waterdynamiek	6
2.3	Bodemchemie	8
2.4	Chemische rietkwaliteit	11
2.5	Andere belangrijke sturende factoren	13
3	Methode	15
3.1	Monstername veld	15
3.2	Experiment	16
3.3	Analyses	18
3.4	Statistiek.....	19
4	Resultaten	21
4.1	Veldwerk Loosdrecht	21
4.2	Bodemchemie	21
4.3	Samenvatting bodemanalyse	26
4.4	Rietkwaliteit	27
4.5	Samenvatting rietkwaliteit	31
4.6	Pilot-experiment	31
4.7	Samenvatting pilot-experiment	32
5	Synthese, conclusies & aanbevelingen.....	33
5.1	Synthese	33
5.2	Conclusies	34
5.3	Aanbevelingen voor beheer en (her)inrichting	35
5.4	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	35
6	Literatuur	37
7	Bijlagen	41

1 INLEIDING

1.1 Probleemstelling

Riet (*Phragmites australis*) is een karakteristieke en belangrijke plantensoort voor Nederlandse moerassen. Riet behoort tot de grassenfamilie en staat veelal langs de waterkant waar deze vanaf de oevers het water in groeit. Dit wordt ook wel waterriet genoemd. Het vervult een rol bij verlading processen in laagveenmoerassen maar is ook een belangrijk habitat voor moerasfauna. Waterriet staat in Nederland sterk onder druk; het areaal is de laatste decennia aanzienlijk afgenomen (Graveland and Coops 1997, Graveland 1998, 1999, van der Winden et al. 2018). De oorzaken verschillen enigszins per locatie, maar worden vaak gezocht in de afname van peildynamiek, slechte waterkwaliteit in combinatie met lokale factoren zoals kadevorming en (struik)opslag en, vooral in het laatste decennium, vraat door herbivoren (Graveland and Coops 1997, Graveland 1998, Bakker 2010, van der Winden 2016, Bakker et al. 2018, de Fouw et al. 2018, van der Winden et al. 2018).

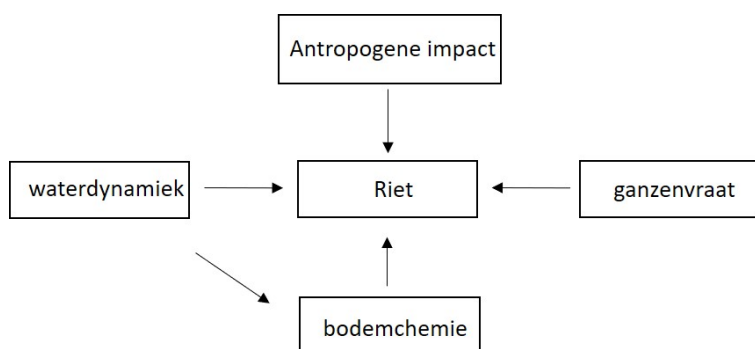
Riet vormt een essentieel broed- en foerageerhabitat voor karakteristieke moerasbroedvogels zoals baardmannetjes (*Panurus biarmicus*), kleine karekiet (*Acrocephalus scirpaceus*) en grote karekiet (*Acrocephalus arundinaceus*). Met name de grote karekiet is enorm in aantal afgenomen en is daarom opgenomen in het 'Actieplan bedreigde vogels' (Vogelbescherming Nederland 2015). Naar aanleiding van dit Actieplan is een beschermingsprogramma voor de grote karekiet gestart (van der Winden 2016). In het kader hiervan worden maatregelen getroffen om de rietkragen die geschikt zijn voor grote karekiet te beschermen. Daarnaast is behoud en herstel van riet langs meren en plassen een belangrijk onderdeel van de doelstellingen in de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Hoewel behoud en ontwikkeling van deze vegetaties zeer gewenst is, neemt op de meeste plekken de omvang en kwaliteit van rietkragen af. Een belangrijke reden hiervoor is de vraat door herbivoren. Om die reden zijn onder meer in de Loosdrechtse Plassen rasters geplaatst om de vraat tegen te gaan (van der Winden 2016). Dat is effectief gebleken en op de meeste uitgerasterde plaatsen breidt het riet zich weer uit en herstelt het zich (de Fouw et al. 2018).



Foto 1. Een ideale rietkraag voor de grote karekiet met een mooie gradiënt van hoog dik riet in het water (rechts), waar het nest wordt gebouwd, naar lager dunner riet naarmate de waterdiepte toeneemt (Bron: Jan van der Winden).

Het valt echter op dat op veel plekken in de Loosdrechtse Plassen de rietkragen aan de oevers van de meren niet hoog en dicht genoeg worden om geschikt te zijn als broedplek voor grote karekieten (zie paragraaf 1.2 voor beschrijving riet geschikt voor grote karekieten). De stengels blijven dunner dan 5 millimeter en de hoogte is minder dan 3 meter. Dit, op zichzelf gezonde, ijlere riet is in de Loosdrechtse Plassen her en der nog aanwezig (van der Winden 2016). Omdat er veel geïnvesteerd wordt in de bescherming van riet geschikt voor grote karekieten is het de vraag of dit type riet nog wel kan ontwikkelen en zo ja op welke bodemtypen. Om hier meer grip op te krijgen was het nodig om de abiotische omstandigheden te onderzoeken die van invloed kunnen zijn op de ontwikkeling van riet geschikt voor grote karekieten. Dat bracht Vogelbescherming Nederland tot de opdracht aan B-WARE om uit te zoeken waarom er grote verschillen aanwezig zijn in Loosdrecht in de hoogte, dikte van het riet dat resulteert in het ontbreken van geschikt riet voor grote karekieten ook op plekken waar het ooit wel stond (van der Winden 2016).

Wij beschrijven in deze rapportage welke factoren de groeicondities bepalen voor rietkragen in het algemeen en waar mogelijk focussen we op geschikt habitat voor grote karekieten in meren met een relatief stabiel waterpeil (karakteristiek voor de Nederlandse situatie). Hierbij ligt onze focus op de Loosdrechtse Plassen. Figuur 1.1 geeft schematisch de factoren weer die worden behandeld. In dit rapport zullen we vooral ingaan op de nutriëntenbeschikbaarheid en de factoren die daar een rol in spelen zoals bodemchemie en waterdynamiek.



Figuur 1.1. Factoren die van invloed zijn op de groeicondities van riet.

1.2 Riet geschikt voor grote karekieten

De grote karekiet broedt uitsluitend in rietkragen die in het water staan. Met name de kragen waar het riet dicht op elkaar groeit met hoge en dikke stengels zijn geschikt als broedgebied voor de grote karekiet (Graveland 1998, van der Winden 2016, van der Winden et al. 2018) (Foto 1). De vogels hangen de nesten in het vroege voorjaar op aan de meerjarige rietstengels terwijl later in het groeiseizoen het nest ook aan nieuwe rietstengels wordt bevestigd. De nesten (Foto 2) bevinden zich op een hoogte van ongeveer 75 centimeter boven het water en het nest wordt gebouwd op plekken met de hoogste stengeldichtheden (170-340 stengels m^{-2} ; verschilt per locatie, zie Graveland et al. 1996). Het riet geschikt voor grote karekieten is in het veld herkenbaar omdat het hoger wordt dan 3 meter (boven water), in minimaal 30 centimeter diep water groeit, dikke stengels heeft (> 6 millimeter) en donker-blauwgroen van kleur is (Graveland 1996, Graveland et al. 1997, Graveland 1998, van der Winden et al. 2018). Dit zware hoge riet kan binnen één jaar wel 4 meter hoog worden en heeft dan ook veel voedingstoffen nodig om te kunnen groeien. Van der Winden et al. (2018) maakt een onderverdeling in vier typen riet afhankelijk van groeiomstandigheden. Het riet geschikt voor grote karekieten behoort tot het vierde type en wordt ook wel ‘stromingsriet’ genoemd (van der Winden et al. 2018).

1.3 Loosdrechtse Plassen

De Loosdrechtse Plassen liggen in de provincie Noord-Holland waar ze aan de zuid- en zuidwestkant grenzen aan de provincie Utrecht. Het is een laagveengebied grenzend aan hoge zandgronden in het oosten en vormt het centrale deel van het Natura 2000 gebied Oostelijke Vechtplassen. Naast de natuurwaarde heeft het gebied een belangrijke functie voor recreatie en watersport. De Loosdrechtse Plassen is naast de randmeren een van de twee bolwerken waar in Nederland nog een populatie aan grote karekieten aanwezig is.

1.4 Doel en aanpak

In het eerste deel van het rapport wordt via een kennismontage in beeld gebracht wat er bekend is over de sturende factoren die een rol spelen bij de ontwikkeling en instandhouding van vitale rietkragen. De focus van deze kennismontage ligt op de Loosdrechtse Plassen waarbij er getracht wordt om naast literatuur en gebiedsspecifieke kennis ook historische data te beschrijven. Het is uitdrukkelijk niet de bedoeling van de kennismontage om in detail in te gaan op alle mogelijke sturende factoren en deze te beschrijven (zie voor een detailoverzicht o.a.: Graveland & Coops 1997, Belgers & Arts 2003). In het tweede deel van het rapport gaan we in op de kennisvragen die we proberen te toetsen middels veldgegevens. In 2018 zijn in de Loosdrechtse Plassen metingen aan en in de rietkragen verricht binnen de ganzenrasters (zodat het effect van ganzenvraat kon worden uitgesloten) waarbij rekening gehouden is met waterdynamiek en bodemchemie. Daarnaast is een pilot-experiment uitgevoerd in de kassen van de Radboud universiteit om voor riet het mogelijke belang van nutriëntentoevoer via oppervlaktewater te testen.

Kennisvraag

Welke factoren bepalen de groeicondities van riet dat geschikt is voor broedbiotoop voor grote karekieten in de Loosdrechtse Plassen?

Deelvragen:

- Is de huidige beschikbaarheid van nutriënten limiterend voor de uitbreiding van riet geschikt voor broedhabitat voor grote karekieten?
- Is er sprake van ophoping van organisch materiaal in deze rietkragen?
- Wat is het effect van waterdynamiek op bovenstaande factoren?

1.5 Leeswijzer

Onderhavige rapportage beschrijft de kennismontage, veldmetingen in de rietkragen in de Loosdrechtse Plassen en een pilot-experiment naar de groeiresponse van riet onder verschillende nutriëntenaanvoer condities. Het rapport heeft de volgende opbouw. In hoofdstuk 2 wordt de beschikbare kennis van de sturende factoren (kort) besproken op basis van beschikbare literatuur en reeds beschikbare data van de Loosdrechtse Plassen (waterkwaliteit, waterdynamiek). In hoofdstuk 3 wordt de methode van de veldmetingen en het nutriënten rietgroei experiment besproken. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de resultaten van de veldmetingen en het experiment gepresenteerd en besproken. In hoofdstuk 5 volgt een synthese waarin een link wordt gelegd tussen de montagestudie en de resultaten van de veldmeting en het experiment. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen.



Foto 2. Het nest van de grote karekiet wordt opgehangen aan dikke rietstengels die in diep water staan. Foto gemaakt na het broedseizoen, Loosdrecht oktober 2015 (Bron: Jan van der Winden).

2 STURENDE FACTOREN VOOR RIET ONTWIKKELING - BUREAUSTUDIE

In onderhavig hoofdstuk wordt middels een bureaustudie in beeld gebracht wat er bekend is over sturende factoren die een rol spelen bij de ontwikkeling en instandhouding van rietkragen in het algemeen en waar mogelijk focussen we op het broedbiotoop voor grote karekieten (zie hoofdstuk 1). Hierbij focussen we op het laagveengebied de Loosdrechtse Plassen. Het doel van het hoofdstuk is om het onderzoek naar de nutriëntenbeschikbaarheid in perspectief te zetten ten opzichte van reeds bekende gegevens. Het is uitdrukkelijk niet de bedoeling om alle sturende factoren in detail te beschrijven (zie voor een detail overzicht: Graveland & Coops 1997, Belgers & Arts 2003).

2.1 Waterkwaliteit

Van nature komt (water)riet voor in gebieden die mesotroof en eutroof zijn en kan zich goed aanpassen aan een toename van nutriënten (Romero et al. 1999, Tylová et al. 2013, Weeda et al. 1994.). In laagveenplassen in Nederland is het rietstadium toegekend aan een uitgangssituatie met zoet, eutroof water (Verhoeven & Bobbink 2001) en kan eutrofiëring leiden tot (co-)dominantie van riet (Lamers et al. 2018). De biomassa-productie is echter afhankelijk van meerdere factoren en is niet altijd eenduidig te koppelen aan nutriëntenbeschikbaarheid (Ostendorp 1989, van der Putten 1997, Tylová et al. 2013). Een slechte waterkwaliteit door te hoge nutriëntenconcentraties (eutrofiering) kan op verschillende manieren riet negatief beïnvloeden. Het kan bijvoorbeeld effect hebben op de kwaliteit van de stengels (vermindering van steunweefsel door snelle groei), vorming van algenpakketten die in de rietkragen ophopen of de inlaat van alkalisch voedselrijk water kan interne eutrofiering opgang brengen (zie details Graveland & Coops 1997). Daarnaast heeft algenbloei door toename van nutriëntenconcentraties in het water een negatief effect op het doorzicht van het water. Met een afname van het doorzicht neemt de uitbreiding van riet af naarmate het water dieper wordt en het (zon)licht niet tot de bodem rijkt (Weisner 1991, van der Valk et al. 1994). Een tweede factor die voor riet in de Loosdrechtse Plassen en voor de Nederlandse situatie een rol kan spelen is de ophoping van organisch materiaal door de verhoogde groei van riet (strooisel) en een hogere biologische productie in het water (Čížková-Končalová et al. 1996, Graveland & Coops 1997, van der Putten et al. 1997). De negatieve invloed van ophoping van organisch materiaal speelt vooral een rol aan de landzijde in ondieper water met minder waterdynamiek (zie paragraaf 2.2 en 2.3). De productie, nutriëntenbeschikbaarheid, van het water in relatie met rietgroei heeft waarschijnlijk een optimumcurve die afhankelijk is van de lokale omstandigheden en is niet makkelijk te voorspellen zonder gerichte kennis van het systeem (Graveland & Coops 1997). Daarom zijn aanvullende veldmetingen wenselijk om inzicht te krijgen in de relatie tussen de nutriëntenbeschikbaarheid en rietgroei om natuurontwikkelingsprojecten goed te informeren en te doen slagen.

De waterkwaliteit in de Loosdrechtse Plassen was tot eind jaren vijftig beter, het water was helder en op veel plekken was de bodem op twee meter diepte zichtbaar en bedekt met kranswieren (de Ruiter et al. 1988). Vanwege de drinkwaterproductie werd van 1930 tot 1957 het water uit de Bethunepolder door de plassen geleid en nam de verblijftijd sterk af (pers. mededeling Winnie Rip, Waternet). Eind jaren vijftig nam de het doorzicht aanzienlijk af door de toegenomen nutriëntenbelasting mede als gevolg van de toegenomen niet-gerioleerde bebouwing, recreatie en vooral de inlaat van nutriëntenrijk water uit de Vecht. Door de hoge fosfaatbelasting ontstond er veel blauwalgenbloei, waardoor het water troebel werd. In 1961 was het doorzicht afgenomen naar 30 centimeter. De fosfaatbelasting had waarschijnlijk zijn piek in 1968. Vanaf de jaren zeventig werden omliggende dorpen gerioleerd en werd de kwaliteit van het water in de Vecht veel beter waardoor de fosfaatbelasting afnam (pers. mededeling Winnie Rip, Waternet). Sinds 1984 werd bijna geen water uit de Vecht meer ingelaten en in 1985 ging de zuiveringsinstallatie in werking om met water van het Amsterdam-Rijnkanaal de plassen op peil te houden (de Ruiter et al. 1988). Deze maatregelen hebben

de nutriëntenbelasting aanzienlijk teruggebracht en het doorzicht neemt gestaag toe (Bijlage 1), maar is nog lang niet zoals het vroeger was (heden: ~50 centimeter, Bron: Waternet). In sommige veengebieden is er vanuit de bodem nalevering van fosfaat. Recent onderzoek heeft uitgewezen dat voor de Loosdrechtse Plassen de potentie voor fosfaatlaflevering laag is (van Meer & Roijendijk 2018). Naast gebiedsvreemd nutriëntenrijk water (vooral fosfaat) is het zwevend stof (veenslib en fijn veen deeltjes) een belangrijke oorzaak van het matige doorzicht in de Loosdrechtse plassen (van Meer & Roijendijk 2018). Er komen dan ook zeer weinig waterplanten voor, zoals kranswieren, fonteinkruiden en krabbenscheer die typisch zijn voor een laagveengebied (Borren et al. 2012). De laatste jaren is er echter een lichte toename van dit soort waterplanten (pers. mededeling Winnie Rip, Waternet). Met name aan de oostzijde van het plassengebied op de zandige bodems (pers. obs. J. van der Winden). In de huidige situatie is de waterkwaliteit nog steeds onvoldoende. Daarom zijn er maatregelen in voorbereiding of in uitvoering om de waterkwaliteit weer goed te krijgen, zodat de situatie van voor 1960 weer wordt hersteld (pers. mededeling Winnie Rip, Waternet). Vanaf 2019 wordt er een daling verwacht in fosfaatbelasting door het water uit de Bethunepolder te defosfateren. Ook de fosfaatbelasting vanuit het achterland van de Loosdrechtse plassen zal door middel van nieuwe defosfateringsinstallaties verminderen. Het is de verwachting dat hiermee de verbetering in waterkwaliteit de komende decennia doorzet. Voor een volledig herstel van plantenrijk en helder water zijn waarschijnlijk maatregelen nodig om het zwevende stof te laten bezinken, zoals de aanleg van luwte structuren en het reduceren van de brasemstand (pers. mededeling Winnie Rip, Waternet).

