



Universiteit
Utrecht

Biodiversiteit bij klimaatmaatregelen in het westelijk veenweidegebied

Annick van der Laan, Jerry van Dijk, Karin Rebel en Martin Wassen
Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling
Februari 2025



Voorwoord HDSR

Voor u ligt een uitgebreid onderzoeksrapport waarin de biodiversiteit in het westelijk veenweidegebied van Nederland in detail is onderzocht. Het betreft onderzoek naar het kleine leven, zoals schimmels, tot aan “grotere” soorten zoals planten en vlinders. Uit het onderzoek blijkt dat elke soort anders reageert op een vernattingsmaatregel waardoor de gevolgen van vernattingsmaatregelen voor biodiversiteit vaak van vele factoren afhankelijk is. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de werking van de maatregel in het veld (zoals de werkelijke gemeten grondwaterstanden), de soortgroepen waar de focus op ligt maar ook in hoeverre de maatregel wordt gecombineerd met andere biodiversiteit verhogende maatregelen. Vooral beheermaatregelen zoals gefaseerd maaien en een late eerste maaironde lijken voor veel soortgroepen een positieve werking te hebben. Het onderzoek laat dan ook zien dat het verstandig is om naar een integraal maatregelenpakket te kijken bij een streven naar minder bodemdaling (vernatting) en meer biodiversiteit.

Het voorliggende onderzoek is grotendeels gefinancierd uit het project Klimaatlim Boeren op Veen*, aangevuld met AVP-subsidie van Provincie Utrecht. De essentie van het Klimaatlim Boeren op Veen (2019-2025) is het stimuleren en faciliteren van de uitvoering van concrete maatregelen in veenweidepolders. De focus ligt op maatregelen om de CO₂-uitstoot/bodemdaling te beperken, gevolgd door maatregelen op het gebied van biodiversiteit en waterkwaliteit. Onder het motto: al doende leren. Het onderzoek 'Biodiversiteit bij klimaatmaatregelen in het westelijk veenweidegebied' sluit hierbij goed aan en is een nuttige aanvulling bij de andere onderzoekstrajecten.

Als laatste willen we graag nog benoemen dat wij dankbaar zijn dat we een deel van de begeleiding op ons hebben kunnen nemen. Werken met Annick van der Laan en haar begeleiders vanuit de Universiteit van Utrecht was altijd erg prettig en onze tussentijdse gesprekken zorgden altijd voor interessante inzichten. Juist door onderzoeken in het veld en in het lab hebben we gezamenlijk meer begrip gekregen van het ecologisch functioneren van het veenweidegebied. We willen haar, haar begeleiders en iedereen die verder heeft meegeholpen aan dit mooie en nuttige onderzoek bedanken voor al het werk.

We wensen u veel leesplezier!

Nikki Dijkstra en Harm de Jong, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.

* Het project was een samenwerkingsinitiatief van waterschap Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, De agrarische collectieven Rijn, Vecht en Venen en Rijn & Gouwe Wiericke. Vanaf 2020 participeerden ook waterschap Amstel, Gooi en Vecht, waterschap Hoogheemraadschap van Rijnland, LTO-Noord, Provincies Zuid-Holland, Utrecht en Noord-Holland.

Inhoud

Voorwoord HDSR	2
Samenvatting	5
Dankwoord	6
1. Introductie	7
1.1. Aanleiding van dit onderzoek	8
1.2. Doel en opzet van dit onderzoek	8
1.3. Leeswijzer	9
2. Klimaatmaatregelen veenweidegebied	10
Waterinfiltratiesystemen	10
Agrarische natuurpercelen	10
3. Veenkolommenproef	12
3.1. Methode veenkolommenproef	12
3.1.1. Nutriënten in poriewater	13
3.1.2. Vegetatie	13
3.1.3. Bodemleven	13
3.2. Resultaten en interpretatie veenkolommenproef	14
3.2.1. Nutriënten in het poriewater	14
3.2.2. Grasopbrengst	18
3.2.3. Bodemleven	21
3.2.4. Limitaties veenkolommenproef	25
4. Omschrijving veldstudie	26
4.1. Percelen veldstudie	26
4.2. Gebiedsomschrijving	27
4.3. Hoogwaterboerderij	29
4.4. Methode veldstudie	30
5. Resultaten Veldstudie	34
5.1. Resultaten abiotiek	34
5.1.1. Grondwaterstanden	34
5.1.2. Bodemeigenschappen	35
5.1.3. Grondwaterkwaliteit	36
5.1.4. Slootwaterkwaliteit	37
5.1.5. Abiotiek op de hoogwaterboerderij	39
5.2. Resultaten biotiek	41
5.2.1. Regenwormen	41
5.2.2. Bodembewonende en vliegende ongewervelden	46

5.2.3.	Vegetatie	51
5.2.4.	Nachtlinders	56
5.2.1.	Libellen	59
5.2.2.	Dagvlinders	61
5.3.	Relatie grondwaterstand en biotiek	63
5.4.	Samenvatting resultaten veldstudie	65
5.5.	Discussie veldstudie	66
6.	Synthese	68
	Infographic	71
7.	Referenties	72

Samenvatting

Nederlandse veenweidegebieden worden voornamelijk gebruikt voor melkveehouderij, maar staan voor grote uitdagingen zoals het remmen van bodemdaling, het verminderen van broeikasgasemissies en het bevorderen van biodiversiteit. Klimaatmaatregelen zoals een waterinfiltratiesysteem (WIS), dat de uitwisseling tussen sloot- en grondwater verbetert en de grondwaterstand stabiliseert, worden gezien als een mogelijke oplossing. Vaak wordt gestreefd naar een win-win waarbij minder bodemdaling en broeikasgasemissies samengaan met biodiversiteitswinst. Het verhogen van de grondwaterstand heeft naar verwachting een positief effect op veel soortgroepen. Vernatting kan echter ook leiden tot het vrijkomen van nutriënten uit de bodem, wat juist de biodiversiteit kan beperken door bijvoorbeeld dominantie van enkele plantensoorten.

In dit onderzoek is het effect van klimaatmaatregelen op de biodiversiteit in het westelijk veenweidegebied onderzocht via een veenkolommenproef en een brede veldstudie. Bij de kolommenproef zijn 100 veenkolommen blootgesteld aan verschillende vernattings- en bemestingsniveaus om het effect van landgebruik op de nutriëntendynamiek en het bodemleven te onderzoeken. De resultaten laten zien dat volledige vernatting (gelijk aan maaiveld) leidt tot het vrijkomen van fosfaat en ammonium, terwijl dit bij gedeeltelijke vernatting (20 cm beneden maaiveld) beperkter blijft. Ook het bodemleven verandert aanzienlijk bij vernatting. Vooral wanneer vernatten gecombineerd wordt met een hoog bemestingsniveau nemen nematoden en regenwormen af in hoeveelheid.

In de veldstudie is de biodiversiteit op 32 percelen gemonitord, waarbij referentiepercelen, oude en nieuwe WIS-percelen en agrarische natuurpercelen zijn vergeleken. Daarnaast werd op 15 percelen van de hoogwaterboerderij in Zegveld gemonitord. De onderzochte soortgroepen omvatten regenwormen, vegetatie (op percelen en langs oevers), bodembewonende en vliegende ongewervelden (pot- en plakvallen), nachtvlinders, libellen en dagvlinders. Op nieuwe WIS, waarbij drainagebuizen op een verzamelput zijn aangesloten, is de grondwaterstand in de zomer significant verhoogd en stabiel door het jaar heen. De biodiversiteit op WIS-percelen en referentiepercelen was vergelijkbaar, wat laat zien dat het gedeeltelijk verhogen van de grondwaterstand met WIS (hier tot 40-50 cm beneden maaiveld in de zomer) niet automatisch tot biodiversiteitswinst leidt.

Op de agrarische natuurpercelen werden gemiddeld meer soorten en werd ook meer variatie tussen percelen waargenomen. Meer biotische variatie tussen percelen draagt bij aan een hogere biodiversiteit op landschapsschaal. Bij vernatten tot circa 40-50 cm beneden maaiveld lijkt het beheer dus een belangrijkere rol te spelen dan de grondwaterstand. Er is voor biodiversiteit vooral veel winst te behalen door het creëren van meer variatie in het landschap en minder intensief beheer. Door verstoringen, zoals maaien en bemesten, te spreiden, wordt voorkomen dat soorten in kwetsbare stadia verdwijnen en is er continu een geschikt leefgebied voor een breed scala aan soorten, wat de biodiversiteit binnen een bedrijf of polder aanzienlijk bevordert.

Dankwoord

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door de inzet van een groot aantal personen richting wie we hier graag onze dank willen uitspreken. Op de eerste plaats Nikki Dijkstra voor het fijne contact vanuit HDSR en voor je altijd doorpakkende houding (ook tijdens COVID). Harm de Jong en Annette van Schie (HDSR): bedankt voor het in contact brengen met melkveehouders met klimaatmaatregelen. Verder bedanken we Arjanne Mulder, Carolien van der Weijst, Danneke Verhagen-Bakker, Hugo Bekelaar, Maarten Hoetmeer, Marjan Holtman (allen HDSR) voor jullie input, en prettige communicatie gedurende dit onderzoek. Daarnaast bedanken we Tim Pelsma (Waternet) voor het mogelijk maken om ook binnen AGV gebied te kunnen monitoren, zowel via een financiële bijdrage vanuit Waternet als meedenken over geschikte locaties met klimaatmaatregelen. Dit onderzoek had niet uitgevoerd kunnen worden zonder de deelnemende melkveehouders: ontzettend bedankt voor jullie inzet, het invullen van de logboeken en de inzichtgevende gesprekken aan de keukentafel. Verder danken we de contactpersonen bij landschap Nood-Holland en Staatsbosbeheer voor het toestaan van de monitoring in jullie gebieden.

Nick van Eekeren en Monique Bestman (Louis Bolk Instituut): onze paden kruisten op het juiste moment en daarom hebben we onze monitoring kunnen “zwaluwstaarten”. Dit resulteerde in een mooie samenwerking binnen het project ‘Boeren op Hoog Water’ op de hoogwaterboerderij in Zegveld. Daarnaast hebben jullie de dataverzameling rondom het bodemleven in de veenkolommenproef mogelijk gemaakt door het inzetten van jullie collega’s en financiële middelen. Daarom niet alleen veel dank aan jullie maar ook aan jullie collega’s. Verder danken we KTC Zegveld, en in het bijzonder Karel van Houwelingen, voor het mogelijk maken van de monitoring op de proefboerderij. Ook danken we Roy van Grunsven (de Vlinderstichting) voor de fijne samenwerking rondom de dag- en nachtvlinder en libellenmonitoring. Door het aanvragen van een Cultuurfonds heb je ook de vlinder- en libellenmonitoring op de hoogwaterboerderij uit kunnen voeren en analyseren.

Verder bedanken we Ton Markus en Margot Stoete voor hun hulp bij het maken van de figuren in H3 en de infographic. Veel dank aan Nienke van Rossum voor het maken van de mooie tekeningen in de infographic. Ook bedanken we de vele collega’s en vrienden die hebben geholpen bij de veenkolommenproef, regenwormen uitzoeken en/of een dag mee in het veld zijn geweest, jullie zijn met teveel om allemaal op te noemen. Speciale dank aan Daniil Scheifes voor de vele dagen hulp bij het veldwerk en binnen de veenkolommenproef. Marijn van Rossum, jouw hulp bij alle praktische zaken rondom het opstarten van de veenkolommenproef was onmisbaar. Hetzelfde geldt voor de hulp en het altijd denken in mogelijkheden van Roel Vonk (botanische tuinen Utrecht). Tot slot bedanken we alle master thesis studenten die hun thesis binnen dit project hebben geschreven en daarmee niet alleen hebben bijgedragen aan het vele lab-en veldwerk, maar ook bij het verkrijgen van nieuwe inzichten en energie: Julia van Doorninck, Dara Fluit, Suzanne Rodenburg, Samantha Sendek, Miki de Brouwer en Anna Ticó Pifarré, BEDANKT!

1. Introductie

Nederlandse veengebieden voorzien in diverse ecosysteemdiensten. Zo slaan ze grote hoeveelheden organische stof op en zuiveren ze de omliggende watersystemen (Verhoeven and Setter, 2010). Omdat ze van nature nat en nutriënten-arm zijn, herbergen veengebieden een grote variatie aan unieke flora en fauna (Lamers et al., 2002). In Nederland worden de meeste veengronden, 82%, voor de melkveehouderij gebruikt als grasland (Van den Born et al., 2016). Tot de jaren 50 van de vorige eeuw hadden deze graslanden een hoge biodiversiteit aan plant- en diersoorten. Echter, met de modernisering van de landbouw is de biodiversiteit in de Nederlandse veenweidegebieden de afgelopen decennia afgenomen (Donald et al., 2006; Kleijn et al., 2010). Om met machines het land op te kunnen en de grasproductie te verhogen wordt de grondwaterstand d.m.v. drainage kunstmatig laag gehouden wat leidt tot uitdroging van de grond en mineralisatie van het veen (Smolders et al., 2013). Daarnaast heeft de zogenoemde graslandvernieuwing, het ploegen en opnieuw inzaaien met productieve grassen, ervoor gezorgd dat de eerder kruidenrijke graslanden plaats hebben gemaakt voor een bijna-monocultuur van Engels raaigras resulterend in een afname in plantenbiodiversiteit. In combinatie met verhoging van de mestgift, vroeger en frequenter maaien en hogere veebezetting, zijn hierdoor ongunstige omstandigheden ontstaan voor soorten die het in deze gebieden eerder juist erg goed deden. Het meest bekende voorbeeld is de grutto (en ook andere weidevogels zoals de tureluur en de Kievit). Weidevogels hebben niet alleen direct last van de intensivering van de landbouw door de toename van verstoring als gevolg van de meer frequentere agrarische activiteiten op de percelen (Bos et al., 2013) maar ook hun voedselbeschikbaarheid is daarmee afgenomen (De Felici et al., 2019; Schekkerman and Beintema, 2007). Daarnaast zijn de doorgaans zware snedes niet goed doorwaadbaar voor weidevogelkuikens waardoor ze, ook als er voldoende voedsel is, niet goed kunnen foerageren (Van der Weijden en Guldmond, 2006). Omdat de bovengrond vaak uitgedroogd is op intensief gebruikte percelen zijn de regenwormen niet goed beschikbaar voor weidevogels omdat de indringingsweerstand van de bodem te hoog is (Onrust et al., 2019).

Naast de negatieve impact op de biodiversiteit zorgt de ontwatering van het veen ook voor het verlies van andere ecosysteemdiensten. Zo is het veenweidegebied omgeslagen van een systeem dat koolstof opslaat naar een systeem dat koolstof uitstoot, is de sponswerking en daarmee het waterbergend vermogen sterk verminderd en komen er veel voedingsstoffen vrij bij de veenafbraak. Het laaghouden van de grondwaterstanden veroorzaakt bodemdaling door aerobe oxidatie van het veen (Smolders et al., 2013). Dit gaat gepaard met een grote hoeveelheid broeikasgas emissies welke geschat wordt op 4.7Mton, ongeveer 2-3% van de jaarlijkse Nederlandse CO₂-eq emissies (Van den Akker et al., 2008). Daarom is in het Klimaatakkoord uit 2019 opgenomen dat maatregelen geïmplementeerd moeten worden die CO₂ emissies uit de Nederlandse veenweidegebieden in 2030 reduceren met 1Mton (Klimaatakkoord, 2019). Verder beoogt het klimaatakkoord 10.000 hectare agrarisch land om te zetten in natuur inclusieve landbouw en maatregelen ten gunste van weidevogels te implementeren. Ook in de natuurherstelwet van de EU zijn maatregelen opgenomen rondom biodiversiteit en veenvernatting (EU, 2024). Zo moet uiterlijk in 2030 30% van de bodems in ontwaterde veengebieden hersteld zijn waarvan minimaal een kwart via vernatting. In 2050

loopt dit doel op naar 50% van de veenbodems waarvan minimaal een derde vernat moet worden. Daarnaast moet de biodiversiteit verbeterd worden. Specifieke doelen hierbij zijn het omkeren van de afname van bestuiverpopulaties vanaf 2030 naar een toenemende trend en de boerenlandvogel index (waar ook weidevogels zoals de grutto, kievit, tureluur en scholekster onder vallen) moet ook toenemen (EU, 2024).

De urgentie is groot en derhalve wordt er naar effectieve oplossingen gezocht voor het veenweidegebied. Deze variëren van meer technologische oplossingen waarbij melkveehouderijen in aangepaste vorm kunnen voortbestaan tot het omvormen van landbouwgrond in natuur. De meeste oplossingen hebben gemeen dat de grondwaterstand substantieel wordt verhoogd. Omdat het om grote hoeveelheden grond gaat, maatregelen nodig zijn in vrijwel het hele veenweidegebied, en het overgrote deel van deze grond momenteel in gebruik is door de melkveehouderij, wordt ook gekeken naar hoe de melkveehouderij kan blijven voortbestaan bij een hogere grondwaterstand. Een nieuwe techniek die met name veel aandacht krijgt zijn water infiltratie systemen (WIS). Hierbij wordt de grondwaterstand verhoogd met drainagebuizen waarmee slootwater het perceel in kan stromen (figuur 2). Hier kan ook een pomp op aangesloten worden waarmee het slootwater actief het land in gepompt wordt tot een gewenste grondwaterstand. Omdat WIS resulteert in een stabielere, en vaak wat hogere, grondwaterstand rijst de vraag of met WIS ook een synergie kan ontstaan met biodiversiteit.

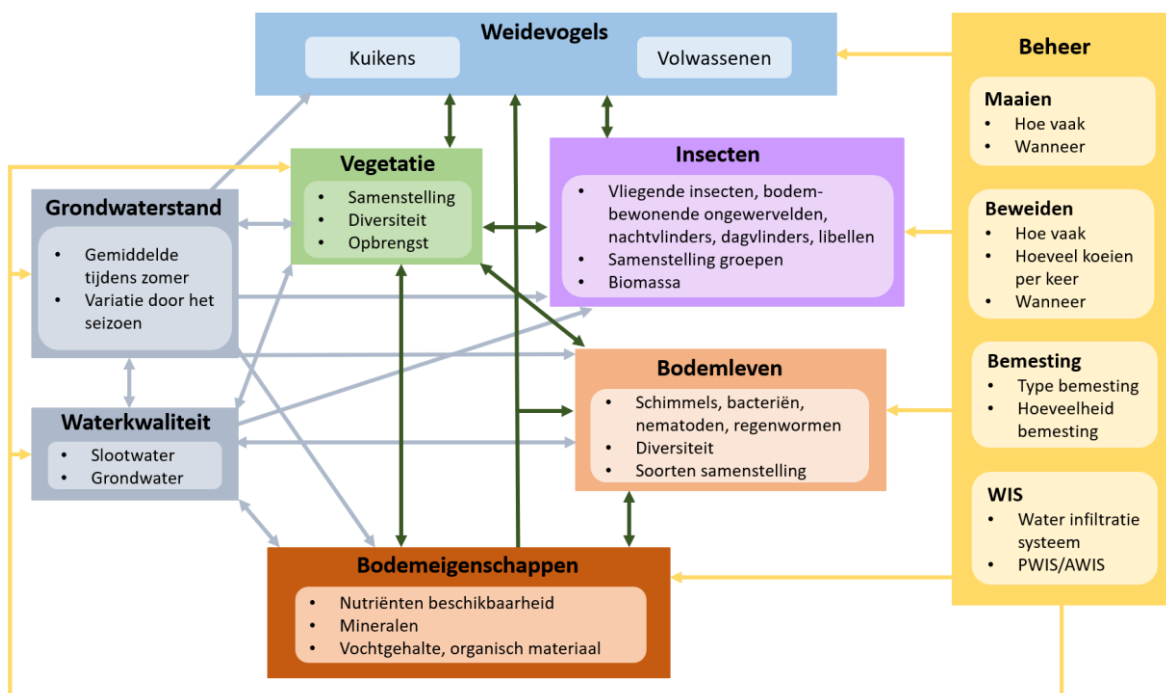
1.1. Aanleiding van dit onderzoek

Klimaatmaatregelen kunnen tot geheel nieuwe situaties leiden in het veld. Daarnaast wordt vaak aangenomen dat hogere grondwaterstanden positief zullen uitwerken op de biodiversiteit, terwijl nog onduidelijk is of dit inderdaad het geval is bij gedeeltelijke vernatting en eenzelfde landgebruik. Het is daarom van groot belang de effecten op de biodiversiteit mee te nemen voor er keuzes gemaakt kunnen worden over welke maatregelen op grote schaal uit te rollen. WIS worden momenteel al in een aantal polders geïmplementeerd. Er lopen meerdere studies naar het effect van WIS op de grondwaterstand, bodemdaling en broeikasgasemissies (NOBV onderzoeken, Hoekstra et al., 2020). Naar de biodiversiteit is nog weinig tot geen onderzoek gedaan bij dit soort maatregelen (maar zie Heuts et al., 2024). Wat de effecten van de veranderde situaties als gevolg van klimaatmaatregelen zullen zijn is dus ook nog grotendeels onbekend en is een urgent vraagstuk bij diverse waterschappen en gebiedscoöperaties. Binnen het project '[klimaatlim boeren op veen](#)' is daarom geld vrij gemaakt om het effect van klimaatmaatregelen op de biodiversiteit te onderzoeken. De opzet en resultaten van dit onderzoek worden in dit rapport gepresenteerd.

1.2. Doel en opzet van dit onderzoek

Het doel van dit onderzoek is inzicht te krijgen in de effecten van klimaatmaatregelen i.c.m. de daarbij behorende agrarische bedrijfsvoering en ecologische maatregelen op de biodiversiteit van het westelijk veenweidegebied. Binnen dit onderzoek zijn de volgende soortgroepen onderzocht: bacteriën, schimmels, nematoden, regenwormen, bodembewonende ongewervelden, vliegende insecten, nachtvlinders, dagvlinders en libellen. Hierbij worden drie

typen systemen vergeleken: referentiepercelen waar gangbare landbouw wordt bedreven, percelen met een water infiltratie systeem (WIS) waar eveneens gangbare landbouw plaatsvindt en agrarische natuurpercelen waar extensievere landbouw plaatsvindt. Figuur 1 geeft een overzicht van welke componenten in het veenweidesysteem onderzocht zijn in deze studie. Het onderzoek bestaat uit twee componenten welke complementair aan elkaar zijn: een veenkolommenproef (H3) en een veldstudie (H4-5). We streven hierbij naar een begrip op twee niveaus, namelijk a) het begrijpen van de mechanismen en het effect van individuele management factoren op de biodiversiteit en b) het begrijpen van het effect van verschillende maatregelen in de praktijk op de agrarische bedrijfsvoering van melkveehouderijen.



Figuur 1. Overzicht van de onderzochte componenten in het veenweidesysteem en de onderlinge samenhang. Beheer (geel) beïnvloedt alle delen van het systeem (gele pijlen), evenals de grondwaterstand en waterkwaliteit (grijze pijlen). De onderlinge relaties tussen groepen zijn weergegeven met groene pijlen. Het effect op weidevogels is alleen indirect meegenomen in de vorm van voedselbeschikbaarheid voor weidevogel(kuiken)s.

1.3. Leeswijzer

We geven eerst een korte schets van de maatregelen die meegenomen zijn in dit onderzoek (hoofdstuk 2). Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de methode van de veenkolommenproef uitgelegd en worden de resultaten gepresenteerd en geïnterpreteerd. In hoofdstuk 4 presenteren we de opzet en methode van de veldstudie en in hoofdstuk 5 de resultaten van de veldstudie. In de synthese (hoofdstuk 6) vatten we de resultaten samen, zoomen we meer uit en bespreken we de betekenis van de resultaten voor het veenweidegebied. Dit wordt gevolgd door een aantal concrete aanbevelingen (info-graphic).

2. Klimaatmaatregelen veenweidegebied

Er zijn verschillende klimaatmaatregelen in het veenweidegebied die bij kunnen dragen aan het verminderen van bodemdaling en CO₂ emissies en van het verbeteren van de biodiversiteit (zie kader). In dit onderzoek focussen we op water infiltratie systemen (WIS) en agrarische natuurpercelen.

In graslanden met een hoge grasproductie is de transpiratie van de vegetatie erg hoog waardoor er veel water verdampt en de grondwaterstand in de zomer uitzakt (figuur 2, links). Daarbij is het veen in dit soort gebieden gedegradeerd door de langdurige blootstelling aan zuurstof waardoor de uitwisseling tussen slootwater en grondwater in het perceel beperkt is en de verschillen in grondwaterstand tussen zomer en winter groter zijn vergeleken met intacte veengebieden (Kreyling et al., 2021). Een hoog slootwaterpeil resulteert dan dus niet altijd in een hoog grondwaterpeil in het perceel.

Waterinfiltratiesystemen

Om de connectie met het slootpeil en de grondwaterstand te vergroten kan gebruik worden gemaakt van water infiltratie systemen (WIS). Het doel van WIS is om de grote schommelingen in grondwaterstand te stabiliseren en netto de grondwaterstand te verhogen. Dit wordt gedaan met behulp van geperforeerde buizen die het perceel verbinden met het slootwater (van den Akker et al., 2019). In de zomer, wanneer de grondwaterstand zakt, loopt het slootwater de veengrond in en verhoogt zo de grondwaterstand. In de winter gebeurt het tegenovergestelde, de grondwaterstanden zijn dan erg hoog en bij een lager slootpeil zal het water via de buizen naar de sloot afgevoerd worden. Dit resulteert in een stabielere grondwaterstand door het jaar heen (figuur 2).

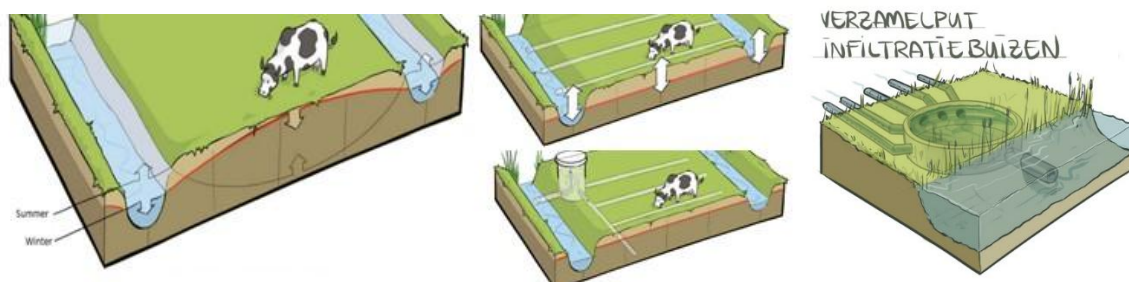
Bij oudere WIS staan alle afzonderlijke buizen direct in contact met de sloot (figuur 2, midden boven). Later is overgegaan op een verzamelput waarin alle buizen eerst uitkomen (figuur 2, rechts). Er wordt een onderscheid gemaakt tussen een passief waterinfiltratiesysteem (PWIS), ook bekend als onderwaterdrainage en een actief waterinfiltratiesysteem (AWIS), ook bekend als drukdrainage. Bij PWIS loopt het oppervlaktewater onder vrij verval via de buizen het perceel in (al dan niet eerst via een verzamelput). Bij AWIS wordt het infiltreren van slootwater in de bodem actief aangestuurd, doordat de buizen niet eindigen in het oppervlaktewater maar in een afgesloten waterreservoir waar de waterhoogte met een pomp automatisch of handmatig wordt ingesteld. AWIS is daarmee onafhankelijk van het slootpeil, maar heeft wel een aansluiting op het elektriciteitsnet of een aparte (hernieuwbare) stroomvoorziening (Hoekstra et al., 2020).

Agrarische natuurpercelen

Een andere klimaatmaatregel is het overgaan van een productief grasland naar agrarische natuur. Om de productiviteit van de vegetatie hier af te laten nemen wordt minder bemest en andere mest gebruikt (ruige mest i.p.v. drijfmest en kunstmest). Daarnaast worden hier meerdere dagen extensief (na)beweid in plaats van enkele dagen intensief beweid. Ook

worden de slootwaterstanden vaak omhoog gezet met als doel de grondwaterstand in het perceel te verhogen (zomer) of de grond nat te houden doordat overtollig water niet weg kan lopen in natte perioden (winter).

In dit onderzoek is gekeken naar zowel WIS-percelen als agrarische natuurpercelen. Deze percelen zijn vergeleken met referentie percelen (gangbaar beheer, geen klimaatmaatregel). In sectie 4.1 worden de percelen die onderzocht zijn in dit onderzoek in meer detail uitgelegd.



Figuur 2. Links: de natuurlijke situatie in het veenweidegebied met een hoge grondwaterstand in de winter en een lage grondwaterstand in de zomer. Midden boven: bij de oudere waterinfiltratiesystemen staan alle buizen direct in contact met het slootwaterpeil. Rechts: bij percelen met een nieuwer waterinfiltratiesysteem komen de buizen eerst samen in een verzamelput welke in contact staat met het slootwaterpeil. Midden onder: wanneer deze buizen worden gekoppeld aan een pomp kan de grondwaterstand zelfs actief gestuurd worden. [Bron figuren links](#). [Bron rechter figuur](#): (de Jong en van Schie, 2022).

Andere klimaatmaatregelen op veen

Naast WIS en agrarische natuur zijn er ook andere klimaatmaatregelen zoals plas/dras greppelinfiltratie, klei in veen, paludicultuur en natuurherstel. Klei in veen is het aanbrengen van een dunne kleilaag van 1-2 cm op het veen waarna het in het veen trekt en daar de blootstelling van het veen aan zuurstof vermindert en daarmee ook de veenafbraak remt (Van Agtmaal en Keuskamp, 2023). Klei in veen en greppelinfiltratie zijn in dit onderzoek niet meegenomen maar zijn wel opgenomen in het [Veenweide Innovatie Programma Nederland](#). Paludicultuur of natte teelten is het verbouwen van gewassen zoals lisdodde, riet, veenmos of cranberries bij een grondwaterstand rond het maaiveld. Dit resulteert in een heel ander systeem wat voor sommige soortgroepen naar verwachting gunstig zal uitpakken en voor andere ongunstig (Brouwer et al., 2022; Fritz et al., 2014). Natuurherstel valt buiten de opdracht van dit onderzoek maar is op vergelijkbare wijze als dit onderzoek onderzocht in een OBN onderzoek (van Mulken et al., 2024).