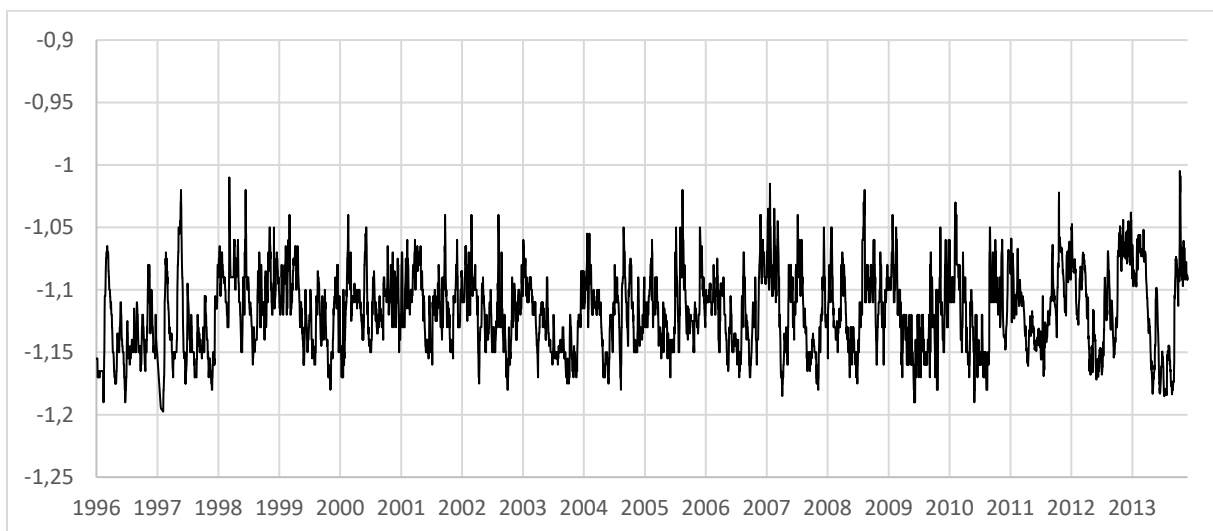
2.2 Waterdynamiek

Een belangrijke factor die invloed heeft op de ontwikkeling van waterriet is waterdynamiek, zoals dynamisch waterpeil, stroming en golfslag veroorzaakt door wind. Een deel van het blad van het riet komt in de herfst tussen de stengels op de bodem terecht als rietstrooisel; vooral in de ondiepere delen aan de landkant van de rietkraag waar minder waterdynamiek aanwezig is (Clevering 1997, Clevering & Lissner 1999). Daarnaast vangt een rietkraag met zijn wortels en rizomen veel zwevend organisch materiaal in uit de waterkolom. Ophoping van organisch materiaal stimuleert zuurstofarme omstandigheden in de bodem, wat een negatief effect kan hebben op de groei (zie paragraaf 2.3). Een natuurlijke peildynamiek (laag zomer- en hoog winterpeil) heeft een positief effect op de groei van riet doordat een laag zomerpeil zuurstofindringing bevordert en het aerobe afbraakproces van organisch materiaal in de rietkraag stimuleert (Graveland & Coops 1997). Daarnaast wordt de competitie met soorten die minder goed tegen droge omstandigheden kunnen verminderd. Een hoog winterpeil voorkomt bevriezing en begrazing van wortelstokken door watervogels. De amplitude, het verschil tussen hoog en laag waterpeil, en het talud waar het riet groeit spelen een rol en het effect is dus gebiedsafankelijk maar de amplitude moet wel aanzienlijk zijn (meer dan 1 meter) wil het de afbraak van strooisel bevorderen (zie bijvoorbeeld: Lenssen et al. 2013). In Nederland is deze peildynamiek nagenoeg verdwenen. Dit nagenoeg constante peil zorgt dat het erosieve effect van golven langdurig in dezelfde zone op de oever aanhoudt. Deze geconcentreerde golfwerking kan mede verantwoordelijk zijn voor de achteruitgang van riet (Coops 1999). Maar in de meeste meren in Nederland is dit niet aan de orde en staan de rietkragen met hoge en dikke rietstengels juist aan de oostzijde van de plassen waar de invloed van wind het grootste is (Graveland & Coops 1997).

Naast een natuurlijk peil kan fluctuerend peil ook voorkomen op kortere tijdschaal. Waterstanden kunnen onder invloed van de wind behoorlijk fluctueren en verschillen tussen de aan wind blootgestelde en beschutte kant kunnen oplopen tot een halve meter, afhankelijk van de diepte en grootte van het meer. Stroming die bijvoorbeeld ontstaat bij een storm, kan het organische materiaal in de rietkraag aanzienlijk reduceren (>60%; Boschker 1997) en door de sterke golfslag kan er een grofzandige bodem achterblijven (Coops 1999). Rietkragen die aan de windkant staan, oostelijke en

noordelijke oevers, hebben doorgaans dikkere en hogere rietstengels en groeien het verste het water in (Weisner 1987, Graveland & Coops 1997, Graveland et al. 1997).

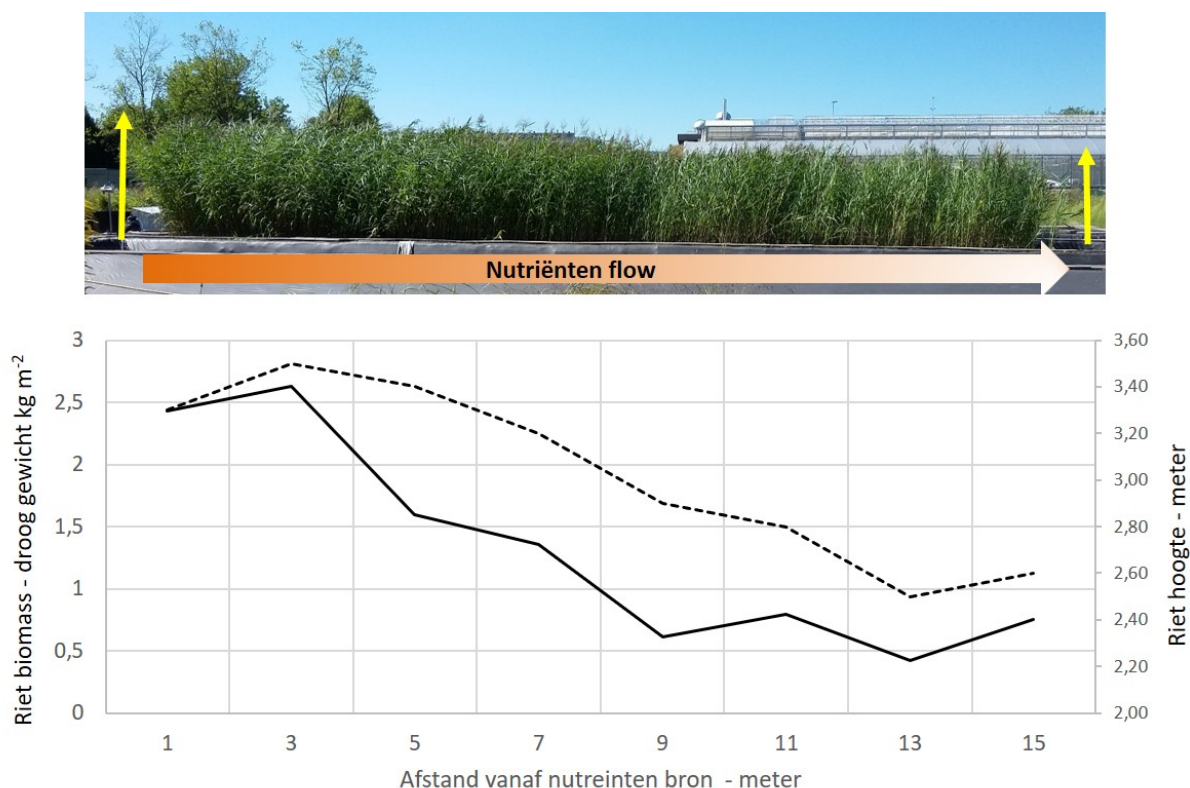
Het peilbeheer van de Loosdrechtse Plassen is voor een lange tijd uitgevoerd volgens het Plassencontract (1963) voor de polder Muyevelde. Het overeengekomen peil was maximaal -0.90 +NAP en minimaal -1.15 +NAP en werd in 1966 aangepast naar maximaal -0.95 +NAP en minimaal -1.20 +NAP. Tot 2011 werd er een zomerpeil van -1.15 +NAP en een winterpeil van -1.20 +NAP gehandhaafd (Ottow et al. 2012) (Figuur 2.1). Ten behoeve van het behalen van de KRW-doelen hebben de Loosdrechtse plassen sinds 2011 een flexibel peilbeheer tussen -1.05 +NAP en -1.20 +NAP. Bij een flexibel peilbeheer worden de oppervlaktepeilen minder strak gehandhaafd dan bij een vast zomer- en winterpeil. Flexibel peilbeheer in polder Muyevelde heeft o.a. als doel om de inlaat van gebiedsvreemd water in de zomer te reduceren terwijl in de perioden met wateroverschot meer gebiedseigen water kan worden vastgehouden. Het flexibel peilbeheer heeft ook als doel om de ecologische toestand te verbeteren (Ottow et al. 2012). Bijvoorbeeld: door lage waterstanden in de zomer kunnen oeverstroken tijdelijk droogvallen waardoor kieming en vestiging van oeverplanten wordt bespoedigd; door minder gebiedsvreemd water binnen te laten is de kans op verhoogde nutriëntenconcentraties lager en door minder water uit te laten is er naar verwachting meer gebiedseigen water beschikbaar met een groter aandeel aan schoon grond- en regenwater (Ottow et al. 2012).



Figuur 2.1. Oppervlakte waterpeil Loosdrechtse Plassen 1996-2012 (Bron: Waternet).

Hoewel de stroming over het algemeen laag is in laagveenplassen kan de natuurlijke stroming een effect hebben op de groeiomstandigheden van riet. Ten eerste kan de wind en golfslag de ophoping van organisch materiaal en veenslib tegengaan. Ten tweede kan stroming voedingsstoffen aanvoeren die de plant via de wortels kan opnemen. Riet kan namelijk zowel wortels in de bodem aanmaken als waterwortels op de stengelknopen (Clevering 1997, Clevering 1999, Aulio 2014). Deze zogenaamde ‘adventief’ wortels zouden een belangrijke functie vervullen bij het opnemen van nutriënten uit de waterkolom (Koncalova 1990, Clevering 1997). In een studie van Young et al. (1997) bleek dat dikkere stengels sterk geassocieerd waren aan verhoogde concentraties aan N, P en K in de waterlaag. Dit wordt ondersteund door een experiment in een proefsloot waarin riet een paar jaar geleden is aangeplant op voedselarme klei (bodemvocht: 0,5 à 4 $\mu\text{mol/l}$ P en 1 à 8 $\mu\text{mol/l}$ NH_4), uitgevoerd door Onderzoekcentrum B-WARE/Radboud Universiteit (RU) (Figuur 2.2). De sloot wordt vanaf één kant voorzien van nutriëntenrijk water, waardoor er een nutriëntengradiënt (vooral voor stikstof) over de lengte van de sloot ontstaat (Bijlage 2). Het is duidelijk te zien dat de biomassa en de hoogte van de

rietkraag afneemt over de lengte van de sloot. Riet groeit in de sloot dus duidelijk beter dicht bij de bron waar nutriëntenrijk oppervlaktewater wordt aangevoerd (Figuur 2.2). Om het belang van nutriënten en adventief wortels inzichtelijk te maken is er een (pilot)experiment uitgevoerd (zie paragraaf 3.2 & 4.6).



Figuur 2.2. Experimentele sloot van de Radboud Universiteit en B-WARE. Nutriëntenrijk water wordt aangevoerd vanaf de linkerkant en laat een duidelijk effect zien op de groei van het riet. Zowel hoogte (stippellijn) en bovengrondse biomassa (doorgetrokken lijn) worden weergegeven.

2.3 Bodemchemie

Een voldoende beschikbaarheid van nutriënten in de bodem is belangrijk voor de groei van riet. Daarnaast is een juiste verhouding tussen de verschillende nutriënten (vooral stikstof en fosfor) van belang voor een optimale groei en ontwikkeling. De nutriëntenbeschikbaarheid beïnvloedt de groei, kwaliteit en uitbreidingscapaciteit (Ulrich & Burton 1985, Engloner 2009). Op voedselrijke bodems kan riet in de regel goed groeien. Onder permanent natte omstandigheden bestaat het risico dat riet de competitie verliest van soorten die meer zuurstof in de bodem kunnen brengen, sneller kunnen groeien bij een hogere nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem en goed onder water kunnen kiemen, zoals Grote Lisdoode (*Typha latifolia*) (Belgers & Arts 2003).

In veel studies is gevonden dat nutriëntenrijke bodems leiden tot hoger en dikker riet (zie review in: Engloner 2009). In voedselrijke systemen wordt riet aangeplant als helofytenfilter om nutriënten op te nemen (zie o.a. Tanner 1996, Meuleman et al. 2002, Vymazal & Kröpfelová 2005). Riet komt dan ook voornamelijk voor op voedselrijkere bodems (mesotroof tot eutroof), en groeit slechter in voedselarme omstandigheden, waar het ook vaak wordt verdrongen door andere planten soorten (Belgers & Arts 2003). Riet is dus goed aangepast aan groei in relatief nutriëntrijke omstandigheden bij een gebalanceerde nutriëntenaanvoer (Romero et al. 1999). Een te sterke voedselrijkdom van de bodem of het water kan echter een negatieve invloed hebben op de biomassaproductie van riet (zie

o.a. Ostendorp 1989, Graveland & Coops 1997, van der Putten 1997, Čížková-Končalová et al. 2001). Zo kan een te hoge stikstofbeschikbaarheid bijvoorbeeld leiden tot minder buigkracht van de stengels (Engloner 2009) en kunnen hoge nitraatgehaltes in het bodemvocht (boven 2 tot 5 mg/l) leiden tot een hoog stengelverlies in rietkragen (Gigante et al. 2014). In een experiment uitgevoerd door Tylová et al. (2013) bleek dat riet beter groeide bij een (extreem) hoge stikstof en fosfor (N+P) additie in het bodemvocht (2,6 mmol L⁻¹ N en 0,1 mmol L⁻¹ P, N:P=26), maar slechter wanneer de relatieve beschikbaarheid van N t.o.v. P toenam (N:P>90). In het Balatonmeer hadden ammonium concentraties in het sediment (ca. 3700 en 5800 µmol kg⁻¹ = 68 en 101 mg kg⁻¹) een significant negatief effect op het aantal groene bladeren en ook een negatief effect op de diameter van de stengel (Tóth et al. 2016). Een sterke positieve relatie werd gevonden tussen de totaal-P (ca. 273 en 398 mg/kg) van het sediment en de diameter en de lengte (Tóth et al. 2016). De nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem in relatie met de rietgroei suggereert net als de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater (paragraaf 2.1) een optimumcurve. Mogelijk ligt het optimum voor riet geschikt voor grote karekieten bij dit optimum.

Voedselrijkere omstandigheden in de bodem kunnen ontstaan door de ophoping en afbraak van strooisel/organisch materiaal, waarbij stikstof en fosfaat vrijkomt dat kan worden opgenomen door de plantenwortels. Ophoping van organisch materiaal speelt voornamelijk een rol in de overgang van land naar water, waar waterdynamiek minder snel leidt tot het wegspoelen van het strooisel. In dieper water van de rietkraag (richting het open water) zal waterdynamiek (o.a. als gevolg van windwerking) ervoor zorgen dat organisch materiaal wordt weggespoeld (Keizer & Sinke 1992, Clevering 1997). De negatieve effecten van ophoping van strooisel spelen dan ook vooral een rol als er een dik pakket ophoopt in zeer eutrofe omstandigheden (Lenssen et al. 2013). Ophoping van organisch materiaal kan leiden tot anaerobe afbraak van het reactief organische materiaal (zie o.a. Smolders et al. 2006). Hierbij wordt, bij gebrek aan zuurstof, driewaardig ijzer en sulfaat gebruikt als alternatieve elektronenacceptor. Bij deze reactie wordt goed oplosbaar tweewaardig ijzer en/of sulfide gevormd. Omdat sulfide goed bindt aan ijzer zal er geen sulfide accumuleren zolang er voldoende tweewaardig ijzer aanwezig is. Zowel tweewaardig ijzer als sulfide kunnen, indien ze accumuleren in de bodem, toxisch zijn voor de wortels van riet (Armstrong et al. 1996, Weisner 1996, Belgers & Arts 2003). Sulfide-toxiciteit speelt vooral een rol in sulfaatrijke wateren zoals de brakke meren in de kustprovincies. In de Loosdrechtse Plassen speelt sulfide-toxiciteit echter geen rol (de Fouw et al. 2018).

De waterkwaliteit in de Loosdrechtse Plassen is erg veranderd in de twintigste eeuw, van voedselarm naar voedselrijk (paragraaf 2.2), en vervolgens weer naar voedselarmer. Dit heeft mogelijk ook gevolgen gehad op de waterbodempkwaliteit. De oppervlaktewaterkwaliteit is in de afgelopen decennia goed gemonitord, maar voor de waterbodem is dit niet het geval en hierover is minder bekend (met name over de rietoevers). De Loosdrechtse Plassen liggen op een scheiding van veen- en zandgronden. Hierdoor bestaat een deel van de vaste waterbodem uit veen en soms uit zand (Van Liere 1986). De veenslibdikte in de Loosdrechtse Plassen varieert per locatie. Over het algemeen is er in het oosten (t.h.v. de Wastobbe, Boomhoek, Oud-Loosdrecht) geen of weinig 'veenslib' (zwevend fijn veen en vast veen) en neemt de veenslibdikte richting het westen toe (Smolders & Lucassen 2006, van Meer & Roijendijk 2018). Bij een dikke veensliblaag als waterbodem bestaat de kans dat er meer anaerobe afbraak van organisch materiaal plaatsvindt. Bij anaerobe afbraak in de bodem wordt driewaardig ijzer, aanwezig in de vorm van ijzer(hydr)oxides, als alternatieve elektronenacceptor gebruikt, waarbij fosfaat dat aan deze ijzerhydroxides is gebonden wordt vrijgemaakt en in het bodemvocht terecht komt. Dit fosfaat kan dan, onder bepaalde condities, ook in de waterlaag terecht komen. Door de morfologie van de Loosdrechtse Plassen en de continue windwerking is het water genoeg turbulent dat de toplaag van het sediment het gehele jaar zuurstofhoudend is (Sinke et al.

1990). Dit bevordert de aerobe afbraak van organisch materiaal in de toplaag van de onderwaterbodem. Hierdoor wordt er minder materiaal anaeroob afgebroken waardoor de fosfaatbeschikbaarheid in de onderwaterbodem laag blijft.

In diverse studies zijn verschillende bodemkarakteristieken onderzocht in natuurlijke rietkragen met vitaal of niet vitaal (afstervend) riet (Tabel 2.1). Verder lijkt er weinig voorhanden in de literatuur over biogeochemische randvoorwaarden voor bodemkwaliteit en nutriëntstatus van de bodem in goed ontwikkelde (water)rietkragen. Enkele recente studies hebben de bodemchemie meegenomen in rietonderzoek (zie o.a. Čížková-Končalová et al. 2001, Tylová et al. 2013, Gigante et al. 2014, Tóth et al. 2016).

Uit Tabel 2.1 blijkt dat niet vitaal riet voorkomt bij hogere ammonium-, fosfaat- en sulfideconcentraties en lagere sulfaatconcentraties (deze duiden op meer sulfaatreductie en dus sulfidevorming) in het bodemvocht. Verder lijkt niet vitaal riet voor te komen bij hogere totaal-N en lagere K-concentraties en hogere ijzerconcentraties dan vitaal riet. Er zitten soms wel grote absolute verschillen tussen concentraties van de verschillende studies.

In het verleden is de bodemkwaliteit in de Loosdrechtse Plassen ook al eens geanalyseerd. Dit was in de periode dat het water werd geclassificeerd als (zeer) eutroof (Sinke et al. 1990, Keizer & Sinke 1992). Zie Tabel 2.1 en Bijlage 3 voor de data zoals gegeven in deze studies. Opvallend is dat met name de fosforconcentraties in de Loosdrechtse Plassen destijds aan de lage kant waren (10-15 $\mu\text{mol L}^{-1}$ zie Bijlage 3), en dat deze tussen 1990 en 2006 verder zijn afgenomen (Smolders & Lucassen 2006).

Tabel 2.1. Fysisch en chemische variabelen van bodemvocht en bodem uit literatuur in vitaal en/of niet-vitale rietkragen. *Historische data Loosdrecht uit Sinke et al. (1990) (bodemvocht) en Keizer en Sinke (1992) (sediment).

Rietscheuten					
Variabele	Eenheid	Vitaal	Niet vitaal	Bron	
Dichtheid	N/m^2	<100	>120	Van der Putten (1997)	
Drooggewicht	g/m^2	10-20	16-30	Van der Putten (1997)	
Bodemvocht					
Variabele	Eenheid	Vitaal	Niet vitaal		Loosdrecht*
EGV	$\mu S/cm$	600-2200	3600	Van der Putten (1997)	237-489
Alkaliniteit	mEq/l	5	17	Van der Putten (1997)	
NH4	$\mu mol/l$	200	2200	Van der Putten (1997)	
PO4	$\mu mol/l$	50	250	Van der Putten (1997)	10-11
Opg. anorg. C	$mmol/l$	9	24	Van der Putten (1997)	
Sulfide	$mmol/l$	0-0,6	1-4	Van der Putten (1997)	
SO4	$\mu mol/l$	328	77	Čížková et al. (2001)	
Sediment					
Variabele	Eenheid	Vitaal	Niet vitaal		Loosdrecht*
pH		8,4	8,4	Tóth (2016)	44629
Humus	%	5,4	5,9	Tóth (2016)	
Organisch C	$mmol/kg$	17485	26644	Tóth (2016)	
CaCO3	$mmol/kg$	1698	3397	Tóth (2016)	
N	$mmol/kg$	371	414	Tóth (2016)	
(NO3+NO2)-N	$mmol/kg dw$	0,3	0,4	Tóth (2016)	19
NH4-N	$mmol/kg$	6,9	7,2	Tóth (2016)	
P	$mmol/kg$	11	9	Tóth (2016)	
Oplosbaar P	$mmol/kg$	2,1	3,4	Tóth (2016)	
K	$mmol/kg$	130	102	Tóth (2016)	
Oplosbaar K	$mmol/kg$	3,2	2,1	Tóth (2016)	1003
Ca	$mmol/kg dw$	49,9	134,7	Čížková et al. (2001)	
Mg	$mmol/kg dw$	41,1	57,6	Čížková et al. (2001)	

2.4 Chemische rietkwaliteit

Helofyten, zoals riet, nemen met hun uitgebreide wortelstelsels nutriënten op uit de bodem en kunnen ook adventief wortels vormen om nutriënten uit de waterlaag op te nemen (Clevering 1997, Clevering 1999, Aulio 2014). Voor riet zijn zowel voedingstoffen in de bodem als in het water van belang.

Aangezien riet groeit in diverse habitats, met verschillende voedselrijkdom is het te verwachten dat de rietkwaliteit verschilt tussen gebieden en binnen gebieden. De achteruitgang van het rietareaal en morfologie (zoals lengte en dikte) is dan ook mogelijk terug te zien in de chemische kwaliteit van het riet, zoals nutriëntenconcentraties in blad, stengel en/of wortels. Dergelijke variabelen zijn dan ook in allerlei studies onderzocht. Zo wordt door Čížková-Končalová et al. (1992) uiteengezet dat een hoger stikstofgehalte zorgt voor minder koolhydraten opslag in de rizomen. Deze energieopslag is belangrijk in het voorjaar om de eerste scheuten te laten groeien. Vooral wanneer riet groeit in dieper

water moeten de eerste stengels voldoende kunnen groeien om boven het wateroppervlak te komen voor fotosynthese. Tevens kunnen zuurstofarme omstandigheden (anaërobie) ervoor zorgen dat koolhydraten minder efficiënt worden gebruikt. Dit komt omdat bij de anaërobe ademhaling die de wortels tijdelijk kunnen handhaven, de verbranding van eenzelfde hoeveelheid suiker veel minder energie oplevert.

In een andere studie was er een positieve correlatie gevonden tussen N en P in de rietplant (blad, stengel en rhizomen) en respectievelijk de N- en P-beschikbaarheid in het water en sediment (China) (Li et al. 2014). Hu et al. (2017) vonden in een gematigd klimaat (China) een correlatie tussen de tussen N en P-gehaltes van het rietblad en de beschikbaar P in de bodem. Ook in een andere studie werd gevonden dat de nutriëntconcentraties in bovengrondse rietbiomassa ($\pm 15\text{--}35$ mg N/g en $1,8\text{--}3,5$ mg P/g) werden beïnvloed door nutriëntgehaltes in het water ($4,2\text{--}7,9$ mg N/l en $0,14\text{--}0,6$ mg P/l) en sediment ($2370\text{--}4403$ mg N/kg en $276\text{--}631$ mg P/kg), en niet door bijvoorbeeld waterpeildynamiek (Zhao et al. 2013). Sollie en Verhoeven (2008) vonden dat in een jaar met fluctuerend peil de nutriëntconcentraties (N en P) in het riet lager waren dan in een jaar met een constant hoog peil. Dit had mogelijk te maken met de verhoogde concentraties in het bodemvocht als gevolg van inundatie en/of met de constante aanvoer van nutriënten via de waterlaag.

Naast absolute waardes kunnen de verhoudingen tussen nutriëntengehaltes in de plant kunnen inzicht geven in welk element limiterend is voor de groei. Zo geven N:P ratio's (g/g) in planten hoger dan 16 aan dat fosfor limiterend is en ratio's lager dan circa 14 suggereren een stikstoflimitatie (Koerselman & Meuleman 1996, Tylová et al. 2013). N:K ratio (g/g) in planten hoger dan 1,4 à 2,1 suggereren kaliumlimitatie (Olde Venterink et al. 2003). In een uitgebreide studie naar N- en P-concentraties in wetland-vegetatie kwam naar voren dat de N:P ratio's (op grambasis) in riet grotendeels tussen de 5 en 28 (g/g) liggen (Güsewell & Koerselman 2002). Riet met ijzergehaltes lager dan circa 40-50 mg/kg droge stof heeft deficiëntie aan ijzer. IJzer kan al toxisch zijn bij waarden in het blad hoger dan circa 150 mg/kg droge stof (Ren et al. 2018). Silicium is geen essentieel nutriënt voor riet maar kan wel van invloed zijn voor het riet m.b.t. weerstand en een impact hebben op rietgroei en N:P ratio (Schaller et al. 2012). In een experiment waarbij 10 g ($0,36$ mol) silicium werd toegevoegd aan 1 kg bodem groeide het riet iets beter en was de N:P ratio in de plant lager.

Getallen uit verschillende studies met betrekking tot de rietkwaliteit zijn in Tabel 2.2 bij elkaar weergegeven. In de Loosdrechtse Plassen aan de westkant nabij de Kievitsbuurt is het riet circa 30 jaar geleden geanalyseerd op elementenconcentraties (N: 15, P: 1,3 en C:452 mg/g; op basis van as-vrij drooggewicht) (Malthus et al. 1990).

Tabel 2.2. Enkele variabelen van plantkwaliteit van riet uit diverse studies. *d.s. = droge stof/drooggewicht. Niet vitale riet: riet in afstervende/kleiner wordende rietkragen.

Plantkwaliteit					
Variabele*	Eenheid	Vitaal	Niet vitaal	Algemeen	Info
Dichtheid	# per m ²	114-193	<100 of polvorm		1. Europa
Stengel d.s.	g/m ²	16-30	10-20		1. Europa
Rhizomen	% levend	50-60	30,00		1. Europa
Wortel-structuur		diep, groot oppervlak	ondiep, weinig vertakt, klein opp.		1. Europa
Stengel d.s.	g/m ²	1038	880		2. Tsjechië
Rhizomen d.s.	g/m ²	1931	2005		2. Tsjechië
Blad-N	mg/g			23,9	3. China, gem. klimaat
Blad-P	mg/g			1,5	3. China, gem. klimaat
Blad N:P	g/g			15,8	3. China, gem. klimaat
N	mg/g			14	4. Diverse locaties
N	mg/g			12,6	5. NL (Volkerrak), 2004
N	mg/g			5,0	5. NL (Volkerrak), 2005
P	mg/g			1	4. Diverse locaties
P	mg/g			1,4	5. NL (Volkerrak), 2004
P	mg/g			0,3	5. NL (Volkerrak), 2005

1: van der Putten (1997), 2: Čížková et al. (2001), 3: Hu et al. (2017), 4: Güsewell en Koerselman (2002), 5: Sollie & Verhoeven (2008).

2.5 Andere belangrijke sturende factoren

Begrazing

Grauwe ganzen zijn jaarrond sterk toegenomen in de Nederlandse natuurgebieden (van der Jeugd et al. 2006). Grauwe ganzen kunnen een groot effect hebben op rietvegetaties, en de toename heeft in een aantal gebieden gezorgd voor een afname van het areaal riet (zie o.a. Esselink et al. 1997, Coops et al. 2004, Bakker 2010, Beemster et al. 2012, Sarneel et al. 2012). De vraat door herbivoren is op dit moment een van de belangrijkste negatieve factoren voor riet in de Nederlandse wetlands. In drie wetlands waar grote karekieten nu nog voorkomen zijn veel rietkragen geschikt voor grote karekieten redelijk tot intensief begraasd (van der Winden et al. 2018, Van der Winden & van Gemeren 2018). Een enclosure- experiment in de Waterleidingplas bij Loosdrecht liet het effect van de Grauwe ganzen overduidelijk zien (Bakker 2010, Bakker et al. 2018). De enclosures stonden vol met vitaal hoog riet, terwijl in de controlevakken buiten de enclosures al het jonge riet was afgegraasd boven het waterniveau (Bakker 2010, Bakker et al. 2018). Sinds 2016 zijn in de Loosdrechtse Plassen en Stille Plas rasters geplaatst om de begraasde rietkragen te beschermen (van der Winden 2016). Recent onderzoek heeft laten zien dat de rasters effectief waren en dat de rietkragen herstelden (de Fouw et al. 2018).

Beschoeiing

Om afkalving van oevers tegen te gaan zijn in de jaren negentig op veel plaatsen in de Loosdrechtse Plassen dichte beschoeiingen geplaatst. Dichte beschoeiing dempt de golfslag maar voorkomt dus ook

een goede doorstroming in de rietkragen die nodig is voor een vitale rietkraag (zie paragraaf 2.2 & 2.3). Daarnaast heeft een dichte beschoeiing invloed op de uitgroei mogelijkheden van riet. Op locaties waar geen beschoeiing aanwezig is groeit het riet verder het water in en op locaties met dichte beschoeiing beperkt het riet zich tot achter de beschoeiing. Op enkele plaatsen is er een gat gemaakt in de beschoeiing onder water, om riet uitgroeimogelijkheden te geven maar dit heeft vooralsnog niet het gewenste resultaat (zie voor details van der Winden 2016).

Struik- en boomopslag

Op veel locaties zijn door natuurlijke successie struiken en bomen uitgebreid op de oevers grenzend aan de rietkragen. Deze struiken en bomen concurreren met het riet om voedingstoffen en licht. Op veel locaties waar bomen en struiken tegen het riet aangroeien is het riet aanzienlijk verslechterd. Vooral ook voor jonge kiemplanten van riet is overschaduwung funest (Belgers & Arts 2003). Rietkragen die grotendeels worden overschaduwed door andere (hogere) opslag, kunnen daardoor mogelijk minder goed ontwikkelen. In de Loosdrechtse Plassen zijn op enkele locaties al bomen en struiken gekapt, om zo meer licht te kunnen doorlaten voor riet. Dit in het kader van 'Actieplan voor de grote karekiet' (van der Winden 2016).

Recreatie

Verder heeft recreatie ook invloed op de groei van riet. Veel (laagveen)plassen worden recreatief gebruikt. Een direct effect is het verwijderen van riet door de aanleg van bijvoorbeeld beschoeiing, steigers, aanlegplaatsen en strandjes. Ook de Loosdrechtse Plassen zijn erg in trek bij recreanten en er wordt dan ook veel gebruik gemaakt van het water door allerlei vaarverkeer. De recreatiedruk is na de tweede wereldoorlog aanzienlijk gestegen (de Ruiter et al. 1988). Het vaarverkeer kan van invloed zijn op de waterkwaliteit (vooral zwevend stof in de vorm van veenslib) door de golfslag die ze produceert en kan zo opwerveling van veenslib teweegbrengen wat het doorzicht van het water negatief beïnvloed.

3 METHODE

3.1 Monstername veld

Veldwerk in de Loosdrechtse Plassen (eerste t/m vijfde plas) en de Stille Plas (Breukeleveensche Plas) is uitgevoerd tussen 11 en 18 september 2018 ruim buiten het vogelbroedseizoen. Op 36 locaties zijn rietparameters en bodemmonsters genomen in de rietkragen (Figuur 3.1). Een belangrijke vraag in het onderzoek was waarom op kleine ruimtelijke schaal zulke grote verschillen aanwezig zijn in de Loosdrechtse Plassen in de hoogte, dikte en kleur van het riet (zie paragraaf 1.1). Om hier meer grip op te krijgen is de locatiekeuze o.a. gebaseerd op het riettype ('dun-laag' en 'dik-hoog') en waar mogelijk zijn beide typen op dezelfde locatie bemonsterd (Foto 3). Daarnaast werd de locatiekeuze gebaseerd op diversiteit in bodemtype (zand/veen) en waterdynamiek (luwte, stroming). De locaties werden gekozen binnen reeds geplaatste rasters tegen ganzenvraat, om de invloed van ganzenvraat zo goed als mogelijk buiten beschouwing te kunnen laten (invloed van ganzenvraat behoort niet tot de vraagstelling in dit onderzoek). Op twee locaties (18 en 36) stonden geen rasters. Per locatie werd een aantal zaken vastgelegd o.a. sporen van (ganzen)vraat, andere vegetatie, verloop van het talud onder water (getrapt of gradiënt), de waterdiepte en bodemtype. Per locatie werd een bodemmonster genomen van de toplaag (bovenste 20 cm) met behulp van een grondboor en in luchtdichte emmertjes verpakt voor analyse in het laboratorium (zie paragraaf 3.3). Op elke locatie is een plot (50x50 centimeter) neergelegd één meter vanaf de waterkant in de rietkraag. Binnen elke plot is het aantal nieuwe en overjarige stengels geteld om de dichtheid vast te stellen en van vijf nieuwe random stengels is de dikte en hoogte opgemeten. Stengels zijn onderwater boven de bodem afgeknipt en hoogte is gemeten met een meetlint (tot aan het laatste blad voor de pluim) en de dikte is gemeten met een schuifmaat. De dikte werd gemeten tussen de 2^e en 3^e knoop boven het wateroppervlak (zie methode: Graveland 1998). De opgemeten stengels werden per locatie verzameld voor bepaling van gewicht en nutriënten samenstelling in het laboratorium (zie paragraaf 3.3).

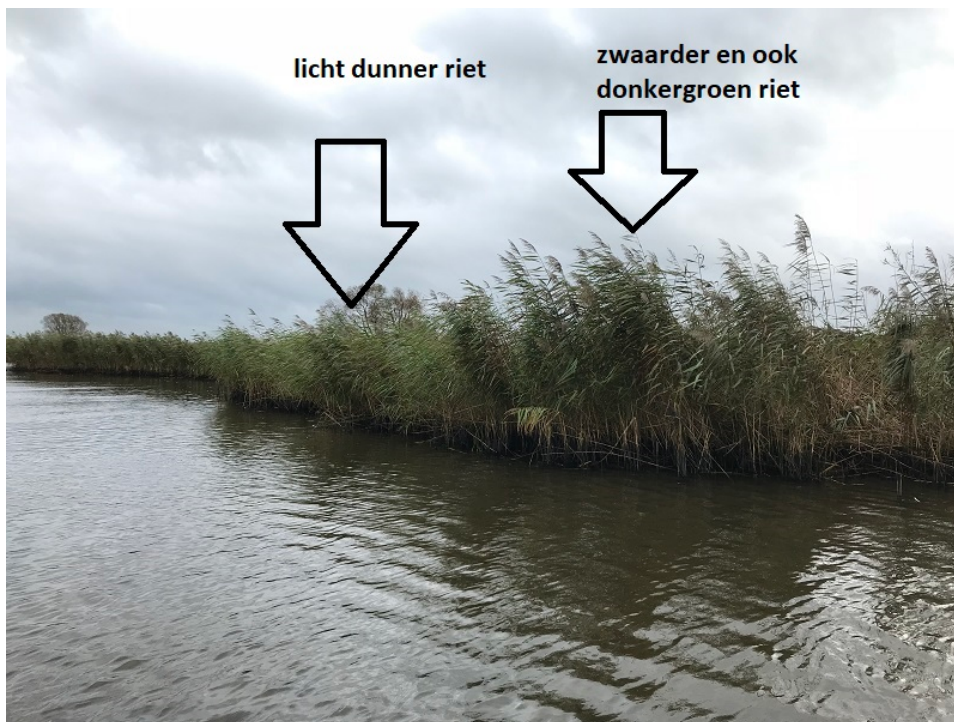
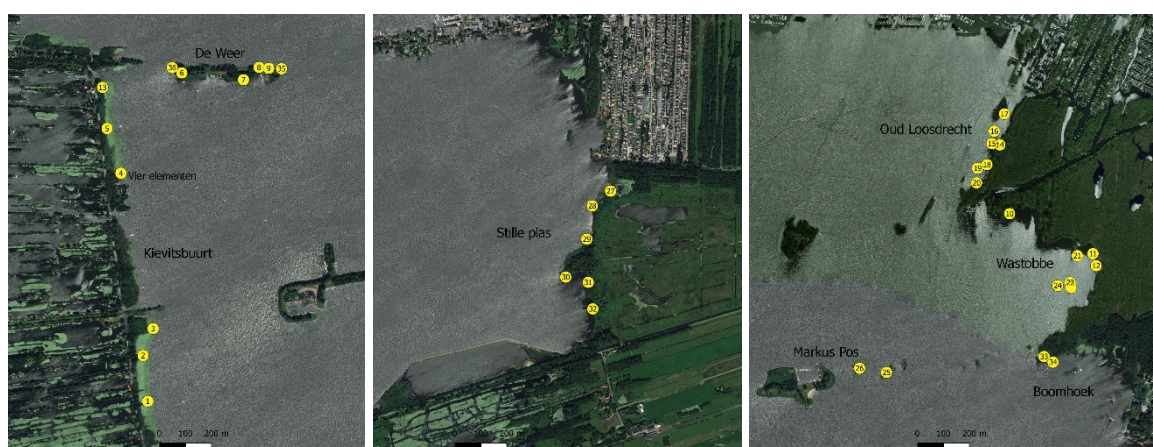
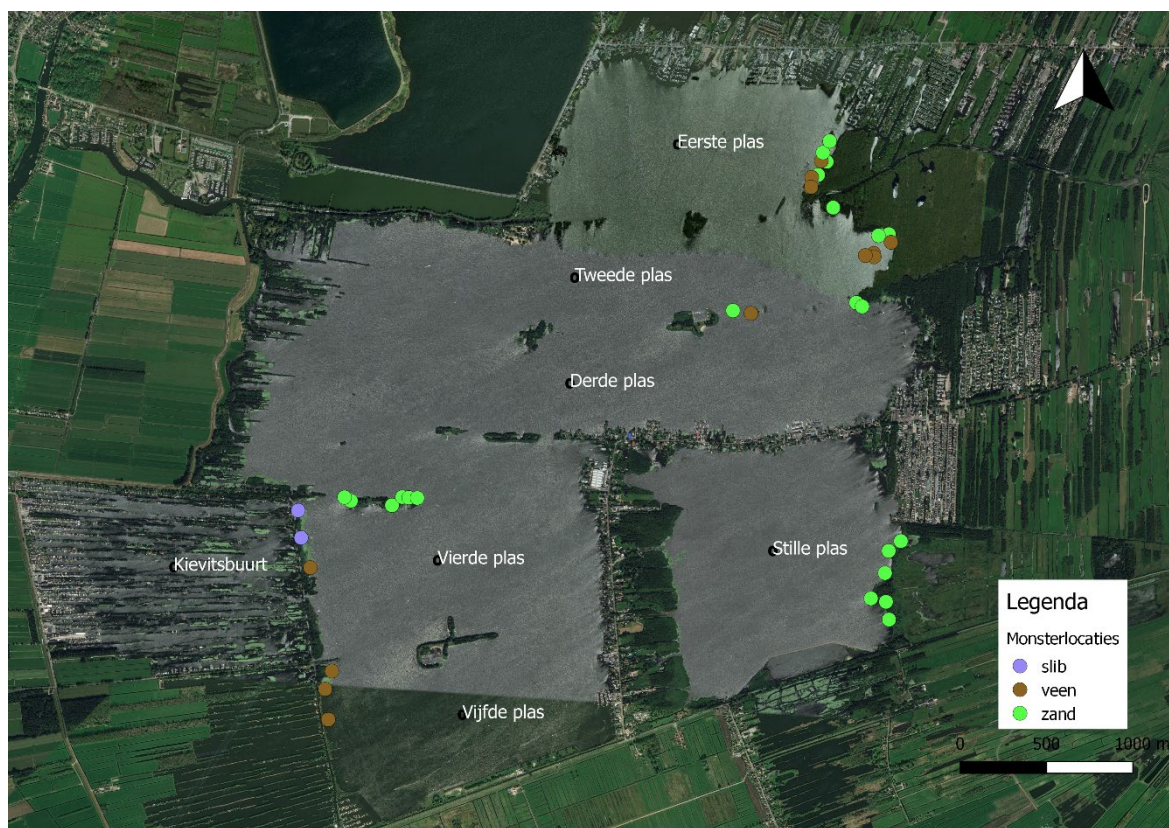


Foto 3. Duidelijk verschil in rietkwaliteit op kleine schaal (Bron: Jan van der Winden).