3. Veenkolommenproef

Een hoger grondwaterpeil gaat gepaard met veranderingen in waterstanddynamiek en veranderingen in agrarische bedrijfsvoering welke impact zullen hebben op de biodiversiteit. Zo is een veel genoemd probleem bij vernatting van veen de interne eutrofiëring waarbij met name fosfor in de top laag van de bodem beschikbaar komt (Lamers et al., 2015). Een andere waterstandsdynamiek heeft ook invloed op de afbraak van veen en de nutriëntenopname van planten. Met de veenkolommenproef proberen we te begrijpen hoe een verandering in waterstand(dynamiek) en waterkwaliteit invloed heeft op de nutriëntenbeschikbaarheid, de gewasopbrengst en het bodemleven.

3.1. Methode veenkolommenproef

In dit experiment hebben we veenkolommen blootgesteld aan verschillende experimentele behandelingen (tabel 1). Er werden vijf verschillende waterstanden gebruikt (zie kader), twee verschillende bemestingsniveaus en twee verschillende waterkwaliteiten. Hierbij werden alle mogelijke combinaties gemaakt (een zogenaamd full-factorial design) wat resulteerde in 20 verschillende experimentele behandelingen (tabel 1). Er werd vernat met slootwater en grondwater om te kijken of het verschil in waterkwaliteit een effect heeft op de nutriëntendynamiek in de veenkolommen. Bij WIS wordt ook slootwater de bodem ingelaten of ingepompt en omdat dit over het algemeen meer sulfaat en nitraat bevat dan grondwater zijn er zorgen dat hiermee mogelijk fosfaat mobilisatie in de hand wordt gewerkt (zie sectie 3.2.1.2.). De twee bemestingsniveaus zijn representatief voor conventionele bemesting en bemesting op agrarische natuurpercelen.

Voor de proef zijn 100 kolommen gestoken in polder Zegveld op een locatie waar ook andere werkzaamheden plaatsvonden. De uitgestoken veenkolommen, met een diepte van 80 cm en een diameter van 20 cm zijn vervolgens in tanks met de verschillende experimentele behandelingen geplaatst in de botanische tuinen van de universiteit Utrecht. De looptijd van de veenkolommenproef was 15 maanden en liep van februari 2021 tot april 2022. Gedurende de looptijd van het experiment zijn poriewatersamples genomen en is de vegetatie 5 keer geoogst. Aan het einde van het experiment zijn een deel van de veenkernen uit elkaar gehaald (40 van de 100 kernen) en is naar de samenstelling van het bodemleven gekeken.

Tabel 1 De experimentele behandelingen van de veenkolommenproef. Alle combinaties zijn getest. Met vijf waterstanden, twee water kwaliteiten, twee soorten nutriënten gehaltenes en vijf replica's geeft dit 20 experimentele behandelingen en 100 veenkernen.

Waterstand	Waterkwaliteit	Bemestingsniveau
Constant, hoog: -20 cm	Grondwater	Laag: 50 kg N/ha/jaar
Constant, medium: -40 cm	Slootwater	Hoog: 250 kg N/ha/jaar
Constant, laag: -60 cm		
Permanent verzadigd: 0 cm		
Variabel: -60 cm/ -20 cm		

Toelichting gekozen waterstanden

- **Permanent verzadigd (0 cm):** representatief voor paludicultuur systemen. Alhoewel deze waterstand niet meegenomen wordt in de veldstudie, is er wel veel vraag naar wat er bij volledige vernatting gebeurt en geeft het veel extra inzicht om deze situatie te kunnen vergelijken met deels vernatten (-20 cm).
- **Constant, hoog (-20 cm):** representatief voor locaties waar gestuurd wordt op een grondwaterstand van 20 cm beneden maaiveld zoals op de hoogwaterboerderij in Zegveld.
- **Constant, Medium (-40 cm):** op locaties waar PWIS of AWIS is geïmplementeerd is dit ongeveer de gemiddelde (en beoogde) waterstand welke door het jaar heen relatief constant blijft.
- **Constant, Laag (-60 cm):** dit is tijdens veel maanden de gemiddelde grondwaterstand in een conventioneel bedrijf (wel zakt het in de zomer regelmatig verder uit en is de grondwaterstand in de winter een stuk hoger).
- **Variabel, van -60 cm in de zomer tot -20 cm in de winter:** dit is de situatie die het meest voorkomt in de traditionele melkveehouderij in de veenweidegebieden.

3.1.1. *Nutriënten in poriewater*

Alle veenkernen bevatten twee rhizon samplers (Rhizosphere Research Products, Wageningen, Nederland): één rhizon in de bovenste 0-10 cm van de veenkolom en één rhizon op 40 cm diepte (figuur 3, rechts). Uit alle twee deze rhizons zijn maandelijks poriewatersamples genomen. Deze zijn op een vergelijkbare manier geanalyseerd als de watermonsters in tabel 3.

3.1.2. *Vegetatie*

Gedurende het groeiseizoen van 2021 is de bovengrondse biomassa vijf keer geoogst. Hiertoe is alle vegetatie tot ongeveer 3 cm boven maaiveld afgeknipt en voor 48 uur gedroogd op 70 graden. Vervolgens is de biomassa gewogen. Van oogst 1, 3 en 5 zijn ook de nutriënten (C, N, P, K) concentraties in de vegetatie gemeten.

3.1.3. *Bodemleven*

In 40 van de 100 kolommen is het bodemleven gemeten in samenwerking met het Louis Bolk Instituut en gefinancierd via het project 'Boeren op Hoog Water' (diverse financiers). Dit zijn de kolommen in de grondwater behandelingen met een constante waterstand (60, 40, 20 of 0 cm beneden maaiveld). Hierbij zijn de volgende groepen meegenomen: bacteriën, schimmels, protozoa, nematoden en regenwormen. Bacteriën, schimmels en protozoa zijn gemeten door middel van PLFA (fosfolipide vetzuren) in de bovenste 10 cm. Met PLFA kun je alleen iets zeggen over de PLFA biomassa en dus niet over de samenstelling binnen de verschillende groepen. Nematoden zijn ook in de bovenste 10 cm van de bodem gemeten. Deze zijn gedetermineerd tot op soortniveau. Verder zijn nematoden ingedeeld in 5 functionele groepen: bacterivoren, fungivoren, herbivoren, omnivoren en predatoren. Regenwormen zijn gemeten in de bovenste 20 cm van de bodem en gedetermineerd tot op soortniveau. Daarnaast is er onderscheid gemaakt tussen juveniele en adulte regenwormen.



Figuur 3. Links: een overzicht van de veenkolommenproef. Iedere ton bevat 1 experimentele behandeling met daarin vijf veenkolommen. Rechts: een dwarsdoorsnede van een tank met daarin vijf veenkolommen. In iedere veenkolom zijn twee rhizons geïnstalleerd. De gekleurde ballen in de tonnen zijn bedoeld om de verdamping tegen te gaan en algengroei in de tonnen te voorkomen.

3.2. Resultaten en interpretatie veenkolommenproef

Hieronder wordt een kort overzicht gegeven van de resultaten van de veenkolommenproef. Voor meer details rondom resultaten en interpretatie verwijzen we naar de wetenschappelijke publicaties die reeds zijn verschenen. De methode en resultaten rondom nutriëntendynamiek en gewasopbrengst staan in Van der Laan et al., 2024. De methode en resultaten van het bodemleven staan in Van der Laan et al., 2025.

3.2.1. Nutriënten in het poriewater

Poriewater is in alle veenkernen op twee dieptes gemeten van april 2021 t/m oktober 2021. Hieronder wordt het effect van de grondwaterstand (de mate van vernatting), van grondwater versus slotwater (het soort water waarmee vernat wordt) en het bemestingsniveau (hoog versus laag) in meer detail besproken.

3.2.1.1. De rol van de mate van vernatting

In figuur 4 zijn de resultaten van ammonium (NH_4^+), nitraat (NO_x , wat voor veruit het grootste deel bestaat uit NO_3^-) en fosfaat (PO_4^{3-}) weergegeven door de tijd.

Ammonium

Over het algemeen zijn de ammoniumconcentraties het hoogste in de veenkernen met een grondwaterstand van 0 cm beneden maaiveld. In de bovenste 10 cm is dit het meest zichtbaar in de zomermaanden. Tijdens deze maanden namen de ammoniumconcentraties significant toe in deze kernen (figuur 4a). Mogelijk speelde temperatuur hierbij een rol gezien stikstof

mineralisatie vaak hoger is in de zomermaanden, gestimuleerd door de hogere temperaturen (Koerselman et al., 1993). Op 40 cm diepte was de ammoniumconcentratie hoger in de twee natste behandelingen (0 en 20 cm beneden maaiveld) dan in de andere behandelingen. Ook waren hier de concentraties hoger dan in de toplaag van de bodem. Dit is mogelijk doordat een deel van het ammonium in de toplaag wordt blootgesteld aan zuurstof en daar geoxideerd is naar nitraat waarna het wellicht gedenitrificeerd is en zo het systeem verlaten heeft. In de diepere bodemlagen komt geen zuurstof bij de natte behandelingen dus gebeurt dit niet. Hogere ammoniumconcentraties worden vaker waargenomen na het vernatten van gedegradeerd veen (Zak et al., 2010) en zijn vaak een teken dat veenafbraak, ook onder zuurstofarme omstandigheden, toch nog doorgaat.

Ammoniumconcentraties in het poriewater zijn het hoogst bij volledige vernatting en tijdens de zomermaanden.

Nitraat

In de bovenste 10 cm van de bodem waren de nitraatconcentraties het hoogste in de behandeling met de laagste waterstand (60 cm beneden maaiveld) in de maanden maart, augustus en oktober. In de maanden juni en juli mist de poriewaterdata van deze behandeling omdat de bodem in de toplaag te droog was bij deze behandeling om poriewater samples te kunnen nemen. Het is daarom onbekend of NO_x waardes in die maanden ook hoger lagen dan in de andere behandelingen. Op 40 cm diepte waren de nitraatconcentraties over het algemeen ook het hoogste in de WL60 behandeling. De hogere nitraatconcentraties in de behandelingen met een lage waterstand zijn waarschijnlijk het gevolg van de afbraak van het organische materiaal en N mineralisatie (Olde Venterink et al., 2002). In tegenstelling tot zuurstofarme omstandigheden wordt nitraat onder zuurstofrijke omstandigheden nauwelijks gedenitrificeerd en daarom hoopt het dus op in het veen (Tiemeyer and Kahle, 2014).

Nitraatconcentraties zijn het hoogst bij lage waterstanden.

Fosfaat

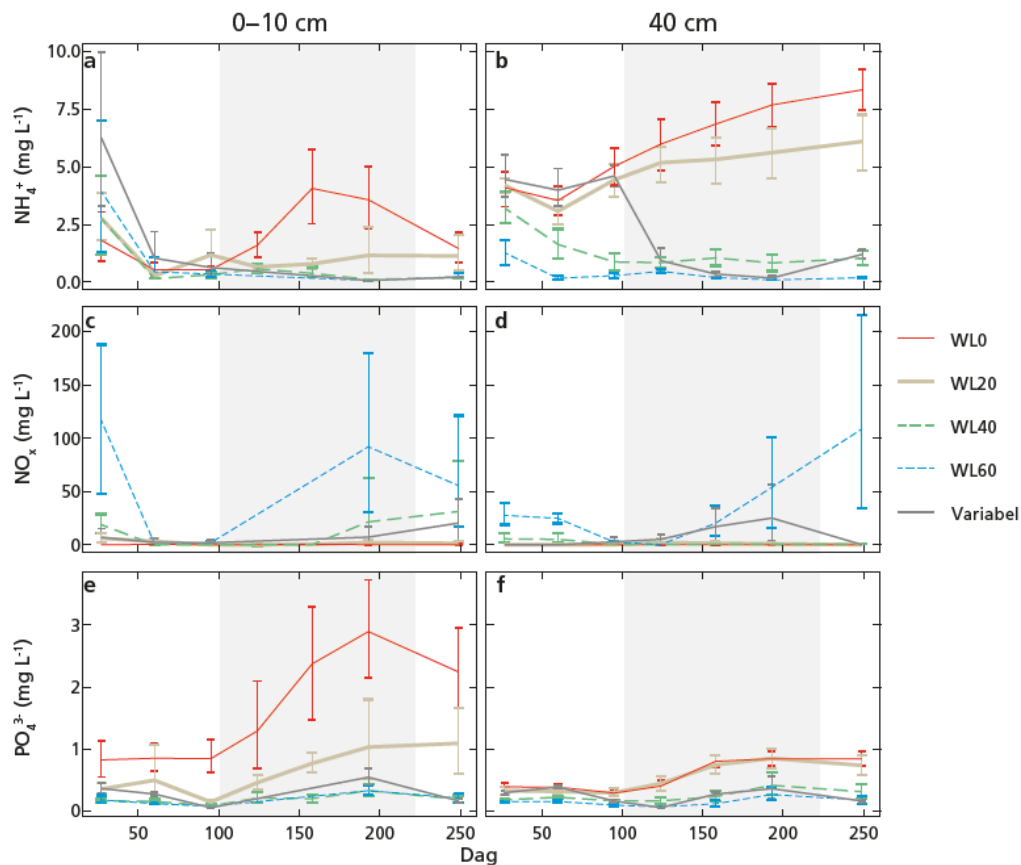
Fosfaatconcentraties namen significant toe na mei en deze toename was het duidelijkst zichtbaar in de WL0 behandeling. In deze behandeling waren de fosfaatconcentraties significant hoger dan in de veenkolommen bij alle andere waterstanden vanaf mei. Dit komt overeen met eerdere studies rondom fosfaatomobilisatie na vernatten (van Dijk et al., 2004; Zak et al., 2010; Zak and Gelbrecht, 2007). Bij deels vernatten (WL20) waren de fosfaatconcentraties significant lager in de toplaag dan bij de volledig vernatte veenkernen.

Op 40 cm diepte bleven de fosfaatconcentraties relatief laag vergeleken met de toplaag van de bodem. Toch namen ook hier de fosfaatconcentraties vanaf juni toe en waren ze hoger in WL0 en WL20 dan bij de andere waterstanden.

Fosfaatconcentraties zijn bij volledige vernatting aanzienlijk hoger dan bij gedeeltelijke vernatting (20 cm beneden maaiveld).

Fosfaat mobilisatie

Fosfor zit vaak gebonden aan ijzerfracties (Bridgham et al., 2001; Richardson, 1985) in de bodem en deze kunnen bij vernatting d.m.v. redoxreacties weer opsplitsen in ijzer en fosfaat (Caraco et al., 1989). De ijzerconcentraties in het poriewater van de veenkolommen volgden een vergelijkbaar patroon als de fosfaatconcentraties in het poriewater, met name in de natste behandelingen. Sulfaatconcentraties daarentegen waren juist het hoogst in de behandelingen met een grondwaterstand van 40 en 60 cm beneden maaiveld. Sulfaat kan ook tot fosformobilisatie leiden omdat het gereduceerd kan worden tot sulfide en dit laatste bindt beter aan ijzer dan fosfaat (Smolders et al., 2010). Het feit dat de sulfaatgehalten hoger lagen in de behandelingen met een lagere waterstand laat zien dat sulfaatreductie mogelijk inderdaad plaats heeft gevonden in de nattere behandelingen. Daarnaast vonden we hogere pH waarden in het poriewater van de veenkolommen die volledig vernat waren vergeleken met de andere veenkolommen (ongeveer 6.2 in WL0 t.o.v. een pH van ongeveer 5.3 in WL60). Een hogere pH kan leiden tot ijzer en sulfaat reductie en daarmee fosfaatmobilisatie (van Dijk et al., 2004). Bij deels vernatte veenkolommen (WL20) zagen we dit effect niet, waarschijnlijk omdat de toplaag van de bodem nog steeds ruim voldoende zuurstof bevat en de fosfor dus niet gemobiliseerd wordt (Emsens et al., 2015; Heuts et al., 2024).



Figuur 4. Ammonium-, nitraat- en fosfaatconcentraties in de veenkernen door de tijd. Dag 1 markeert de start van het experiment (11 februari 2022), de meetreeks loopt tot 30 oktober 2022. Links: de concentraties in de bovenste 10 cm van de bodem, rechts: op 40 cm diepte. Omdat er geen significante verschillen zijn gevonden tussen de behandelingen met grondwater en slootwater en hoge en lage bemesting zijn deze behandeling hier allemaal gepoold weergegeven. Het grijze vlak laat zien welke periode de variabele waterstand op 60 cm beneden maaiveld stond (grijze achtergrond) of op 20 cm beneden maaiveld stond (witte achtergrond).

3.2.1.2. De rol van het type water waarmee vernat wordt

In de veenkolommenproef hebben we vernat met twee soorten water: slootwater en grondwater. Slootwater heeft een andere chemische samenstelling dan grondwater. Eén van de zorgen rondom WIS is dat bij het gebruik van slootwater voor vernatten de bodemchemie dusdanig verandert dat juist meer nutriënten uit de bodem vrij komen en mogelijk wegspoelen naar het oppervlakte water (Lamers et al., 1998; Smolders et al., 2006). Daarnaast kunnen de hogere sulfaat- en nitraatgehaltes in slootwater leiden tot snellere veenverbranding (Smolders et al., 2010) omdat stikstofmineralisatie door kan gaan, zelfs onder zuurstofarme situaties. In ons experiment vonden we echter geen verschillen tussen o.a. de ammonium- en nitraatgehaltes in het poriewater van kernen die vernat werden met slootwater vs. grondwater. Dit terwijl de waterkwaliteit van deze twee watersoorten wel degelijk van elkaar verschilde. Zo was zowel het sulfaat als het nitraat gehalte in het slootwater ongeveer 10 keer hoger dan in het grondwater. Waarschijnlijk komt dit doordat de veenkernen al erg hoge hoeveelheden zwavel en sulfaat bevatten. Hierdoor was de bijdrage van het sulfaat uit het slootwater nagenoeg verwaarloosbaar. Het is daarom te verwachten

dat in bodems met een hoge zwavelvoorraad, net zoals onze veenkernen, het gebruik van WIS met slootwater waarschijnlijk niet tot meer ammonium- en fosfaatmobilisatie en uitlekken zullen leiden omdat de bodem zelf al de grootste bron van sulfaat is (Vermaat et al., 2016).

Vernatten met slootwater resulteerde niet in het vrijkomen van meer nutriënten vergeleken met vernatten met grondwater, waarschijnlijk vanwege de hoge sulfaatgehalten die al in het veen aanwezig waren

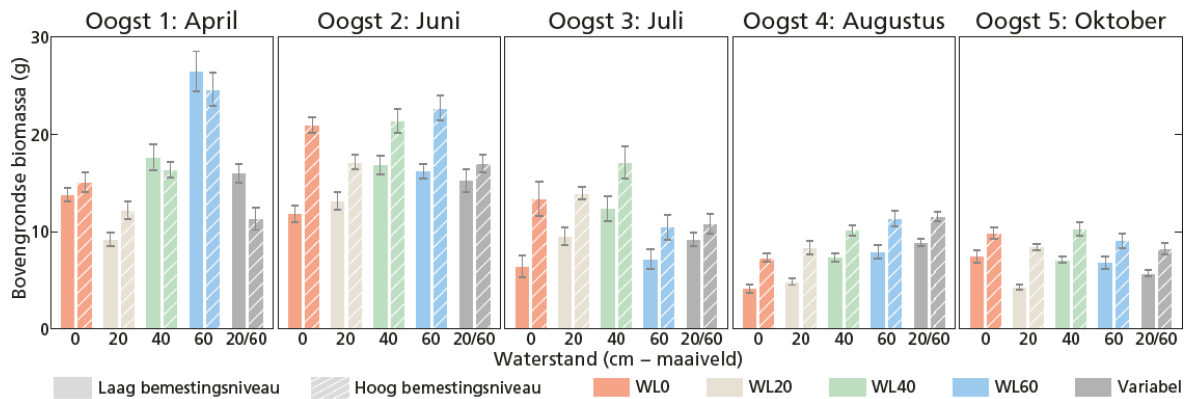
3.2.1.3. De rol van het bemestingsniveau

Ook het bemestingsniveau had vrijwel geen effect op de nutriënten in het poriewater. Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat de toegevoegde nutriënten vrij snel uitlekten naar het water rondom de kernen en/of snel werden opgenomen door de vegetatie (zie sectie 3.2.2.).

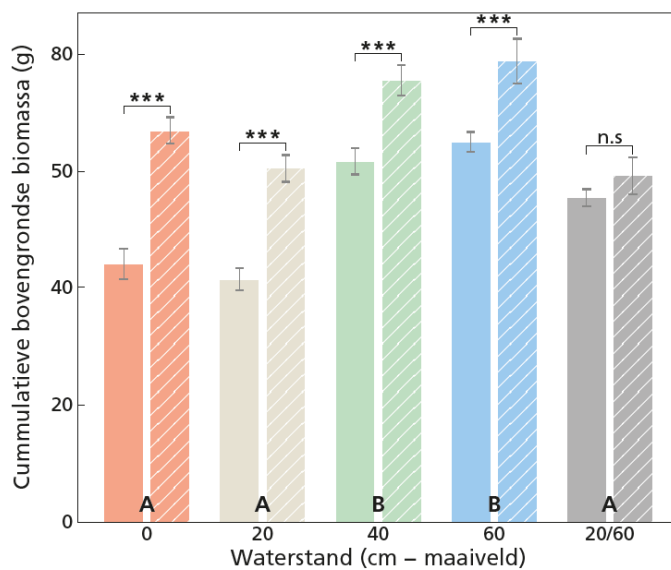
3.2.2. Grasopbrengst

De vegetatie in de veenkernen is 5x geoogst tijdens het groeiseizoen. De gemiddelde biomassa per kern is per experimentele behandeling en oogst weergegeven in figuur 5. Na oogst 1 zien we duidelijk dat de geoogste biomassa hoger is in de kernen die een hoog bemestingsniveau hebben gehad (figuur 5). Dat dit bij oogst 1 nog niet het geval was komt omdat de eerste ronde bemesting pas enkele dagen voor die oogst is toegediend, het gras had toen dus al het grootste gedeelte van de groei doorgeemaakt.

Er is niet alleen een duidelijke invloed van bemestingsniveau op de biomassa maar ook van waterstand. De totale biomassa opbrengst was lager in de veenkolommen met de hogere waterstanden (figuur 6). Dit betekent dat wanneer er deels vernat wordt maar het landgebruik verder hetzelfde blijft de biomassa-opbrengst een stuk lager zal zijn. Als er tot 20 cm beneden maaiveld vernat wordt levert dit 23% minder biomassa op dan bij een grondwaterstand van 60 cm beneden maaiveld. Als daarnaast ook het bemestingsniveau omlaag gaat wordt dit verschil (tussen WL60-hoge bemesting en WL20 met lage bemesting) 47%. Bij een hoge grondwaterstand met een hoog bemestingsniveau is wel de kans op het weglekken van nutriënten naar het oppervlaktewater groot. Dit oppervlaktewater staat vaak in verbinding met andere gebieden, waaronder ook natuurgebieden, die heel gevoelig zijn voor die extra nutriënten. De hierboven genoemde verschillen in gewasopbrengst zijn grotendeels veroorzaakt door oogst 1, waar de biomassa verreweg het hoogste was in WL60 (figuur 5). Echter, in het veld is tijdens de maanden dat dit gras heeft gegroeid (februari-april) de waterstand nog niet zo ver uitgezakt en in een veldsituatie zal dit verschil in gewasopbrengst dus waarschijnlijk minder groot zijn.



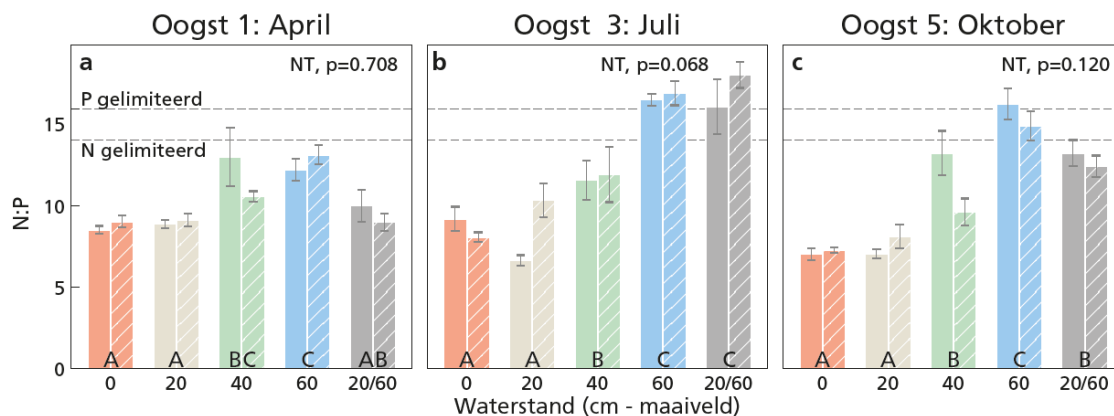
Figuur 5. De biomassa in alle oogsten voor de verschillende experimentele behandelingen. De kleuren geven de verschillende waterstanden weer, terwijl het bemestingsniveau wordt aangeduid met schuine strepen (hoog bemestingsniveau) of geen strepen (laag bemestingsniveau). Er zijn geen verschillen waargenomen tussen de veenkolommen met slootwater en grondwater; deze behandelingen zijn daarom samengenomen (gepooled).



Figuur 6. Totale grasopbrengst gedurende het groeiseizoen, berekend als de som van de vijf oogsten. Gevulde balken vertegenwoordigen de lage bemestingsniveaus, terwijl gestreepte balken de hoge bemestingsniveaus aangeven. Er zijn geen verschillen waargenomen tussen de veenkolommen met slootwater en grondwater; deze behandelingen zijn daarom samengenomen (gepooled). De letters (A en B) duiden op significante verschillen tussen behandelingen; waterstanden met dezelfde letter vertonen geen significant verschil in biomassa-opbrengst. De *** geven aan waar de biomassa-opbrengst significant verschilt tussen de hoge en lage bemestingsniveaus binnen eenzelfde waterstand ($P < 0.001$).

Naast de lagere grasopbrengst was de vegetatie in de veenkolommen met een hoge grondwaterstand sterker stikstof gelimiteerd, hetgeen blijkt uit een lager stikstofgehalte in de vegetatie. Dit resulteert ook in een lagere N:P ratio in de vegetatie, die daarmee duidelijker laat zien dat de vegetatie in de nattere kernen stikstof gelimiteerd is (figuur 7). Een reden voor

deze sterkere stikstoflimitatie in de natte kolommen zou de mogelijk hogere denitrificatie kunnen zijn, waardoor er dus minder stikstof achterblijft in het systeem. De sterkere stikstoflimitatie verklaart ook de relatief grotere respons op een hoog bemestingsniveau in de behandelingen met een hogere grondwaterstand: als stikstof eerst limiterend is en er vervolgens stikstof wordt toegediend via bemesting zal de vegetatie daar sterker op reageren dan wanneer één van de toegevoegde nutriënten niet de limiterende factor was voor plantgroei. Een lager stikstofgehalte in het gras is gelinkt aan een lager eiwitgehalte van het gewas en dus een lagere melkproductie (Valk et al., 2000). In combinatie met de lagere grasopbrengst betekent dit minder opbrengsten voor de melkveehouder en dus betekent dit ook dat er gezocht zal moeten worden naar andere verdienmodellen, bijvoorbeeld door het betalen voor de ecosystemediensten die de melkveehouder levert.



Figuur 7. De N:P ratio in de vegetatie in de veenkernen. Alles onder de onderste stippellijn is N gelimiteerd en alles boven de bovenste stippellijn is P gelimiteerd. Gevulde bars = lage bemesting, gestreepte bars = hoge bemesting. De letters laten zien wanneer iets significant van elkaar verschilt. Waterstanden met dezelfde letter verschillen niet significant van elkaar terwijl waterstanden met verschillende letters wel significant van elkaar verschillen.

Bij aanvang van het experiment bestonden alle veenkolommen voornamelijk uit grassen (voornamelijk Engels raaigras, ruw beemdgras en soms gestreepte witbol) en hier en daar wat kruiden. Bij de eindoogst is in de veenkolommen met een waterstand van 0 en 20 cm onder maaiveld ook *Juncus* gevonden (zowel pitrus als biezeknoppen), in de andere kolommen was dit niet het geval. Bij een vernatting naar een constant waterniveau van 0-20 cm onder maaiveld kan de vegetatiesamenstelling dus al op vrij korte termijn veranderen.

Zowel de grasopbrengst als de stikstofgehaltes in het gras nemen af bij hoge grondwaterstanden (< 20 cm benden maaiveld).

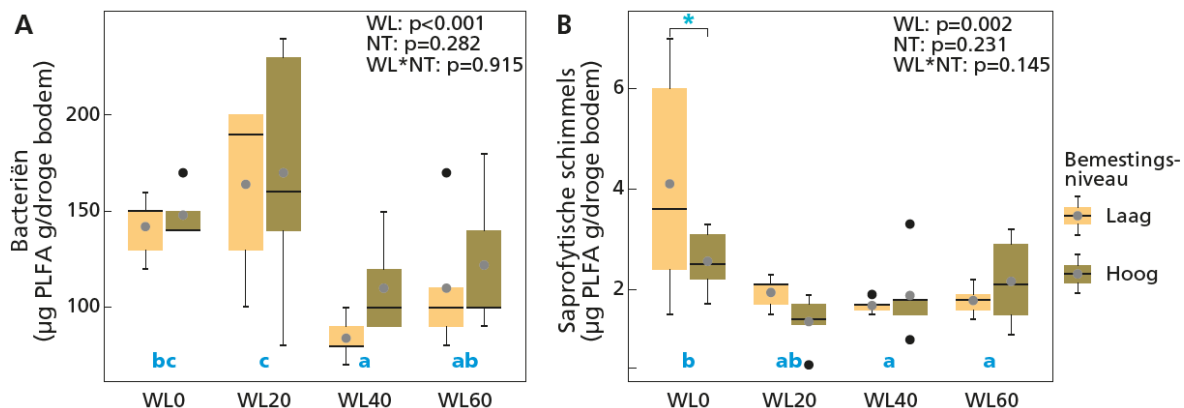
3.2.3. Bodemleven

Aan het einde van de veenkolommenproef is er gekeken naar het bodemleven in een beperkt aantal veenkolommen (40 van de 100). Het gaat hier om de veenkolommen in de grondwater behandelingen met een constante waterstand van 0, 20, 40 en 60 cm onder maaiveld. Zowel de hoge als de lage bemestingsniveaus zijn meegenomen. De resultaten laten zien dat regenwormen en nematoden in lagere aantallen aanwezig waren in de nattere veenkolommen t.o.v. de drogere veenkolommen, terwijl het microbiële deel van het voedselweb juist toenam in de nattere veenkolommen. Hieronder gaan we kort op iedere groep in.