Figuur 3.1. Monsterlocaties van de rietkragen in de Loosdrechtse Plassen. Boven: overzicht van alle locaties en bodemtype per locatie (veenslib, veen, zand). Onder: Zoom in op de verschillende locaties.

3.2 Experiment

Riet is in staat om zowel voedingstoffen uit de bodem te halen als via waterwortels uit het oppervlaktewater. Er is nog weinig bekend over het belang van deze zogenaamde adventief wortels. In de kassen van Radboud Universiteit Nijmegen werd een pilot-experiment opgezet om het effect van nutriënten in de waterlaag versus nutriënten in de bodem op de wortelvorming en biomassa van riet te onderzoeken (26 juni tot 18 oktober 2018).

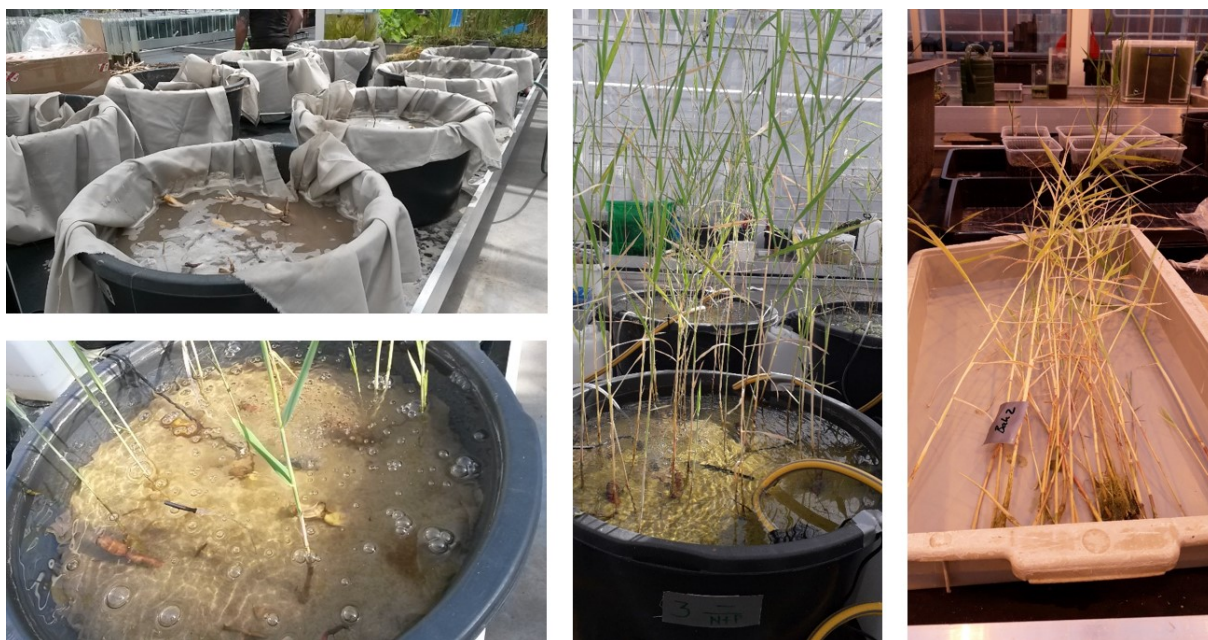
Voor het pilotexperiment werden acht speciekuipen (65 liter) gebruikt. Op de bodem van elke kuip werd een compartiment van 5 cm hoog gemaakt met behulp van een stevig metalen gaas en vitragedoek, gevuld met demiwater. Hierboven werd 15 centimeter aan (nutriëntenarm) duinzand

aangebracht. Per bak zijn acht wortelstokken van 15 centimeter diagonaal in de het zand geplaatst (wortelstokken: Gebr. Visscher te Genemuiden) (Figuur 3.2). Vervolgens werden de bakken verder gevuld met demiwater tot 5 cm boven de bodem met daarin een zuurstofpomp en voorzien van een afvoertuit om het overtollige water af te voeren.

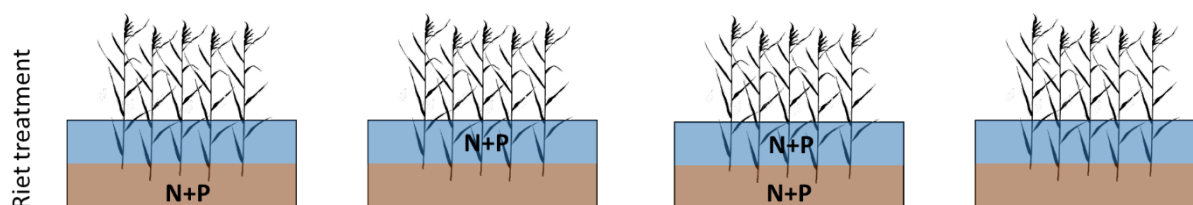
Aan alle bakken werden enkele basisnutriënten toegevoegd (200 $\mu\text{mol/l}$ Na_2SO_4 ; 1500 $\mu\text{mol/l}$ NaHCO_3 ; 250 $\mu\text{mol/l}$ MgCl_2 en 500 $\mu\text{mol/l}$ CaCl_2), aan zowel het oppervlaktewater als de bodem via het onderste compartiment. Met behulp van een injectiespuit werd het onderste compartiment van nutriënten voorzien. Deze nutriënten diffunderen vanuit het onderste compartiment naar de bodem zodat het beschikbaar komt voor de planten. De waterlaag werd voorzien van de oplossing via een pomp aangesloten op 60-liter-vaten met een doorstroomsnelheid van 10 liter per week. De vaten werden aangevuld wanneer deze bijna leeg waren. Er werden vier behandelingen ingezet (zie Figuur 3.3 voor de schematische opzet). Behandeling 1: alleen bodem verrijkt met N&P, behandeling 2: alleen water verrijkt met N&P, behandeling 3: bodem en water verrijkt met N&P, behandeling 4: bodem en water niet verrijkt met N&P. Voor de nutriëntenbehandeling via het oppervlaktewater werd een NP-oplossing gebruikt (25 $\mu\text{mol/l}$ NaPO_4 en 100 $\mu\text{mol/l}$ NH_4NO_3). Voor de bodembehandeling werd een dubbele concentratie gebruikt voor N en P als eindconcentratie na toevoeging in het onderste compartiment (50 $\mu\text{mol/l}$ NaPO_4 en 200 $\mu\text{mol/l}$ NH_4NO_3). N en P werd zesmaal toegevoegd, met behulp van een injectiespuit. Alle varianten (bodembehandeling versus waterbehandeling) werden gecombineerd zodat alle bakken in duplo waren ingezet.

Na circa een maand na het inzetten van het experiment werd er algenbloei geconstateerd. Om dit tegen te gaan werd per bak het water continue rondgepompt over UV-lichten die de algenbloei verhielpen. De planten zijn tevens bespoten met anti-bladluis vloeistof omdat bladluis de rietstengels zichtbaar aantastten (dorre, slappe stengels).

Gedurende het experiment werd viermaal bodemvocht verzameld via rhizons (Eijkelkamp bv) om de nutriëntenstatus van de bodem te bepalen, om indien nodig bij te sturen in nutriëntenconcentratie. Bij het oogsten van het experiment is bodemvocht op twee diepten (0-10 cm diep en op 10-15 cm diep) en vocht uit het onderste compartiment verzameld. De watermonsters werden geanalyseerd op de standaard variabelen (zie paragraaf 3.3). Alle rietstengels werden tot op de zandbodem afgeknijpt, lengte en dikte (tussen de 2^e en 3^e knoop) gemeten en gedroogd om het drooggewicht biomassa te bepalen. Adventief wortels werden afgeknijpt, geteld en ook gedroogd voor biomassabepaling. Ondergrondse biomassa werd gescheiden op rhizomen, transportwortels en haarwortels en vervolgens gedroogd voor biomassabepaling (Figuur 3.2).



Figuur 3.2. Inzetten van het experiment (links). Bakkenopstelling toevoegen wortelstokken (links boven) en na twee weken groei jonge rietstengels (links onder). Vlak voor uithalen van het experiment (midden) en geoogste stengels (rechts).



Figuur 3.3. Schematische opzet van het pilotexperiment. Elke combinatie was in duplo ingezet.

3.3 Analyses

Drooggewicht en organisch stofgehalte

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

Destructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijn gemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3 , 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H_2O_2 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega of Ethos Easy) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruëerd in gesloten teflon vaatjes. Na

destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatscilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. Het destruaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Zoutextractie

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

C/N-analyse plantmateriaal

Voor de analyse van de totale hoeveelheid koolstof en stikstof werd een deel van het verzamelde plantmateriaal fijngemalen in een kogelmaler. Afhankelijk van het soortelijk gewicht van het materiaal en de verwachte concentraties, werd een kleine hoeveelheid (circa 3 mg) van het gemalen materiaal in een tinnen container afgewogen, waarna het in een CNS-elementenalyzer (Vario Micro Cube, Elementar) werd geanalyseerd.

Standaardmetingen oppervlaktewater en bodemvocht

De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl₂ elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃) werd bepaald met behulp van infrarood gasanalyse (ABB Advance Optima IRGA). De alkaliniteit werd bepaald door een deel van het monster te titreren met 0,01 mol l⁻¹ zoutzuur 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. De turbiditeit van de oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een Dentan Turbidimeter (model FN-5). De monsters voor de auto-analyzer werden bewaard bij een temperatuur van -20 °C tot aan de analyse. De monsters voor de ICP-OES werden aangezuurd voor analyse en bewaard bij 4 °C.

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 (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific of, ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl⁻) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na⁺) en kalium (K⁺) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

3.4 Statistiek

De resultaten van het veldonderzoek werden statistisch getoetst. Variabelen werden stapsgewijs op basis van hun significantieniveau geëlimineerd uit de analyse tot er alleen significante variabelen over bleven (P< 0.05). Over het algemeen worden gemiddelde waarden ± standaarddeviatie genoemd tenzij anders vermeld. Tests werden met een ANOVA uitgevoerd uitgaande van een normaalverdeling behalve tellingen zoals stengeldichtheid waarbij werd uit gegaan van een Poisson-verdeling. Resultaten van het experiment werden niet statistisch getoetst door de pilot-opzet en daarbij behorende aantal herhalingen van N=2. Analyses werden uitgevoerd in R open-source software (R Development Core Team 2014).

.....

4 RESULTATEN

4.1 Veldwerk Loosdrecht

Op 11 locaties, waaronder de twee locaties zonder raster, is (lichte) vraat waargenomen in de omgeving van de monsterlocaties maar dit had geen significant effect op de metingen binnen de rietkraag. Deze locaties lagen bij Oud-Loosdrecht, de Weer, Waschtobbe, nabij Markus Pos en Stille Plas. Op basis van de bodemonsters in het veld kon het bodemtype worden vastgesteld. In de Loosdrechtse Plassen betreft het veen, zand en veenslib (Figuur 3.1). Op een aantal locaties werd een laag zand (circa 30 cm) op veen aangetroffen. Omdat er geen significante verschillen voor de besproken parameters werden gevonden wordt het 'zand op veen' als zand beschouwd in de analyse (in het veld is tijdens de bemonstering waargenomen dat het riet vooral wortelde in de zandlaag). Op twee locaties (nummer 5 en 13, zie Bijlage 4) bij de Kievitsbuurt werd veenslib waargenomen maar omdat de steekproef erg klein is (n=2) zal veenslib niet altijd apart worden besproken.

4.2 Bodemchemie

Algemene beschrijving bodem

In Tabel 4.1 worden de belangrijkste variabelen in de bodem weergegeven, voor zowel het bodemvocht, labiel gebonden (zout-extraheerbare) concentraties als totaal-concentraties. Hier worden de getallen uitgedrukt per liter omdat we geïnteresseerd zijn in de beschikbaarheid voor planten die wortelen in een bepaald bodemvolume. De verschillende bodems, zoals gespecificeerd in het veld, verschilden in organische stofgehalte. Enkele zandbodems bestond uit humeus zand, wat ook bleek uit een hoger percentage organisch stof (Tabel 4.1). Het bodemvocht heeft een neutrale pH van 6,8 in zowel de zandbodem als de veenbodem.

Tabel 4.1. Gemiddelde concentraties van elementen in de bodem (veen, n=12; zand, n=22). Concentraties in het bodemvocht worden gegeven in $\mu\text{mol L}^{-1}$ m.u.v. van de pH en de alkaliniteit (mEq L^{-1}). De concentraties in het zoutextract worden gegeven in $\mu\text{mol L}^{-1}$ bodem en de totaalgehalten als mmol L^{-1} bodem. Organisch stof wordt uitgedrukt als het percentage gloeiverlies. TIN = Totaal anorganisch stikstof (ammonium plus nitraat). Massavolume = kg droge bodem per liter verse bodem. **Vetgedrukte** getallen verschillen significant tussen veen en zand.

	veen	zand	veen	zand	veen	zand
	Bodemvocht		Zout extractie		Totaal gehalte	
NO ₃	1,7	1,9	20,1	16,2		
NH ₄	53,5	66,0	174,8	113,4		
TIN	55,2	67,9	194,8	130,8		
P	3,3	5,0	2,9	4,0	3,6	2,2
Si	123,4	91,9	109,1	62,2	4,5	11,3
K	204,6	246,7	809,5	910,9	3,6	2,8
Fe	137,9	29,6	48,3	2,7	55,8	29,0
<i>algemeen</i>						
Organisch stofgehalte	39,8%	3,0%				
pH (bodemvocht)	6,81	6,82				
Alkaliniteit	4,34	4,71				
Massavolume (kg L^{-1}) [#]	0,32	1,08				

[#] Massavolume getallen kunnen worden gebruikt om mol L^{-1} om te rekenen naar $\text{mol per gewichtseenheid}$.

Het totaal anorganisch stikstof (TIN) bestond voornamelijk uit ammonium en in veel mindere mate uit nitraat. De gemiddelde stikstofconcentraties zijn relatief laag en verschillen niet tussen de

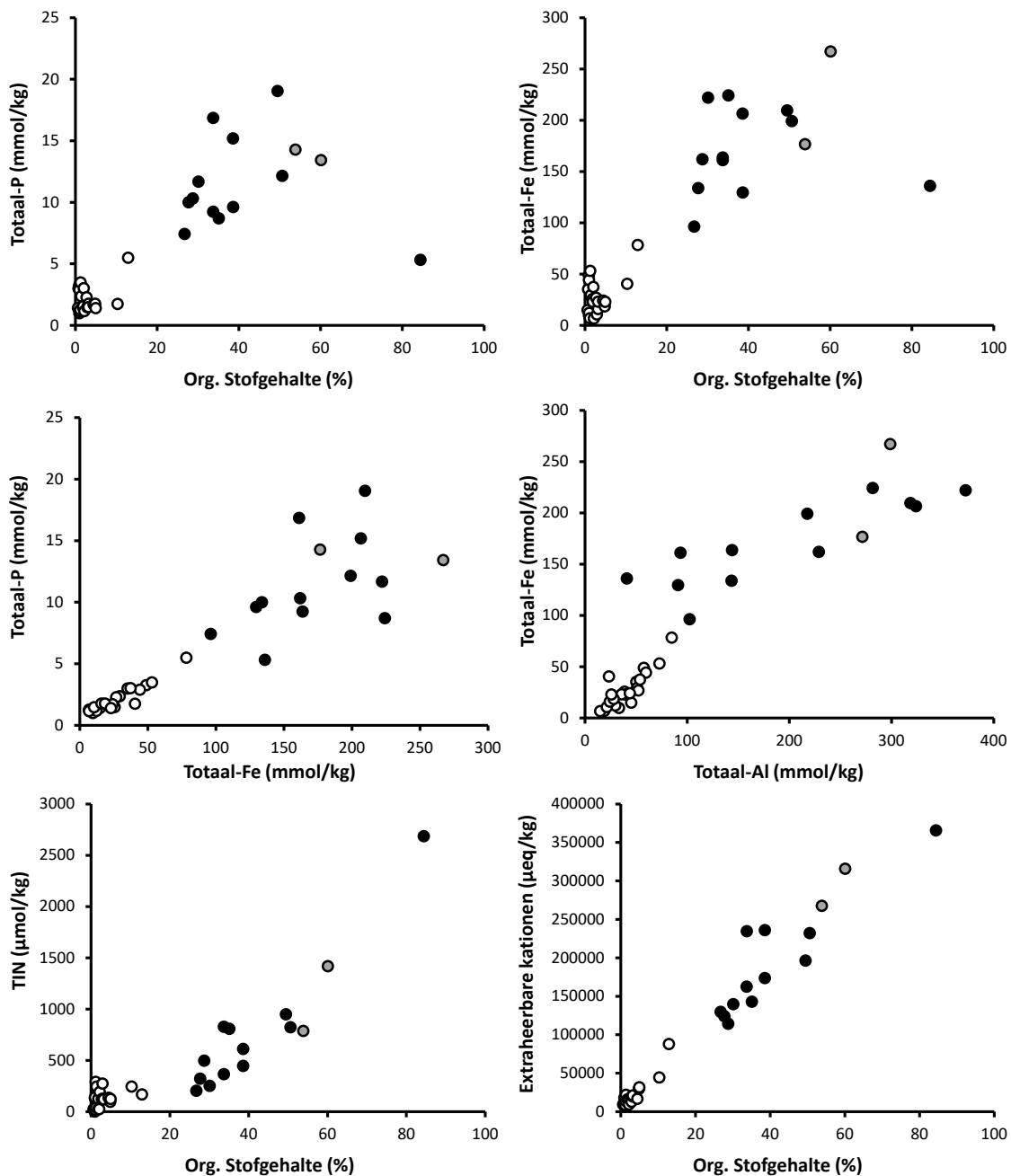
bodemtypes. Dit geldt ook voor fosfor en in het algemeen kan worden gesteld dat de concentraties voor alle nutriënten vrij laag zijn. De lage concentraties in het bodemvocht suggereren een lage beschikbaarheid of dat het anorganische stikstof en fosfor dat vrijkomt in de bodem efficiënt wordt opgenomen door de planten. Ook de labiele fracties (zout extractie) en de totale concentraties zijn, met voor name fosfor laag. De ijzerconcentraties in het bodemvocht verschillen per bodemtype en op veenbodems waren er een aantal locaties met relatief hoge ijzerconcentraties (Tabel 4.1). De ijzerconcentraties zijn op deze locaties echter niet dusdanig hoog dat er ijzertoxiciteit verwacht kan worden. De ijzerconcentraties zijn in het algemeen vrij laag en op een aantal locaties zijn de waardes (veel) lager dan 10 $\mu\text{mol/l}$. Bij dergelijk lage concentraties zou er eventueel ijzergebrek kunnen ontstaan in de planten. Kaliumconcentraties zijn relatief hoog in het bodemvocht en zoutextract maar verschillen niet significant tussen de bodemtypes (Tabel 4.1).

Analyse bodem

In figuur 4.1 worden enkele correlaties gegeven tussen bodemparameters. Hierbij worden de zand-, veen- en veenslibbodems met verschillende symbolen weergegeven. Om relaties tussen stoffen in de bodem te leggen worden de getallen uitgedrukt per kg. Zowel het totaal-P (fosfor) als de totaal-Fe (ijzer) gehalte van de bodems, uitgedrukt in mmol kg^{-1} drooggewicht, laten een duidelijke correlatie zien met het organische stofgehalte. Naarmate een bodem rijker is aan organisch stof is deze, op drooggewichtsbasis, dus ook rijker aan fosfor en ijzer. Intuïtief lijkt het logisch dat een organische bodem meer fosfor bevat. Toch is in de meeste onderwaterbodems maar een beperkt deel van het fosfor aanwezig in de organische stoffractie. Veel fosfor is gebonden aan ijzer(hydr)oxides. We zien dan ook dat er, met name voor de zandbodems, een veel sterkere correlatie is tussen de totaal-P en de totaal-Fe concentratie van de bodems dan op veenbodems (Figuur 4.1). De ijzerrijkdom van de bodems hangt voor de zandbodems samen met het aluminiumgehalte. Het totaal-Al gehalte zoals gemeten in een destructieanalyse is een goede maat voor het aandeel lutum/silt deeltjes in de bodem. Naarmate de zandbodem dus meer fijne bodemdeeltjes bevat, heeft deze ook meer ijzer en hierdoor ook meer fosfor dat aan het ijzer gebonden is. Ijzer en fosfor met eenzelfde oorsprong zullen in ongestoorde bodems dan ook sterk gecorreleerd zijn. De sterke relatie tussen het fosfor en het ijzergehalte laat zien dat de zandbodems niet sterk zijn opgeladen met fosfor dat van buiten het systeem is aangevoerd (Figuur 4.1). De fosforrijkdom wordt bepaald door de historische afzetting van het zand met verschillende aandelen lutum/silt deeltjes en hiermee ook ijzer en fosfor. Voor de veenbodems is het fosforgehalte minder strak gecorreleerd met de ijzerconcentratie, maar hebben ijzerrijkere bodems doorgaans wel een hoger fosforgehalte (Figuur 4.2). De veenbodems zijn ooit gevormd onder grondwaterinvloed, waarbij ijzer en fosfor wordt aangevoerd in een bepaalde verhouding. Vaak is meer ijzerrijk grondwater ook rijker aan fosfor, maar deze relatie is minder strak dan voor de siltdeeltjes die in de zandbodems de ijzer- en fosforrijkdom bepalen.

De totaal anorganische stikstofconcentratie (TIN = ammonium plus nitraat) is ook gecorreleerd met het organische stofgehalte van de bodems. Hierbij zijn de concentraties steeds laag voor de zandbodems en nemen ze toe naarmate de veenbodems een hoger organisch stofgehalte hebben. Ook de zoutextraheerbare kationconcentratie (Ca, K, en Mg; uitgedrukt in $\mu\text{equivalenten per kg}$), is zeer sterk gecorreleerd met het organisch stofgehalte van de bodems. Organisch stof is in belangrijke mate verantwoordelijk voor de mate waarin een bodem in staat is om kationen te adsorberen; het vormt het kation uitwisselingscomplex. Ook voor de individuele kationen zijn de zout uitwisselbare concentraties sterk lineair gecorreleerd met het organisch stofgehalte (figuren niet gegeven).

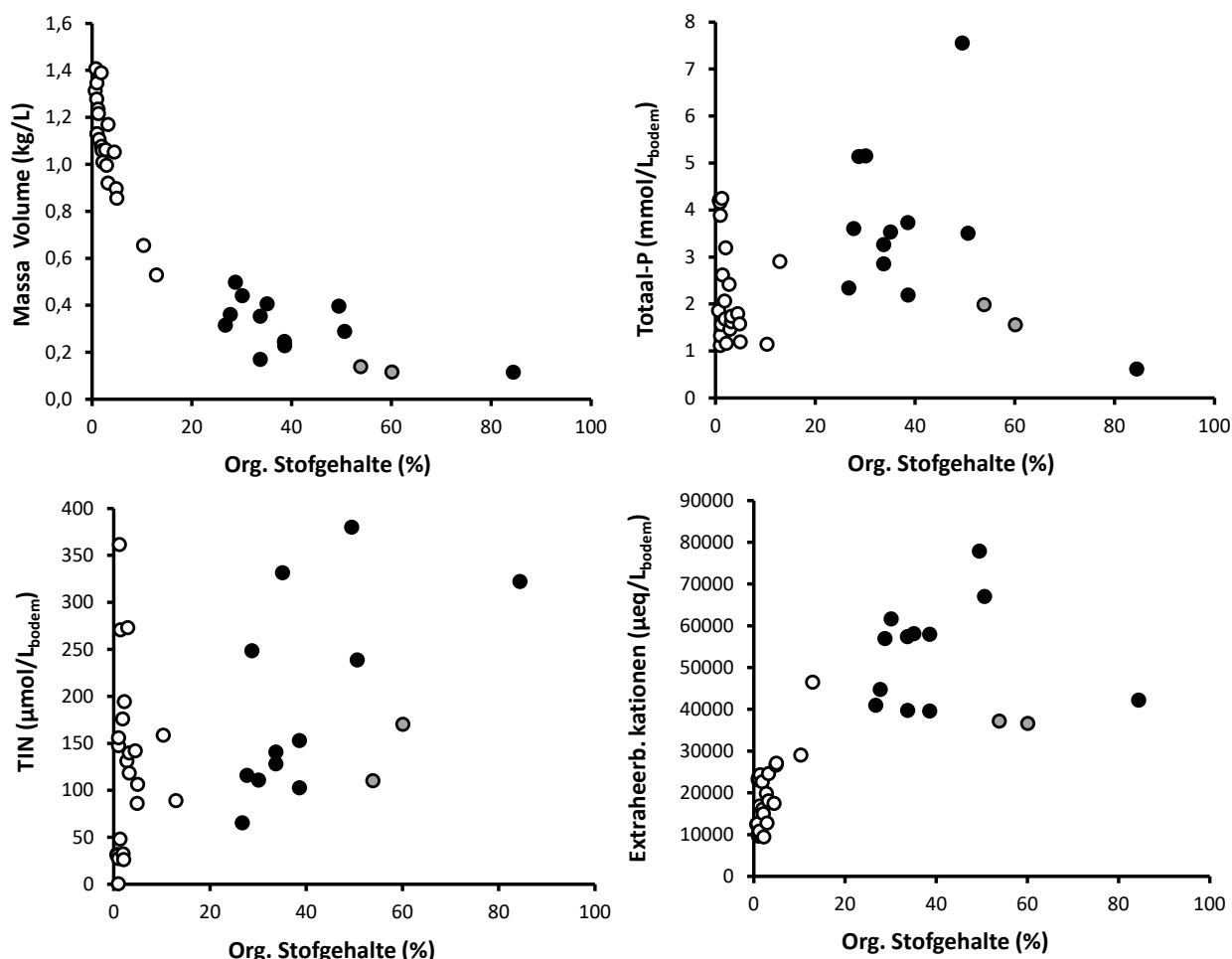
Overigens zien we dat eigenschappen van de veenslibbodems niet afwijken van de veenbodems, behalve dat ze een relatief hoog organisch stofgehalte hebben. Dit komt overeen met de bevindingen van Smolders en Lucassen (2006), die laten zien dat de veensliblaag in de Loosdrechtse plassen bestaat uit geërodeerd veen.



Figuur 4.1. Correlaties tussen verschillende bodem chemische parameters. De zwarte bolletjes staan voor de veenbodem, de witte bolletjes voor de zandbodem en de grijze bolletjes voor de veenslibbodems.

Wanneer we een relatie tussen de bodemkwaliteit en de vegetatie willen leggen is het ook van belang om naar de concentratie aan voedingstoffen per liter bodemvolume te kijken. Dit komt omdat planten wortelen en een bepaald bodemvolume. In figuur 4.2 zien we dat bij een toenemend organisch stofgehalte het massa volume van de bodem (kilogram droge stof per liter bodemvolume) afneemt. Per liter bodem hebben meer organische bodems dus minder droge stof. We krijgen dan ook heel andere waarden wanneer de concentraties aan nutriënten worden uitgezet per liter bodemvolume (Figuur 4.2). We zien dan dat er bij hogere organische stofgehalten vaak nog wel hogere totaal-P en in mindere mate TIN-concentraties worden gemeten dan bij lager organische stofgehalten, maar dat het verschil nu (veel) minder groot is dan wanneer de concentraties per kg droge stof worden gegeven.

Voor de zoutextraheerbare kationconcentraties is er nog wel duidelijk sprake van hogere concentraties bij een hoger organisch stofgehalte.

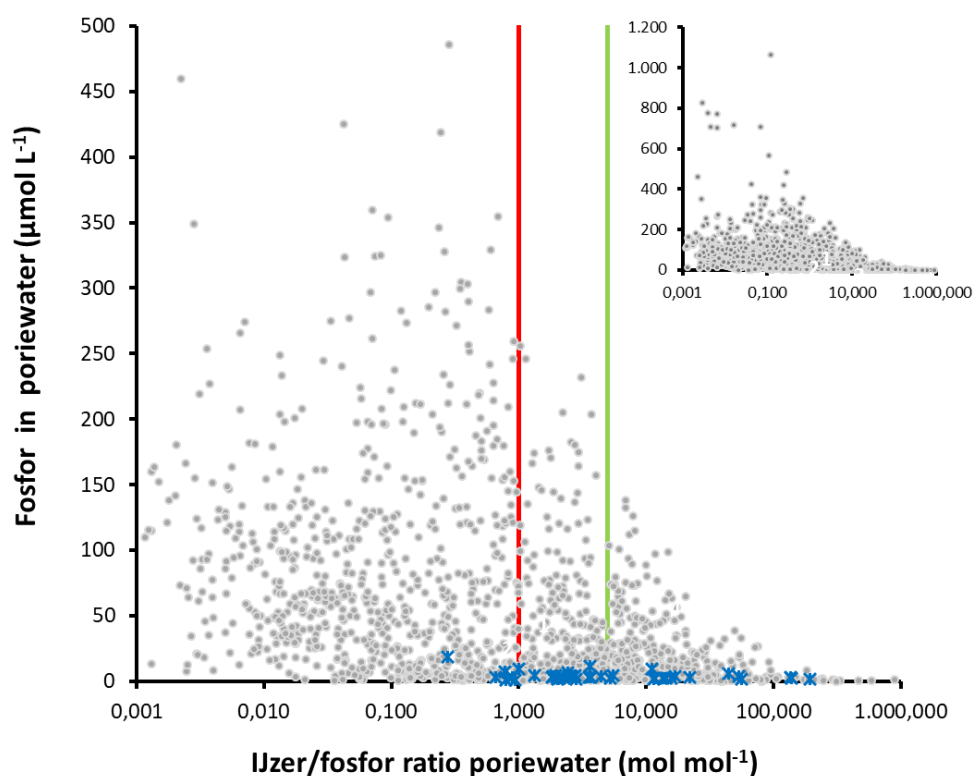


Figuur 4.2. Correlaties tussen verschillende bodem chemische parameters. De zwarte bolletjes staan voor de veenbodem, de witte bolletjes voor de zandbodem en de grijze bolletjes voor de veenslibbodems.

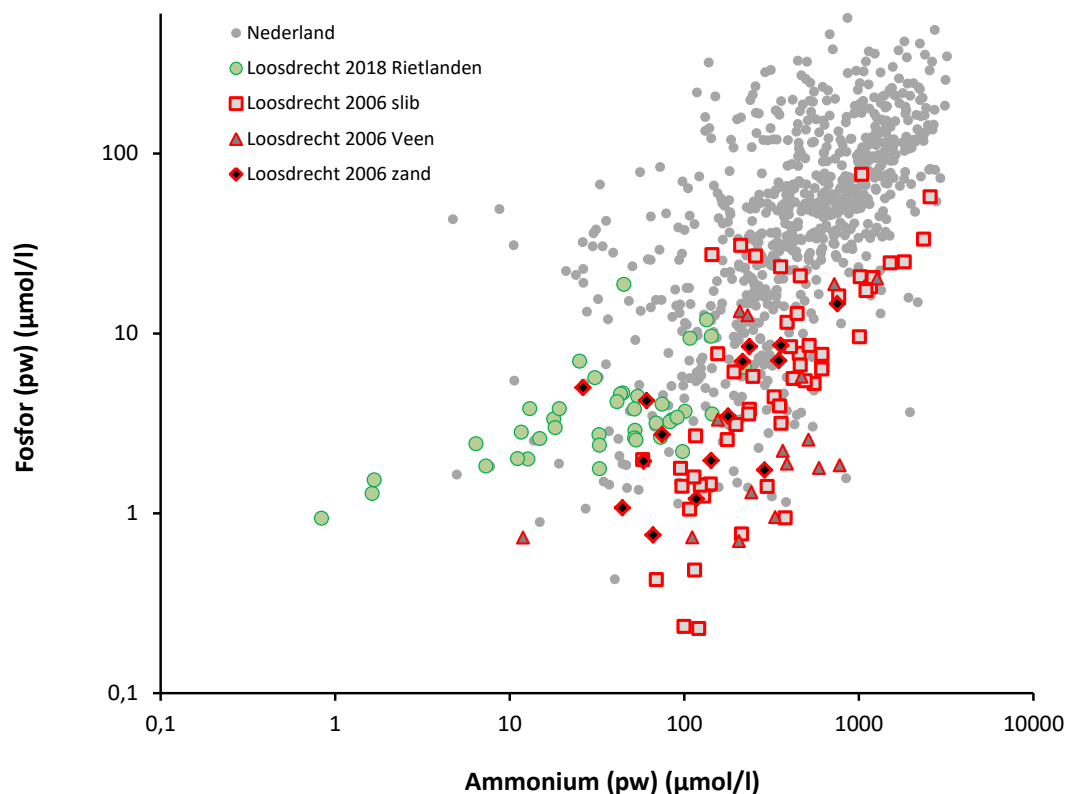
Rietkraag bodems Loosdrechtse Plassen in vergelijking met andere Nederlandse bodems

De concentraties ammonium en fosfor die worden gemeten in het bodemvocht zijn relatief laag. Dit wordt duidelijk wanneer deze worden vergeleken met bodemvochtdata van andere waterbodems uit Nederland. Om dit te illustreren zijn fosfor, ammonium en ijzer uit het bodemvocht in de rietkragen van de Loosdrechtse Plassen vergeleken met data voor waterbodems uit de rest van Nederland (diverse -niet per se rietland- waterbodems uit de dataset van Onderzoekcentrum B-WARE, Figuur 4.3 en 4.4). Hieruit komt naar voren dat de waterbodems in de rietkragen in Loosdrecht relatief voedselarm zijn ten opzichte van andere waterbodems in Nederland. Op zichzelf is dit gunstig omdat er vanuit deze bodems geen of maar weinig nutriënten zullen worden nageleverd naar de waterlaag. Zo vindt er uit onderwaterbodems, bij een zuurstofhoudende waterlaag, met name nalevering van fosfor naar de waterlaag plaats wanneer de fosfor concentratie in het bodemvocht hoog is en de ijzer/fosfor ratio laag (<1 , rode lijn in Figuur 4.3). Boven een Fe:P ratio van 5 (groene lijn in Figuur 4.3) vindt er vrijwel nooit nalevering naar de waterlaag plaats, zolang deze voldoende zuurstofrijk is. De nalevering naar de waterlaag is altijd laag indien de fosforconcentratie van het bodemvocht lager is dan $10 \mu\text{mol/l}$; dit geldt voor nagenoeg alle onderzochte locaties.

In 2006 zijn er door Smolders en Lucassen (2006) voor een 36-tal locaties van het Loosdrechtse plasseengebied monsters genomen van de sliblaag en de hieronder liggende veen of zandbodems. Het ging hierbij om waterbodems en niet om oeverlocaties. Deze data geven echter wel inzicht in de algehele waterbodem voedselrijkdom van de Loosdrechtse Plassen. Ook voor deze locaties zijn voor de verschillende bodemtypen in figuur 4.4 de gemeten fosforconcentraties uitgezet tegen de ammoniumconcentratie. We zien dat de Loosdrechtse Plassen gekenmerkt worden door relatief lage fosforconcentraties. Alleen in een deel van de slibbodems worden hoge P-concentraties gemeten. Opvallend is dat in de in 2018 bemonsterde bodems van de rietlanden de ammoniumconcentraties van het bodemvocht overwegend (veel) lager zijn dan in de in 2006 bemonsterde bodems op de plas. We kunnen in ieder geval concluderen dat we in de rietkragen te maken hebben met bodems waarin de beschikbaarheid van met name fosfor en in iets mindere mate ook stikstof (erg) laag is.



Figuur 4.3. Relatie tussen IJzer/Fosfor ratio in het bodemvocht en fosfor in het bodemvocht ($\mu\text{mol/l}$) van de rietbodems in de Loosdrechtse Plassen (blauw) en andere onderwaterbodems in Nederland (grijs) (data Onderzoekcentrum B-WARE) (x-as: logaritmische schaal). Rode lijn: beneden Fe/P ratio van 1 zeer grote kans op P-nalevering bij zuurstofhoudende waterlaag. Groene lijn: boven Fe/P ratio van 5 vindt vrijwel geen P-nalevering plaats bij zuurstofhoudende waterlaag.



Figuur 4.4. Relatie tussen ammonium in het bodemvocht en fosfor in het bodemvocht ($\mu\text{mol/l}$) van de rietbodems in de Loosdrechtse Plassen (groen) en andere (riet)bodems in Nederland (grijs) (data onderzoekcentrum B-WARE) (assen: logaritmische schaal).