Bacteriën, schimmels en protozoa

De microbiële gemeenschap bestond voor het grootste deel uit bacteriën. Dit is meestal het geval in veenbodems (Deru et al., 2018; van Dijk et al., 2009). We vonden meer bacterie fosfolipide vetzuren onder nattere omstandigheden dan in droge omstandigheden (figuur 8). Eerdere studies laten ook een (relatieve) toename van bacteriën zien na vernatten (Mentzer et al., 2006; van Dijk et al., 2009; Xu et al., 2023). Dit wordt vaak toegeschreven aan de hogere pH en de hogere nutriëntengehaltes na het vernatten van bodems die lange tijd in agrarisch gebruik zijn geweest. Het is waarschijnlijk dat de microbiële gemeenschap in de nattere behandelingen anders is dan in de drogere behandelingen, met meer soorten die het goed doen onder zuurstofarme omstandigheden in de nattere milieus (Edwards et al., 2023; Kitson and Bell, 2020).

Geen van de gemeten microbiële groepen liet een duidelijke response op bemesting zien (figuur 8), al is ook hier niet duidelijk of de soortensamenstelling binnen groepen verschilt tussen de twee bemestingsniveaus. Eerder onderzoek laat wel een effect van bemesting zien op de microbiële gemeenschap en activiteit (Carey et al., 2016; Lori et al., 2023). Vaak profiteren bacteriën meer van bemesting dan schimmels (de Vries et al., 2006). In onze studie waren bacterie fosfolipide vetzuren positief gecorreleerd met plant-beschikbare $\text{NH}_4\text{-N}$ in de bodem. Verder hebben we geen duidelijke response gezien van bacteriën op bemestingsniveau en dit komt mogelijk doordat er nog veel afbreekbaar materiaal beschikbaar is in de kernen (Bardgett and McAlister, 1999). Extra bemesting heeft in dit geval daarom mogelijk niet tot extra bacteriële groei geleid.



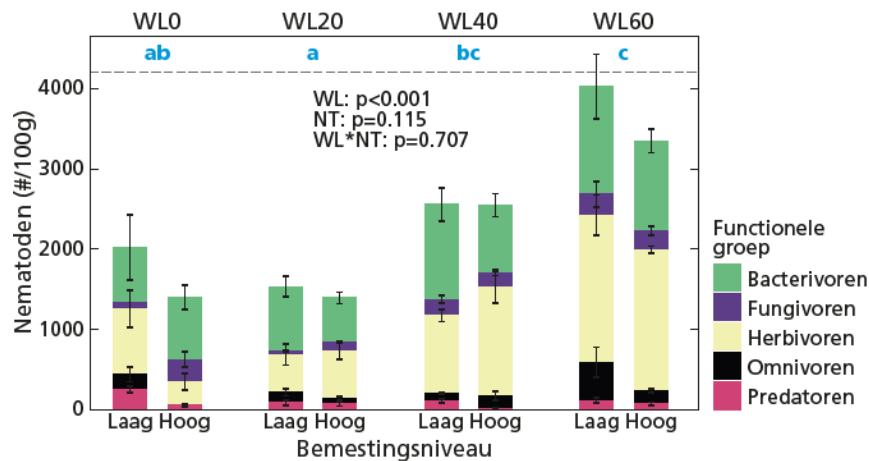
Figuur 8. De bacteriën (A) en saprophytische schimmels (B) in de verschillende experimentele behandelingen. Waterstanden met dezelfde letter verschillen niet significant van elkaar terwijl waterstanden met verschillende letters wel significant van elkaar verschillen.

Bacteriën komen meer voor dan schimmels in veel veenbodems en bacterie PLFA was hoger onder nattere omstandigheden.

Nematoden

Nematoden, ook wel rondwormen genoemd, zijn een diverse groep kleine wormen van kleiner dan een millimeter tot enkele millimeters lang. Er zijn 5 verschillende functionele groepen nematoden: bacterivoren, fungivoren, herbivoren, omnivoren en predatoren. Dit betekent dat ze een brede rol in het bodem voedselweb en functioneren spelen (Du Preez et al., 2022). In de veenkolommenproef zijn er significant meer nematoden gevonden in de behandeling met een waterstand van 60 cm onder maaiveld vergeleken met de behandelingen met een waterstand van 20 en 0 cm onder maaiveld (figuur 9). De hoeveelheid nematoden in de WL60 behandeling met een laag bemestingsniveau komt het meest overeen met de hoeveelheid nematoden die zijn gemeten tijdens de nulmeting (figuur 9). Met name de herbivoren namen af bij (deels) vernatten (figuur 9), dit is ook in andere studies gevonden (Bobuľská et al., 2020; Cesarz et al., 2017; Wasilewska, 2006; Wei et al., 2018). Dit heeft waarschijnlijk te maken met de lagere beschikbaarheid van plantenwortels onder nattere omstandigheden. De hoeveelheid soorten nematoden was het laagste in de WLO behandeling met een hoog bemestingsniveau. In deze behandelingen kwamen 24 soorten nematoden voor terwijl in de andere behandelingen gemiddeld 30-34 soorten nematoden voorkwamen. Ook verschilde de samenstelling van de functionele groepen nematoden het meest in deze behandeling vergeleken met de andere behandelingen met minder herbivoren en relatief meer bacterivoren en fungivoren in de WLO – hoge bemesting behandeling. Deze andere samenstelling zorgt ervoor dat verschillende zogenaamde nematoden indexen ook heel anders zijn in deze behandeling dan in de andere behandelingen. Deze indexen geven samen een inzicht in de stabiliteit van het voedselweb (Du Preez et al., 2022; Ferris et al., 2001). De indexen laten vrijwel allemaal zien dat het bodem voedselweb in de WLO – hoge bemesting

behandeling minder stabiel is dan in de ander behandelingen. Volledig vernatten met daarnaast een hoge bemesting is dus ongunstig voor de stabiliteit van het bodem voedselweb.



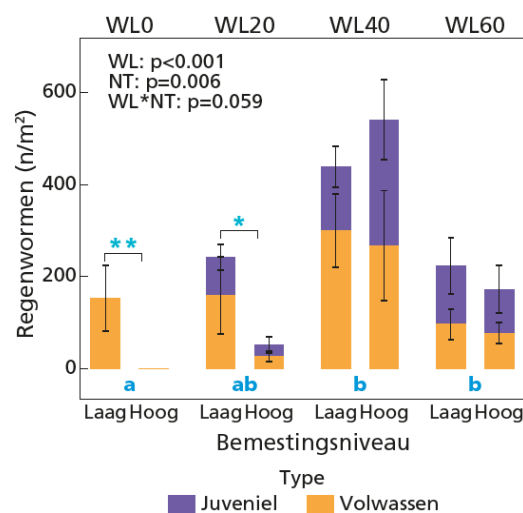
Figuur 9. Hoeveelheid nematoden gevonden in de verschillende experimentele behandelingen. De verschillende kleuren geven de verschillende functionele groepen (en dus de samenstelling) weer. De stippellijn geeft weer hoeveel nematoden er in het veld gemeten zijn tijdens de nulmeting (4198 nematoden per 100g bodem). Waterstanden met dezelfde letter verschillen niet significant van elkaar terwijl waterstanden met verschillende letters wel significant van elkaar verschillen.

De hoeveelheid nematoden neemt af bij vernatten, met name vanwege een afname in herbivore nematoden. Vernatten in combinatie met een hoog bemestingsniveau resulteert in een onstabiel bodem voedselweb.

Regenwormen

In de veenkolommen met een hoge waterstand zijn minder regenwormen gevonden dan in de veenkolommen met een lage waterstand (figuur 10) en binnen deze hoge waterstanden was er een sterk bemestingseffect zichtbaar: bij een hoog bemestingsniveau waren er aanzienlijk minder regenwormen dan bij een laag bemestingsniveau in de W0 en W20 behandeling. In de W0 behandeling zijn zelfs helemaal geen regenwormen gevonden bij een hoog bemestingsniveau. Bij een laag bemestingsniveau zijn in de W0 behandeling wel regenwormen gevonden maar alleen volwassen regenwormen. Het gebrek aan juveniele regenwormen laat zien dat het onwaarschijnlijk is dat de populatie zich daar kan herstellen. In dit experiment zijn de veenkolommen bemest met kunstmest. Kunstmest heeft over het algemeen een minder positief (of zelfs een negatief) effect op regenwormen dan andere vormen van bemesting (Deru et al., 2023; Postma-Blaauw et al., 2010; van Eekeren et al., 2009; Whalen et al., 1998). Dit komt doordat kunstmest minder organisch materiaal bevat en dus een lagere voedingswaarde heeft voor regenwormen vergeleken met bijvoorbeeld ruige mest

(Deru et al., 2023; Whalen et al., 1998). Ondanks dat regenwormen meerdere maanden natte omstandigheden kunnen verdragen (Ausden et al., 2001; Zorn et al., 2005), is een bodemvochtgehalte boven de 65% schadelijk voor de overleving (Zorn et al., 2008). Binnen dit veenkolommen experiment hebben waarschijnlijk de lage zuurstofgehalten (Wu et al., 2017; Zorn et al., 2005) in de volledig vernatte kernen in combinatie met de koude winter temperaturen waaraan de regenwormen niet konden ontsnappen (omdat ze niet dieper in de veenkolommen konden gaan zitten) (Timmerman et al., 2006), een groot negatief effect gehad op de regenwormen overleving.



Figuur 10. De hoeveelheid regenwormen (volwassen en juveniel) in de verschillende experimentele behandelingen. Waterstanden met dezelfde letter verschillen niet significant van elkaar terwijl waterstanden met verschillende letters wel significant van elkaar verschillen. Sterretjes geven significante verschillen tussen een hoog en laag bemestingsniveau binnen een waterstand aan: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

*Hoge grondwaterstanden (< 20 cm) hebben een negatief effect op regenwormen.
Dit negatieve effect wordt versterkt door een hoog bemestingsniveau.*

Discussie en conclusies bodemleven veenkolommenproef

Uit de resultaten blijkt dat nematoden en regenwormen gevoelig zijn voor veranderingen in hun leefomgeving. Dit is in lijn met eerdere onderzoeken (Cesarz et al., 2017; Postma-Blaauw et al., 2010; Voigt et al., 2007). Het microbiële deel van het bodemleven nam juist toe bij vernatten. Een eerdere studie heeft laten zien dat de microbiële gemeenschap bij vernatten kan herstellen richting een natuurlijk veensysteem, mits de organische stofgehalte boven de 70% is (Emsens et al., 2020). Het veen in ons onderzoek, net als veel ander veen in het veenweidegebied, is echter gedegradeerd door jarenlange blootstelling aan zuurstof. Hierdoor is het organisch materiaalgehalte gedaald naar 40-50%. Dit lagere gehalte organisch materiaal betekent dat het veen zijn oorspronkelijke structuur en eigenschappen grotendeels heeft

verloren. Een belangrijk gevolg hiervan is dat de microbiële gemeenschap niet eenvoudig kan terugkeren naar een samenstelling die vergelijkbaar is met die in een natuurlijk veensysteem, zelfs niet bij volledige vernatting. Daarnaast speelt de historie van landbouwgebruik een cruciale rol. Door jarenlange bemesting heeft het veen hoge concentraties van nutriënten, met name fosfor, opgebouwd. Deze nutriënten blijven vaak langdurig in het veen aanwezig en vormen een voedingsbodem voor met name bacteriën. De combinatie van gedegradeerd veen en verhoogde nutriëntengehaltes zorgt ervoor dat zelfs bij volledige vernatting de processen van veenafbraak kunnen blijven doorgaan. Dit verschilt fundamenteel van een natuurlijk veensysteem, waarin de anaerobe omstandigheden en het hoge organische stofgehalte de afbraakprocessen beperken. Daarom moet er rekening mee worden gehouden dat op voormalige landbouwgronden, waar het veen sterk is aangetast, veenafbraak ondanks vernatting niet altijd volledig gestopt kan worden (Emsens et al., 2020; Laiho, 2006; van Dijk et al., 2009).

3.2.4. Limitaties veenkolommenproef

Experimenten zoals deze veenkolommenproef verschaffen veel inzicht in het functioneren van een systeem vanwege de gecontroleerde omstandigheden waarin het experiment plaatsvindt. Echter betekenen die gecontroleerde omstandigheden ook dat de vertaalslag naar het veld niet één op één gemaakt kan worden omdat daar de omstandigheden vaak niet precies hetzelfde zijn. Daarnaast zijn er in het veld vaak ook grote verschillen tussen locaties (poldereffect). Het is daarom belangrijk om de uitkomsten van dit soort experimenten ook te vergelijken met wat er in de praktijk wordt gemeten. Ook is de looptijd van een experiment altijd beperkt terwijl maatregelen in de praktijk voor langere tijd gemonitord kunnen worden.

4. Omschrijving veldstudie

In dit hoofdstuk wordt de opzet van de veldstudie omschreven. Eerst wordt een overzicht gegeven van de maatregelen die onderzocht zijn (4.1). Daarna volgt een korte omschrijving en overzicht van de polders die onderdeel zijn van deze studie (4.2). Naast de studie op de percelen verspreid over 5 poldergebieden is de biodiversiteit ook op 15 percelen van de hoogwaterboerderij in polder Zegveld gemonitord. Dit staat omschreven in sectie 4.3. Als laatste volgen overzichtstabellen van de gebruikte meetmethoden voor zowel de abiotiek als de biotiek (4.4).

4.1. Percelen veldstudie

De percelen die onderdeel zijn van deze studie zijn onder te verdelen in de volgende categorieën: referentiepercelen, percelen met een waterinfiltratiesysteem en agrarische natuurpercelen (figuur 11). Deze klimaatmaatregelen staan ook kort uitgelegd in hoofdstuk 2. Omdat er veel verschil zit tussen de oudere en nieuwere WIS maken we hier ook onderscheid tussen in de resultaten sectie (hoofdstuk 5).

- **Referentiepercelen:** dit zijn gangbare percelen die conventioneel beheerd worden zoals de meeste percelen in het veenweidegebied. De grondwaterstand is hoog in de winter (± 20 cm onder maaiveld) en zakt in de zomer uit tot 60-80 cm onder maaiveld, op sommige plekken tot onder 1 meter. De percelen ontvangen meerdere keren per jaar een mestgift in de vorm van kunstmest en drijfmest tussen half februari en oktober. Het gras wordt 1-5 keer per seizoen gemaaid, afhankelijk van het aantal weidedagen. De meeste percelen binnen deze studie worden 6-10 dagen per jaar intensief beweid en 2-3 keer gemaaid.
- **WIS percelen:** dit zijn gangbare percelen met hetzelfde landgebruik en beheer als de referentiepercelen maar dan met een water infiltratie systeem (WIS). Hiermee wordt voorkomen dat de grondwaterstand in de warme zomermaanden uitzakken tot ver onder het maaiveld (zie hoofdstuk 2 voor een uitleg rondom WIS). Ook hebben deze percelen in de winter een minder hoge waterstand vergeleken met referentiepercelen. Vaak wordt de grondwaterstand met WIS passief of actief gestuurd op ongeveer 40-50 cm onder maaiveld. Op enkele percelen wordt op een hogere grondwaterstand gestuurd met AWIS. Binnen WIS percelen maken we onderscheid tussen percelen met een oud en een nieuw WIS.
 - **WIS-oud percelen:** dit zijn percelen met een wat ouder WIS waarbij de drainagebuizen direct in verbinding staan met de sloot (figuur 2, midden-boven). Deze systemen zijn veelal voor 2019 aangelegd. Omdat de buizen vaak kapot en/of verstopt raken is er op veel plekken waar WIS na 2019 is aangelegd overgegaan op een nieuwer WIS.
 - **WIS-nieuw percelen:** buizen in percelen met een nieuwer WIS komen eerst samen in een verzamelput (figuur 2, rechts). Deze verzamelput staat in verbinding met de sloot.

- **Agrarische natuurpercelen:** deze percelen zijn vaak onderdeel van een weidevogelkerngebied, worden verpacht door Staatsbosbeheer of zijn particuliere natuurpercelen van de melkveehouder zelf. Op deze percelen wordt geen drijfmest en kunstmest uitgereden. Wel wordt op de meeste percelen 1 à 2 keer per jaar ruige mest uitgereden. Op enkele percelen wordt helemaal geen mest uitgereden. De meeste percelen worden na 15 juni extensief beweid door jongvee. Ook de eerste maaisnede wordt meestal na 15 juni gedaan, soms na 1 juni als er geen weidevogels meer zitten. Over het algemeen worden er 1-2 snedes per jaar van het land gehaald. De grondwaterstand wordt in de winter vaak omhoog gezet door het slootwaterpeil te verhogen. Ook in de zomermaanden staat de waterstand in de meeste van deze sloten hoger dan in de rest van de polder, al is dit niet overal haalbaar. Toch zakt ook hier de grondwaterstand behoorlijk uit in de zomermaanden, met name op de productievare percelen met een hogere grasgroei.

Referentie	WIS-oud	WIS-nieuw	Agrarische natuur
<ul style="list-style-type: none"> • 7 percelen • Conventioneel beheer • Grondwaterstand laag in de zomer en hoog in de winter 	<ul style="list-style-type: none"> • 7 percelen • Conventioneel beheer • Grondwaterstand wat stabiel door het jaar 	<ul style="list-style-type: none"> • 9 percelen • Conventioneel beheer • Grondwaterstand redelijk stabiel door het jaar 	<ul style="list-style-type: none"> • 9 percelen • Extensief beheer • Grondwaterstand hoog in de winter en vaak laag in de zomer
			

Figuur 11. Overzicht van de verschillende 'typen' systemen die zijn meegenomen in dit onderzoek.

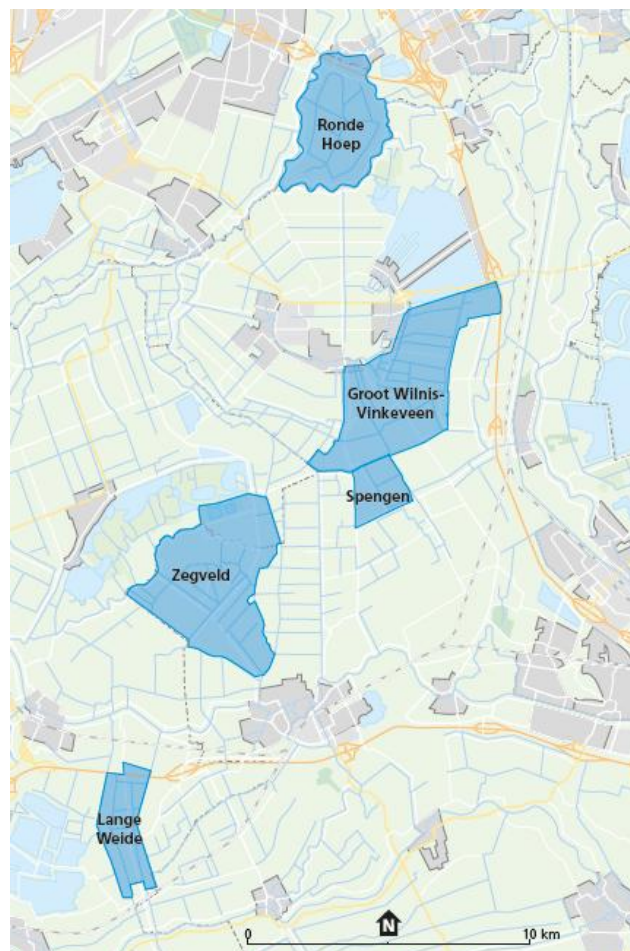
4.2. Gebiedsomschrijving

In totaal zijn er 32 percelen gemonitord verspreid over 5 poldergebieden, Polder Ronde Hoep, Polder Groot-Wilnis Vinkeveen, Polder Spengen, Polder Zegveld en Polder Lange Weide (figuur 12).

- **Polder Ronde Hoep:** het midden van deze polder is een weidevogelkerngebied en dat betekent dat alle percelen in het midden van de polder extensief beheert worden. Verder is er veel variatie in de grondwaterstand in deze polder met aan de oostkant een hogere grondwaterstand dan aan de noordkant. We monitoren hier bij twee bedrijven, één aan de noordkant en één aan de oostkant van de polder. De percelen die in deze polder gemonitord worden zijn 3 referentiepercelen, 4 percelen met WIS-oud en 2 agrarische natuurpercelen.
- **Polder Groot-Wilnis Vinkeveen:** in deze polder monitoren we bij twee bedrijven die allebei naast WIS-percelen ook agrarische natuurpercelen hebben. In totaal monitoren we hier 1 referentieperceel, 3 WIS-oud percelen, 1 WIS-nieuw perceel, 5 agrarische

natuurpercelen waarvan 1 agrarisch natuurperceel bij Demmerik welke in beheer van Staatsbosbeheer is en heel nat wordt gehouden.

- **Polder Spengen:** In deze polder monitoren we 3 percelen bij één melkveehouder. Het gaat hier om twee percelen met AWIS (WIS-nieuw) waarbij de grondwaterstand (mits dit bedrijfskundig kan) wordt gestuurd op een wat hogere grondwaterstand dan 40 cm onder maaiveld. Daarnaast monitoren we hier 1 referentieperceel. Deze percelen zijn ook onderdeel geweest van een uitgebreide monitoringsstudie van HDSR naar de effecten van AWIS op de grondwaterstand en bodemdaling.
- **Polder Zegveld:** In deze polder ligt de proefboerderij KTC Zegveld. We monitoren hier op de hoogwaterboerderij (zie sectie 2.3.) maar ook monitoren we op de proefboerderij een perceel met PWIS, een perceel met AWIS en een referentieperceel.
- **Polder Lange Weide:** in deze polder is PWIS polderbreed (310 ha) uitgerold (2018/2019) In tegenstelling tot de andere polders die meegenomen zijn in dit onderzoek is de bodem in polder Lange Weide wat kleiiger. We monitoren hier bij twee bedrijven die allebei in een ander deel van de polder liggen. In totaal monitoren we hier 1 referentieperceel en 4 percelen met PWIS. Daarnaast monitoren we twee agrarische natuurpercelen vlakbij polder Lange Weide (één in Ruige Weide en één in Hekendorp).



Figuur 12. De ligging van de polders in het Groene Hart die onderdeel zijn van dit onderzoek.

4.3. Hoogwaterboerderij

Sinds 2020 wordt op de hoogwaterboerderij op KTC Zegveld onderzocht wat de mogelijkheden zijn voor de melkveehouderij wanneer er met AWIS gestuurd wordt op een grondwaterstand van 20 cm onder maaiveld. Dit wordt gedaan binnen het onderzoeksprogramma 'Boeren op Hoog Water' binnen het 'Veenweiden Innovatiecentrum (VIC). In samenwerking met het Louis Bolk Instituut is hier in 2021 en 2022 op 15 percelen de biodiversiteit gemonitord (figuur 13) op dezelfde manier als in de brede veldstudie. De gemonitorde percelen zijn onder te verdelen in 5 verschillende behandelingen. Twee daarvan dienen als referentiepercelen (veld-laag en HF-L). Hier ligt geen WIS en er wordt dus niet gestuurd op een bepaalde grondwaterstand. De gemiddelde grondwaterstand op deze percelen ligt rond de 50 cm onder maaiveld met grote verschillen tussen de winter en zomermaanden. Veld-laag wordt niet beweid, ontvangt daarom alleen kunstmest en drijfmest en wordt 5 keer per jaar gemaaid. HF-L wordt wel beweid, en wordt daarnaast 2 keer per jaar gemaaid (tabel 2). De andere behandelingen (J-H, HF-H en Veld-Hoog) hebben allemaal AWIS waarbij gestuurd wordt op een grondwaterstand van 20 cm onder maaiveld. De percelen verschillen van elkaar door het koeienras waarmee beweid wordt (J=Jersey, HF= Holstein Friesian) en of ze al dan niet beweid worden (Veld-Hoog wordt niet beweid). Zo kan het effect van AWIS dus zowel op beweidde als onbeweidde percelen onderzocht worden. Onderzoek aan de biodiversiteit op de hoogwaterboerderij is in 2024 voortgezet door het Louis Bolk Instituut binnen het project Boeren op Hoog Water. De resultaten van 2022 worden in dit rapport slechts summier behandeld omdat veel resultaten nog in meer detail bekeken zullen worden en samen met de resultaten van 2024 gepubliceerd zullen worden. Gedetailleerdere rapportages (zowel vakblad als wetenschappelijke artikelen) over de resultaten op de hoogwaterboerderij zullen daarom nog volgen.

Tabel 2. De vijf verschillende experimentele behandelingen op de hoogwaterboerderij die mee zijn genomen in dit onderzoek. De codes verwijzen naar de behandelingen JH= jersey koeien, hoge grondwaterstand, HF-H= Holstein Friesian koeien, hoge waterstand. Etc. Deze verwijzingen gebruiken we ook in de resultaten sectie (hoofdstuk 4) wanneer we resultaten rond de hoogwaterboerderij bespreken.

	J-H	HF-H	HF-L	Veld-hoog	Veld-laag
Perceelnummers op kaart (Fig. #)	JH4,9,11	HFH 4,7,11	HFL 3,6,8	HFA, HFB, JC	BW4
Grondwaterstand	Hoog	Hoog	Laag	Hoog	Laag
Beweiden	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
Maaien	2x per jaar	2x per jaar	2x per jaar	5x per jaar	5x per jaar
Soort ras	Jersey	Holstein Friesian	Holstein Friesian	x	X



Figuur 13. De behandeling op de verschillende percelen zoals omschreven in tabel 2. De zwarte stippen geven de percelen en peilbuizen aan rondom waar alle (a)biotiek gemeten is.

4.4. Methode veldstudie

De methodes van de veldstudie zijn samengevat in onderstaande twee tabellen. Tabel 3 geeft een overzicht van alle gemeten abiotiek en tabel 4 van alle gemeten biotiek.

Tabel 3. Overzicht van alles wat gemeten is op de bodemmonsters en watermonsters en de daarbij gebruikte methodiek.

Parameter	Hoe vaak gemeten	Methode
<i>Bodem parameters</i>		
Organisch materiaal	Juni 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Bodemmonsters zijn 4u lang verhit bij 550 °C (TGA701 Thermogravimetrie Analyzer), de afname in gewicht is het organisch materiaal gehalte.
Bodemvochtgehalte	Juni 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Bodemmonsters gewogen voor en na vriesdrogen. Vervolgens vochtpercentage berekend.
pH	Mei 2022, aug 2022	Gemeten in KCl extract van de bodem

C en N percentages	Mei 2022, aug 2022	Bodemmonsters zijn gedroogd en verpulverd (Herzog HP-Ma automatic pulverizer) en vervolgens gemeten op een CN-analyser (NA1500, Fisons Instruments)
NH ₄ -N	Juni 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Eerst is er een KCl extract van alle bodemmonsters gemaakt. Daarna is er op een subsample van dit extract NH ₄ gemeten met de indofenol-blauw methode (Koreleff, 1976).
NO _x -N	Juni 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Eerst is er een KCl extract van alle bodemmonsters gemaakt. Daarna is er op een subsample van dit extract NO _x gemeten met de vanadium chloride (TON-V) methode op een discreet analyzer (Gallery Thermo Fisher Scientific).
PO ₄ -P	Juni 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Plant beschikbaar fosfaat was geëxtraheerd met de Olsen methode (Olsen et al., 1954) en vervolgens colorimetrisch gemeten met de fosfomolybdeen-blauw methode (Murphy en Riley, 1962).
Totale nutriënten gehalten (Al, Ca, Fe, Mg, S)	Mei 2022, aug 2022	Er is een aqua regia destructie op alle monsters gedaan. Daarna zijn de kationen gemeten op de ICP-OES (Avio 500, Perkin-Elmer).
<i>Sloot- en grondwater parameters</i>		
Grondwaterstand	Ongeveer om de week tussen juni 2021 en oktober 2022	Op ieder perceel is een (zwevende) peilbuis geplaatst tot 1.70m diepte waarbij de onderste meter een filter is. Hierin is de grondwaterstand gemeten met een plopper (waterspiegelmeter) t.o.v. maaiveld.
pH en EGV	Juni 2021, aug 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	pH en EGV zijn gemeten met veldmeters op gefilterde watermonsters binnen 8u na samplen.
Alkaliniteit	Juni 2021, aug 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Alkaliniteit (HCO ₃) is gemeten met een hach veldtest (Hach, model AL-AP) op een gefilterd watermonster binnen 8u na samplen.
NH ₄ ⁺	Juni 2021, aug 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Gemeten op gefilterde watermonsters binnen 70 uur na bemonstering en vervolgens gemeten met de indofenol-blauw methode (Koreleff, 1976).
NO _x	Juni 2021, aug 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Gefilterde subsamples van alle watermonsters zijn bewaard in de vriezer totdat ze gemeten konden worden op de discreet analyzer (Gallery Thermo Fisher Scientific) volgens de vanadium chloride (TON-V) methode.
PO ₄ ³⁻	Juni 2021, aug 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Gemeten op aangezuurde (1% HNO ₃) en gefilterde subsamples met de fosfomolybdeen-blauw methode (Murphy en Riley, 1962).
SO ₄ ²⁻ en Cl ⁻	Juni 2021, aug 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Sulfaat en chloride concentraties zijn gemeten op een gefilterd subsample met behulp van Ion Chromatography (930 Compact IC Flex, Metrohm)

Al, Ca, Fe, Mg, S	Juni 2021, aug 2021, feb 2022, mei 2022, aug 2022	Watermonsters zijn aangezuurd (met HNO ₃) en verdund en vervolgens gemeten op een ICP-OES (Avio 500, Perkin-Elmer).
-------------------	---	---

Tabel 4. Beknopt overzicht van de gebruikte meetmethode voor alle gemeten biotiek.