4.3 Samenvatting bodemanalyse

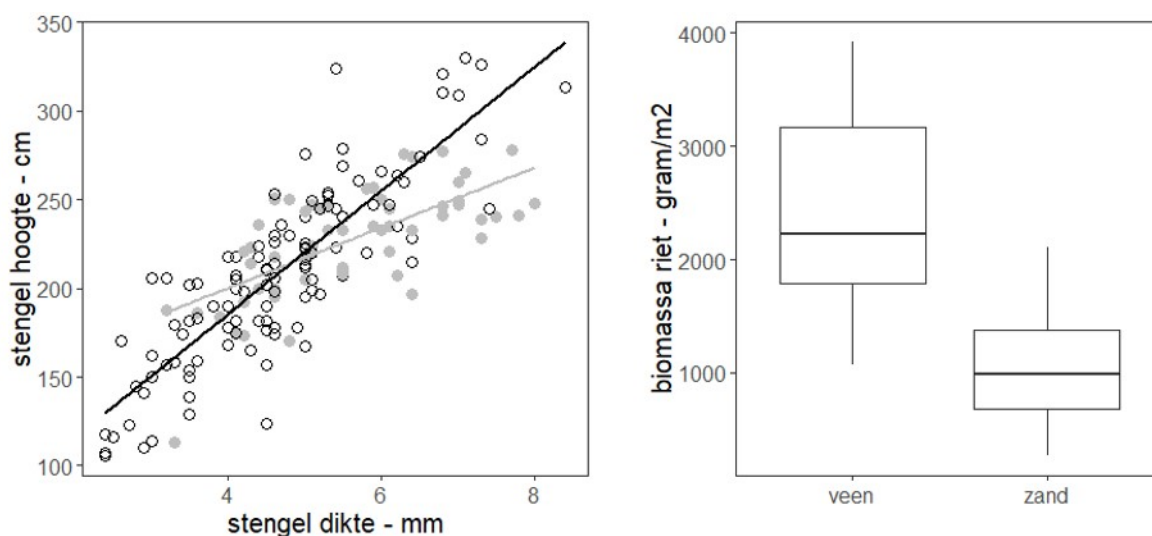
- De beschikbaarheid aan nutriënten in de waterbodems in de rietkragen in de Loosdrechtse Plassen is relatief laag. Voor riet geschikt voor grote karekieten (dik, hoog riet) lijken de omstandigheden suboptimaal.
- Waterbodems in de rietkragen in Loosdrechtse Plassen bestonden uit veen, zand en veenslib. De veenslibbodems betroffen slechts twee locaties en is vergelijkbaar qua bodemchemie met veenbodems.
- De beschikbare nutriënten in het bodemvocht zijn voor alle bodems laag of aan de lage kant.
- De veenbodems zijn nutriëntenrijker dan de zandbodems wat samenhangt met het organische stof in de bodem, die voor de veenbodems aanzienlijk hoger is.
- Organisch stof in de bodem heeft een duidelijke relatie met belangrijke nutriënten in de bodem (bijvoorbeeld: ijzer, fosfor en stikstof). Het fosfor in de bodem is veelal gebonden aan ijzer(hydr)oxides en niet aanwezig in een beschikbare vorm.
- In vergelijking met andere waterbodems in Nederland behoren de waterbodems in de rietkragen in de Loosdrechtse Plassen tot de armere waterbodems.

4.4 Rietkwaliteit

De rietparameters verschillen per bodemtype. In Tabel 4.2 zijn deze verschillende variabelen weergegeven. In het algemeen kan voor de meetlocaties worden gesteld dat de stengeldichtheid, biomassa en de dikte het hoogste zijn op veenbodems. Er is een sterke relatie tussen stengeldikte en stengelhoogte en deze relatie verschilt per bodemtype (Figuur 4.5). Waterdiepte heeft een effect op de lengte en de dikte van het riet, vooral op veen werd in dieper water dikker en hoger riet waargenomen. De waterdynamiek lijkt op het eerste gezicht geen rol te spelen op de kwaliteit van het riet omdat strijklengte en beschut of geëxponeerd niet naar voren kwam als significant effect in de analyse.

Tabel 4.2. Parameters van riet groeiend op veen, zand en slib. Stengeldichtheid (aantal per m²), stengeldikte (mm), stengelhoogte (cm) en biomassa (g droge stof m²).

	Veen (n=12)	Zand (n=22)	Slib (n=2)
Stengeldichtheid (# per m ²)	103 ± 29	60 ± 26	42 ± 3
Dikte (mm)	5,6 ± 1,0	4,7 ± 1,1	7,2 ± 0,4
Hoogte (cm)	226 ± 26	209 ± 45	324 ± 9
Biomassa (g droge stof m ²)	2410 ± 904	1070 ± 522	1821 ± 318



Figuur 4.5. Relatie tussen rietdikte en rietlengte van rietstengels groeiend op veen (grijs) en op zand (zwart) en bovengrondse biomassa riet per m².

Nutriënten in de plant

Het stikstofgehalte in het riet op veen was significant hoger dan op zand (Tabel 4.3). Het stikstofgehalte in de twee rietmonsters van de sliblocaties was het laagst met gemiddeld 6,1 mg/g d.s. Het fosforgehalte is nagenoeg gelijk op beide bodemtypen (Tabel 4.3). Zowel stikstof als fosfor zijn relatief laag in vergelijking met andere studies (zie gemiddelde waarden Güsewell & Koerselman (2002): stikstof 14 mg/g en fosfor 0,9 mg/g). De gemiddelde N:P ratio's in het riet in de Loosdrechtse Plassen zijn relatief hoog (24,5 op veen en 20,8 op zand, Tabel 4.3), dit suggereert dat sprake is van een fosfor-limitatie (N:P ratio>16) (Güsewell & Koerselman 2002). Dit wordt ondersteund wanneer we de N:P ratio uitzetten tegen het stikstofgehalte in de plant. De positieve correlatie duidt op een fosfor gebrek. Wanneer fosfor niet limiterend is zien we meestal dat de N- en de P-gehalten sterk positief gecorreleerd zijn waarbij bij een hoger P gehalte het N gehalte minder sterk toeneemt waardoor de N:P ratio afneemt en er een relatieve N limitatie optreedt. Hierdoor wordt dan een negatief of geen

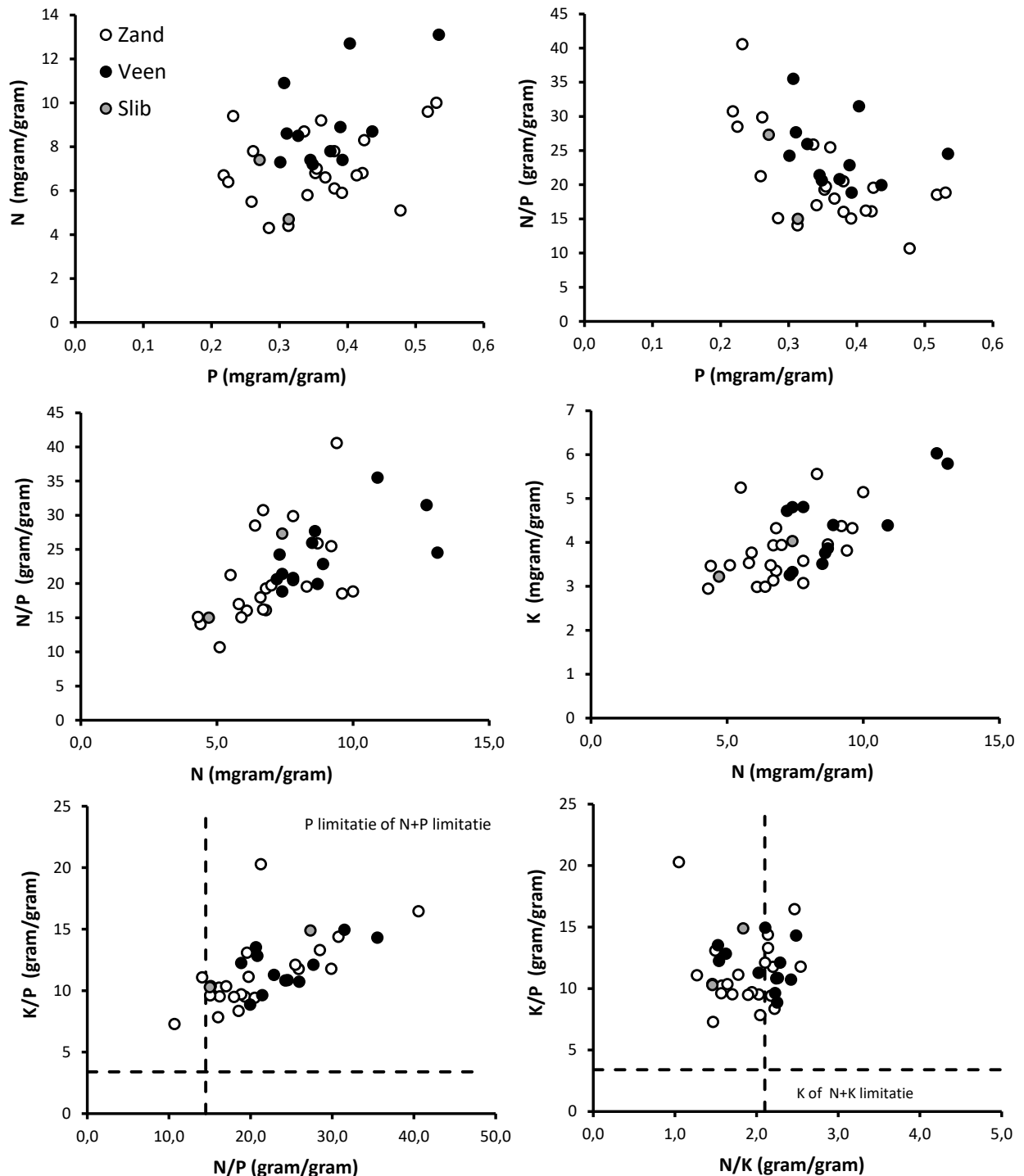
.....

verband gevonden tussen de N-concentratie en N:P ratio. In Loosdrecht zien we dat bij een hoger N-gehalte van de planten de N:P ratio toeneemt (Figuur 4.6).

Het kaliumgehalte in de plant was iets hoger op de veenbodem dan op de zandbodem (Tabel 4.3). Er is ook een (licht) positief verband tussen het kaliumgehalte in de plant en de rietstengel dikte. Verder is er een lichte correlatie tussen de K-concentratie in de plant en de N-concentratie in de plant (Figuur 4.6). Er wordt dus doorgaans meer stikstof vastgelegd naarmate er ook meer kalium wordt vastgelegd. Op grond van bemestingsproeven heeft Olde Venterink et al. (2003) vastgesteld dat er (1) sprake is van N limitatie bij een N:P ratio < 14,5 en een N:K ratio < 2,1; (2) dat er sprake is van P of N+P limitatie (co-limitatie van P) wanneer de N:P ratio > 14,5 en de K:P ratio > 3,4 en (3) dat er sprake is van K of K+N limitatie (co-limitatie van K) wanneer de N:K ratio > 2,1 en de K:P ratio < 3,4. De resultaten voor de rietplanten laten zien dat deze duidelijk P gelimiteerd zijn en dat er geen sprake is van kalium limitatie (Figuur 4.6).

Tabel 4.3. Concentraties van elementen in de stengel en blad. Concentraties in mg g⁻¹ droge stof. **Vetgedrukte** getallen verschillen significant.

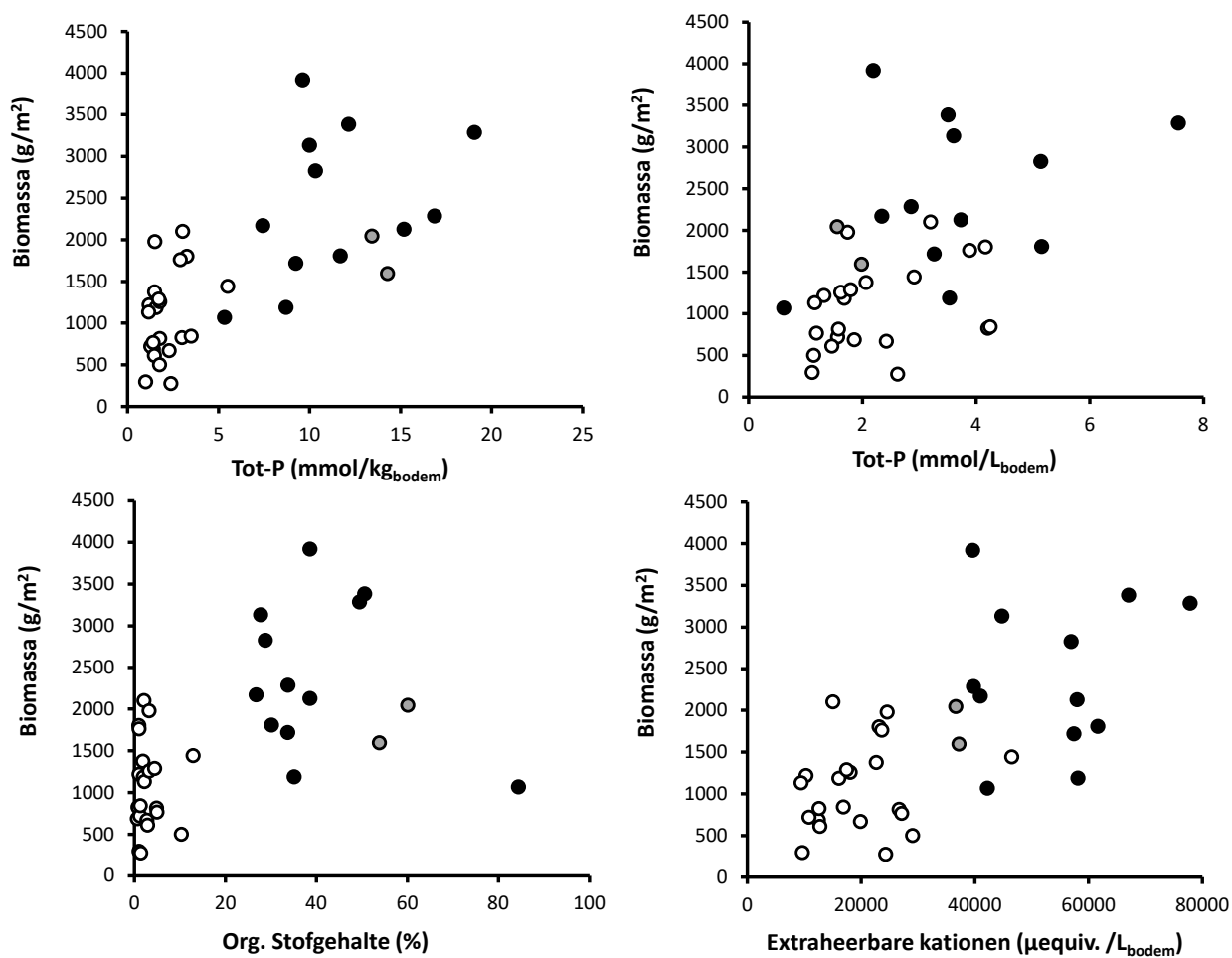
	N	P	C	Si	Fe	K	N:P	N:K	C:N
veen	9,0	0,37	456	0,37	0,02	4,4	24,5	2,1	52,6
zand	7,0	0,36	460	0,35	0,01	3,8	20,8	1,9	68,9



Figuur 4.6. Correlatie tussen de afzonderlijke N:P ratio in het riet en N in het riet (mg/g) (links) en tussen N:P ratio in het riet en P in het riet (mg/g) (rechts).

Relatie planten met bodemgegevens

Over het algemeen zijn de nutriëntenconcentraties in het bodemvocht laag (zie paragraaf 4.2). De meeste nutriënten in het bodemvocht worden waarschijnlijk direct opgenomen door de rietvegetatie omdat er tekorten zijn. Daarom is er bijvoorbeeld geen directe relatie met fosfor in het bodemvocht. Maar wel met de totale fosforconcentraties in de bodem en de riet biomassa (standing crop) (Figuur 4.7). Soortgelijke verbanden worden gevonden met het organisch stofgehalte en de totaal extraheerbare kationconcentratie. Op de minder voedselarme veenbodems bereikt het riet dus een hogere biomassa dan op de voedselarme zandbodems.



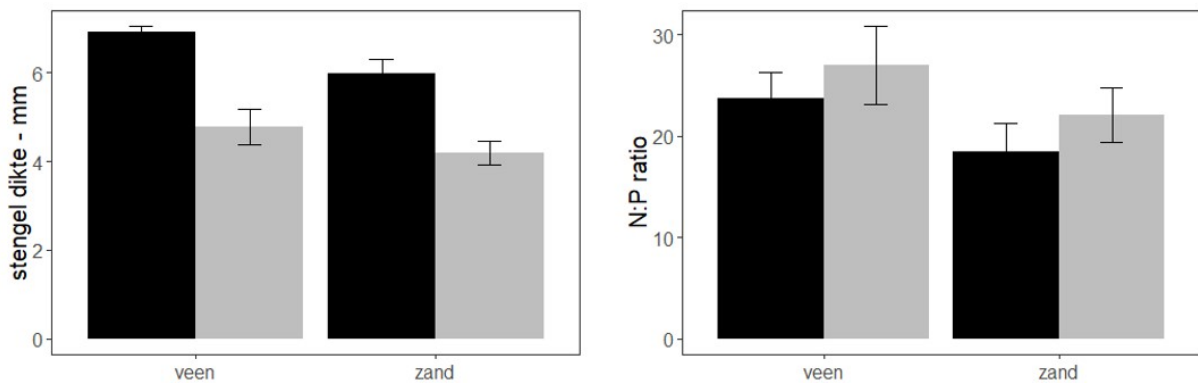
Figuur 4.7. Correlaties tussen de nutriëntconcentraties bodem en de plant biomassa (gram m⁻²).



Foto 4. Waterwortels (adventief wortels) aan rietstengel waargenomen tijdens het veldwerk. Riet neemt met hun uitgebreide wortelstelsels nutriënten op uit de bodem maar kunnen ook nutriënten uit de waterlaag op nemen met deze adventief wortels.

Gepaarde metingen

Om inzicht te krijgen wat de lokale verschillen in rietkwaliteit verklaart, zijn op een aantal locaties (Oud Loosdrecht, De Weer, Kievitsbuurt, Boomhoek, Wastobbe, Stille Plas) gepaarde metingen gedaan waar onderscheid is gemaakt in de kwaliteit van het riet: 'hoog-dik' (n:9) versus 'laag-dun' (n:13) (op basis van riet wat geschikt is als broedbiotoop voor de grote karekiet). In het algemeen kan worden gesteld dat het riet in het dunne riettype iets hogere N:P ratio's heeft zowel op zand- en veenbodems en dus meer fosfor gelimiteerd is (Figuur 4.8). Het verschil was echter niet significant en is mogelijk te wijten aan de lage steekproef. Op één locatie bij Oud Loosdrecht konden de verschillen worden verklaard door het verschil in bodemtype (veen versus zand). Op alle andere locaties werden de gepaarde metingen gedaan op hetzelfde bodemtype.



Figuur 4.8. Stengeldikte en stikstof en fosfor ratio in twee typen riet: laag en dun (grijs) versus hoog en dik (zwart) op veen- en zandbodems (respectievelijke steekproef: veen: 3 versus 4; zand: 9 versus 6).

4.5 Samenvatting rietkwaliteit

- Het riet is op de meeste meetlocaties in de Loosdrechtse Plassen te dun en daarmee niet geschikt voor grote karekieten als broedbiotoop.
- Op veenbodems worden gemiddeld dikkere rietstengels gevonden met hogere stengeldichtheden.
- Fosfor en stikstof concentraties in de bovengrondse biomassa (stengels en bladeren) zijn laag.
- De hoge N:P ratio's in de planten suggereren een fosfor limitatie. Dit wordt ondersteund door gedetailleerde analyses hierboven van het plantenmateriaal.
- Op de minder voedselarme veenbodems bereikt het riet een hogere biomassa dan op de voedselarme zandbodems.
- In de analyse werd geen significant effect gevonden van waterdynamiek (strijk lengte (windkant), beschut of geëxponeerd).