Groep	Perceel/ Oever	Hoe vaak gemeten	Methode veld
Regenwormen	Perceel	1x: April 2022	Op ieder perceel zijn 2 plaggen van 20x 20x 20 cm gestoken. Hier zijn alle regenwormen uitgehaald en gewogen. Vervolgens zijn ze op alcohol bewaard tot verdere determinatie (op soortniveau)
Vegetatie	Perceel en oever	2x: juni 2021 en juni 2022	Zowel op het perceel als langs de oever is een transect van 50 meter gelopen waarbij alle soorten in het transect gedetermineerd zijn en op abundantie ingedeeld zijn volgens de Tansley schaal, zie ook tabel 8 voor de categorieën in de Tansley schaal. Ook is voor ieder perceel en iedere oever de Shannon-index berekend. Dit is een maat voor de biodiversiteit binnen een locatie/systeem en neemt zowel het aantal soorten mee als de relatieve abundantie (verdeling van de individuen over de soorten). Om de Shannon-index (H) te berekenen is de volgende formule gebruikt: $H = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i)$ <p>Hierbij is S de totale hoeveelheid soorten op een perceel/oever, p_i de relatieve abundantie van een soort en ln de natuurlijke logaritme.</p>
Vliegende insecten	Perceel en oever	Juni 2022, HWB juni en juli 2022	Op deze meetmomenten zijn er 5 plakvallen op het perceel geplaatst, 10 meter uit elkaar. Op de oever zijn parallel aan de plakvallen op het perceel ook steeds 5 plakvallen geplaatst. Na 48u in het veld zijn de plakvallen opgehaald en bewaard in plastic hoesjes in de vriezer. Later zijn ze gescand. De scans zijn vervolgens naar het van Hall Larenstein in Leeuwarden gestuurd en zij hebben de plakvallen geanalyseerd met een door hen ontwikkeld programma.
Bodembewonende ongewervelden	Perceel	3x: juni 2021, mei 2022, juni	Ieder meetmoment zijn 3 potvallen per perceel geplaatst. Deze potvallen zijn 10 m uit elkaar geplaatst parallel aan de sloot. Potvallen zijn

		2022 (HWB ook juli 2022)	ongeveer 15 meter uit de slootkant geplaatst en hebben een week in het veld gestaan. De ongewervelden die zijn gevangen zijn vervolgens op alcohol bewaard tot verdere determinatie (tot orde en soms familie niveau).
Nachtvinders	Op het perceel	2-4x in juni, juli, aug	1 LED-Emmer per perceel per keer. Deze staat 1 nacht op het perceel, de lamp trekt nachtvinders aan welke in de emmer vallen en de volgende ochtend gedetermineerd kunnen worden. Daarna werden de nachtvinders weer vrij gelaten
Dagvlinders	Perceel en oever	2-4x in juni, juli, aug	Op ieder perceel 2x een 50 m transect per meetmoment
Libellen	Oever	2-4x in juni, juli, aug	Langs iedere oever 2x een 50 m transect per meetmoment



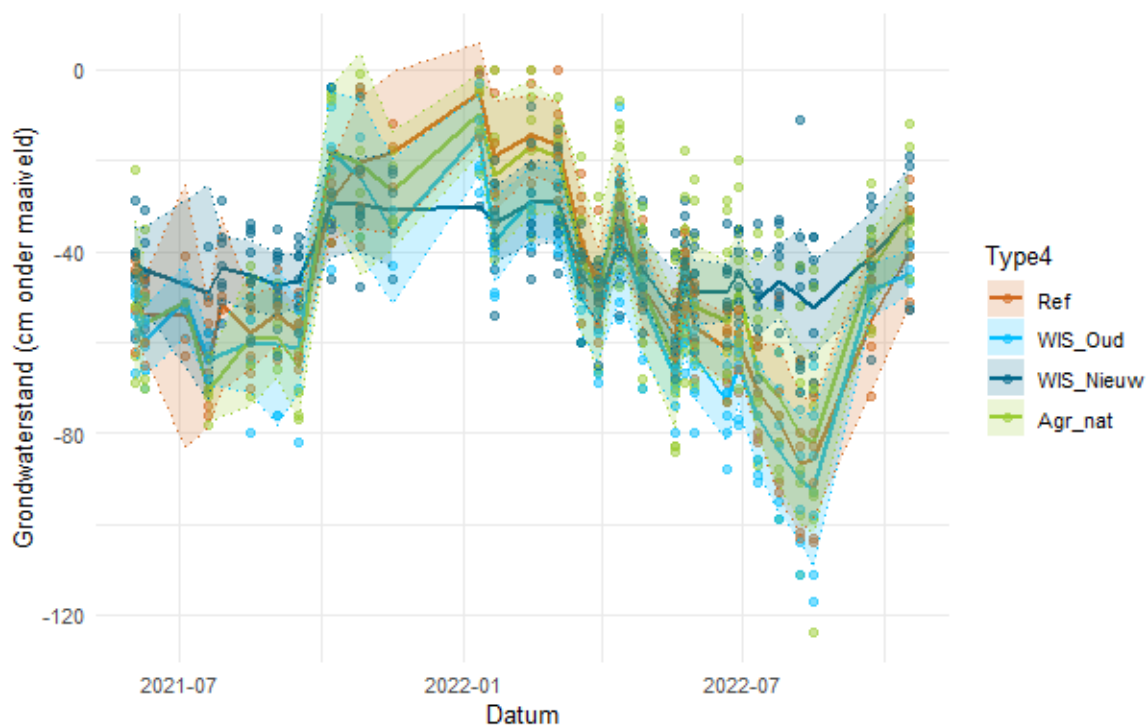
Figuur 14. Overzicht van de verschillende veldmethoden. Linksboven: regenwormen plaggen steken, rechtsboven: een LED-emmer om nachtvinders mee te vangen, Linksonder: een potval met dakje tegen de regen, middenonder: een zojuist geplaatste plakval in het veld. Rechtsonder: een ingescande plakval.

5. Resultaten Veldstudie

5.1. Resultaten abiotiek

5.1.1. Grondwaterstanden

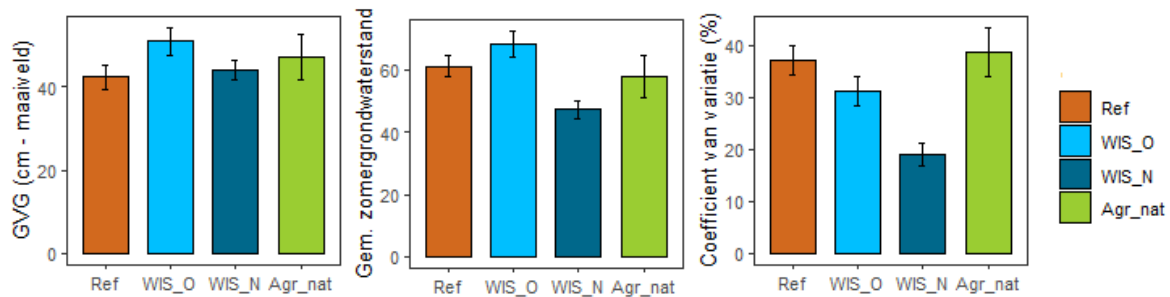
Figuur 15 laat de grondwaterstanden door de tijd zien. Te zien is dat de grondwaterstanden op de meeste percelen ongeveer eenzelfde patroon volgen met relatief hoge grondwaterstanden in de winter en lagere grondwaterstanden in de zomer. De percelen met een nieuw WIS hebben duidelijk een stabielere grondwaterstand door het jaar heen. Dat is het gevolg van zowel een lagere grondwaterstand in de winter als een hogere grondwaterstand in de zomer vergeleken met de andere type percelen. Ook wordt uit figuur 15 duidelijk dat de percelen met een oud WIS nauwelijks effect lijken te hebben op de grondwaterstand. Figuur 15 laat verder zien dat er voor zowel referentie, WIS als agrarische natuurpercelen veel variatie tussen de percelen binnen deze typen zat.



Figuur 15. De grondwaterstand op de referentie (oranje), WIS-Oud (lichtblauw), WIS-Nieuw (donkerblauw) en agrarische natuurpercelen (groen) tijdens het onderzoek. De losse punten zijn de individuele percelen en het transparante gedeelte rondom de lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer.

De gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) is voor alle typen percelen berekend als het gemiddelde van de maanden maart, april en mei 2022. Er zijn geen duidelijke verschillen tussen de 4 typen percelen (figuur 16, links). De gemiddelde zomergrondwaterstand, welke het gemiddelde is van de grondwaterstanden in de periode april-aug 2022, is wel duidelijk hoger in de WIS-nieuw percelen dan in de andere percelen (figuur 16, midden). Naast de GVG en gemiddelde zomergrondwaterstand is ook de coëfficiënt van variatie berekend op basis

van de grondwaterstanden gedurende maart-aug (relevante maanden voor veel soortgroepen). De coëfficiënt van variatie geeft aan hoe groot de spreiding (variabiliteit) is in verhouding tot het gemiddelde (standaardvariatie gedeeld door gemiddelde). Een lage coëfficiënt van variatie betekent dat veel waarden dicht bij het gemiddelde liggen. De coëfficiënt van variatie was gemiddeld ook een stuk lager op de WIS-nieuw percelen dan op de andere percelen (figuur 16, rechts) wat op een stabielere grondwaterstand duidt.

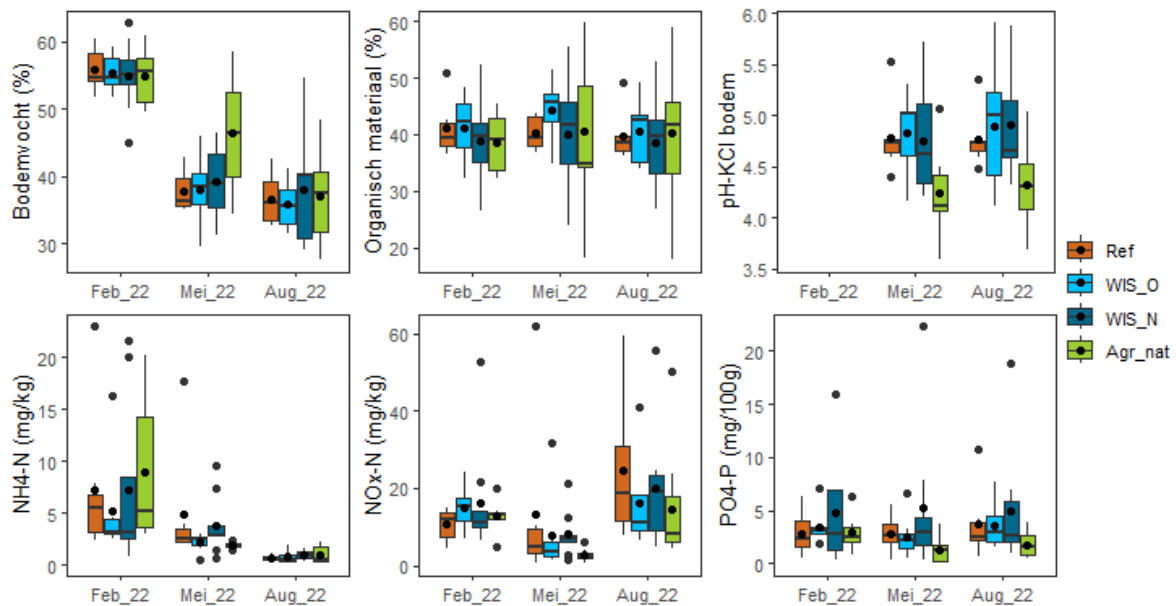


Figuur 16. De gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand in cm onder maaiveld (links), de gemiddelde zomer grondwaterstand in cm onder maaiveld (midden), en de coëfficiënt van variatie over de grondwaterstand door het groeiseizoen (rechts). De foutbalken geven de standaardfout (SE) aan.

Oudere WIS werken niet overal goed. De nieuwere WIS waarbij de buizen in een verzamelput uitkomen hebben wel een duidelijke effect op de grondwaterstand.

5.1.2. Bodemeigenschappen

Er zijn diverse metingen gedaan aan bodemparameters waarvan een deel in figuur 17 is weergegeven voor de meetmomenten februari, mei en augustus 2022. In het voorjaar (mei) was het gemiddelde bodemvochtgehalte significant hoger op de agrarische natuurpercelen (47%) dan op de referentie (38%) en beide typen WIS (39-40%) percelen terwijl er in de maanden februari en augustus geen significante verschillen waren tussen de verschillende systemen. De pH in de bodem van de agrarische natuurpercelen was juist gemiddeld significant wat lager dan op de referentie en WIS-percelen. Plant beschikbaar P (PO₄-P) lijkt wat lager te zijn in de bodem van de agrarische natuurpercelen dan op de andere percelen in de maanden mei en augustus al was dit verschil alleen in augustus significant. Verder komen er geen heel duidelijke verschillen in de bodemparameters voor in de verschillende type percelen. Wel valt op dat, net zoals bij de grondwaterstanden, is dat de variatie binnen de verschillende systemen groot is. Ook zijn er veel uitschieters (de zwarte puntjes), vooral bij de nutriëntengehaltes.

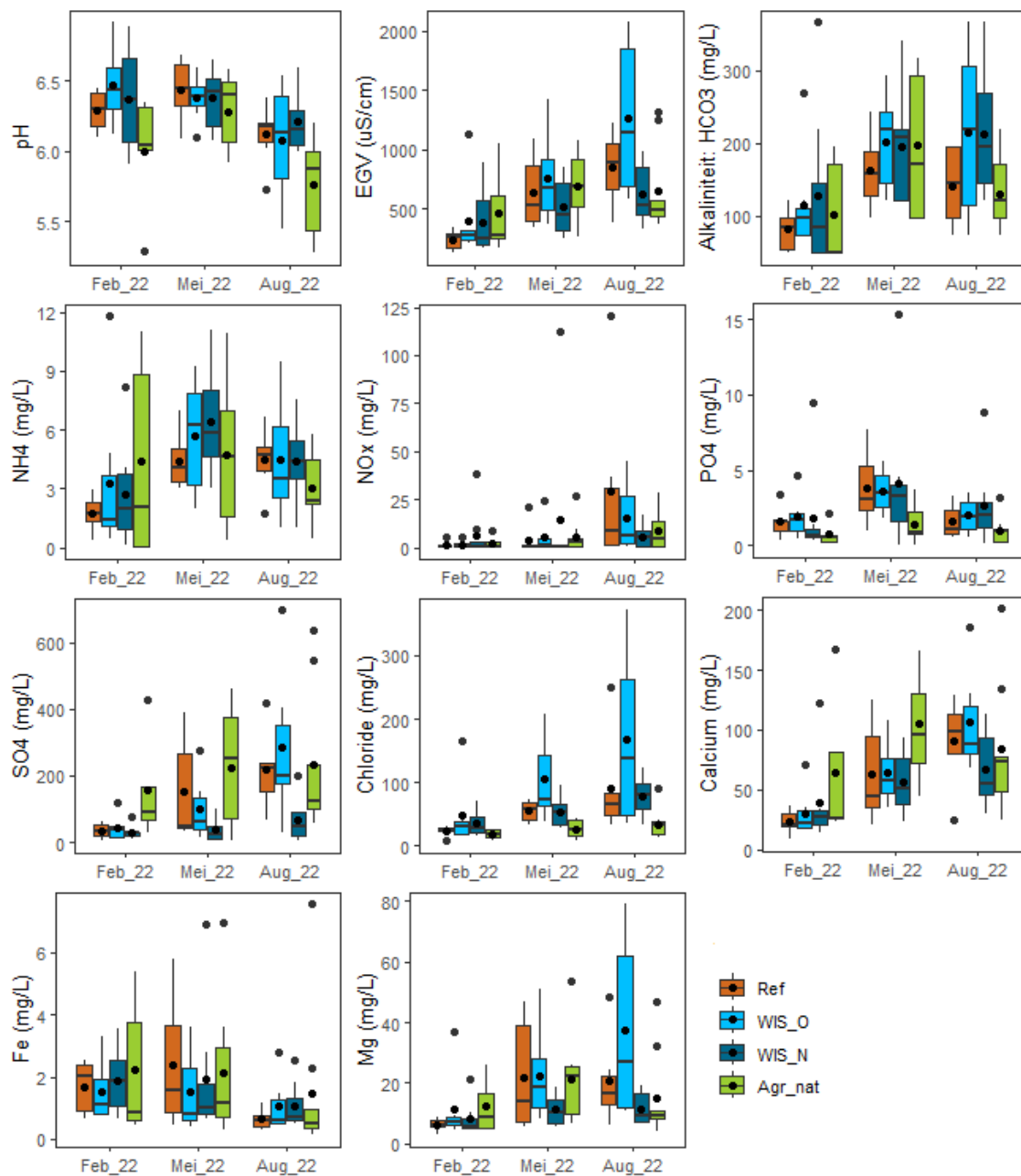


Figuur 17. Bodemparameters door het seizoen 2022. De boxjes geven de middelste 50% van de data weer. De streep in de boxplot is de mediaan en de stip in de boxplot het gemiddelde. De stipjes buiten de boxplot zijn de zogenaamde 'outliers', dit zijn datapunten (percelen) die dusdanig afwijken van de andere datapunten dat ze als een uitschieter worden gezien.

Er is veel variatie in bodemparameters binnen alle verschillende systemen. De pH is gemiddeld wat lager op agrarische natuurpercelen.

5.1.3. Grondwaterkwaliteit

In figuur 18 staan een deel van de gemeten grondwaterparameters. Bij veel parameters lijkt er door de oogst heen seizoensdynamiek te zijn. Een aantal parameters lijken te duiden op toenemende grondwaterinvloed in het voorjaar: hogere alkaliniteit (HCO_3), calcium, EGv. Mogelijk is er in de winter nog veel invloed van neerslag op de percelen welke in de loop van het voorjaar verdwijnt. Dit is zichtbaar in alle typen percelen, WIS lijkt hier dus geen invloed op te hebben. Verder lijken de fosfaat (PO_4) concentraties gemiddeld wat lager te zijn op de agrarische natuurpercelen dan op de referentie en WIS-percelen, alhoewel dit niet significant is. De chloridegehalten liggen wel wat lager in het grondwater van de agrarische natuurpercelen. Mogelijk duidt dit op wat schoner grondwater, al zijn hier moeilijk conclusies over te trekken vanwege de enorme variatie in ammoniumconcentraties in het grondwater.

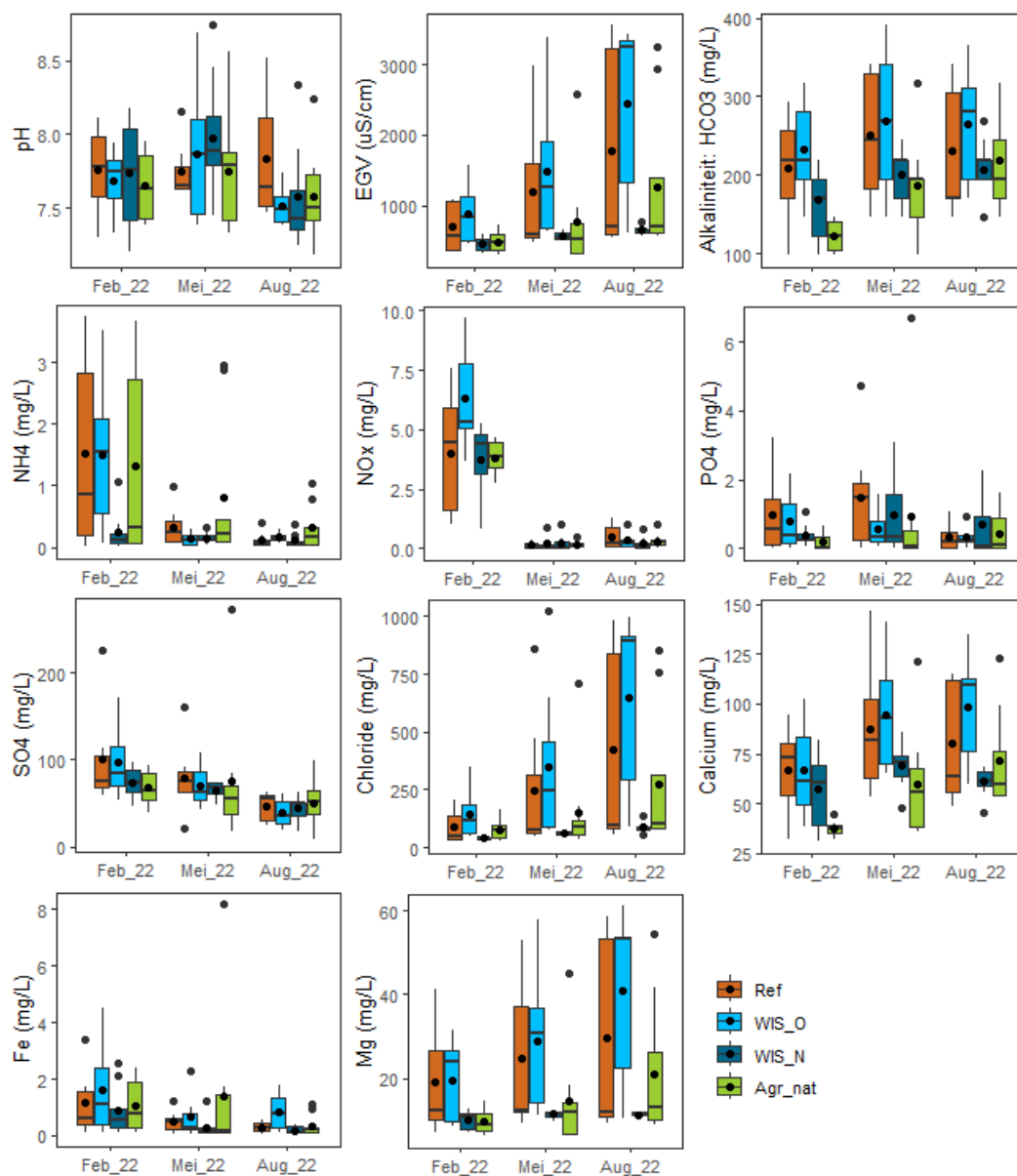


Figuur 18. Grondwaterparameters in de maanden februari, mei en augustus van het jaar 2022 voor de drie type percelen. De boxjes geven de middelste 50% van de data weer. De streep in de boxplot is de mediaan en de stip in de boxplot het gemiddelde. De stipjes buiten de boxplot zijn de zogenaamde 'outliers', dit zijn datapunten (percelen) die dusdanig afwijken van de andere datapunten dat ze als een uitschieter worden gezien.

5.1.4. Slootwaterkwaliteit

Bij de meeste slootwaterparameters is er een minder duidelijk seizoeneffect (figuur 19). Opvallend zijn de hoge NO_x concentraties in februari in het slootwater langs alle type percelen. NO_x staat voor de gezamenlijke hoeveelheid nitriet en nitraat en bestaat in de praktijk vrijwel volledig uit nitraat. We hebben geen duidelijke verklaring voor de hoge concentraties in februari. Mogelijk komt dit doordat het nitraat wat zich in de zomer gevormd

en opgehoopt heeft in de percelen in de winter door de hogere waterstanden wordt uitgespoeld en doordat in de winter denitrificatie processen lager liggen vanwege de lagere temperaturen. Het slootwater bij de agrarische natuurpercelen en de WIS-nieuw percelen lijkt minder beïnvloed door grondwater gezien de lagere EGV, alkaliniteit (HCO_3), calcium en magnesium (Mg) gehalten. Mogelijk komt dit doordat bij een deel van die sloten de hogere waterstand gerealiseerd wordt met het afdammen van de sloten. Daarmee kan het uittreden van kwel worden verminderd.

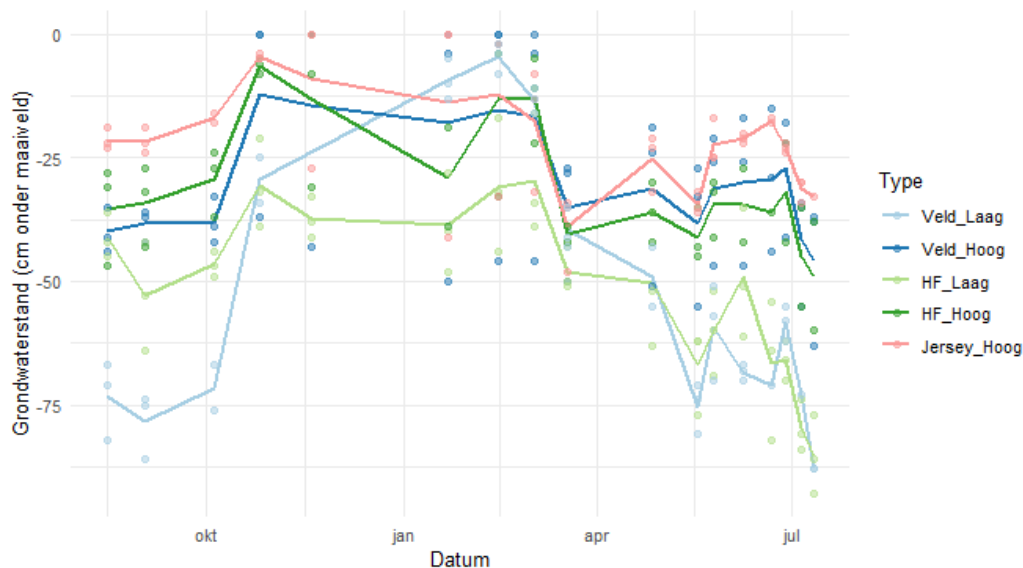


Figuur 19. Slootwaterparameters door het seizoen heen in het jaar 2022. De boxjes geven de middelste 50% van de data weer. De streep in de boxplot is de mediaan en de stip in de boxplot het gemiddelde. De stipjes buiten de boxplot zijn de zogenaamde 'outliers', dit zijn datapunten (percelen) die dusdanig afwijken van de andere datapunten dat ze als een uitschieter worden gezien.

Beheermaatregelen lijken slechts een beperkte impact te hebben op de grond- en slootwaterparameters gezien de grote variatie tussen de individuele percelen. Bij veel parameters is met name de variatie tussen polders erg groot.

5.1.5. Abiotiek op de hoogwaterboerderij

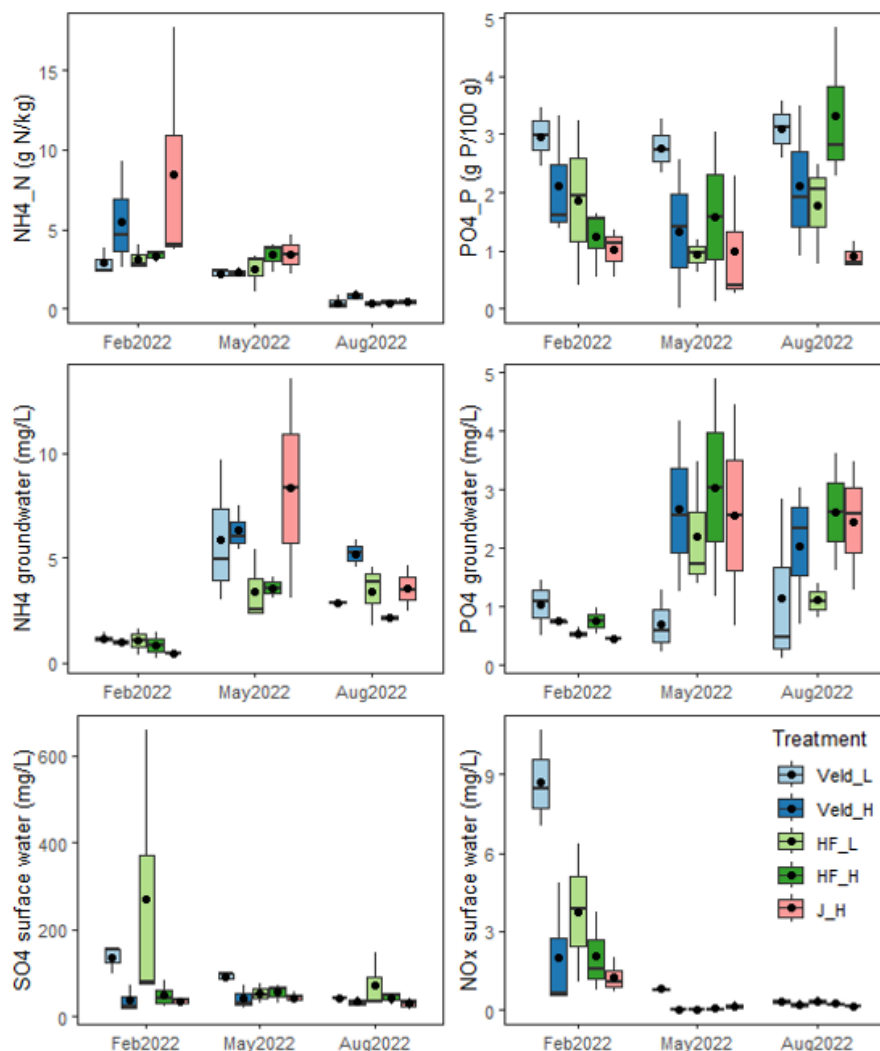
Op de hoogwaterboerderij zijn de gemeten verschillen tussen de grondwaterstanden op WIS- en referentiepercelen duidelijker (figuur 20). De grondwaterstanden op de percelen zonder WIS (licht groen en licht blauw) zijn door de tijd heen significant anders dan de percelen met WIS (roze, donkergroen en donkerblauw). In de zomers zakken de grondwaterstanden duidelijk veel verder uit op de percelen zonder WIS. Op de hoogwaterboerderij wordt gestuurd op een grondwaterstand van 20 cm onder maaiveld. Uit figuur 20 wordt duidelijk dat deze grondwaterstand op de plek op de percelen waar wij de grondwaterstand hebben gemeten (in eigen geplaatste, zwevende, peilbuizen van 1.70m diep) niet altijd overal gehaald wordt. Wel zakken hier de grondwaterstanden in de zomer minder ver uit dan in de WIS-percelen in de andere veldstudie (figuur 15, blauwe lijn) en is in de praktijk gebleken dat de grondwaterstand op andere delen van de percelen vaak hoger lag. Sinds 2023 is het sturen op 20 cm onder maaiveld succesvoller op de hoogwaterboerderij.



Figuur 20. De grondwaterstanden op de hoogwaterboerderij. De grafiek loopt van juli 2021 tot augustus 2022. Voor de leesbaarheid van de grafiek is er geen betrouwbaarheidsinterval toegevoegd. Alle stippen geven de individuele meetpunten weer, er zijn van ieder type behandeling 3 percelen gemonitord. Voor een uitleg van de verschillende percelentypen zie tabel 2.

Het voordeel aan de hoogwaterboerderij is dat alle percelen in dezelfde polder liggen en de poldereffecten voor een minder grote ruis in de data zorgen. Toch zagen we ook grote verschillen tussen de individuele percelen op de hoogwaterboerderij. In figuur 21 laten we de

parameters zien waar het duidelijkst iets gebeurt tussen de verschillende behandelingen. In de bodem lijken de ammoniumconcentraties in februari wat hoger te zijn op de nattere percelen. Fosfaatconcentraties in de bodem zijn over het algemeen hoger in veld-laag. Dit kan komen door de wat andere historie van deze percelen, namelijk niet beweiden en al veel jaren bemesting met zowel kunstmest als drijfmest. Jersey-hoog lijkt consequent de laagste fosfaatconcentraties in de bodem te hebben, mogelijk doordat Jersey-mest een andere samenstelling heeft of doordat ook deze percelen mogelijk een wat andere historie hebben. Het is ook een mogelijkheid dat hier meer fosfaat uitgespoeld is, de fosfaatwaarden in het slootwater bij de jersey-percelen (deze data is niet weergegeven in de grafiek) lag namelijk ook constant wat hoger dan bij de andere percelen. Daarnaast was de grondwaterstand op deze percelen het hoogst wat mogelijk tot meer fosfaatmobilisatie en uitspoeling heeft geleid.



Figuur 21. Abiotische parameters op de hoogwaterboerderij. De bovenste rij zijn plant beschikbare nutriënten in de bodem. De middelste rij zijn grondwaterparameters en de onderste rij slootwaterparameters. De boxjes geven de middelste 50% van de data weer. De streep in de boxplot is de mediaan en de stip in de boxplot het gemiddelde.

In het grondwater lijken de fosfaat (PO_4) concentraties gemiddeld wat hoger te liggen in de natte percelen (de donkere kleuren en roze) dan in de percelen met een lage grondwaterstand (figuur 21, midden-rechts). Dit is vooral in de zomer maanden goed zichtbaar. Zowel de sulfaat- als de nitraatconcentraties lijken (met name in de winter) hoger op de percelen zonder WIS, dus met een lagere grondwaterstand. Dit kan komen door de snellere veenafbraak op deze percelen (oxidatieprocessen) waarbij het sulfaat en nitraat uitspoelt naar het oppervlaktewater, vooral na een periode met veel regen (Smolders et al., 2013).

Het verhogen van de grondwaterstand tot 20 cm onder maaiveld resulteert in duidelijkere veranderingen in de abiotiek vergeleken met deels vernatten (40 cm) bij WIS-percelen. Dit komt overeen met de resultaten uit de veenkolommenproef.

5.2. Resultaten biotiek

5.2.1. Regenwormen

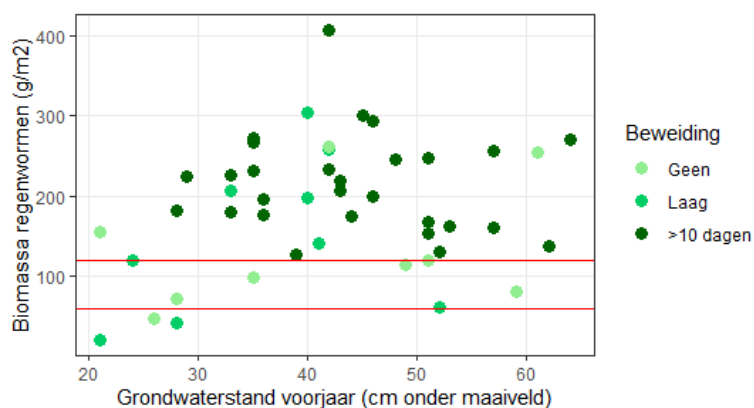
Regenwormen zijn een belangrijke voedselbron voor weidevogels. Uit de literatuur blijkt dat grutto's tussen tot wel 185 gram regenwormen per dag nodig hebben, afhankelijk van het seizoen en of ze hun dieet aan kunnen vullen met bijvoorbeeld emelten (larven van langpootmuggen). Deze laatste zijn vanaf half mei in grote aantallen beschikbaar en tot die tijd (maart en april) zijn regenwormen de belangrijkste voedselbron. Als ondergrens wordt vaak een biomassa van 60 gram regenwormen per m^2 gezien als voldoende om te voorzien in de voedselbehoefte van de grutto (van der Weijden and Guldmond, 2006). Tabel 5 laat zien dat hier in alle gemiddeld op alle typen percelen ruim aan voldaan werd. In figuur 22 is de biomassa uitgezet tegen de grondwaterstand op het moment van het steken van de regenwormenplaggen. Uit dit figuur blijkt dat op enkele percelen de benodigde biomassa van 60 gram per m^2 niet gehaald wordt. Dit zijn voornamelijk percelen met een grondwaterstand van 20-30 cm onder maaiveld. De hoogste biomassa en hoeveelheid regenwormen werd gevonden bij een grondwaterstand van ongeveer 40 cm onder maaiveld. Dit komt overeen met de resultaten uit de veenkolommenproef (zie figuur 10). Daarnaast wordt uit figuur 22 duidelijk dat beweiden een gunstig effect heeft op de hoeveelheid en biomassa van de gevonden regenwormen gezien alle donkergroene stippen (percelen die meer dan 10 dagen per jaar beweid worden of percelen die enkele dagen heel intensief beweid worden) de biomassa meer dan 115 gram per m^2 was. Koeienvlaaien zijn een voedselbron voor regenwormen en daarnaast zijn ze een goede broedplaats voor juveniele regenwormen. Ook spelen regenwormen een belangrijke rol in het afbreken van koeienvlaaien.

De regenworm als ecosysteemengineer

Regenwormen vervullen een cruciale functie in de bodem. Zo maken ze voedsel beschikbaar voor lagere trofische groepen. Ook breken ze dood materiaal af wat voorkomt dat er een laag dood plantenmateriaal op het land blijft liggen. Dit helpt bij het vrijmaken van nutriënten voor de vegetatie. Daarnaast verhogen ze de waterinfiltratiesnelheid waardoor het regenwater na een regenbui de bodem intrekt en niet op het land blijft liggen. Dit helpt ook bij het voorkomen van het uitspoelen van nutriënten naar het oppervlaktewater na regenval. Omdat regenwormen zoveel cruciale rollen vervullen in de bodem worden ze ook wel ecosysteemengineers genoemd.

Tabel 5 Regenwormen per systeem. Op alle percelen zijn 2 plaggen van 20 x 20 x 20 cm gestoken. De biomassa en hoeveelheid regenwormen in deze plaggen zijn gemiddeld en omgerekend naar m².

	Referentie	WIS-oud	WIS-nieuw	Agrarische natuur
Biomassa regenwormen (g/m ²)	168 ± 27	236 ± 27	241 ± 36	157 ± 29
Aantal soorten regenwormen	5.1 ± 0.6	5.0 ± 0.5	5.3 ± 0.3	4.4 ± 0.6
Shannon-Index regenwormen	1.16 ± 0.07	1.16 ± 0.15	1.18 ± 0.08	1.15 ± 0.14
Totaal aantal regenwormen (n/m ²)	797 ± 95	1097 ± 138	1015 ± 145	773 ± 174
Percentage strooiselbewoners (%)	29 ± 9	18 ± 2	33 ± 8	43 ± 7
Percentage bodembewoners (%)	70 ± 9	79 ± 2	67 ± 8	55 ± 6
Percentage Pendelaars (%)	1 ± 0.6	3 ± 1.6	1 ± 0.6	2 ± 2



Figuur 22. De biomassa van de regenwormen uitgezet tegen de grondwaterstand in het voorjaar (tijdens het moment van plaggen steken). De rode lijn is de minimale hoeveelheid gram regenwormen die per m² aanwezig moet zijn om voldoende voedsel voor weidevogels op te leveren. Vaak wordt 60 gram per m² aangehouden maar er zijn ook onderzoeken die stellen dat minimaal 115 g per m² gehaald moet worden. In dit figuur is de regenwormen data van de brede veldstudie en de hoogwaterboerderij samen genomen (meetjaar 2022).

Regenwormen vervullen een cruciale rol in de bodem en zijn een belangrijke voedselbron voor weidevogels. De optimale waterstand voor regenwormen ligt rond de 40 cm. Beweiden heeft een positief effect op regenwormen.

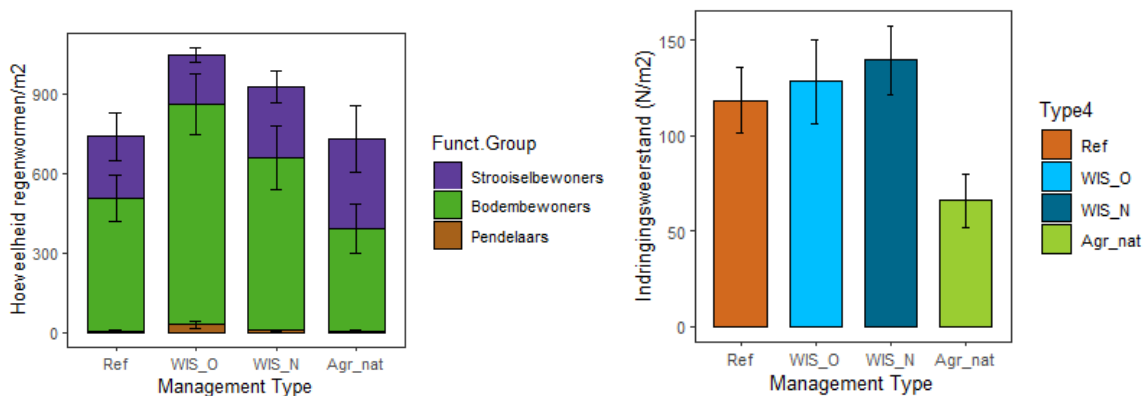
Echter is niet alleen de biomassa van de regenwormen van belang als maat voor voldoende voedselbeschikbaarheid voor weidevogels. Het doet er ook toe of regenwormen hoog genoeg in de bodem zitten en verschillende groepen weidevogels eten verschillende groepen regenwormen. Regenwormen zijn onder te verdelen in 3 ecologische groepen:

- **Strooiselbewoners** leven in de bovenste laag (0-20 cm) van de bodem. Doordat ze aan daglicht blootgesteld worden hebben ze een rode kleur en omdat ze relatief kwetsbaar zijn aan de oppervlakte zijn ze heel beweeglijk zodat ze aan hun predator kunnen ontsnappen. Ze vervullen een belangrijke rol bij de afbraak van resten planten materiaal en mest.
- **Bodembewoners** leven in de bovenste 40 cm van de bodem. Doordat ze vrijwel niet aan het oppervlakte komen hebben ze geen pigment en zijn ze grijs. Ook is deze regenworm veel trager dan de strooiselbewoners. Bodembewoners eten zich een weg door de grond en zetten hierbij iedere dag hun eigen lichaamsgewicht om. Ze hebben met name een belangrijke functie als structuurverbeteraar van de bodem.
- **Pendelaars** maken gangen tot wel 3 meter diep en zijn de grootste regenwormen in Nederland. Ze hebben een rode kop en komen alleen 's nachts aan het oppervlakte om dode plantenresten de bodem in te trekken en om te paren. Deze groep regenwormen speelt dus een grote rol bij de vertering van organisch materiaal maar door het graven van de diepere, verticale, gangen (tot wel 3 m diep in bodems met een lage grondwaterstand) spelen ze ook een belangrijke rol bij waterinfiltratie na bijvoorbeeld een regenbui.

Een deel van de weidevogels (de zogenoemde zichtjagers) eten alleen rode regenwormen, d.w.z. strooiselbewoners en pendelaars. Onder de zichtjagers vallen weidevogels met een korte snavel zoals Kieviten en goudplevieren. Deze jagen ook voornamelijk 's nachts, wanneer ook de pendelaars boven komen. Onder de tastjagers vallen weidevogels met een langere snavel zoals de grutto, tureluur en scholekster. Zij prikken hun snavel in de bodem en kunnen daarom ook bij de bodembewoners die in de bovenste ± 10 cm van de bodem zitten. Figuur 23 geeft een overzicht van hoeveel regenwormen per ecologische groep gevonden zijn in de 3 verschillende perceeltypen. Bodembewoners zijn het vaakst gevonden op alle type percelen en maken overal meer dan de helft van het totaal aandeel regenwormen uit (tabel 5). Strooiselbewoners daarentegen zijn vaker gevonden op de agrarische natuurpercelen en bevatten daar zelfs 43% van het totaal aantal regenwormen. Op de andere typen percelen was dit gemiddeld 18-33%. Omdat strooiselbewoners aan de oppervlakte zitten zijn ze gevoeliger voor verstoring zoals drijfmestinjectie en maaien. Daarnaast doen ze het beter met ruige mest dan bij drijfmest omdat ruige mest nog stro e.d. bevat. Waar strooiselbewoners

meer voorkomen op percelen waar (ook) ruige mest uitgereden wordt, maakt het type bemesting voor bodembewoners niet uit (Onrust en Piersma, 2019). Op de agrarische natuurpercelen wordt minder mest uitgereden en de mest die uitgereden wordt is of ruige mest of komt er d.m.v. extensieve beweiding. Dit werkt dus in het voordeel van de strooiselbewoners en daarmee indirect ook de zichtjagende weidevogels.

Uit figuur 23 en tabel 5 wordt ook duidelijk dat de verschillen in de hoeveelheid regenwormen die voorkomen groter is tussen de individuele agrarische natuurpercelen. Dit heeft te maken met de grote verschillen in beheer en grondwaterstanden tussen de agrarische natuurpercelen. Twee van de negen percelen hebben een erg hoge grondwaterstand en ontvangen geen tot vrijwel geen ruige mest. Hier zijn dan ook vrijwel geen regenwormen gevangen en dit haalt het gemiddelde op dit type percelen naar beneden en vergroot de standaardfout. De hoeveelheid en biomassa op agrarische natuurpercelen die extensief beweiden werden was juist weer erg hoog, met een hoog aandeel strooiselbewoners.



Figuur 23 Links: De gemiddelde hoeveelheid gevonden regenwormen per perceel voor de verschillende systemen. De verschillende kleuren geven de verschillende functionele groepen regenwormen aan. Rechts: de gemiddelde indringingsweerstand in de vier systemen. De foutbalken geven de standaardfout (SE) aan.

Weidevogels kunnen alleen bij de regenwormen in de bovenste 10 cm van de bodem. Van alle plaggen van 20x20x20 cm die wij gestoken hebben (in april 2022) zat meer dan 90% van de regenwormen in de bovenste 10 cm. Het bodemvochtgehalte speelt hier een belangrijke rol in. Het meest ideale vochtpercentage voor regenwormen is 30-35% (Onrust et al., 2019). Bij een te hoog bodemvochtpercentage kan het te zuurstofarm zijn in de bodem en de pH te ver zakken. Als de vochtpercentages te laag zijn kruipen met name de bodembewoners naar diepere lagen en zijn ze niet meer beschikbaar voor weidevogels. Op veruit de meeste percelen lag het vochtpercentage hier het hele jaar boven de 30% terwijl het wel aannemelijk is dat de regenwormen in de zomermaanden in diepere lagen zit omdat de toplaag van de bodem zichtbaar uitdroogt.

Ook de indringingsweerstand van de bodem speelt een rol. Als deze te hoog is kan een weidevogel niet met zijn snavel in de grond prikken. De grens waarbij een weidevogel nog regenwormen kan pikken is een indringingsweerstand van 125 N/cm² (Struwe-Ihul, 2005). In figuur 23 (rechts) is te zien dat daar alleen op de agrarische natuurpercelen standaard aan

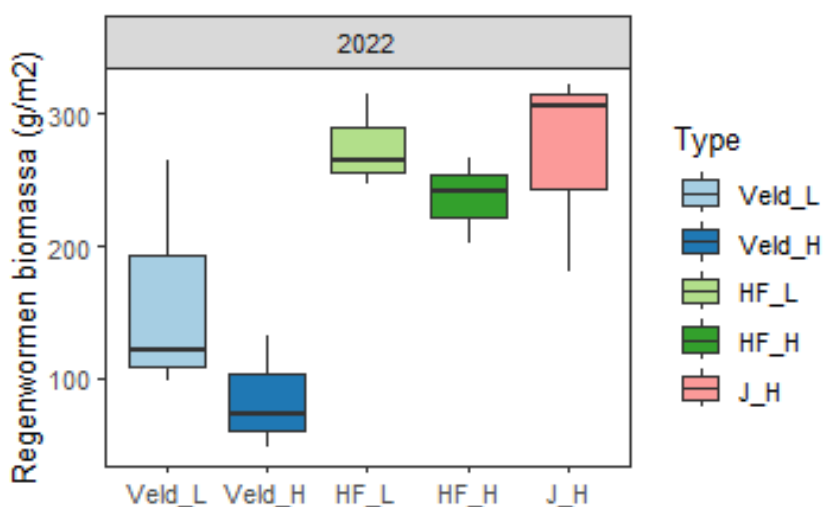
voldaan wordt. Bij de referentie en beide typen WIS-percelen liggen de waardes net boven of onder deze grens. De grondwaterstand die samenhangt met een juiste indringingsweestand ligt rond de 42-46cm onder maaiveld (Onrust et al., 2019).

Een laatste factor die een rol speelt bij regenwormen is pH. Wanneer de pH onder de 4.5 ligt neemt de hoeveelheid regenwormen flink af (Curry, 2004). Vooral op veengronden komt dit vaker voor. De pH van de bodem was op de referentie en WIS-percelen gemiddeld 4.8 en op agrarische natuurpercelen gemiddeld 4.3. Bij een pH onder de 3.5 is de kans om regenwormen tegen te komen klein. Een dusdanig lage pH is op geen enkel perceel gemeten.

Strooiselbewonders zijn belangrijk voor zichtjagers en zijn gevoelig voor verstoring. Ze doen het beter bij ruige mest dan bij andere mestsoorten en komen meer voor op agrarische natuurpercelen.

Regenwormen op de hoogwaterboerderij

Op de hoogwaterboerderij leek de grondwaterstand geen heel duidelijk effect te hebben op de hoeveelheid gevonden regenwormen. Echter, op het moment van regenwormenonderzoek werd de grondwaterstand van 20 cm onder maaiveld op vrijwel geen enkel perceel gehaald. Regenwormen konden daardoor nog gemakkelijk aan de vochtigere omstandigheden ontsnappen. Het al dan niet beweiden van de percelen lijkt een grotere rol te spelen dan de grondwaterstand. De blauwe percelen in figuur 24 zijn de percelen die niet beweid worden. Er is een groot verschil te zien tussen de beweidde (groen en roze) en de niet beweidde (blauw) percelen.



Figuur 24. Regenwormen biomassa op de verschillende percelen op de hoogwaterboerderij. De boxjes geven de middelste 50% van de data weer. De streep in de boxplot is de mediaan.

5.2.2. Bodembewonende en vliegende ongewervelden

Waar volwassen weidevogels zich voornamelijk met regenwormen voeden is dit voor weidevogelkuikens niet het geval. Bodembewonende en vliegende ongewervelden, zoals kevers, cicaden, vliegen en muggen, zijn de belangrijkste voedselbron voor weidevogelkuikens. Ze eten duizenden insecten per dag en bij voorkeur moeten deze insecten groter zijn dan 4 mm om genoeg energie op te leveren (Verhulst et al., 2008). We maken in de resultaten daarom onderscheid tussen insecten kleiner en groter dan 4 mm.

Relatie tussen insecten en plantendiversiteit

Veel insecten zijn (in)direct afhankelijk van planten. De samenstelling en het voorkomen van de verschillende soorten insecten hangt daarom ook af van de plantengemeenschap en dit is zelfs de belangrijkste factor die invloed heeft op de insecten samenstelling in een gebied (Schaffers et al., 2008). Daarnaast hebben andere studies gevonden dat een grotere diversiteit aan planten over het algemeen ook resulteert in een grotere diversiteit aan insecten (Scherber et al., 2010). Bemesting heeft indirect ook een invloed op insecten, o.a. via het effect op de plantensamenstelling. Bij een lagere bemesting neemt de diversiteit aan insecten toe, doordat er meer variatie is in de plantensamenstelling. Uit eerder onderzoek blijkt dat met name grotere insecten toe kunnen nemen bij lage bemesting en structuurrijke vegetatie (Verhulst et al., 2008).

Gruttokuikens worden niet gevoed door hun ouders en moeten daarom zelf op zoek naar voedsel. Ze eten tot wel 10.000 insecten per dag (Beintema et al. 1995) waarbij ze iedere 2-4 seconden een insect vangen. Om zoveel insecten te kunnen vangen moeten de kuikens zich goed door het gras kunnen bewegen. Een hoge doorwaadbaarheid van het gras is daarbij belangrijk. Gruttojongen geven de voorkeur aan gras met een lengte van 15-28 cm. Bij deze graslengte kunnen ze zich goed voortbewegen en zijn er vaak ook voldoende insecten beschikbaar (Van der Weijden en Guldmond, 2006).



Figuur 25. Een grutto kuiken. Foto: natuurmonumenten.nl

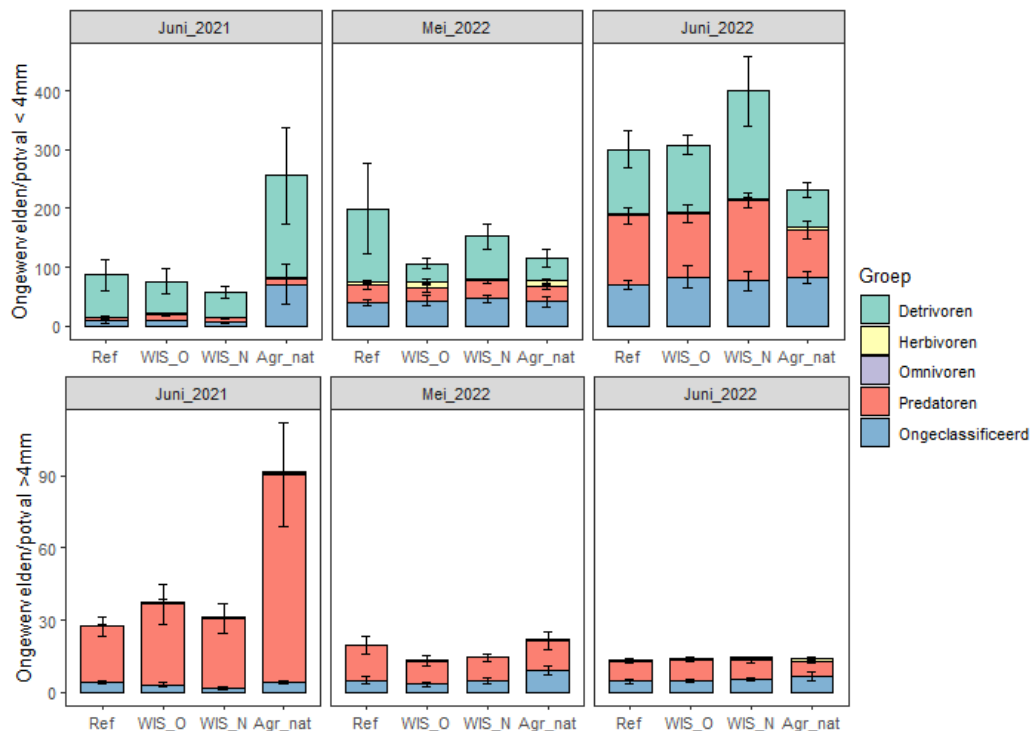
5.2.2.1. Bodembewonende ongewervelden in potvallen

Tabel 6 geeft een overzicht van alle groepen ongewervelden in de potvallen die gedetermineerd zijn. Soms is dit op ordeniveau, andere keren op familieniveau. De groepen kunnen onderverdeeld worden in 4 functionele groepen: detrivoren, herbivoren, omnivoren en predatoren.

Tabel 6. De families/ordes onderverdeeld over de functionele groepen bodembewonende ongewervelden. De groep ongeclassificeerd bevat ordes die op onvoldoende detail gedetermineerd zijn om ze in een functionele groep in te kunnen delen. De kleuren komen overeen met de kleuren voor de verschillende functionele groepen in figuur 26.

Detrivoren	Herbivoren	Omnivoren	Predatoren	Ongeclassificeerd
Diplopoda (miljoenpoten)	Thysanoptera (trips)	Formicidae (mieren)	Araneae (spinnen)	Diptera (tweevleugeligen)
Isopoda (pissebedden)	Lepidoptera (vlinders, incl. rupsen)		Opiliones (hooiwagens)	Acari (mijten)
Collembola (springstaarten)	Orthoptera (sprinkhanen en krekels)		Chilopoda (duizendpoten)	Overige Hymenoptera (vliesvleugeligen)
Scarabaeinae (mestkevers)	Auchenorrhyncha (cicaden) Sternorrhyncha (bladluizen) Heteroptera (wantsen)		Nabidae (sikkelwantsen) Carabidae (loopkevers) Staphylinidae (kortschildkevers) Coccinellidae (lieveheersbeestjes) Histeridae (spiegelkevers) Aquatisc kevers	Coleoptera larven (kever larven) Coleoptera overig (kever overig)

De verschillen in aantal gevonden ongewervelden tussen de drie meetmomenten waren groot en zijn daarom los per meetmoment geplot (figuur 26). Vooral in 2021 was er een duidelijk verschil tussen de type percelen. Tijdens dit meetmoment zijn er zowel meer kleine als grote bodembewonende ongewervelden gevonden op de agrarische natuurpercelen dan op de andere percelen. Een mogelijke verklaring is het moment van de eerste maaisnede dat jaar. 2021 had een vrij nat voorjaar waardoor veel percelen pas eind mei voor het eerst gemaaid zijn. De potvallen hebben de eerste week van juni 2021 op de percelen gestaan. De meeste referentie- en WIS-percelen waren toen dus net gemaaid terwijl een groot deel van de agrarische natuurpercelen een weidevogelpakket heeft en dus pas na half juni gemaaid werd. De hogere vegetatie op deze percelen op dat moment hangt waarschijnlijk samen met de hogere aantallen ongewervelden (2x zo hoog) die tijdens dat meetmoment gevonden zijn op de agrarische natuurpercelen. Eerdere studies vonden vergelijkbare resultaten waarbij er vooral in mei/juni meer insecten op percelen gevonden zijn die nog niet gemaaid waren (Jansma et al., 2021; Schekkerman en Beintema, 2007). Wanneer er voor juni gemaaid wordt is dit ook midden in het voortplantingsseizoen van grotere insecten waardoor deze ook verstoord worden tijdens het maaien en minder te vinden zijn op deze percelen. Verder zijn er in juni 2021 overal meer grote ongewervelden gevangen dan tijdens de andere meetmomenten terwijl in juni 2022 juist meer kleinere ongewervelden zijn gevangen dan tijdens de andere meetmomenten. Hier hebben we geen duidelijke verklaring voor. Opvallend is ook dat de meeste insecten groter dan 4 mm predatoren zijn, terwijl de andere groepen grotendeels ontbreken. De predatoren bestonden voor het grootste deel uit spinnen, gevolgd door loopkevers en kortschildkevers.



Figuur 26. Het gemiddeld aantal bodembewonende ongewervelden per potval per type perceel per meetmoment voor ongewervelden kleiner dan 4 mm (boven) en groter dan 4 mm (onder). De foutbalken geven de standaardfout (SE) per functionele groep aan.

Bodembewonende ongewervelden zijn een belangrijke voedselbron voor weidevogelkuikens. Hun aantallen variëren sterk per jaar en meetmoment. Maaibeleid lijkt een sterk effect te hebben op de aanwezigheid van grotere ongewervelden op een perceel.

Bodembewonende ongewervelden op de hoogwaterboerderij

Op de hoogwaterboerderij zijn op de 15 percelen in totaal 4 keer potvallen uitgezet, namelijk in juni 2021, mei 2022, juni 2022 en juli 2022. Net als bij de bredere veldstudie kwamen er ook op de hoogwaterboerderij meer grote insecten voor in juni 2021 dan op alle meetmomenten van 2022. Ook hier was de variatie tussen de meetmomenten hoger dan de variatie tussen de perceeltypen wat betreft aantallen van de functionele groepen en kan er vooralsnog (de groepen zullen nog in meer detail bekeken worden) weinig geconcludeerd worden over het effect van grondwaterstand en beheer omdat de verschillen minimaal zijn.