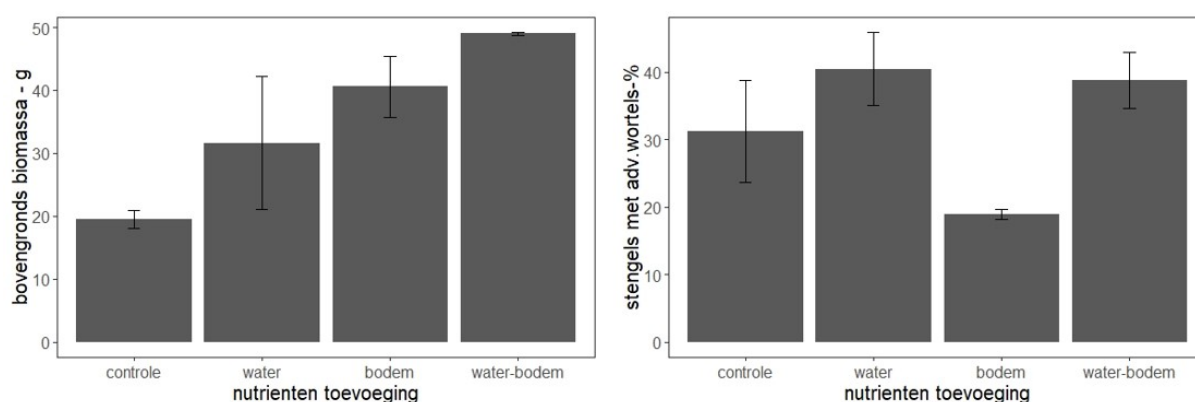
4.6 Pilot-experiment

De rietwortelstokken die geen nutriënten toevoeging kregen in de controle zijn het minste gegroeid en hadden uiteindelijk de laagste biomassa (Figuur 4.9). De planten die nutriënten kregen toegevoegd via het oppervlaktewater of de bodem hadden een wat hogere biomassa dan de controle. Wanneer de planten via zowel de bodem als oppervlaktewater nutriënten krijgen toegevoegd leken de planten het beste te groeien. Dit is logisch omdat deze planten in totaal meer voeding kregen. Dit geldt voor zowel de bovengrondse als ondergrondse biomassa (Figuur 4.9). Het aantal stengels met adventief wortels was het hoogste wanneer nutriënten via het oppervlaktewater werden toegevoegd, en het laagste wanneer er geen nutriënten in de waterkolom maar alleen in de bodem aanwezig waren. Wanneer de planten gelimiteerd waren in nutriënten zowel in bodem als via oppervlaktewater

(controle) werden er toch relatief meer adventief wortels aangemaakt, waarschijnlijk een aanpassing om zoveel mogelijk voedingsstoffen te kunnen opnemen.

Het bodemvocht liet na een maand na start van het experiment weinig variatie zien in de fosfaat-, en ammoniumconcentratie (Bijlage 5). Aan het eind van het experiment waren de ammonium-, fosfor- en fosfaatconcentraties lager in vrijwel alle behandelingen in het bodemvocht en onderste compartiment (Bijlage 5). Dit komt uiteraard door de nutriënten opname door het riet.

Geavanceerde analyses op de relatie tussen specifiek nutriëntenopname en groei kunnen niet worden uitgevoerd vanwege de kleine steekproef (dit was niet het doel van de pilot). Echter de biomassa getallen in relatie met de aanmaak van adventief wortels zijn interessant en vragen om een vervolg. De pilot is succesvol verlopen en er is veel ervaring opgedaan hoe om te gaan met riet in een experimentele opzet. Een vervolg experiment met een grotere opzet is noodzakelijk om de uitkomsten van de pilot te verifiëren.



Figuur 4.9: Gemiddelde bovengrondse biomassa (drooggewicht) per behandeling (n=2) (stengels + blad) en percentage stengels met adventief wortels in de waterlaag.

4.7 Samenvatting pilot-experiment

- De pilotstudie suggereert dat riet effectief nutriënten kan opnemen via de adventief wortels en dat dit een positief effect heeft op de biomassa.
- Er worden meer adventief wortels gevormd wanneer nutriënten via het oppervlaktewater voorradig zijn dan wanneer nutriënten alleen via de bodem voorradig zijn.
- In een arme omgeving gaat riet ook op zoek naar nutriënten in de waterlaag middels adventieve wortels. Waarschijnlijk om nutriënten opname te maximaliseren.
- Het pilot-experiment is succesvol verlopen en er is veel ervaring opgedaan hoe om te gaan met riet in een experimentele opzet. Een vervolg experiment met een grotere opzet is noodzakelijk om de uitkomsten van de pilot te verifiëren.

5 SYNTHESE, CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

5.1 Synthese

Zijn voedingstoffen een limiterende factor voor riet geschikt voor grote karekieten in Loosdrecht?

De beschikbaarheid van voedingstoffen en mineralen kunnen sterk variëren tussen en binnen gebieden. De Loosdrechtse Plassen is een veengebied dat zich bevindt op de grens van veen- en zandgronden. Daarnaast zijn er kunstmatige eilanden aangebracht waar rietkragen zich bevinden op zandbodems. In het algemeen kan worden gesteld dat het riet in de Loosdrechtse Plassen staat op arme zand- en veenbodems. Een vergelijking van de waterbodems uit de Loosdrechtse Plassen met waterbodems uit de rest van Nederland maakt duidelijk dat we in de Loosdrechtse plassen met relatief nutriëntenarme bodems te maken hebben. De nutriëntenconcentraties in het bodemvocht zijn laag. In overeenstemming hiermee werden ook relatief lage concentraties aan nutriënten in de planten gevonden (stengel en blad), met name stikstof- en fosforgehalten waren laag. Dit betekent dus dat de nutriëntenbeschikbaarheid laag is. De N:P ratio's (stikstofgehalte gedeeld door het fosforgehalte) zijn hoog wat, samen met een gedetailleerde nutriëntenanalyse, wijst op fosforlimitatie.

Riet is in staat om via zogenaamde adventief wortels (waterwortels) voedingstoffen op te nemen uit het oppervlaktewater. Dit bleek onder andere uit de proefsloot van onderzoekcentrum B-WARE/Radboud Universiteit waar riet is aangeplant en waar vanaf één kant nutriëntenrijk water wordt ingelaten waardoor er een nutriëntengradiënt over de lengte van de sloot ontstaat. Dichter bij de bron waar nutriëntenrijk oppervlaktewater wordt aangevoerd maakte het riet dikkere en hogere stengels. Een aanvullend pilotexperiment in de kassen ondersteunt de conclusie dat riet effectief nutriënten kan opnemen uit het oppervlaktewater via de adventief wortels. In de Loosdrechtse Plassen is het oppervlaktewater sinds de jaren zeventig aanzienlijk voedselarm geworden en daarmee zijn nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater sterk afgenomen. De bijdrage van nutriënten via het oppervlaktewater voor de groei van riet is in de Loosdrechtse Plassen (en de rest van Nederland) onbekend. Maar voorzichtig kan worden aangenomen dat riet op de voedselarme bodems kan profiteren van aanvoer van voedingstoffen via het oppervlaktewater.

Het dikkere en hogere riet, geschikt voor grote karekieten, komt van nature voor in ondiep water onder (matig) voedselrijke omstandigheden. In de Loosdrechtse Plassen is de beschikbaarheid aan voedingstoffen uit de bodem voor dit 'grote karekieten riet' (of 'stromingsriet') suboptimaal. Dit resulteert op veel plaatsen in rietkragen met een stengeldikte, -hoogte en dichtheid die te laag zijn voor grote karekieten.

Welke factoren zijn sturend voor rietkragen geschikt voor grote karekieten in de Loosdrechtse Plassen?

Uit eerdere studie bleek al dat in de Loosdrechtse Plassen meerdere factoren een negatief effect hebben op de rietkragen (van der Winden 2016). Begrazing door ganzen is sinds het begin van de jaren negentig toegenomen en om de laatste geschikte rietkragen voor grote karekieten te behouden zijn er (nood)maatregelen genomen om de rietkragen met behulp van rasters te beschermen. Struik- en boomopslag hebben vanaf de landkant een negatief effect op het riet. Bomen en struiken concurreren om voedsel en licht met het riet. Daarnaast kunnen er vanaf het landzijde gemakkelijker (klim)planten de rietkraag overwoekeren. Op verschillende locaties zijn hiervoor maatregelen genomen en is de opslag verwijderd. De inrichting van oevers heeft ook zijn effect op het areaal riet gehad. Rietkragen zijn in het verleden weggehaald of zijn omringd met (dichte) beschoeiing om

afkalving van de oevers tegen te gaan. Rietkragen binnen dichte beschoeiing kunnen niet meer uitlopen richting het water.

Het waterpeil van de Loosdrechtse Plassen is sinds de jaren zestig relatief stabiel, waterpeilfluctuaties zijn beperkt (10-15 centimeter amplitude). Historisch gezien is dit waarschijnlijk nooit anders geweest. Daardoor valt er amper bodem droog in de rietkragen waardoor decompositie van de bodem beperkt blijft en de uitloop van riet wordt geremd en is ook de uitspoeling van opgehoopt strooisel en organische materiaal beperkt. Er is echter geen ophoping van organische stof en/of strooisel, die een negatief effect kan hebben op de rietgroei, waargenomen in de onderzochte rietkragen. Ophoping komt met name voor onder hele voedselrijke omstandigheden en aan de landkant van de rietkraag waar het vaak ondieper is en golfslag of stroming geen vat krijgt op de onderwaterbodems. Over het algemeen was het water diep genoeg in de onderzochte rietkragen wat voor voldoende golfdynamiek zorgt zodat er geen organisch materiaal uit de waterkolom en strooisel ophoopt. In de Loosdrechtse Plassen is er weinig stroming. Golfslag wordt veroorzaakt door wind en boten en is dus variabel. Door stroming en golfslag is het mogelijk dat voedingsstoffen aangevoerd kunnen worden die de plant via de adventief wortels kan opnemen (zie boven). Ondanks dat de nutriëntenconcentraties in het waterlaag zijn kan voldoende waterflux een cumulatief effect hebben: als er een hoge flux is (meer stroming) in de rietkraag worden er meer nutriënten aangevoerd, die opgenomen kunnen worden door adventief-wortels van de planten. In de analyses hadden waterdynamiek (strijklengte en beschut of geëxposeerd door wind) geen significant effect op de rietkwaliteit. Dit suggereert dat waterdynamiek geen grote rol speelt op de kwaliteit van riet in de Loosdrechtse Plassen. Naast de bovenstaande factoren is de arme bodem medebepalend voor het voorkomen van riet geschikt voor grote karekieten.

5.2 Conclusies

Naast begrazing, slechte oevers (dichte beschoeiingen) en struik- en bosopslag heeft een de suboptimale beschikbaarheid van nutriënten een belangrijk effect op de groei van riet in de Loosdrechtse Plassen. Hierdoor is het riet op veel plekken onvoldoende dicht hoog (<3 meter) en dik (<6 millimeter) om geschikt te zijn voor de grote karekiet. De waterbodem van de rietkragen is doorgaans relatief voedselarm. Daarnaast is de waterkwaliteit de afgelopen decennia sterk veranderd (minder nutriënten). De voedselarme omstandigheden uiten zich in de rietkwaliteit, die laat zien dat er een fosforlimitatie is voor riet. Op de meer organische veenbodems doet riet het doorgaans wel iets beter (hogere biomassa) dan op de armere zandbodems. Er is dus een sterke aanwijzing dat door het cumulatieve effect van de suboptimale voedselrijkdom voor hoog en dik riet en de overig benoemde factoren, het riet minder dicht, groot en dik wordt waardoor het minder geschikt wordt als broedbiotoop voor de grote karekiet.

Als de verandering van de waterkwaliteit verder doorzet (dus minder N en P) is het niet te verwachten dat het riet geschikt voor grote karekieten zal toenemen. De huidige goede locaties voor grote karekiet, zijn mogelijk nog 'overblijfsels' uit de nutriëntrijkere jaren, en zullen mogelijk verder in kwaliteit achteruitgaan in de toekomst.

5.3 Aanbevelingen voor beheer en (her)inrichting

- Voor men overgaat tot het kiezen van locaties voor herstel en aanleg van rietkragen op de Loosdrechtse plassen, is het wenselijk om te zoeken naar locaties die nutriëntrijker zijn, en waar dus riet een betere kans heeft om te komen tot hoger en dikker riet geschikt voor de grote karekiet.
- Wanneer men actief riet wil aanplanten op aangelegde bodems, is het interessant om bodems te testen met een verschillende voedselrijkdom (voedselarm tot voedselrijk). Waarschijnlijk zijn rijkere bodems geschikter voor de ontwikkeling van hoog en dik riet geschikt voor grote karekieten.
- Het herstel en aanleg van rietkragen op locaties waar de groeiomstandigheden goed zijn dient gepaard te gaan met actieve beheersmaatregelen zoals het uitrasteren tegen vraat en verwijderen van struik- en bosopslag (zie van der Winden 2016 voor details).

5.4 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

- Het is onduidelijk wat nu de exacte rol is van voedingstoffen in de bodem en het water onder verschillende abiotische condities. Daarom is het zinvol om het onderzoek uit te breiden naar gebieden waar het riet onder andere condities staat om zo een beter beeld te krijgen van het effect van de bodem- en de waterkwaliteit (nutriëntenrijkdom) op de kwaliteit van het riet en de rol van adventief wortels.
- Een interessante vervolgvraag en studie zou kunnen zijn: hoe krijg je riet(moerassen) terug in Nederland onder de huidige omstandigheden? En hoe kan dit gepaard gaan zonder dat dit de beoogde waterkwaliteit verandert.
- Een zinvol experiment in het veld zou zijn om de nutriëntenlimitatie te testen en in de Loosdrechtse Plassen plaatselijk en gecontroleerd nutriënten toe te voegen aan de rietkragen (op verschillende bodemtypes). Met behulp van zogenaamde 'slow-release' nutriënten toevoeging kan dit zeer plaatselijk zonder dat dit effect heeft op de omgeving buiten de experimentele plots. Wanneer de hypothese van de nutriëntenlimitatie klopt zou je op deze manier dikker (en hoger) riet moeten terugkrijgen.
- Onderzoeken welke waterflux met bijbehorende nutriënten dichtheid (aquatische nutriëntenflux) nodig is om te zorgen dat er hoog en dik riet gaat groeien geschikt voor grote karekieten.

.....

6 LITERATUUR

- Armstrong, J., F. Afreen-Zobayed, and W. Armstrong. 1996. Phragmites die-back: sulphide-and acetic acid-induced bud and root death, lignifications, and blockages within aeration and vascular systems. *New Phytologist* **134**:601-614.
- Aulio, K. 2014. Appropriate Nutrient Economy in Phragmites australis at Different Phases of Estuarine Succession. *Journal of Plant Sciences* **2**:120.
- Bakker, E. S., C. G. F. Veen, G. J. N. Ter Heerdt, N. Huig, and J. M. Sarneel. 2018. High Grazing Pressure of Geese Threatens Conservation and Restoration of Reed Belts. *Frontiers in Plant Science* **9**.
- Bakker, L. 2010. Effect van zomerbegrazing door Grauwe ganzen op de uitbreiding van waterriet. *De Levende Natuur* **111**:57-59.
- Beemster, N., F. de Roder, F. Hoekema, and R. van der Hut. 2012. Broedvogels in de moeraszone van de Oostvaardersplassen in 2005-2011 met een overzicht van langjarige ontwikkelingen. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek bv, Feanwâlden/Staatsbosbeheer Regio Oost, Deventer.
- Belgers, J., and G. Arts. 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. Alterra.
- Borren, W., J. Rozemeijer, J. Klein, D. Hendriks, and G. van Wirdum. 2012. Flexpeil Hydrologie deelrapport A. Systeemanalyse en monitoringsopzet. Deltares.
- Boschker, H. T. S. 1997. Decomposition of organic matter in the littoral sediments of a lake. Boschker, [S.l.].
- Čížková-Končalová, H., J. Kvet, and K. Thompson. 1992. Carbon starvation - A key to reed decline in eutrophic lakes. *Aquatic Botany* **43**:105-113.
- Čížková-Končalová, H., L. Pechar, S. Husak, J. Kvet, V. Bauer, J. Radova, and K. Edwards. 2001. Chemical characteristics of soils and pore waters of three wetland sites dominated by Phragmites australis: relation to vegetation composition and reed performance. *Aquatic Botany* **69**:235-249.
- Čížková-Končalová, H., J. Strand, and J. Lukavská. 1996. Factors associated with reed decline in a eutrophic fishpond, Rožmberk (South Bohemia, Czech Republic).
- Clevering, O. A. 1997. Effects of litter accumulation and water table on morphology and productivity of Phragmites australis. *Wetlands Ecology and Management* **5**:275-287.
- Clevering, O. A. 1999. Vitaliteit van rietbegroei. *De Levende Natuur* **100**:3.
- Clevering, O. A., and J. Lissner. 1999. Taxonomy, chromosome numbers, clonal diversity and population dynamics of Phragmites australis. *Aquatic Botany* **64**:185-208.
- Coops, H. 1999. Overbescherming door riet. *De Levende Natuur* **100**:3.
- Coops, H., J. T. Vulink, and E. H. Van Nes. 2004. Managed water levels and the expansion of emergent vegetation along a lakeshore. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters* **34**:57-64.
- de Fouw, J., L. P. M. Lamers, and J. van der Winden. 2018. Monitoring van effecten ganzenrasters op herstel rietkragen in Loosdrecht 2016-2018.
- de Ruiter, M. A., L. van Liere, B. E. M. Kal, and J. J. Buyse. 1988. Worden de Loosdrechtse Plassen wer Helder? *H2O* **21**.
- Engloner, A. I. 2009. Structure, growth dynamics and biomass of reed (Phragmites australis)-A review. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* **204**:331-346.
- Esselink, P., G. J. F. Helder, B. A. Aerts, and K. Gerdes. 1997. The impact of grubbing by Greylag Geese (Anser anser) on the vegetation dynamics of a tidal marsh. *Aquatic Botany* **55**:261-279.
- Gigante, D., C. Angiolini, F. Landucci, F. Maneli, B. Nisi, O. Vaselli, R. Venanzoni, and L. Lastrucci. 2014. New occurrence of reed bed decline in southern Europe: Do permanent flooding and chemical parameters play a role? *Comptes rendus biologies* **337**:487-498.
- Graveland, J. 1996. Watervogel en zangvogel: de achteruitgang van de Grote Karekiet Acrocephalus arundinaceus in Nederland.
- Graveland, J. 1998. Reed die-back, water level management and the decline of the Great Reed Warbler Acrocephalus arundinaceus in The Netherlands. *Ardea* **86**:187-201.
- Graveland, J. 1999. Waterriet, moerasvogels en peildynamiek. *De Levende Natuur* **100**:50-53.