5.2.2.2. Ongewervelden op plakvallen

Om vliegende insecten te monitoren zijn plakvallen gebruikt (tabel 4). Op alle typen percelen bestond veruit de grootste groep insecten op de plakvallen uit tweevleugeligen (67-75% van

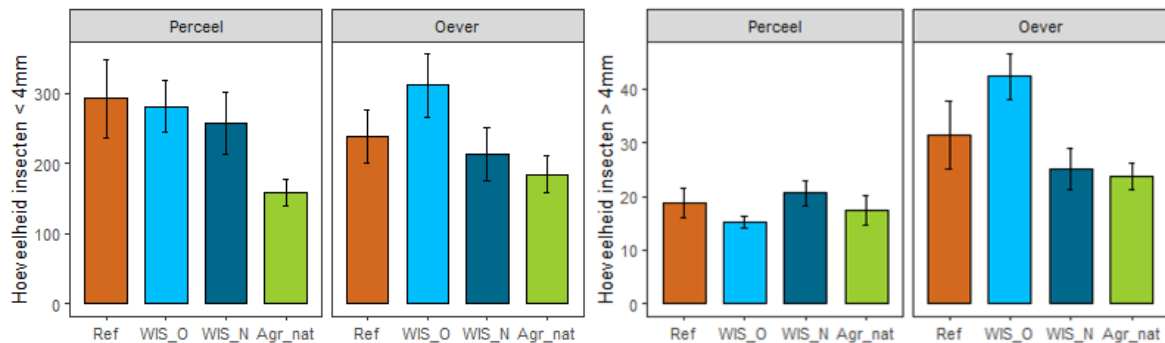
de totale aantallen), gevolgd door vliesvleugeligen (8-12% van de totale aantallen). Naast vliegende insecten zijn er ook niet-vliegende insecten (bijvoorbeeld stofluizen) en andere ongewervelden (spinachtigen) gevangen. Hoewel de verschillen relatief klein zijn, valt wel een aantal dingen op bij de vergelijking tussen de verschillende typen percelen en tussen oever en perceel (tabel 7). Zo zijn de aantallen individuen in de oevers evenrediger verdeeld over de verschillende groepen dan op de percelen, wat duidt op een completer ontwikkelde insectenpopulatie. Opvallend is dat het verschil in insectenverdeling tussen perceel en oever kleiner is op de agrarische natuurpercelen. Dit komt doordat de verdeling over verschillende insectengroepen op deze percelen gelijkmatiger is dan op de referentie- of WIS-percelen. Deze observaties passen bij de afhankelijkheid van insecten van de diversiteit en structuurvariatie van de vegetatie, die in de oevers doorgaans groter is dan op percelen. Op agrarische natuurpercelen is de vegetatie echter ook op de percelen zelf diverser en heeft deze een complexere structuur. Ook de verschillen in maai-intensiteit tussen oevers en perceel en tussen agrarische natuurpercelen en overige percelen kan een verklaring zijn voor de beter ontwikkelde insectenpopulaties. Tot slot zijn er op agrarische natuurpercelen twee keer zoveel halfvleugeligen (wantsen en cicaden) gevonden in vergelijking met de referentie en WIS-percelen.

Tabel 7. Het percentage ongewervelden wat per orde is gevonden op de plakvallen. Hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen kleiner en groter dan 4 mm.

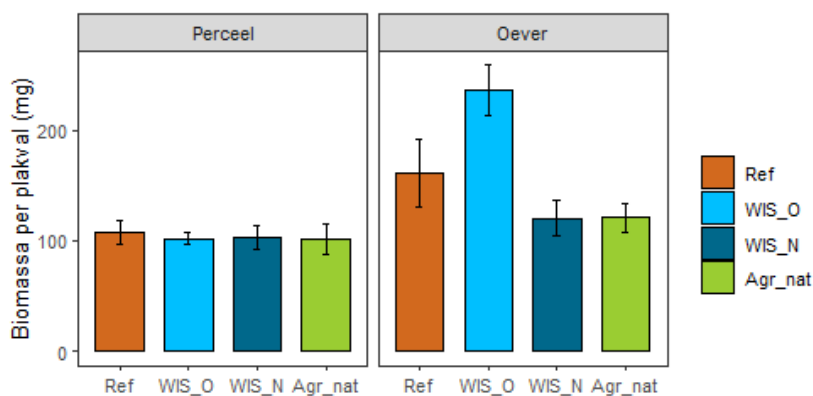
Groep	Referentie		WIS-oud		WIS-nieuw		Agrarische natuur	
	Perceel (%)	Oever (%)	Perceel (%)	Oever (%)	Perceel (%)	Oever (%)	Perceel (%)	Oever (%)
<i>Tweevleugeligen (vliegen en muggen)</i>	75	69	75	71	75	67	69	68
<i>Vliesvleugeligen (voornamelijk wespen, mieren en bijen)</i>	10	12	10	11	8	10	11	12
<i>Halfvleugeligen (wantsen en cicaden)</i>	2	3	3	3	2	3	5	3
<i>Tripsen</i>	2	0.9	2	1	2	1	2	1
<i>Kevers</i>	0.4	2	0.6	1	0.6	1	0.8	1
<i>Spinachtigen</i>	0.6	0.4	0.8	0.5	0.6	0.5	0.9	0.5
<i>Vlinders</i>	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.6	0.8	0.7
<i>Stofluizen</i>	0.4	0.4	0	0.3	0.4	0.4	0.6	0.5
<i>Libellen</i>	0	0	0	0.5	0.7	0.9	0	0.5
<i>Rechtvleugeligen (krekels en sprinkhanen)</i>	0	0.4	0	0	0	0.4	0.6	0
<i>Netvleugeligen</i>	0	0	0	0	0	0.4	0	0.5
<i>Schorpioenvliegen</i>	0	0	0	0	0	0.4	0	0.5
<i>Insect onbekend</i>	9	12	8	11	10	14	9	12

Gemiddeld zijn er meer vliegende insecten gevonden op de referentie en WIS-percelen dan op de agrarische natuurpercelen. Op het perceel zelf wordt dit verschil veroorzaakt door de kleine insecten (kleiner dan 4 mm). Wanneer alleen naar de grotere insecten (>4 mm) gekeken

wordt zien we op het perceel geen verschil tussen de aantallen gevonden insecten op de verschillende typen percelen (figuur 27). Ook de gemiddelde totale biomassa per plakval verschilde op het perceel niet tussen de typen percelen (figuur 29). Op de oevers zijn meer grote insecten gevonden dan op het perceel (figuur 27, rechts). Hier zijn op de WIS-oud oevers meer grote insecten gevonden dan op agrarische natuuroevers (figuur 27, rechts) hetgeen ook resulteert in een hogere insectenbiomassa op de oevers van percelen met een oud WIS.



Figuur 27. Links: hoeveelheid vliegend insecten kleiner dan 4 mm per plakval op het perceel en langs de oever voor ieder type perceel. Rechts: hoeveelheid vliegende insecten van groter dan 4 mm per plakval. De foutbalken geven de standaardfout (SE) aan.



Figuur 28. De gemiddelde totale biomassa per plakval op de referentie, WIS en agrarische natuurpercelen voor zowel op het perceel als op de oevers. De foutbalken geven de standaardfout (SE) aan.

Langs de oevers zijn meer grote ongewervelden op plakvallen gevonden dan op de percelen zelf.

5.2.3. Vegetatie

De vegetatie is zowel op het perceel als langs de oever opgenomen. Hierbij is de Tansley methode gebruikt (tabel 8). Dit is een systematische manier om een vegetatieopname te doen en daarmee in kaart te brengen welke soorten er voorkomen en wat de relatieve bedekking van de soorten is. Hierbij krijgt iedere plantensoort in het transect een score van 1-8 die de mate van abundantie weergeeft (tabel 8). Op de referentiepercelen en de WIS-percelen stonden gemiddeld ruim twee keer zoveel plantensoorten langs de oever dan op het perceel (tabel 9) waarbij ook de soortensamenstelling heel duidelijk anders was langs de oever dan op het perceel. Op de agrarische natuurpercelen waren de verschillen tussen perceel en oever minder groot. Hieronder worden de resultaten voor de vegetatie op het perceel en de oevervegetatie apart besproken.

Tabel 8. De gebruikte Tansley scores. De nummers komen overeen met de nummers die genoemd worden in de tekst en tabel 9.

Nummer	Code	Percentage
1	Sporadisch	<< 5%
2	Zeldzaam	<<5%
3	Occasioneel	<5%
4	Frequent	< 5%
5	Abundant	5-25%
6	Co-dominant	25-50%
7	Dominant Da	50-75%
8	Dominant Db	>75%

Vegetatie op het perceel

In totaal zijn er 61 plantensoorten op de percelen gevonden. Op de referentie- en beide typen WIS-percelen stonden gemiddeld 10-11 soorten. Op de agrarische natuurpercelen waren dit er gemiddeld 15 (tabel 9). De hogere hoeveelheid plantensoorten op de agrarische natuurpercelen vertaalt zich ook in een hogere Shannon-index op deze percelen t.o.v. de referentie en de WIS-percelen (figuur 29). Een hogere Shannon-index betekent een evenwichtigere verdeling tussen soorten wat over het algemeen resulteert in meer ecologische veerkracht en complexiteit. De meest abundante soort op de referentie en WIS-percelen was Engels raaigras. Deze kreeg op referentie en WIS-percelen altijd de score 6 of 7 (tabel 9) terwijl deze op agrarische natuurpercelen het vaakst gescoord werd met een 4. Daarna kwam ruw beemdgras het vaakst voor. Op de agrarische natuurpercelen was gestreepte witbol het meest abundant (tabel 9). Van de in totaal 61 gevonden plantensoorten op het perceel kwamen er 19 alleen voor op agrarische natuurpercelen. Alhoewel deze 19 soorten niet op de percelen van referentie en WIS-percelen zijn gevonden is een deel daarvan wel langs de oevers van die percelen gevonden. Op geen enkel perceel zijn rode lijst soorten gevonden.

Verschillende graslandtypen

Graslanden kunnen onderverdeeld worden in verschillende typen (Schippers et al., 2014) zoals weergegeven in de tabel in dit kader. Deze graslandtypen lopen van zeer intensief beheerde graslanden naar zeer extensief beheerde graslanden. De meeste referentie- en WIS-percelen vallen onder **Engels raaigrasland** (0). Kenmerkend voor dit type grasland is dat meer dan 50% van de vegetatie uit Engels raaigras bestaat. Andere soorten die op dit type grasland voorkomen zijn ruw beemdgras, vogelmuur, witte klaver, paardenbloem en kruipende boterbloem. Dit zijn inderdaad allemaal soorten die veel gevonden zijn op de referentie- en WIS-percelen (tabel 9). Een aantal referentie- en WIS-percelen vallen onder het 'Schipperstype' **grassenmix**, dit zijn binnen dit onderzoek vaak percelen waarop geen kunstmest wordt gebruikt en die wat minder intensief beheerd worden. Naast bovengenoemde soorten komen op deze percelen ook timotheegras, veldbeemdgras en kropaar voor en het percentage kruiden neemt toe. Tussen de agrarische natuurpercelen is vrij veel variatie waargenomen. Sommige agrarische natuurpercelen hadden een dominantie van gestreepte witbol. Dat is in onderstaande tabel aangeduid als **dominanttype** (2d) waarbij een andere zware grassoort dan Engels raaigras dominant is. Dit is een veelvoorkomend tussenstadium richting een kruidenrijk grasland en is vaak ongewenst wegens de lage voederwaarde en de lage doorwaadbaarheid voor weidevogelkuikens. Vaak is dit stadium tijdelijk en met voorbeweiden of vroeg maaien (indien er geen weidevogels zitten) kan dit stadium ingekort worden. Veel agrarische natuurpercelen vielen verder onder **grassenmix plus**, waarbij soorten als zachte dravik, grote vossenstaart, gestreepte witbol, pinksterbloem, gewone hoornbloem, hondsdrif, veldzuring en scherpe boterbloem meer voorkwamen. De meest extensief beheerde percelen binnen dit onderzoek vallen onder type 3: **gras-kruidenmix**. Hierbij komen ook soorten als smalle weegbree, echte koekoeksbloem, reukgras, rood zwenkgras en rode klaver op het perceel voor. Type 4 en 5 kwamen niet voor in dit onderzoek.

	Graslandtype	ton ds/ha	N kg/ha	n/25m ²	Kwalificatie
00	Grasakker	>12	>250	<5	Extreem soortenarm
0	Engels raaigrasland	>10	>200	5-10	Zeer soortenarm
1	Grassenmix	8-10	100-200	10-12	Soortenarm
2	Grassenmix-plus	7-9	75-100	12-17	Vrij soortenarm
2d	Dominanttype	6-8	50-75	10-12	(vrij) soortenarm
2g	Gedegenereerd	1-2	0	5-10	(Zeer) soortenarm
3	Gras-Kruidenmix	5-7	50-75	15-25	vrij soortenrijk
4	Bloemrijk grasland	3-6	<50	20-40	Soortenrijk
5	Schraalland	< 5	incidenteel	>25	Soortenrijk

Een recente studie van Heuts et al. (2024) laat zien dat bij een huidig landgebruik in combinatie met bijvoorbeeld WIS de grondwaterstand weliswaar wat omhoog gaat maar dat dit op zich niet tot veranderingen in plantendiversiteit leidt. Waar grondwaterstand in bovengenoemde studie geen significant effect had op de plantendiversiteit, had de intensiteit van het landgebruik (zoals bemesting) wel een significant negatief effect op de hoeveelheid plantensoorten (Heuts et al., 2024). Deze resultaten komen overeen met onze resultaten omdat wij ook een sterker effect zien van landgebruik dan van grondwaterstand op het aantal plantensoorten op het perceel.

De vegetatie op het perceel wordt op regulier beheerde percelen gedomineerd door Engels raaigras. Op agrarische natuurpercelen komen gemiddeld meer plantensoorten voor. Landgebruik (mate van bemesting etc.) heeft een groter effect op het aantal plantensoorten dan de grondwaterstand.

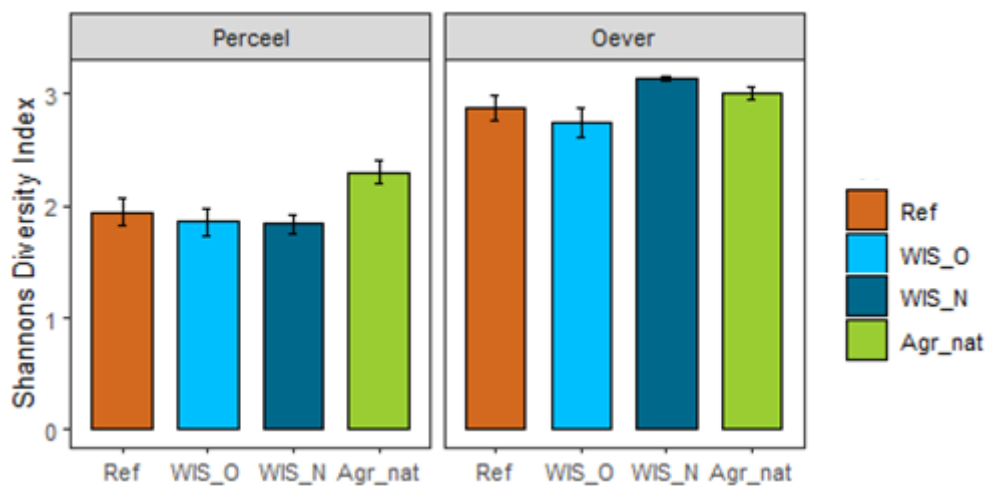
Oevervegetatie

In totaal zijn er 120 plantensoorten op de oevers gevonden. Per perceel waren dit er gemiddeld 24 op referentiepercelen, en 23 op de WIS-oud percelen, 28 op de WIS-nieuw percelen en 26 op agrarische natuurpercelen (tabel 9). De oevers van de meeste percelen zijn dus vrij soortenrijk. De Shannon-index verschilde bij de oevers niet significant tussen de type percelen (figuur 29). Van de 120 soorten kwamen er 22 alleen langs de oevers van de agrarische natuurpercelen voor. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om veenpluis, scherpe zegge, sterzegge, gewone dotterbloem en grote ratelaar. Op de WIS-oud percelen zijn 2 soorten gevonden die niet op de andere type percelen voorkwamen (koninginnekruid, madeliefje) en op WIS-nieuw 3 soorten (gewone waternavel, bitterzoet en ruwe melkdistel). Op de referentiepercelen gaat dit om 1 soort (gewone ereprijs). De enige rode lijst soort die langs de oever is gevonden is moerasbasterdwederik. Deze is langs de oevers van alle typen percelen gevonden.

Tabel 9. Een overzicht van het aantal waargenomen soorten, meest voorkomende gras en kruidensoorten, en rode lijst soorten op het perceel en langs de oever van de verschillende typen percelen.

		Referentie	WIS-oud	WIS-nieuw	Agrarische natuur
Aantal waargenomen soorten	<i>Perceel</i>	11 ± 1	10 ± 1	11 ± 1	15 ± 2
	<i>Oever</i>	24 ± 2	23 ± 2	28 ± 1	26 ± 1
Meest voorkomende grassoorten (gemiddelde Tansley code)	<i>Perceel</i>	Engels raaigras (6,6) Ruw beemdgras (5,1) Gestreepte witbol (3,5)	Engels raaigras (6,6) Ruw beemdgras (5,4) Gestreepte witbol (4,5)	Engels raaigras (6,9) Ruw beemdgras (5,1) Gestreepte witbol (2,7)	Gestreepte witbol (5,3) Ruw beemdgras (3,7) Engels raaigras (3,0)
	<i>Oever</i>	Gestreepte witbol (4,9) Mannagras (3,3) Roodzwenkgras (2,6)	Gestreepte witbol (5,3) Kruijpende boterbloem (3,9) Mannagras (2,6)	Gestreepte witbol (4,4) Liesgras (4,0) Mannagras (2,0)	Gestreepte witbol (3,3) Gewoon reukgras (2,3) Mannagras (1,8)
Meest voorkomende kruiden soorten (gemiddelde Tansley code)	<i>Perceel</i>	Kruijpende boterbloem (2,9) Witte klaver (2,7) Paardenbloem (1,7)	Kruijpende boterbloem (2,7) Paardenbloem (2,3) Witte klaver (1,7)	Kruijpende boterbloem (3,3) Paardenbloem (2,3) Witte klaver (2,2)	Veldzuring (4,1) Kruijpende boterbloem (3,8) Pinksterbloem (3,3)
	<i>Oever</i>	Hondsdrif (3,7) Moeraswalstro (3,4) Grote egelskop (3,3)	Moeraswalstro (2,6) Hondsdrif (2,0) Pitrus (1,9)	Watermunt (3,7) Grote egelskop (3,1)	Watermunt (2,9) Moeraswalstro (2,7) Gele lis & pitrus & veldzuring (2,3)

				Moeraswederik (3,0)	
Rode lijst soorten	Perceel	0	0	0	0
	Oever	1 (moerasbasterd werderik)	1 (moerasbasterd werderik)	1 (moerasbasterd werderik)	1 (moerasbasterd werderik)
Aantal soorten die alleen op dit type perceel voorkwamen	Perceel	3	0	1	19
	Oever	1	2	3	22



Figuur 29. De Shannon Index op de verschillende typen percelen op het veld (links) en langs de oever (rechts). De foutbalken geven de standaardfout (SE) aan.

De rol van oevers in de biodiversiteit van het veenweidegebied

Langs de oevers komen veel meer en ook heel andere plantensoorten voor dan op de percelen. Dit heeft niet alleen een directe toegevoegde waarde voor de bio(planten)diversiteit vanwege meer plantensoorten, maar ook uitstralende meerwaarde voor ander soortengroepen. Een groot deel van deze plantensoorten zijn bijvoorbeeld een belangrijke nectarbron voor vlinders en bijen, of zijn op een andere manier een waardplant voor insecten (zie ook de secties over nachtvlinders, libellen). Bovendien, kunnen op een brede oever weidevogelkuikens beter schuilen en foerageren. **Door oevers goed te beheren kan grote winst geboekt worden voor de biodiversiteit.**



Figuur 30. De grote kattenstaart en kale jonker zijn belangrijke nectarplanten in het veenweidegebied voor veel vliegende insecten.

Oevers zijn over het algemeen vrij soortenrijk langs alle typen percelen en spelen indirect een belangrijke rol in de biodiversiteit van andere soortgroepen, zoals insecten en weidevogels.

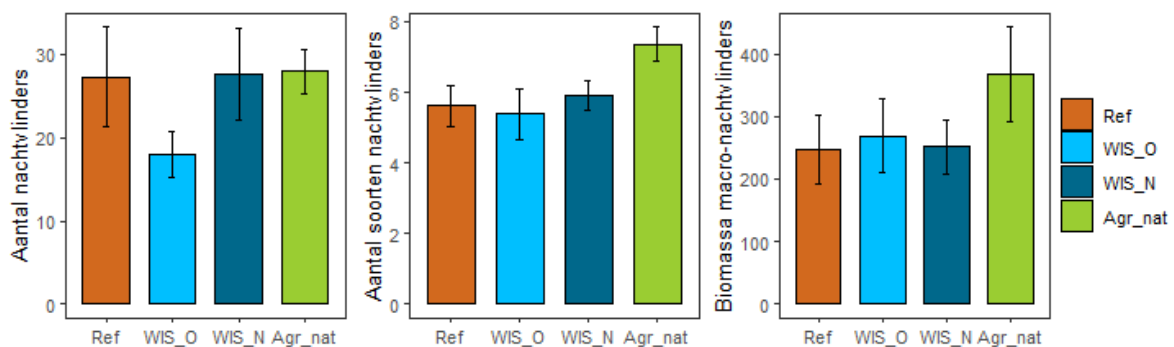
Vegetatie op de hoogwaterboerderij

Verspreid over de 15 gemonitorde percelen op de hoogwaterboerderij zijn in totaal 33 soorten gevonden op het perceel en 83 langs de oever. Gemiddeld stonden er 24 soorten langs de oever en 12 soorten op het perceel. Dit is dus vergelijkbaar met de referentie- en WIS-percelen in ons breed opgezette veldonderzoek. Ook hier domineerde Engels raaigras overall (Tansley score 6 of 7). Er zijn geen duidelijke verschillen gevonden in de abundantie en de soortensamenstelling van de planten tussen de percelen met een hoge en lage waterstand. Een uitzondering op alle percelen zijn de percelen 'veld-laag'. Deze liggen wat verderop in de polder (zie kaart in figuur 13). Deze percelen hadden minder soorten (10 op het perceel, 21 langs de oever), waarschijnlijk door een sterk dalende grondwaterstand in de zomer en smalle oevers die abrupt overgaan in de sloot. De andere oevers op de hoogwaterboerderij zijn over het algemeen vrij breed en staan vol met vegetatie welke vaak pas in het najaar gemaaid wordt. Verder ontvangen de veld-laag percelen alleen mest in de vorm van drijf- en kunstmest omdat hier niet beweid wordt. Bovengenoemde factoren vormen waarschijnlijk de verklaring voor de lagere plantendiversiteit op de veld-laag percelen. Dit wordt bevestigd door het feit dat de referentiepercelen (met ook een grondwaterstand die uitzakt in de zomer) die wel beweid worden op de hoogwaterboerderij een vergelijkbare hoeveelheid plantensoorten en samenstelling hebben als de percelen met een hoge grondwaterstand. Deze percelen hadden vergelijkbare oevers en lagen tussen de vernatte percelen in op de hoogwaterboerderij zelf en zijn daarmee een wat betere referentie voor in ieder geval de beweide vernatte percelen.

5.2.4. Nachtvinders

In Nederland komen ongeveer 2400 verschillende nachtvindersoorten voor. Dit zijn dus veel meer soorten dan bij de dagvlinders (53 soorten) terwijl deze laatste groep veel bekender is. Nachtvinders spelen een rol bij de bestuiving van planten, al is de grootte van deze bijdrage onbekend maar waarschijnlijk onderschat. Daarnaast zijn nachtvinders een belangrijke voedselbron voor vleermuizen en nachtzwaluwen en waarschijnlijk nog veel meer vogelsoorten. Ook hier is nog niet veel over bekend. Doordat de rupsen veelal in planten(wortels) en bodem zitten zijn ze ook een voedselbron voor veel bodemleven en foeragerende vogels (Ellis et al., 2013).

In totaal zijn er op alle percelen bij elkaar 68 soorten nachtvinders gevonden en 4 soorten schietmotten. Op de WIS-oud percelen zijn gemiddeld wat minder nachtvinder aantallen gevangen dan op andere perceeltypen. Een relatief groot deel van dit perceeltype ligt in polder Ronde Hoep waar over het algemeen wat minder nachtvinders gevangen zijn en dit is dus waarschijnlijk vooral een poldereffect. Wel zijn er op de agrarische natuurpercelen per meetmoment meer soorten nachtvinders gevonden (gemiddeld 7.4 soorten per vangst) dan op de referentie- en WIS-percelen (figuur 31, midden). Ook lag de biomassa van de macronachtvlinders wat hoger op de agrarische natuurpercelen dan op de referentie- en beide typen WIS-percelen (figuur 31, rechts).



Figuur 31. Het gemiddelde aantal, soorten en biomassa (in mg) van de nachtvinders per vangst op de vier typen percelen. De foutbalken geven de standaardfout (SE) aan.

De variatie tussen de meetmomenten was erg groot, vooral bij het aantal gevonden nachtvinders. Dat komt deels doordat verschillende soorten op verschillende momenten veel voorkomen en doordat het aantal nachtvinders wat gevangen wordt sterk weersafhankelijk is. Daarnaast zagen we een groot verschil tussen de percelen. Wanneer er net drijfmest uitgereden was vonden we vrijwel geen nachtvinders in de LED-emmers en ook vlak na een maaisnede was de vangst duidelijk lager. Nachtvinders kunnen snel herstellen van zo een verstoring mits ze uit kunnen wijken naar een nabijgelegen perceel (alleen het geval wanneer ze al volwassen zijn).

Per vangst zijn er gemiddeld meer nachtvlindersoorten gevangen op de agrarische natuurpercelen dan op reguliere percelen.

Oeverplanten als waardplant

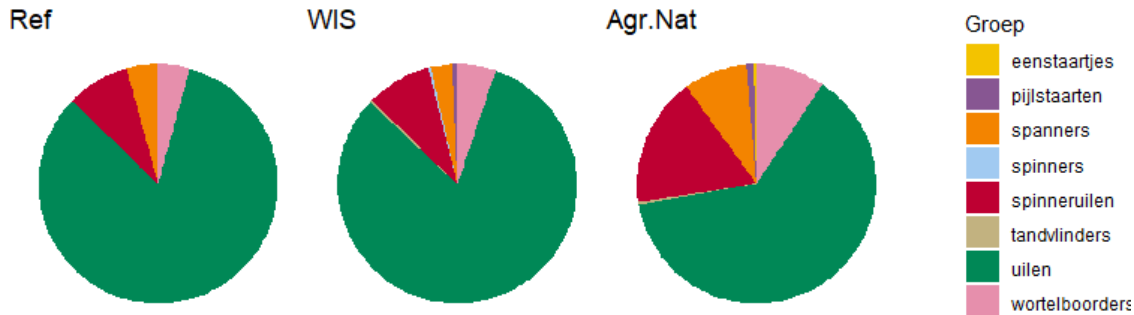
Een deel van de gevonden nachtvlinders hebben specifieke oeverplanten als waardplant. Dit wordt vaak al duidelijk uit de naam, bijvoorbeeld gele-lis boorder, egelskopboorder, lisdoddeboorder, moeraswalstrospanner, zeggeboorder, liesgrassnuitmot. Het is niet altijd zo dat alleen die plant de waardplant is van deze soort maar vaak zijn andere waardplanten wel ook oever- en moerassoorten. Veel van deze nachtvlinders hebben de onofficiële rode lijst soort status 'kwetsbaar'. Omdat ze voor een deel van hun levensstadium afhankelijk zijn van oevervegetatie is het voor deze soorten van belang dat er altijd oevervegetatie staat. Er zijn ook soorten die als rups, pop of ei overwinteren op oevervegetatie waardoor het voor deze soorten cruciaal is om ook in het najaar een deel van de oevervegetatie de hele winter te laten staan.



Figuur 32. Een aantal nachtvlindersoorten en hun waardplant. Linksboven: de gele lis-border, de rups van deze soort leeft in de stengel en wortel van o.a. de gele lis (rechts onder). Midden: de egelskopboorder, deze soort leeft als rups o.a. in de egelskop. Rechtsboven: de moeraswalstrospanner heeft een voorkeur voor natte gebieden en heeft de walstro als waardplant (rechtsonder: moeraswalstro). De vlinderfoto's komen van de website van de Vlinderstichting.

De gevangen macronachtvlinders zijn onderverdeeld in verschillende families (figuur 33). De uilen vormen veruit de grootste groep in alle type systemen maar met name in de referentie- en WIS-percelen. Een groep binnen de uilen (worteluil) zitten als rups in de bodem en hebben niet veel last van verstoring door maaien. Daarnaast hebben veel nachtvlinders oevervegetatie als waardplant (zie kader), en deze worden dus vooral gespaard wanneer de oever niet gemaaid wordt. Op de agrarische natuurpercelen zijn naar verhouding ruim 2x

zoveel spanners, spinneruilen en wortelboorders gevonden als op de referentie en WIS-percelen.



Figuur 33. De percentages gevonden nachtvlinders (individuen) per familie binnen de verschillende typen percelen.

Nachtvlinders nemen af in aantallen en soorten. Daarom is er een onofficiële rode Lijst ontwikkeld (Ellis et al., 2013). In tabel 10 zijn alle gevonden soorten binnen dit onderzoek opgenomen die een andere status dan 'thans niet bedreigd' hebben op deze rode lijst. Een groot deel van de nachtvlinders is 1 keer tot weinig gevonden en voornamelijk of alleen maar op agrarische natuurpercelen (tabel 10).

Tabel 10. Een overzicht van de gevonden macro nachtvlinders die op de (onofficiële) rode lijst staan, inclusief rode lijst status, hun zeldzaamheid in talrijkheid en hoe vaak en op welk type percelen ze gevonden zijn. GWV = polder groot Wilnis-Vinkeveen

Soort	Rode lijst status	Zeldzaamheid in talrijkheid	Hoe vaak en op welke percelen gevonden?
Bastaardsatijnvlinder	Gevoelig	Niet zo algemeen	1x op agr natuur in GWV
Donsvlinder	Gevoelig	Zeer algemeen	1x op agr natuur in GWV
Dromedaris	Gevoelig	Zeer algemeen	1x op agr natuur in GWV
Egelskopboorder	Kwetsbaar	Algemeen	Vaak gevonden, op allerlei percelen en polders
Geblokte stipspanner	Kwetsbaar	Niet zo algemeen	1x op agr natuur in GWV
Gele lis-boorder	Kwetsbaar	Algemeen	8x, waarvan 6 op agr nat
Gewone breedvleugeluil	Gevoelig	Zeer algemeen	Vaak gevonden, op allerlei percelen en polders
Gewone grasuil	Gevoelig	Zeer algemeen	15x, waarvan 8 op agr natuur
Grote beer	Gevoelig	Algemeen	1x op agr natuur in GWV
Grote worteluil	Bedreigd	Algemeen	1x op agrarische natuur in Lange Weide
Lisdoddeboorder	Kwetsbaar	Algemeen	3x op WIS-perceel in GWV
Moeraswalstrospanner	Kwetsbaar	Redelijk zeldzaam	Veel gevonden op allerlei percelen en polders
Paddenstoeluil	Kwetsbaar	Redelijk zeldzaam	1x gevonden op agr nat in GWV

Spitvleugelgrasuil	Kwetsbaar	Redelijk zeldzaam	1x gevonden op agr nat in GWV
--------------------	-----------	-------------------	-------------------------------

Nachtvinders die op de rode lijst staan zijn voornamelijk gevonden op de agrarische natuurpercelen. Veel nachtvindersoorten zijn afhankelijk van oevervegetatie voor een deel van hun levenscyclus.