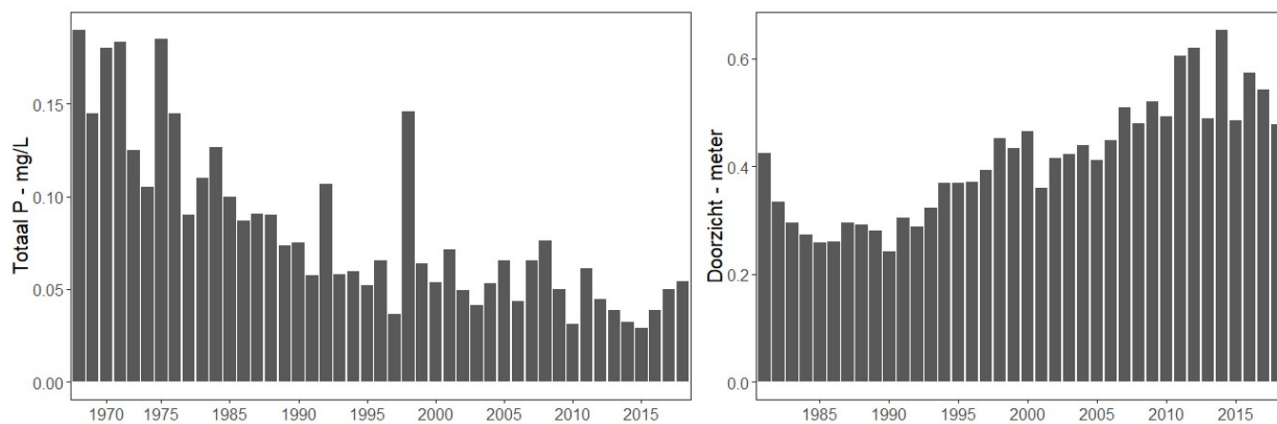
- Graveland, J., and H. Coops. 1997. Achteruitgang van rietgordels in Nederland. *Landschap* **14**:67-86.
- Graveland, J., A. Datema, and M. Wasscher. 1997. Voorkomen en ecologie van grote karekieten en libellen in de waterleidingplas van Gemeentewaterleidingen Amsterdam. s.n.], [S.l. :.
- Gusewell, S., and M. Koerselman. 2002. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* **5**:37-61.
- Hu, Y.-K., Y.-L. Zhang, G.-F. Liu, X. Pan, X. Yang, W.-B. Li, W.-H. Dai, S.-L. Tang, T. Xiao, and L.-Y. Chen. 2017. Intraspecific N and P stoichiometry of *Phragmites australis*: geographic patterns and variation among climatic regions. *Scientific Reports* **7**:43018.
- Keizer, P., and A. J. Sinke. 1992. Phosphorus in the sediment of the Loosdrecht lakes and its implications for lake restoration perspectives. Pages 39-50 *Restoration and Recovery of Shallow Eutrophic Lake Ecosystems in The Netherlands*. Springer.
- 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.
- Koncalova, H. 1990. Anatomical adaptations to waterlogging in roots of wetlands Graminoids. Limitations and drawbacks. *Aquatic Botany* **38**:127-134.
- Lamers, L., J. Geurts, J. Van Scnie, G. Van Dijk, A. Barendregt, I. Mettrop, L. Moria, C. Fritz, J. Roelofs, and A. Smolders. 2018. Waterkwaliteit en biodiversiteit in het laagveenlandschap. *Landschap* **35**:95-103.
- Lenssen, J., H. Coops, K. Buddingh, and T. Wijers. 2013. Herstel van rietmoeras in de Rijnstrangen.
- Li, L., W. Han, N. Thevs, X. Jia, C. Ji, D. Jin, P. He, A. O. Schmitt, G. T. Cirella, and S. Zerbe. 2014. A comparison of the functional traits of common reed (*Phragmites australis*) in northern China: Aquatic vs. terrestrial ecotypes. *PLoS ONE* **9**:e89063.
- Malthus, T., E. Best, and A. Dekker. 1990. An assessment of the importance of emergent and floating-leaved macrophytes to trophic status in the Loosdrecht lakes (The Netherlands). *Hydrobiologia* **191**:257-263.
- Meuleman, A. F., J. H. P. Beekman, and J. T. Verhoeven. 2002. Nutrient retention and nutrient-use efficiency in *Phragmites australis* stands after wastewater application. *Wetlands (Australia)* **22**:712-721.
- Olde Venterink, H., M. Wassen, A. Verkroost, and P. De Ruiter. 2003. Species richness-productivity patterns differ between N-, P-, and K-limited wetlands. *Ecology* **84**:2191-2199.
- Ostendorp, W. 1989. 'Die-back' of reeds in Europe – a critical review of literature. *Aquatic Botany* **35**:5-26.
- Ottow, B., D. Hendriks, W. Borren, and H. Landwehr. 2012. Deelrapport Flexpeil: Participatieve Monitoring Muyevelde (april 2011 - september 2012). Deltares, Utrecht, The Netherlands.
- R Development Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ren, L., F. Eller, C. Lambertini, W.-Y. Guo, B. K. Sorrell, and H. Brix. 2018. Minimum Fe requirement and toxic tissue concentration of Fe in *Phragmites australis*: A tool for alleviating Fe-deficiency in constructed wetlands. *Ecological engineering* **118**:152-160.
- Romero, J. A., H. Brix, and F. A. Comin. 1999. Interactive effects of N and P on growth, nutrient allocation and NH₄ uptake kinetics by *Phragmites australis*. *Aquatic Botany* **64**:369-380.
- Sarneel, J., B. Hidding, C. Van Leeuwen, G. Veen, J. van Paassen, N. Huig, and E. Bakker. 2012. Effecten van waterpeilfluctuaties op vegetatie. *Flexibel Peil: van denken naar doen*, 2010-2012.
- Schaller, J., C. Brackhage, M. Gessner, E. Bäuer, and E. Gert Dudel. 2012. Silicon supply modifies C: N: P stoichiometry and growth of *Phragmites australis*. *Plant Biology* **14**:392-396.
- Sinke, A. J., A. A. Cornelese, P. Keizer, O. F. Van Tongeren, and T. E. Cappenberg. 1990. Mineralization, pore water chemistry and phosphorus release from peaty sediments in the eutrophic Loosdrecht lakes, The Netherlands. *Freshwater Biology* **23**:587-599.
- Smolders, A. J. P., L. Lamers, E. Lucassen, G. Van der Velde, and J. Roelofs. 2006. Internal eutrophication: how it works and what to do about it—a review. *Chemistry and ecology* **22**:93-111.
- Smolders, A. J. P., and E. Lucassen. 2006. Karakterisering onderwaterbodems Loosdrechtse Plassen. Analyse resultaten. B-Ware, Nijmegen.
- Sollie, S., and J. T. A. Verhoeven. 2008. Nutrient Cycling and Retention Along a Littoral Gradient in a Dutch Shallow Lake in Relation to Water Level Regime. *Water, Air, and Soil Pollution* **193**:107-121.
- Tanner, C. C. 1996. Plants for constructed wetland treatment systems—a comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. *Ecological engineering* **7**:59-83.

-
- Tóth, K., D. Bogyó, and O. Valkó. 2016. Endozoochorous seed dispersal potential of grey geese *Anser* spp. in Hortobágy National Park, Hungary. *Plant Ecology* **217**:1015-1024.
- Tylová, E., L. Steinbachová, A. Soukup, V. Gloser, and O. Votrubová. 2013. Pore water N:P and NH₄⁺:NO₃⁻ alter the response of *Phragmites australis* and *Glyceria maxima* to extreme nutrient regimes. *Hydrobiologia* **700**:141-155.
- Ulrich, K. E., and T. M. Burton. 1985. The effect of nitrate, phosphate and potassium fertilization on growth and nutrient uptake patterns of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Aquatic Botany* **21**:53-62.
- van der Jeugd, H. P., L. van der Voslamber, C. van Turnhout, H. Sierdsema, N. Feige, J. Nienhuis, and K. Koffijberg. 2006. Overzomerende ganzen in Nederland: grenzen aan de groei? , SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.
- 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.
- van der Putten, W. H., B. A. M. Peters, and R. S. VandenBerg. 1997. Effects of litter on substrate conditions and growth of emergent macrophytes. *New Phytologist* **135**:527-537.
- van der Valk, A. G., L. Squires, and C. H. Welling. 1994. Assessing the impacts of an increase in waterlevel on wetland vegetation. *Ecological Applications* **4**:525-534.
- 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. Jan van der Winden Ecology.
- van der Winden, J., S. Deuzeman, and R. Foppen. 2018. Herstel van rietkragen voor de grote karekiet in de Noordelijke Randmeren. Knelpunten en maatregelen om het habitat van de grote karekiet te verbeteren. 18.01, Jan van der Winden Ecology.
- Van der Winden, J., and J. van Gemenen. 2018. Inventarisatie van waterriet-kragen in de Reeuwijkse plassen. Verkenning van knelpunten en oplossingen voor rietkragen als leefgebied voor de grote karekiet. Jan van der Winden Ecology, Utrecht/ Watersnip Advies, Reeuwijk.
- Van Liere, L. 1986. Loosdrecht Lakes, origin, eutrophication, restoration and research programme. *Hydrobiological Bulletin* **20**:9-15.
- van Meer, M., and Y. Roijendijk. 2018. Verkennend en beschrijvend waterbodemonderzoek (inclusief asbestonderzoek) in de Loosdrechtse Plassen. Tauw bv, Capelle aan den IJssel.
- Verhoeven, J. T. A., and R. Bobbink. 2001. Plant diversity of fen landscapes in the Netherlands. *in* B. Gopal, W. J. Junk, and J. A. Davis, editors. *Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Vymazal, J., and L. Kröpfelová. 2005. Growth of *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* in constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic. *Ecological engineering* **25**:606-621.
- Weeda, E. J., R. Westra, C. Westra, and T. Westra. 1994. Nederlandse oecologische Flora, wilde planten en hun relaties 5.
- Weisner, S. E. 1996. Effects of an organic sediment on performance of young *Phragmites australis* clones at different water depth treatments. *Hydrobiologia* **330**:189-194.
- Weisner, S. E. B. 1987. The relation between wave exposure and distribution of emergent vegetation in a eutrophic lake. *Freshwater Biology* **18**:537-544.
- Weisner, S. E. B. 1991. Within-lake patterns in depth penetration of emergent vegetation. *Freshwater Biology* **26**:133-142.
- Young, S., P. J. Milligan, and D. H. Davies. 1997. Correlation of concentrations of water nutrients with anatomical features of three species of aquatic grass. *Archiv für Hydrobiologie*:419-430.
- Zhao, Y., X. Xia, and Z. Yang. 2013. Growth and nutrient accumulation of *Phragmites australis* in relation to water level variation and nutrient loadings in a shallow lake. *Journal of Environmental Sciences* **25**:16-25.

.....

7 BIJLAGEN

Bijlage 1. Concentraties fosfor in oppervlaktewater en doorzicht Loosdrechtse Plassen



Gemiddelde fosfor in de zomer (P totaal, mg L⁻¹) in het oppervlaktewater midden op de plas en het doorzicht (m.b.v. Secchi schijf) (Bron: Waternet).

Bijlage 2. Concentraties elementen in rietsloot Radboud universiteit en onderzoekcentrum B-WARE

Links: concentraties van elementen gemeten in het bodemvocht en rechts in het oppervlaktewater (mei 2018) van de rietsloot bij de Radboud Universiteit Nijmegen (ongepubl. Data RU/B-WARE).

$\mu\text{mol/l}$	Hoog riet		Laag riet		$\mu\text{mol/l}$	Hoog riet		Laag riet	
	gem.	stdev.	gem.	stdev.					
Al	3,3	5,1	1,8	1,0	pH	7,3		6,9	
Ca	6276,8	1024,4	2421,0	312,5	Al	1,5		0,2	
Fe	416,5	251,5	471,2	149,7	Ca	883,0		915,7	
Mg	1608,7	286,2	580,2	68,2	Fe	31,4		6,5	
Mn	313,2	59,5	156,6	19,8	Mg	126,0		141,6	
P	5,0	2,6	7,2	3,7	Mn	2,8		1,5	
SO4	5559,5	7564,5	43,5	54,9	P	14,3		1,8	
Si	102,9	65,6	73,8	11,0	S	66,5		50,7	
Zn	1,4	0,7	0,5	0,3	Si	34,6		20,4	
NO3	1,0	1,0	0,5	0,2	Zn	0,1		0,0	
NH4	3,6	1,2	2,6	0,4	NO3	0,3		0,2	
PO4	0,5	0,2	0,7	0,2	NH4	0,1		0,0	
Na	3060,4	2074,6	1322,3	252,8	PO4	4,4		0,7	
K	40,3	50,0	11,9	14,2	Na	1036,3		933,2	
Cl	67,0	39,5	34,5	58,5	K	46,0		11,5	
					Cl	178,4		91,1	

Bijlage 3. Bodem chemische metingen verleden in Loosdrechtse Plassen

Enkele bodem chemische variabelen van de Loosdrechtse Plassen eind jaren 80/begin jaren 90.

Bodemvocht				
Variabele	eenheid*	M. Pos	Kievitsbrt	Algemeen
NH ₄	μmol/l	237	489	Sinke et al. (1990)
PO ₄	μmol/l	10	11,1	Sinke et al. (1990)
Opg. Org. P	μmol/l	7,5	7,2	Sinke et al. (1990)
Fe ²⁺	μmol/l	6,4	12,6	Sinke et al. (1990)
Fe ³⁺	μmol/l	3,4	7,6	Sinke et al. (1990)
Opg. Org. C	μmol/l	1970	2280	Sinke et al. (1990)
Ca ²⁺	μmol/l	1330	1750	Sinke et al. (1990)
Sediment (0-2 cm)				
Drooggewicht %			9	Keizer en Sinke (1992)
Organisch C	mmol/kg		44629	Keizer en Sinke (1992)
P	mmol/kg		19	Keizer en Sinke (1992)
P (zuur-extr.)	mmol/kg		5	Keizer en Sinke (1992)
Fe	mmol/kg		397	Keizer en Sinke (1992)
Fe (zuur-extr.)	mmol/kg		2	Keizer en Sinke (1992)
Ca	mmol/kg		1003	Keizer en Sinke (1992)
CaCO ₃	mmol/kg		461	Keizer en Sinke (1992)

Bijlage 4. Locatie beschrijving en rietparameters per locatie (5 stengels per locatie)

Locatienr.	jong riet #m ²	overjarig #m ²	biomassa gram m ²	gem. dikte cm	gem. lengte cm
1	128	12	3288,1	6,8	229,8
2	92	100	1068,5	3,7	166,8
3	116	16	2128,4	5,2	204,0
4	92	44	3385,2	7,2	256,0
5	44	28	2045,6	7,5	317,2
6	68	28	1760,7	7,1	262,0
7	56	48	2101,9	6,6	312,6
8	64	48	842,2	4,4	169,2
9	72	36	824,7	3,3	160,6
10	116	16	1186,9	3,3	178,4
11	36	24	500,8	3,7	199,8
12	104	12	2285,5	5,3	208,6
13	40	28	1595,8	7,0	330,4
14	64	28	1218,3	5,0	229,8
15	92	44	1717,5	4,7	239,8
16	40	28	767,5	4,7	224,6
17	64	32	1287,3	5,1	239,6
18	44	12	685,7	4,3	192,8
19	128	16	2826,5	5,8	225,2
20	140	0	3134,0	5,5	259,4
21	84	20	815,1	3,0	139,2
22	72	40	1808,1	5,5	227,0
23	76	40	2170,7	6,7	248,8
24	52	20	1189,6	5,1	213,0
25	144	48	3918,8	5,1	239,2
26	100	28	1441,0	4,5	185,4
27	52	20	720,4	3,7	172,4
28	40	16	296,0	2,7	118,2
29	60	36	1132,2	5,1	204,0
30	40	16	1256,8	5,7	258,8
31	40	32	669,1	4,4	204,6
32	28	12	610,8	5,3	242,0
33	56	28	1376,1	5,2	248,8
34	120	48	1978,6	4,5	208,2
35	16	16	274,1	4,8	187,0
36	56	24	1802,6	6,0	252,2
gemiddelde	73.2	29.0	1558,6	5,1	221,0
St.dev.	34.0	17.4	908,5	1,2	46,4

locatie nummer	waterdiepte cm	bodem	Riet klasse	talud
1	45	veen	Dik riet	Getrapt
2	30	veen	Dun riet	Getrapt
3	40	veen	Dun riet	Getrapt
4	70	veen	Dik riet	Getrapt
5	70	slib	Dik riet	Gradiënt
6	40	zand	Dik riet	Getrapt
7	50	zand	Dik riet	Getrapt
8	50	zand	Dun riet	Getrapt
9	50	zand	Dun riet	Getrapt
10	55	zand	Dun riet	Gradiënt
11	80	zand	Dun riet	Gradiënt
12	55	veen	Dun riet	Getrapt
13	70	slib	Dik riet	Getrapt
14	55	zand	Dun riet	Gradiënt
15	70	veen	Dik riet	Getrapt
16	90	zand op veen	Dun riet	Gradiënt
17	90	zand op veen	Dun riet	Gradiënt
18	65	zand	Dun riet	Gradiënt
19	45	veen	Dik riet	Getrapt
20	60	veen	Dik riet	Getrapt
21	60	zand op veen	Dun riet	Gradiënt
22	90	veen	Dun riet	Getrapt
23	60	veen	Dik riet	Getrapt
24	70	veen	Dun riet	Getrapt
25	100	veen	Dik riet	Gradiënt
26	50	zand op veen	Dun riet	Getrapt
27	60	zand	Dun riet	Gradiënt
28	30	zand	Dun riet	Gradiënt
29	50	zand	Dun riet	Gradiënt
30	75	zand	Dik riet	Gradiënt
31	60	zand op veen	Dun riet	Gradiënt
32	80	zand op veen	Dik riet	Gradiënt
33	95	zand	Dik riet	Gradiënt
34	80	zand op veen	Dun riet	Getrapt
35	50	zand	Dun riet	Gradiënt
36	50	zand	Dik riet	Getrapt

Bijlage 5 Gemiddelde chemische gegevens riet pilot-experiment

Gemiddelde chemische gegevens van het bodemvocht en het onderste compartiment van de bakken in het experiment in $\mu\text{mol/L}$, per behandeling (n=2). Tabel boven: 18-7-2018 (maand na start), Tabel onder: 30-11-2018 (einde experiment).

Metingen 18-7-2018:

<i>Bodemvocht</i>	NO₃	NH₄	PO₄	K	Ca	Fe	Mg	Mn	P	S	Si
water - bodem	1,5	12,4	5,3	168	1379	16,3	411	9,4	12,8	81	196
water	1,4	31,3	4,0	431	2531	117,2	634	24,9	29,0	21	333
bodem	1,5	16,8	5,3	201	1821	46,6	592	16,5	20,8	26	275
controle	1,5	18,1	7,5	183	1881	21,7	663	14,8	19,0	33	301
<i>Onderste comp.</i>											
water - bodem	1,5	3,2	4,6	209	1497	1,6	676	5,6	18,9	368	172
water	1,6	14,2	1,2	270	1989	2,4	925	5,6	5,7	502	162
bodem	4,5	17,3	8,0	232	1731	2,1	802	5,8	26,9	451	161
controle	1,6	4,9	1,1	196	1692	6,0	722	7,4	5,6	332	170

Metingen 30-11-2018

<i>bodemvocht</i>														
<i>0-10 cm</i>	pH	Alk.	TIC	NO₃	NH₄	PO₄	K	Ca	Fe	Mg	Mn	P	S	Si
water - bodem	7,1	7,3	7799	1,4	0,8	0,8	7,4	2357	7,7	688	1,9	4,6	173	53
water	7,1	6,4	7243	1,4	0,6	0,5	32,2	2002	50,5	667	13,0	6,3	83	127
bodem	7,0	6,6	7746	1,4	0,6	0,4	9,9	2488	21,1	580	5,0	4,0	148	82
controle	7,3	4,5	4703	1,5	1,1	0,5	10,3	1487	13,0	485	5,6	2,7	143	91
<i>Bodemvocht</i>														
<i>10-15 cm</i>														
water - bodem	7,1	8,1	8865	1,5	1,4	0,4	10,0	2757	9,0	739	1,3	3,8	162	49
water	7,1	7,2	7944	1,6	1,9	0,2	40,6	2169	15,7	692	12,9	3,1	49	121
bodem	7,0	8,2	9664	1,5	1,7	0,3	7,9	2845	5,0	687	6,3	4,1	129	78
controle	7,2	5,9	6948	3,1	1,2	0,3	41,1	2075	18,1	550	16,4	3,2	99	148
<i>Onderste comp.</i>														
water - bodem	7,0	6,5	7131	26,2	9,7	0,5	0,3	1515	1,6	530	1,0	5,9	98	39
water	7,1	6,7	7270	1,3	1,4	0,2	59,6	1580	44,2	617	9,8	5,2	76	108
bodem	7,1	8,5	9439	6,6	1,8	0,2	0,6	2153	7,0	690	4,4	6,3	86	89
controle	7,1	5,5	6350	1,5	0,9	0,1	27,1	1458	14,1	548	8,7	3,5	128	111

.....

B
ware

www.b-ware.eu