Nachtvinders op de hoogwaterboerderij

Op de hoogwaterboerderij zijn nachtvinders zowel in 2022 als in 2023 gemonitord in de maanden juni-oktober. Er zijn hierbij geen significante verschillen gevonden tussen percelen met een hoge grondwaterstand en een lage grondwaterstand in de hoeveelheid nachtvinders en samenstelling van de nachtvinder gemeenschap. Wel zijn er meer nachtvinders gevangen op percelen die alleen gemaaid werden dan op de begraasde percelen. Er is een los rapport over deze resultaten verschenen samen met de resultaten van de libellen en dagvlinder monitoring op de hoogwaterboerderij (van Grunsven en van der Laan, 2024).

5.2.1. Libellen

Libellen zijn onder te verdelen in twee groepen: de echte libellen en de juffers. In totaal zijn er 10 soorten libellen waargenomen. Het lantaarntje en de gewone oeverlibel kwamen veruit het meest voor en zijn op alle type percelen gevonden. Het lantaarntje is een algemene waterjuffer die altijd veel voorkwam maar de laatste jaren aan het afnemen is. In het veenweidegebied komt het lantaarntje wel nog op veel plekken veel voor. Er zijn per transect van 50 m tot wel 80-120 lantaarntjes gevonden. Alle andere libellen zijn in kleinere hoeveelheden aangetroffen. Na oeverlibellen en lantaarntjes was de heidelibel de meest voorkomende soort. Er zijn verschillende soorten heidelibellen, echter konden deze niet verder dan 'heidelibel' gedetermineerd worden. Heidelibellen zijn in totaal op 5 percelen waargenomen, waarvan 4 percelen agrarische natuurpercelen waren. Een aantal soorten zijn slechts enkele keren waargenomen (tabel 11).

Opvallend is dat er in polder Ronde Hoep minder libellen zijn waargenomen dan in de andere polders. Een mogelijke reden is het veel hogere chloride gehalte in het slootwater van deze polder. Daarnaast is dit een heel open polder en was de vegetatie langs de oever tijdens een deel van de meetmomenten vrij kort waardoor er weinig geschikte plekken voor libellen waren om te schuilen.

Tabel 11. Overzicht van de waargenomen libellensoorten.

Soort	Hoe vaak waargenomen?	Ref	WIS-Oud	WIS-Nieuw	Agr. nat
Lantaarntje	Op bijna ieder perceel waargenomen, variërend van 3 tot 132 individuen per transect van 50 m.	X	X	X	X

<i>Kleine roodoogjuffer</i>	2 individuen waargenomen op verschillende percelen.			X	X
<i>Houtpantserjuffer</i>	1 individu waargenomen			X	
<i>Gewone oeverlibel</i>	Alle 3 de meetmomenten op ongeveer de helft van de percelen waargenomen. Geen verschil tussen type percelen. 1-5 individuen per transect.	X	X	X	X
<i>Heidelibel</i>	Op 5 percelen waargenomen (1-19 individuen per keer), waarvan 4 agrarische natuurpercelen en 1 referentieperceel.	X			X
<i>Viervlek</i>	Op 1 perceel waargenomen tijdens twee meetmomenten (2-4 individuen).				X
<i>Vroege glazenmaker</i>	Op 4 percelen waargenomen (steeds 1 individu).	X	X		X
<i>Gewone keizerlibel</i>	1x waargenomen			X	
<i>Blauwe glazenmaker</i>	1x waargenomen	X			
<i>Groene glazenmaker</i>	1x waargenomen op een WIS-N perceel en 1x op een agrarisch natuurperceel. Beide percelen hadden een sloot waar krabbenscheer voorkwam (zie ook figuur 34).			X	X

Er is veel variatie in het aantal libellen dat per oever werd waargenomen. Zo monitoren we in polder Groot Wilnis Vinkeveen twee agrarische natuurpercelen die naast elkaar liggen. Tijdens één monitoringsronde was de oevervegetatie op het ene perceel al gemaaid, op het andere niet. Beide percelen worden op dezelfde manier beheerd (met vergelijkbare bemesting, evenveel maaimomenten per jaar en al even lang onder agrarisch natuurbeheer). Op het perceel waar de oevervegetatie net gemaaid was vonden we 5 lantaarntjes en 1 oeverlibelle. Op het perceel waar de oevervegetatie nog niet gemaaid was vonden we 117 lantaarntjes, 2 oeverlibellen en 1 vroege glazenmaker. Dit patroon sluit aan bij onze andere waarnemingen: hoe meer oevervegetatie hoe meer libellen. Oevervegetatie speelt een cruciale rol voor libellen. Ze gebruiken dit om te schuilen, uit te sluipen en te paren. Zolang er nog genoeg oevervegetatie in de buurt staat kunnen volwassen libellen uitwijken naar nabijgelegen oevers. Het is voor libellen daarom belangrijk om binnen één bedrijf niet alle oevers tegelijk te maaien.

De groene glazenmaker is een Europees beschermde libellensoort die vroeger veel voorkwam in het veenweidegebied (figuur 34). Tegenwoordig komt de soort veel minder voor en dat komt door de afname van de waardplant van de groene glazenmaker: krabbenscheer. Een mogelijke oorzaak van de afname van krabbenscheer is de veelvoorkomende aanwezigheid van de Amerikaanse rode rivierkreeft. Deze vreet de planten aan en verslechtert de waterkwaliteit (de Vries en Kok, 2024). Binnen de veldstudie kwam slechts op twee percelen nog krabbenscheer voor in de sloten (allebei in/bij polder Lange Weide) en op de hoogwaterboerderij in polder Zegveld kwam krabbenscheer op één perceel voor. Op alle drie deze percelen is ook de groene glazenmaker waargenomen.



Figuur 34. Links: krabbenscheer in polder Lange Weide. Bij dit perceel is ook de groene glazenmaker waargenomen (rechts, bron: vlinderstichting.nl). Hetzelfde geldt voor de stukken krabbenscheer op de hoogwaterboerderij in polder Zegveld. In deze polder komt krabbenscheer nog relatief veel voor.

De aanwezigheid van voldoende oevervegetatie is cruciaal voor veel libellensoorten. Hoe meer oevervegetatie hoe meer libellen.

Libellen op de hoogwaterboerderij

Op de hoogwaterboerderij zijn meer libellen waargenomen op de oevers van percelen met een hoge grondwaterstand. Hier is geen duidelijke verklaring voor gevonden maar mogelijk heeft dit te maken met de andere waterkwaliteit in de sloten bij hoogwater percelen vergeleken met laagwater percelen (van Grunsven en van der Laan, 2024). Ook was de oevervegetatie bij een deel van de laagwaterpercelen vrij laag en beperkt (steile oevers).

5.2.2. Dagvlinders

Er zijn in totaal slechts 5 soorten dagvlinders waargenomen en allemaal in vrij lage hoeveelheden. In totaal zijn er 34 klein geaderd witjes, 18 atalanta's, 3 kleine vos, 1 distelvlinder en 1 dagpauwoog waargenomen. Er zijn hierbij geen duidelijke verschillen waargenomen tussen de type systemen. Een deel van de waargenomen vlindersoorten is weinig indicatief voor het leefgebied van de vlinders. Zo kunnen de atalanta en distelvlinder grote afstanden afleggen op zoek naar waardplanten en nectarplanten en zijn ze dus in veel gebieden te vinden. Wel is er een grotere kans om deze dagvlinders waar te nemen op percelen met veel nectarplanten. Het klein geaderd witje is wel een soort die meer bij het veenweidegebied hoort. Ook voor dagvlinders is de oevervegetatie belangrijk omdat daar de kans het grootst is dat hun waardplant of nectarplanten voorkomen. Zo biedt bijvoorbeeld de

grote kattenstaart veel nectar voor dagvlinders en zijn dagvlinders meerdere keren op deze plantensoort waargenomen.

Dagvlinders op de hoogwaterboerderij

Op de hoogwaterboerderij zijn ook niet veel dagvlinders waargenomen. In totaal zijn er 5 soorten waargenomen en 51 individuen tijdens de in totaal 7 meetmomenten verspreid over juni-oktober 2022 en 2023.

De Argusvlinder

De argusvlinder was vroeger vrij algemeen in Nederland maar is sinds 1992 met 98% afgenomen in graslanden (CBS, 2024). Op de hoogwaterboerderij zijn in totaal 21 argusvlinders waargenomen wat redelijk bijzonder is (van Grunsven en van der Laan, 2024). Argusvlinders hebben een variatie van hogere vegetatie en grassen nodig. De grassen worden gegeten door de rupsen en de volwassen vlinders hebben hogere vegetatie (met nectarplanten) nodig als ontmoetingsplek. Op de hoogwaterboerderij staat een bosje ruigtevegetatie waar waarschijnlijk veel argusvlinders samenkomen. Verder staat er op de hoogwaterboerderij veel koninginnenkruid, deze bevat veel nectar. Omdat argusvlinders meerdere generaties per jaar hebben is het belangrijk dat er van mei tot september altijd goede nectarplanten en hogere vegetatie aanwezig is.



Figuur 35. De argusvlinder. Deze vlinder is veel gevonden op de hoogwaterboerderij.

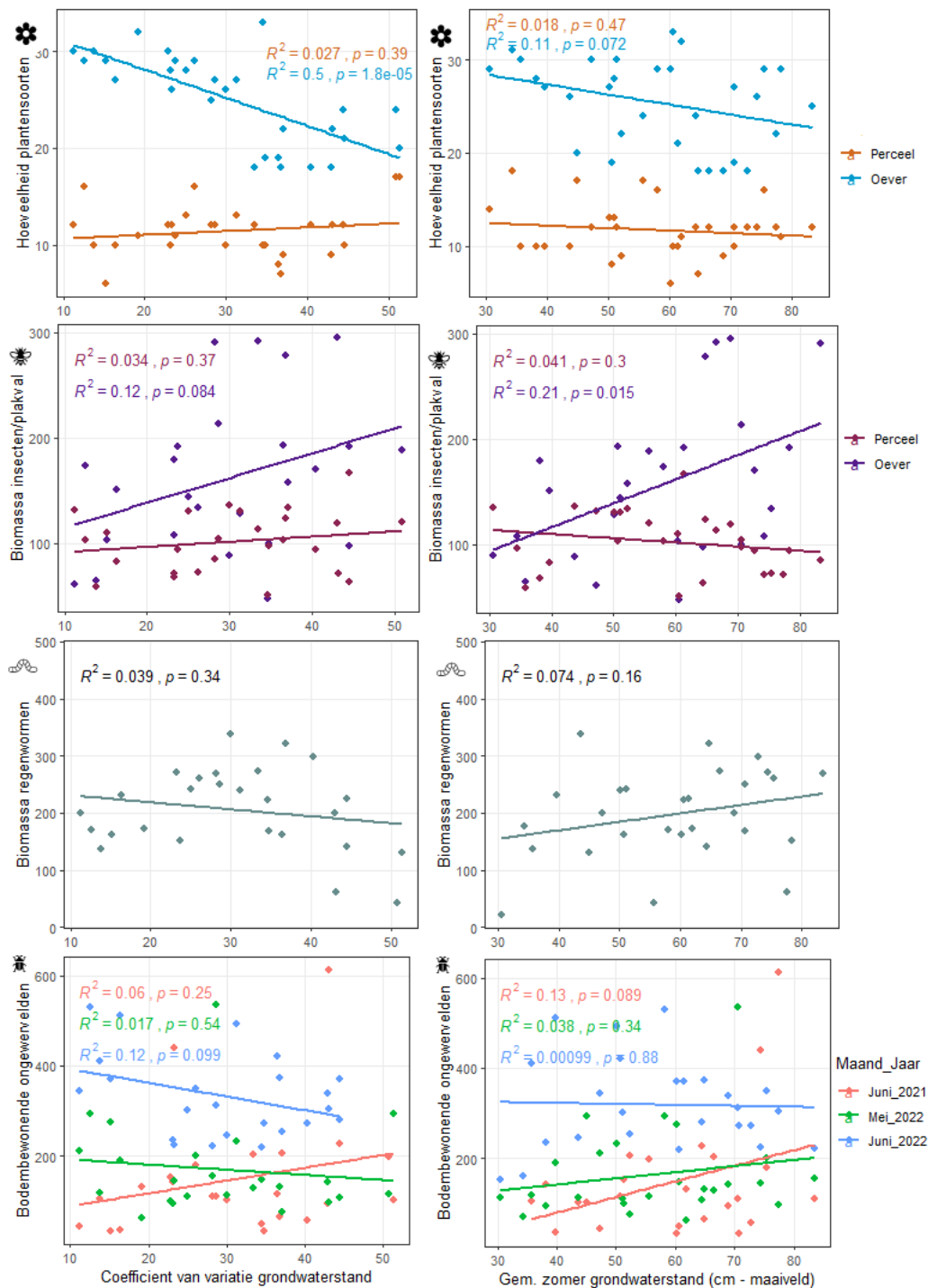
Er zijn niet veel dagvlinders waargenomen. De aanwezigheid van nectar- en waardplanten kan de hoeveelheid dagvlinders vergroten.

5.3. Relatie grondwaterstand en biotiek

In sectie 5.1 werd duidelijk dat de grondwaterstand aanzienlijk verschilt tussen de systemen. Vooral op de percelen met een nieuw WIS lagen de grondwaterstanden gemiddeld hoger dan op andere percelen. Daarnaast bleek er binnen elk systeem veel variatie in grondwaterstanden te zijn. Om beter inzicht te krijgen in het effect van de grondwaterstand op de biodiversiteit, is voor een aantal soortengroepen het aantal soorten of de biomassa uitgezet tegen de variatie in grondwaterstand (figuur 36 links) en de gemiddelde zomergrondwaterstand (figuur 36 rechts). Nachtvinders, libellen en dagvinders zijn niet meegenomen in deze analyse. Bij de nachtvinders is dit omdat de vangst sterk afhangt van andere factoren in beheer waardoor er veel variatie is tussen de meetmomenten. Bij libellen speelt de oevervegetatie een grotere rol en van dagvinders zijn er te weinig waargenomen.

Het aantal plantensoorten op een perceel lijkt niet samen te hangen met de variatie van de grondwaterstand (figuur 36, links) of de gemiddelde zomergrondwaterstand (figuur 36, rechts). Voor oevervegetatie zien we echter wél een trend zichtbaar: het aantal waargenomen plantensoorten neemt af bij een hogere coëfficiënt van variatie, oftewel bij grotere schommelingen in de grondwaterstand gedurende het groeiseizoen. Mogelijk profiteert de oevervegetatie van een stabielere grond- en slootwaterstand omdat de oever dan geen sterke wisselingen tussen zeer droge en zeer natte omstandigheden ervaart, maar constant redelijk nat blijft. Wat betreft de biomassa van vliegende insecten langs de oever, lijkt er een positieve correlatie te bestaan tussen de biomassa en de grondwaterstand: hoe lager de grondwaterstand en hoe groter de variatie, hoe hoger de biomassa op de plakvallen. Echter is de spreiding tussen de percelen groot, daarom is het waarschijnlijk dat andere factoren dan de grondwaterstand een minstens even grote rol spelen. Op het perceel zelf is er geen verband zichtbaar tussen de insectenbiomassa op de plakvallen en de variatie in of hoogte van de grondwaterstand. Figuur 22 (pagina 43) suggereert dat de optimale grondwaterstand voor regenwormen rond de 40 cm ligt, aangezien daar de hoogste biomassa aan regenwormen werd gemeten. Dit patroon komt echter niet duidelijk terug in figuur 36. Dit verschil kan mogelijk verklaard worden doordat figuur 22 de grondwaterstand op het moment van bemonstering gebruikt, terwijl figuur 36 de gemiddelde zomergrondwaterstand en de variatie over een langere periode weergeeft. De grondwaterstand op het moment van meten lijkt dus meer te zeggen voor de regenwormen dan gemiddelde grondwaterstanden door het seizoen heen. Als laatste hebben we gekeken naar de bodembewonende ongewervelden. De gevonden aantallen variëren sterk per meetmoment. Ook hier is geen duidelijke relatie met de grondwaterstand gevonden (figuur 36) en bovendien is de variatie in aantal ongewervelden erg groot, niet alleen tussen de meetmomenten maar ook binnen de meetmomenten.

Als we het type waterbeheer buiten beschouwing laten, zien we voor de meeste soortgroepen geen duidelijke effecten van de variatie in en hoogte van de grondwaterstand. Dit duidt erop dat andere beheersfactoren een grotere rol spelen dan de grondwaterstand alleen.



Figuur 36. De relatie tussen de coëfficiënt van variatie van de grondwaterstand (links) en de gemiddelde zomer grondwaterstand (rechts) tussen een aantal groepen.

5.4. Samenvatting resultaten veldstudie

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten en conclusies die op basis van dit onderzoek getrokken kunnen worden voor de verschillende soortgroepen.

Groep	Effect klimaatmaatregelen
<i>Regenwormen</i>	De regenwormenbiomassa lag hoger op referentie- en WIS-percelen dan op agrarische natuurpercelen. Echter zijn er op agrarische natuurpercelen meer strooiselbewoners gevonden welke een belangrijke voedselbron voor weidevogels zijn. Omdat de optimale grondwaterstand voor regenwormen rond de 40 cm ligt kan een effectieve WIS waarbij rond die grondwaterstand gestuurd wordt helpen bij de hoeveelheid regenwormen. Beweiden heeft een positief effect op regenwormen evenals bemesten met ruige mest.
<i>Vegetatie perceel</i>	De vegetatie op het perceel wordt op regulier beheerde percelen (referentie- en WIS-percelen) gedomineerd door Engels raaigras. Op agrarische natuurpercelen komen gemiddeld meer plantensoorten voor en is de plantengemeenschap anders. Landgebruik (mate van bemesting etc.) heeft een groter effect op het aantal plantensoorten dan de grondwaterstand.
<i>Vegetatie oever</i>	Oevers zijn over het algemeen vrij soortenrijk langs alle typen percelen en spelen indirect een belangrijke rol in de biodiversiteit van andere soortgroepen, zoals insecten en weidevogels. Op alle typen percelen is slechts één rode lijst plantensoort gevonden (moerasbasterdwederik).
<i>Bodembewonende ongewervelden</i>	Bodembewonende ongewervelden zijn een belangrijke voedselbron voor weidevogelkuikens. Hun aantallen variëren sterk per jaar en meetmoment. Maaibeeld lijkt een effect te hebben op de aanwezigheid van grotere ongewervelden op een perceel.
<i>Vliegende insecten</i>	Langs de oevers zijn meer grote insecten op plakvallen gevonden dan op de percelen zelf.
<i>Nachtvinders</i>	Per vangst zijn er gemiddeld meer nachtvinderssoorten gevangen op de agrarische natuurpercelen dan op referentie- en WIS-percelen. Nachtvinders die op de rode lijst staan zijn voornamelijk gevonden op de agrarische natuurpercelen. Veel nachtvinderssoorten zijn afhankelijk van oevervegetatie voor een deel van hun levenscyclus.
<i>Dagvlinders</i>	Er zijn niet veel dagvlinders waargenomen. De aanwezigheid van nectar- en waardplanten kan de hoeveelheid dagvlinders vergroten.
<i>Libellen</i>	De aanwezigheid van voldoende oevervegetatie is cruciaal voor veel libellensoorten. Hoe meer oevervegetatie hoe meer libellen. Oeverbeheer speelt daarom een grotere rol in de hoeveelheid libellen die waargenomen worden dan de klimaatmaatregelen op het perceel.

5.5. Discussie veldstudie

Keuzes omtrent de gemonitorde biodiversiteit

In deze veldstudie zijn verschillende soortgroepen gemonitord om inzicht te krijgen in het effect van klimaatmaatregelen, zoals WIS en agrarisch natuurbeheer, op de biodiversiteit in het westelijk veenweidegebied. Deze brede monitoring geeft waardevolle informatie over het effect van de grondwaterstand en beheer op deze groepen. De biodiversiteit in het veenweidegebied is echter breder dan de soortgroepen die in dit onderzoek zijn meegenomen. Zo hebben wij niet naar het leven in de sloot gekeken en zijn daarmee groepen als vissen, amfibieën en reptielen ook niet onderzocht. Daarnaast zijn weidevogels, een iconische groep in dit gebied, niet rechtstreeks onderzocht. Wel is er gekeken naar hun voedselbeschikbaarheid. Dit biedt, alhoewel indirect, relevante informatie over de geschiktheid van de percelen als broed- en foerageergebied voor weidevogels.

Voor de groepen vegetatie, regenwormen, nachtvlinders, libellen en dagvlinders hebben we alles op soortniveau gedetermineerd. Van deze groepen kunnen we dus iets zeggen over hun biodiversiteit. Bij bodembewonende en vliegende ongewervelden is niet alles op soort gebracht. Deze groepen zijn overwegend tot op ordeniveau (en in sommige gevallen iets verder) gedetermineerd. Daardoor kunnen we geen gedetailleerde uitspraken doen over het aantal soorten of de precieze soortensamenstelling binnen deze groepen en hoe deze verschilt tussen de verschillende typen systemen. Bij deze soortgroepen hebben we ons gericht op de functionele biodiversiteit, namelijk aantallen kleiner en groter dan 4 mm en de biomassa, beiden als een maat voor weidevogelkuikenvoedsel.

De keuze om niet alle soortgroepen mee te nemen en tot op soortniveau te determineren is bewust gemaakt om een balans te vinden tussen de breedte van het onderzoek en de beschikbare expertise, tijd en infrastructuur. Uit eerder literatuuronderzoek (Van Mulken et al. 2024) is gebleken dat er zeer weinig bekend is over de relatie tussen veel soortgroepen en waterstand in het veenweidegebied. Veel onderzoeken richten zich op natuurlijke systemen en hoogvenen. Daarom is in het voorliggende onderzoek de keuze gemaakt om te starten met een brede scan van soortgroepen als algemene maat voor natuurkwaliteit en biodiversiteit. Zoals duidelijk is geworden uit de resultaten reageren verschillende soortgroepen ook verschillend op klimaatmaatregelen door de soms grote verschillen in de eisen die zij stellen aan hun habitat. Hiermee ontstaat een goed algemeen beeld van de belangrijkste sturende factoren voor biodiversiteit en welke soortgroepen gevoelig zijn voor klimaatmaatregelen.

Aanbevelingen voor verdiepend onderzoek

Voor onderbouwing van besluitvorming over het koppelen van klimaatdoelen aan doelen voor natuurbeleid verdient het aanbeveling om verdiepend onderzoek te doen naar doelsoorten voor natuurbeheer (Rode Lijst soorten en soorten van de Vogel- en Habitatrichtlijn). Veel van deze soorten zullen slechts deels afhankelijk zijn van habitat met agrarisch medegebruik. Daarnaast blijkt uit onze studie dat ook voor de algemenere soorten de invloed van factoren op landschapsschaal een belangrijke invloed hebben op de diversiteit en abundantie op agrarische percelen, los van de specifieke beheermaatregelen die daar worden genomen.

Verdiepend onderzoek zou zich daarom ook meer op de landschapsschaal moeten richten, waarbij ook specifiek de interactie tussen maatregelen op agrarische percelen en natuurgebieden wordt meegenomen.

Het effect van waterinfiltratiesystemen

De ontwikkeling van waterinfiltratiesystemen staat niet stil. In dit onderzoek zijn dan ook percelen onderzocht met verschillende 'generaties' WIS. De buizen bij een oud WIS hebben vaak een grotere onderlinge afstand en buizen kwamen direct uit in de sloot in plaats van in een verzamelput terwijl het laatste in de praktijk effectiever blijkt te zijn bij het sturen van de grondwaterstanden. Uit sectie 5.1 blijkt dat nieuwe WIS de grondwaterstand in de zomer significant verhogen tot 40-50 cm en de grondwaterstand door het jaar heen stabiel maken. Op percelen met een ouder WIS zijn geen duidelijke veranderingen in de grondwaterstand waargenomen ten opzichte van de referentiepercelen. Dit is dan ook de reden waarom de WIS-percelen zijn verdeeld in WIS-oud en WIS-nieuw in deze studie. Het grootste deel van de WIS-oud percelen ligt echter in polder Ronde Hoep en polder Groot Wilnis-Vinkeveen terwijl de nieuwere WIS in polder Spengen, Lange Weide en Zegveld liggen. Hierdoor is het lastig onderscheid te maken tussen poldereffecten en het effect van oude versus nieuwe WIS. Over het algemeen was er geen duidelijk verschil in biodiversiteit tussen WIS-oud, WIS-nieuw en referentiepercelen. Wel lijkt de slootwaterkwaliteit bij de WIS-nieuw systemen wat anders te zijn (lagere chloride gehalten, EGV en alkaliniteit). Als we deze echter vergelijken met de slootwaterkwaliteit naast de referentiepercelen binnen dezelfde poldergebieden, lijkt dit vooral een poldereffect te zijn, omdat de waterkwaliteit tussen referentie en WIS percelen in deze polders gelijk is. Mogelijk hangt de betere waterkwaliteit in deze polders samen met de iets hogere hoeveelheid oeverplantsoorten die gevonden zijn in deze polders (en dus ook op de WIS-nieuw percelen).

6. Synthese

In dit onderzoek is het effect van klimaatmaatregelen op de biodiversiteit in het westelijk veenweidegebied onderzocht. In een brede veldstudie is de biodiversiteit gemonitord op regulier beheerde percelen (referentiepercelen), regulier beheerde percelen met een waterinfiltratiesysteem (WIS percelen) en agrarische natuurpercelen. Er is gekeken naar de volgende soortgroepen: regenwormen, vegetatie, bodembewonende ongewervelden, vliegende insecten, nachtvlinders, libellen en dagvlinders. Daarnaast is in een veenkolommenproef gekeken naar het effect van vernatten op de nutriëntendynamiek en het bodemleven. Samen geven deze onderzoeken een duidelijk beeld van de effecten van WIS en agrarische natuurpercelen op de biodiversiteit.

WIS geeft geen significante veranderingen in biodiversiteit

Er is binnen dit onderzoek naar zowel oudere WIS als nieuwere WIS gekeken. Deze systemen verschillen van elkaar in dat bij WIS-oud de drainagebuizen uitkomen in de sloot terwijl ze bij WIS-nieuw eerst in een verzamelput uitkomen. Onze metingen laten zien dat de nieuwere WIS een duidelijk effect hebben op de grondwaterstand waarbij de gemiddelde zomergrondwaterstand bij toepassing van nieuwe WIS uitkomt op 40-50 cm beneden maaiveld terwijl dit bij de andere percelen rond de 60 cm ligt. Daarnaast zijn de verschillen in grondwaterstand tussen winter en zomer kleiner op de WIS-nieuw percelen. Ook ander onderzoek laat zien dat nieuwere drains effectiever zijn. Met name als er met AWIS (drukdrainage) actief op een verhoogde grondwaterstand gestuurd wordt (Aben et al., 2024). Ondanks deze veranderingen in grondwaterstand hebben we geen duidelijk effect van WIS gevonden op de biodiversiteit. De resultaten van de veenkolommenproef bevestigen dit. Zo waren er pas duidelijke veranderingen in nutriëntendynamiek (abiotiek) en bodemleven te zien bij een grondwaterstand van 20 cm beneden maaiveld (hoofdstuk 3). Dus wanneer WIS wordt ingezet waarbij de grondwaterstand verhoogd wordt tot 40 cm beneden maaiveld, zoals bij de WIS-nieuw percelen binnen deze studie, zal dit zonder extra maatregelen niet automatisch een win-win opleveren met de biodiversiteit omdat er bij deze grondwaterstand weinig verandert op perceelniveau en de effecten op biodiversiteit dus klein zullen zijn (Heuts et al., 2024).

Ook op de hoogwaterboerderij in Zegveld, waar AWIS effectief wordt ingezet en waarbij gestuurd wordt op een grondwaterstand van 20 cm beneden maaiveld, hebben we slechts een beperkt effect van de grondwaterstand op de biodiversiteit waargenomen. WIS is hier pas sinds 2020 geïmplementeerd en de eerste jaren is de 20 cm beneden maaiveld niet overall bereikt. Hierdoor is het mogelijk dat er de komende jaren nog wel duidelijkere veranderingen in de vegetatie zichtbaar worden. Eerder onderzoek laat zien dat er pas duidelijke veranderingen in vegetatie plaatsvinden bij een grondwaterstand van 20-30 cm beneden maaiveld (Van Dijk et al., 2007). Dit was op percelen die niet meer in agrarisch gebruik waren. Het is daarom nog onduidelijk hoe de vegetatie zich de komende jaren zal ontwikkelen op percelen met een hoge grondwaterstand die wel nog in regulier agrarisch gebruik zijn. Daarnaast wordt deze (relatief hoge) grondwaterstand in de praktijk (nog) niet vaak nagestreefd op WIS-percelen die in regulier agrarisch gebruik zijn. De eerste conclusie uit dit

onderzoek is daarom dat wanneer de grondwaterstand (beperkt) verhoogd wordt met WIS bij eenzelfde agrarische bedrijfsvoering er geen grote veranderingen in biodiversiteit verwacht mogen worden.

Beheer heeft meer invloed op biodiversiteit dan de grondwaterstand

Een tweede conclusie van dit onderzoek is dat het beheer op het perceel een veel grotere rol speelt voor veel soortgroepen dan de grondwaterstand. Alhoewel de grondwaterstand voor veel groepen zeker een belangrijke rol speelt, spelen andere factoren in beheer een grotere rol bij gedeeltelijke vernatting. Waar er tussen de referentie- en WIS-percelen vrijwel geen verschil is gemeten in de gemeten groepen was dit wel het geval tussen deze percelen en de agrarische natuurpercelen. Zo zijn er op de agrarische natuurpercelen meer plantensoorten, nachtvlindersoorten en libellensoorten gevonden. Ook zijn er meer unieke soorten gevonden die niet op andere perceeltypen gevonden zijn. Dit is zeer waarschijnlijk het gevolg van het gevoerde beheer. Het beheer was namelijk vrijwel gelijk op de WIS- en referentiepercelen, maar aanzienlijk anders op de agrarische natuurpercelen. Op de agrarische natuurpercelen werd alleen ruige mest uitgereden en extensief beweid en werd er later en minder vaak gemaaid dan op de referentie- en WIS-percelen. Ook op de hoogwaterboerderij is het effect van beheer zichtbaar. Zo zagen we daar een groot positief effect van beweiden en slechts een beperkt effect van de hogere grondwaterstanden op de regenwormenbiomassa.

Het verbeteren van de biodiversiteit is bij deels vernatten één van de doelen, samen met het remmen van de bodemdaling en het omlaag brengen van de broeikasgasemissies. Onze derde conclusie is dan ook dat als er met behulp van WIS gezocht wordt naar een win-win, waarbij minder bodemdaling en minder broeikasgasemissies gepaard gaan met biodiversiteitswinst, WIS gecombineerd zal moeten worden met een minder intensief beheer. Waar veel referentie- en WIS-percelen niet veel van elkaar verschilden qua biodiversiteit en ze over het algemeen dezelfde algemene soorten bevatten, observeerden we behalve meer soorten bovendien meer variatie in soortensamenstelling tussen de verschillende agrarische natuurpercelen. De gemiddelde biodiversiteit per perceel lag op deze percelen dus niet alleen hoger, ook was er meer diversiteit tussen de percelen en daarmee was dus ook de biodiversiteit op landschapsschaal hoger, dankzij de agrarische natuurpercelen.

Advies: als WIS wordt ingezet met als doel ook de biodiversiteit te bevorderen, combineer WIS dan met een extensiever en gevarieerder beheer.

Variatie in het landschap is belangrijk

Diversiteit in het landschap en de daardoor ontstane variatie in omstandigheden is belangrijk omdat verschillende groepen ook verschillende eisen stellen aan hun omgeving. Door binnen een bedrijf/polder door het hele seizoen heen voldoende variatie te creëren wordt de kans verhoogd dat er op elk moment een geschikte plek is voor de meeste soorten. Wanneer er

overal tegelijk gemaaid en mest uitgereden wordt vindt overal tegelijk verstoring plaats. Als soorten dan net in een kwetsbare fase (bijvoorbeeld larvestadium) zitten en niet aan deze verstoring kunnen ontsnappen kunnen ze (grotendeels) verdwijnen uit de polder. Hetzelfde geldt voor soorten die wel kunnen ontsnappen aan de verstoring maar vervolgens nergens anders binnen de polder terecht kunnen omdat overal gemaaid is en er nergens geschikte foerageer- of beschuttingsplekken zijn. Kansen voor biodiversiteit op bedrijfsniveau en polderniveau liggen daarom voornamelijk in het creëren van deze variatie (Benton et al., 2003).

In onderstaande tabel staat een lijst met maatregelen die helpen bij het behouden van de variatie binnen een polder door het seizoen heen. Deze tabel is gebaseerd op zowel de resultaten van dit onderzoek als expertkennis vanuit het onderzoeksteam.

Maatregel	Biodiversiteit groep	Mechanisme en effect
Natuurvriendelijke oevers aanleggen	Libellen, vliegende insecten, nachtvlinders, vegetatie, weidevogels, reptielen, amfibieën, zoogdieren	Oevers zijn al soortenrijk. Door het oppervlakte aan oevers te vergroten (wat het geval is bij natuurvriendelijke oevers) helpt dit de biodiversiteit door de aanwezigheid van meer nectar- en waardplanten. Ook is een brede, niet steile, oever een goede schuil- en foerageerplek voor zoogdieren en weidevogelkuikens.
Oevers gefaseerd maaien	Libellen, vliegende insecten, dag- en nachtvlinders, vegetatie, weidevogels	Oevervegetatie is essentieel voor veel soorten. Voor veel vliegende insecten voor de nectar, voor libellen voor luwte, warmte, uitrusten en uitsluipen, voor nachtvlinders voor voedsel en verpoppen. Gefaseerd maaien van de oevers zorgt ervoor dat deze soorten niet overal tegelijk verstoord worden en er voor veel insecten een waardplant beschikbaar is.
Deel van de oevervegetatie laten staan in de winter	Libellen, vliegende insecten, nachtvlinders, vegetatie	Ook in de winter hebben insecten een schuilplaats of overwinterplek nodig en deze wordt veelal gevonden in de oevers. Sommige nachtvlindersoorten overwinteren in één specifieke waardplant. Het is dus belangrijk dat ook in de winter een deel van de oevervegetatie blijft staan.
Sloten gefaseerd en ecologisch schonen	Waterplanten, insecten, amfibieën, reptielen, vissen	Slootschonen is een grote verstoring voor alles wat in de sloot leeft. Om soorten in de sloot een uitweg te bieden bij deze verstoring is het daarom belangrijk om de sloten gefaseerd en ecologisch te schonen. Zo worden minder dier- en plantsoorten tegelijk verstoord.
Vorbeweiden op een deel van de percelen	Veel insecten, weidevogels, vegetatie	Vorbeweiden zorgt ervoor dat de vegetatie later in het seizoen minder dicht is, hierdoor hebben veel kruiden meer kans en ook zorgt dit voor een hogere doorwaadbaarheid voor weidevogelkuikens.

		Daarnaast ontstaat hierdoor een ongelijk maaimoment tussen percelen die wel en niet voorbeweid zijn, wat bijdraagt aan de variatie binnen een bedrijf doordat de gewashoogte tussen de percelen in april-juni meer verschilt. De koeienvlaaien bij het voorbeweiden trekken veel insecten aan en zijn goed voor regenwormen juist op het moment waarop ze een belangrijke voedselbron voor weidevogels zijn.
Ruige mest uitrijden of helemaal niet bemesten op een deel van de percelen	Bodemleven, weidevogels, nachtvlinders	Ruige mest uitrijden zorgt voor minder verstoring dan drijfmest injecteren. Dit is gunstig voor insecten zoals bijvoorbeeld nachtvlinders, waarvan de larven in de bodem zitten. Maar dit verhoogt ook het aandeel regenwormen dat beschikbaar is voor weidevogels. Daarnaast resulteert ruige mest in een tragere grasgroei wat beter is voor weidevogels en meer kansen biedt aan kruiden. Door de hogere hoeveelheid organisch materiaal voedt ruige mest het bodemleven.
Percelen gefaseerd maaien (een deel pas later maaien)	Bodembewonende ongewervelden, vliegende insecten, vegetatie, weidevogels	Belangrijk voor met name grotere insecten zodat ze voldoende tijd krijgen om hun levenscyclus te volbrengen. Daarmee is er een hogere voedselbeschikbaarheid op percelen die nog niet gemaaid zijn. Ook kunnen soorten uitwijken naar nabijgelegen percelen als er niet overal tegelijk gemaaid wordt. Gefaseerd maaien kan zowel plaatsvinden binnen een perceel als tussen percelen.

Infographic

Bovenstaande adviezen zijn samengevat in een infographic. [HIER LINK PLAATSEN](#)

7. Referenties

- Aben, R., Boonman, J., Craats, D. van de, Nouta, R., Kruijt, B., 2024. Integratierapport Waterinfiltratie. NOBV.
- Ausden, M., Sutherland, W.J., James, R., 2001. The effects of flooding lowland wet grassland on soil macroinvertebrate prey of breeding wading birds. *J. Appl. Ecol.* 38, 320–338. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00600.x>
- Bardgett, R.D., McAlister, E., 1999. The measurement of soil fungal:bacterial biomass ratios as an indicator of ecosystem self-regulation in temperate meadow grasslands. *Biol. Fertil. Soils* 29, 282–290. <https://doi.org/10.1007/s003740050554>
- Beintema, A., O. Moedt & D. Ellinger (1995) *Ecologische Atlas van de Nederlandse Weidevogels*. Schuyt & Co Uitgevers en Importeurs BV, Haarlem.
- Bobuřská, L., Demková, L., Čerevková, A., Renčo, M., 2020. Impact of Peatland Restoration on Soil Microbial Activity and Nematode Communities. *Wetlands* 40, 865–875. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01214-2>
- Bos, J.F.F.P., Smit, A.L., Schröder, J.J., 2013. Is agricultural intensification in the Netherlands running up to its limits? *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 66, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2013.06.001>
- Bridgman, S.D., Johnston, C.A., Schubauer-Berigan, J.P., Weishampel, P., 2001. Phosphorus Sorption Dynamics in Soils and Coupling with Surface and Pore Water in Riverine Wetlands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 577–588. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.652577x>
- Brouwer, K., de Hullu, E., van Duinen, G.-J., 2022. Potgrond uit paludicultuur: dubbele bescherming van het veen. 2050, 5–6.
- Caraco, N.F., Cole, J.J., Likens, G.E., 1989. Evidence for sulphate-controlled phosphorus release from sediments of aquatic systems. *Nature* 342, 189–92.
- Carey, C.J., Dove, N.C., Beman, J.M., Hart, S.C., Aronson, E.L., 2016. Meta-analysis reveals ammonia-oxidizing bacteria respond more strongly to nitrogen addition than ammonia-oxidizing archaea. *Soil Biol. Biochem.* 99, 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.05.014>
- CBS, 2024. Populaties dagvlinders meer dan gehalveerd sinds 1992. Website: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/13/populaties-dagvlinders-meer-dan-gehalveerd-sinds-1992>
- Cesarz, S., Ciobanu, M., Wright, A.J., Ebeling, A., Vogel, A., Weisser, W.W., Eisenhauer, N., 2017. Plant species richness sustains higher trophic levels of soil nematode communities after consecutive environmental perturbations. *Oecologia* 184, 715–728.

<https://doi.org/10.1007/s00442-017-3893-5>

Curry, J.P., 2004. Factors affecting the abundance of earthworms in soil, in: Edwards, C.A. (Ed.), *Earthworm Ecology*. Second Ed. s. CRC Press LLC, Boca Raton, pp. 263–286.

De Felici, L., Piersma, T., Howison, R.A., 2019. Abundance of arthropods as food for meadow bird chicks in response to short- And long-term soil wetting in Dutch dairy grasslands. *PeerJ* 2019, 1–22. <https://doi.org/10.7717/peerj.7401>

de Jong, H., van Schie, A., 2022. Toekomstbestendige polder Lange Weide: Polderbreed waterinfiltratiesysteem en dynamisch waterpeil. Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden 5–28.

de Vries, F.T., Hoffland, E., van Eekeren, N., Brussaard, L., Bloem, J., 2006. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2092–2103. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.008>

De Vries, H.H., Kok, J. (2024) Resultaten Agrarisch Meetnet Libellen 2023. Rapport VS2024.006, De Vlinderstichting, Wageningen.

Deru, J.G.C., Bloem, J., de Goede, R., Brussaard, L., van Eekeren, N., 2023. Effects of organic and inorganic fertilizers on soil properties related to the regeneration of ecosystem services in peat grasslands. *Appl. Soil Ecol.* 187, 104838. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104838>

Deru, J.G.C., Bloem, J., de Goede, R., Keidel, H., Kloen, H., Rutgers, M., van den Akker, J., Brussaard, L., van Eekeren, N., 2018. Soil ecology and ecosystem services of dairy and semi-natural grasslands on peat. *Appl. Soil Ecol.* 125, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.12.011>

Donald, P.F., Sanderson, F.J., Burfield, I.J., van Bommel, F.P.J., 2006. Further evidence of continent-wide impacts of agricultural intensification on European farmland birds, 1990–2000. *Agric. Ecosyst. Environ.* 116, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.02.007>

Du Preez, G., Daneel, M., De Goede, R., Du Toit, M.J., Ferris, H., Fourie, H., Geisen, S., Kakouli-Duarte, T., Korthals, G., Sánchez-Moreno, S., Schmidt, J.H., 2022. Nematode-based indices in soil ecology: Application, utility, and future directions. *Soil Biol. Biochem.* 169. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108640>

Edwards, K.R., Bárta, J., Mastný, J., Pícek, T., 2023. Multiple environmental factors, but not nutrient addition, directly affect wet grassland soil microbial community structure: a mesocosm study. *FEMS Microbiol. Ecol.* 99, 1–15. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiad070>

Ellis, W., Groenendijk, D., Groenendijk, M., Huigens, T., Jansen, M., van der Meulen, J., van Niekerken, E., de Vos, R., 2013. Nachtvinders belicht: dynamisch, belangrijk, bedreigd.

- Emsens, W.J., Aggenbach, C.J.S., Smolders, A.J.P., van Diggelen, R., 2015. Topsoil removal in degraded rich fens: Can we force an ecosystem reset? *Ecol. Eng.* 77, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.029>
- Emsens, W.J., van Diggelen, R., Aggenbach, C.J.S., Cajthaml, T., Frouz, J., Klimkowska, A., Kotowski, W., Kozub, L., Liczner, Y., Seeber, E., Silvennoinen, H., Tanneberger, F., Vicena, J., Wilk, M., Verbruggen, E., 2020. Recovery of fen peatland microbiomes and predicted functional profiles after rewetting. *ISME J.* 14, 1701–1712. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0639-x>
- EU rapport natuurherstelwet 2024 final version: [Verordening \(EU\) 2024/1991 van het Europees Parlement en de Raad van 24 juni 2024 inzake natuurherstel en tot wijziging van Verordening \(EU\) 2022/869 \(Voor de EER relevante tekst\)](#)
- Ferris, H., Bongers, T., De Goede, R.G.M., 2001. A framework for soil food web diagnostics: Extension of the nematode faunal analysis concept. *Appl. Soil Ecol.* 18, 13–29. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00152-4)
- Fritz, C., van Dijk, G., Smolders, A.J.P., Joosten, H., 2014. Paludicultuur – kansen voor natuurontwikkeling en landschappelijke bufferzones op natte gronden. *Vakbl. Natuur, Bos en Landsch.* 4–9.
- Heuts, T.S., Giersbergen, Q. van, Nouta, R., Nijman, T.P.A., Aben, R.C.H., Scheer, O. van der, Heuts, P.G.M., Skovsholt, L.J., Quadra, G.R., Smolders, A.J.P., Fritz, C., 2024. Shallow drainage of agricultural peatlands without land-use change: have your peat and eat it too. *Front. Environ. Sci.* 12, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1437394>
- Hoekstra, J., Van Schie, A., Van Hardeveld, H.A., 2020. Pressurized drainage can effectively reduce subsidence of peatlands-lessons from polder Spengen, the Netherlands. *Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci.* 382, 741–746. <https://doi.org/10.5194/piahs-382-741-2020>
- Jansma, A.P., Hoekstra, N., Eekeren, van, N., 2021. Koeien en kruiden : de meerwaarde van kruidenrijk grasland voor weidevogel, koe en boer. *Hogesch. Van Hall Larenstein*. <https://doi.org/10.31715/2021.5>
- Kitson, E., Bell, N.G.A., 2020. The Response of Microbial Communities to Peatland Drainage and Rewetting. A Review. *Front. Microbiol.* 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.582812>
- Kleijn, D., Schekkerman, H., Dimmers, W.J., Van Kats, R.J.M., Melman, D., Teunissen, W.A., 2010. Adverse effects of agricultural intensification and climate change on breeding habitat quality of Black-tailed Godwits *Limosa l. Limosa* in the Netherlands. *Ibis (Lond. 1859)*. 152, 475–486. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2010.01025.x>
- Koerselman, W., Kerkhoven, M.B. Van, Verhoeven, J.T.A., 1993. Release of Inorganic N , P and K in Peat Soils ; Effect of Temperature , Water Chemistry and Water Level Published by : Springer Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/1468907> REFERENCES Linked references are available on JSTOR for this article : You ma. *Biogeochemistry* 20, 63–81.

- Koreleff, F., 1976. Determination of ammonia. In: *Methods of Seawater Analysis*. Edited by K. Grasshoff, M. Ehrhardt and K. Kremling., in: Verlag Chemie. pp. 126–133.
- Kreyling, J., Tanneberger, F., Jansen, F., van der Linden, S., Aggenbach, C., Blüml, V., Couwenberg, J., Emsens, W.J., Joosten, H., Klimkowska, A., Kotowski, W., Kozub, L., Lennartz, B., Liczner, Y., Liu, H., Michaelis, D., Oehmke, C., Parakenings, K., Pleyl, E., Poyda, A., Raabe, S., Röhl, M., Rücker, K., Schneider, A., Schrautzer, J., Schröder, C., Schug, F., Seeber, E., Thiel, F., Thiele, S., Tiemeyer, B., Timmermann, T., Urich, T., van Diggelen, R., Vegelin, K., Verbruggen, E., Wilmking, M., Wrage-Mönnig, N., Wołejko, L., Zak, D., Jurasinski, G., 2021. Rewetting does not return drained fen peatlands to their old selves. *Nat. Commun.* 12, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25619-y>
- Laiho, R., 2006. Decomposition in peatlands: Reconciling seemingly contrasting results on the impacts of lowered water levels. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2011–2024. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.02.017>
- Lamers, L.P.M., Smolders, A.J.P., Roelofs, J.G.M., 2002. The restoration of fens in the Netherlands. *Hydrobiologia* 478, 107–130. <https://doi.org/10.1023/A:1021022529475>
- Lamers, L.P.M., Tomassen, H.B.M., Roelofs, J.G.M., 1998. Sulfate-induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environ. Sci. Technol.* 32, 199–205. <https://doi.org/10.1021/es970362f>
- Lamers, L.P.M., Vile, M.A., Grootjans, A.P., Acreman, M.C., van Diggelen, R., Evans, M.G., Richardson, C.J., Rochefort, L., Kooijman, A.M., Roelofs, J.G.M., Smolders, A.J.P., 2015. Ecological restoration of rich fens in Europe and North America: from trial and error to an evidence-based approach. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 90, 182–203. <https://doi.org/10.1111/brv.12102>
- Lori, M., Hartmann, M., Kundel, D., Mayer, J., Mueller, R.C., Mäder, P., Krause, H.M., 2023. Soil microbial communities are sensitive to differences in fertilization intensity in organic and conventional farming systems. *FEMS Microbiol. Ecol.* 99, 1–13. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiad046>
- Mentzer, J.L., Goodman, R.M., Balsler, T.C., 2006. Microbial response over time to hydrologic and fertilization treatments in a simulated wet prairie. *Plant Soil* 284, 85–100. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-0032-1>
- Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27, 31–36. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)
- Olde Venterink, H., Pieterse, N.M., Belgers, J.D.M., Wassen, M.J., De Ruiter, P.C., 2002. N, P, AND K BUDGETS ALONG NUTRIENT AVAILABILITY AND PRODUCTIVITY GRADIENTS IN WETLANDS, *Ecological Applications*.
- Onrust, J., Piersma, T., 2019. How dairy farmers manage the interactions between organic

- fertilizers and earthworm ecotypes and their predators. *Agric. Ecosyst. Environ.* 273, 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.005>
- Onrust, J., Wymenga, E., Piersma, T., Olf, H., 2019. Earthworm activity and availability for meadow birds is restricted in intensively managed grasslands. *J. Appl. Ecol.* 56, 1333–1342. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13356>
- Postma-Blaauw, M.B., De Goede, R.G.M., Bloem, J., Faber, J.H., Brussaard, L., 2010. Soil biota community structure and abundance under agricultural intensification and extensification. *Ecology* 91, 460–473. <https://doi.org/10.1890/09-0666.1>
- Richardson, C.J., 1985. Mechanisms Controlling Phosphorus Retention. *Science* (80-). 228, 1424–1427.
- Schaffers, A. P., Raemakers, I. P., Sýkora, K. V., & Ter Braak, C. J. (2008). Arthropod assemblages are best predicted by plant species composition. *Ecology*, 89(3), 782-794.
- Schekkerman, H., Beintema, A.J., 2007. Abundance of invertebrates and foraging success of Black-tailed Godwit *Limosa limosa* chicks in relation to agricultural grassland management. *Ardea* 95, 39–54. <https://doi.org/10.5253/078.095.0105>
- Scherber, C., Eisenhauer, N., Weisser, W.W., Schmid, B., Voigt, W., Fischer, M., Schulze, E.D., Roscher, C., Weigelt, A., Allan, E., Beler, H., Bonkowski, M., Buchmann, N., Buscot, F., Clement, L.W., Ebeling, A., Engels, C., Halle, S., Kertscher, I., Klein, A.M., Koller, R., König, S., Kowalski, E., Kummer, V., Kuu, A., Lange, M., Lauterbach, D., Middelhoff, C., Migunova, V.D., Milcu, A., Müller, R., Partsch, S., Petermann, J.S., Renker, C., Rottstock, T., Sabais, A., Scheu, S., Schumacher, J., Temperton, V.M., Tcharntke, T., 2010. Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment. *Nature* 468, 553–556. <https://doi.org/10.1038/nature09492>
- Schippers, W., Bax, I., Gardeniers, M., 2014. Ontwikkelen van kruidenrijk grasland. Uitgeverij Jan van Arkel, Utrecht.
- Smolders, A., Diggelen, J. van, Geurts, J., Poelen, M., ROelofs, J., Lucassen, E., Lamers, L., 2013. Waterkwaliteit in het veenweidegebied: De complexe interacties tussen oever, waterbodem en oppervlaktewater. *Landschap* 30, 145–153.
- Smolders, A.J.P., Lamers, L.P.M., Lucassen, E.C.H.E.T., Van Der Velde, G., Roelofs, J.G.M., 2006. Internal eutrophication: How it works and what to do about it - A review. *Chem. Ecol.* 22, 93–111. <https://doi.org/10.1080/02757540600579730>
- Smolders, A.J.P., Lucassen, E.C.H.E.T., Bobbink, R., Roelofs, J.G.M., Lamers, L.P.M., 2010. How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: The sulphur bridge. *Biogeochemistry* 98, 1–7. <https://doi.org/10.1007/s10533-009-9387-8>

- Struwe-Juhl, B. (1995). Effects of conservation measures in the Hohner See area on numbers, breeding success and feeding ecology of the Black-tailed Godwit (*L. limosa*). *Corax*, 16, 153-172.
- Tanis, M.F. (Marco., Marshall, L., Biesmeijer, J.C. (Koos., van Kolfshoten, L., 2020. Grassland management for meadow birds in the Netherlands is unfavourable to pollinators. *Basic Appl. Ecol.* 43, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2019.12.002>
- Tiemeyer, B., Kahle, P., 2014. Nitrogen and dissolved organic carbon (DOC) losses from an artificially drained grassland on organic soils. *Biogeosciences* 11, 4123–4137. <https://doi.org/10.5194/bg-11-4123-2014>
- Timmerman, A., Bos, D., Ouweland, J., de Goede, R.G.M., 2006. Long-term effects of fertilisation regime on earthworm abundance in a semi-natural grassland area. *Pedobiologia (Jena)*. 50, 427–432. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2006.08.005>
- Valk, H., Leusink-Kappers, I.E., Van Vuuren, A.M., 2000. Effect of reducing nitrogen fertilizer on grassland on grass intake, digestibility and milk production of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 63, 27–38. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00118-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00118-9)
- Van Agtmaal, M., Keuskamp, J., 2023. Klei in veen als maatregel tegen veenafbraak
Verkennde laboratoriumproeven met veen en klei uit Friesland. Louis Bolk Instituut.
- Van den Akker, J.J.H., Kuikman, P.J., de Vries, F., Hoving, I.E., Pleijter, M., Hendriks, R.F.; Wolleswinkel, R.J., Simões, R.T.L., Kwakernaak, C., 2008. Emission of CO₂ from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. *Proc. 13th Int. Peat Congr. After Wise Use – Futur. Peatlands Vol. 1. Int. Peat Soc.* 645–648.
- Van den Born, G.J., Kragt, F., Henkens, D., Rijken, B.C., van Bommel, B., Sluis, van der, S.M., Polman, N., Bos, E.J., Kuhlman, T. Kwakernaak, C., 2016. Dalende bodems, stijgende kosten: mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied: beleidsstudie. PBL-publicatie 1064. (No. PBL-publicatie 1064). Planbur. voor Leefomgeving, Den Haag. Van der Maarel, E., 1979.
- van der Laan, A., van Dijk, J., Rebel, K.T., Wassen, M.J., 2024. Rewet without regret? Nutrient dynamics in fen peat exposed to different rewetting degrees. *Biogeochemistry* 167, 705–721. <https://doi.org/10.1007/s10533-024-01139-x>
- van der Laan, A., van Eekeren, N., Wassen, M. J., Rebel, K. T., & van Dijk, J. (2025). Soil biota response to raised water levels and reduced nutrient inputs in agricultural peat meadows. *Applied Soil Ecology*, 207. DOI: [10.1016/j.apsoil.2025.105932](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2025.105932)
- van der Weijden, A.G.G., Guldmond, J.A., 2006. Wormenland en vliegjesland : bemesting in relatie tot voedsel voor de grutto. *Clm*;646 - 2006.
- van Dijk, J., Didden, W.A.M., Kuenen, F., van Bodegom, P.M., Verhoef, H.A., Aerts, R., 2009. Can

- differences in soil community composition after peat meadow restoration lead to different decomposition and mineralization rates? *Soil Biol. Biochem.* 41, 1717–1725. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.05.016>
- van Dijk, J., Stroetenga, M., Bos, L., van Bodegom, P.M., Verhoef, H.A., Aerts, R., 2004. Restoring natural seepage conditions on former agricultural grasslands does not lead to reduction of organic matter decomposition and soil nutrient dynamics. *Biogeochemistry* 71, 317–337. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0079-0>
- Van Dijk, J., Stroetenga, M., Van Bodegom, P.M., Aerts, R., 2007. The contribution of rewetting to vegetation restoration of degraded peat meadows. *Appl. Veg. Sci.* 10, 315–324. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2007.tb00430.x>
- van Eekeren, N., de Boer, H., Bloem, J., Schouten, T., Rutgers, M., de Goede, R., Brussaard, L., 2009. Soil biological quality of grassland fertilized with adjusted cattle manure slurries in comparison with organic and inorganic fertilizers. *Biol. Fertil. Soils* 45, 595–608. <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0370-2>
- van Grunsven, R., van der Laan, A., 2024. Veenweidevernatting en insecten. Rapport VS2024.013. De Vlinderstichting, Wageningen.
- Van Mulken, M.W.E., Van Dijk, J., Schot, P.P., Van der Laan, A., Temmink, R.J.M., Van Eekeren, N.J.M., Bestman, M.W.P., Wassen, M.J. 2024. Kansen voor biodiversiteit bij klimaatmaatregelen in het laagveen. De invloed van vernattingstrategieën op de kansenrijkdom. Driebergen, 2024
- Van Swaay, C.A.M., Bos-Groenendijk, G.I., Deijk, J.R. van, Grunsven, R.H.A. van, Kok, J.M., Huskens, K. & Poot, M. (2018). Handleiding landelijke meetnetten vlinders, libellen en nachtvlinders. Rapport VS2018.011, De Vlinderstichting, Wageningen www.vlinderstichting.nl/telformulieren-en-handleidingen/
- Verhoeven, J.T.A., Setter, T.L., 2010. Agricultural use of wetlands : opportunities and limitations 155–163. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp172>
- Verhulst, J., Melman, T.C.P., de Snoo, G.R., 2008. Voedselaanbod voor gruttokuikens in de Hollandse veenweidegebieden. *Alterra-rapport*;1668.
- Vermaat, J.E., Harmsen, J., Hellmann, F.A., van der Geest, H.G., de Klein, J.J.M., Kosten, S., Smolders, A.J.P., Verhoeven, J.T.A., Mes, R.G., Ouboter, M., 2016. Annual sulfate budgets for Dutch lowland peat polders: The soil is a major sulfate source through peat and pyrite oxidation. *J. Hydrol.* 533, 515–522. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.038>
- Voigt, W., Perner, J., Hefin Jones, T., 2007. Using functional groups to investigate community response to environmental changes: Two grassland case studies. *Glob. Chang. Biol.* 13, 1710–1721. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01398.x>

- Wasilewska, L., 2006. Changes in the structure of the soil nematode community over long-term secondary grassland succession in drained fen peat. *Appl. Soil Ecol.* 32, 165–179. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.07.003>
- Wei, X., Cao, R., Wu, X., Eisenhauer, N., Sun, S., 2018. Effect of water table decline on the abundances of soil mites, springtails, and nematodes in the Zoige peatland of eastern Tibetan Plateau. *Appl. Soil Ecol.* 129, 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.05.006>
- Whalen, J.K., Parmelee, R.W., Edwards, C.A., 1998. Population dynamics of earthworm communities in corn agroecosystems receiving organic or inorganic fertilizer amendments. *Biol. Fertil. Soils* 27, 400–407. <https://doi.org/10.1007/s003740050450>
- Wu, X., Cao, R., Wei, X., Xi, X., Shi, P., Eisenhauer, N., Sun, S., 2017. Soil drainage facilitates earthworm invasion and subsequent carbon loss from peatland soil. *J. Appl. Ecol.* 54, 1291–1300. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12894>
- Xu, S., Wang, M., Zhou, J., Huang, Y., Zhang, J., Wang, S., 2023. Soil bacteria, archaea, and enzymatic activity of natural and rewetted peatlands display varying patterns in response to water levels. *Catena* 228, 107191. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107191>
- Zak, D., Gelbrecht, J., 2007. The mobilisation of phosphorus, organic carbon and ammonium in the initial stage of fen rewetting (a case study from NE Germany). *Biogeochemistry* 85, 141–151. <https://doi.org/10.1007/s10533-007-9122-2>
- Zak, D., Wagner, C., Payer, B., Augustin, J., Gelbrecht, J., 2010. Phosphorus mobilization in rewetted fens: The effect of altered peat properties and implications for their restoration. *Ecol. Appl.* 20, 1336–1349. <https://doi.org/10.1890/08-2053.1>
- Zorn, M.I., Van Gestel, C.A.M., Eijsackers, H., 2005. Species-specific earthworm population responses in relation to flooding dynamics in a Dutch floodplain soil. *Pedobiologia (Jena)*. 49, 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2004.08.004>
- Zorn, M.I., Van Gestel, C.A.M., Morrien, E., Wagenaar, M., Eijsackers, H., 2008. Flooding responses of three earthworm species, *Allolobophora chlorotica*, *Aporrectodea caliginosa* and *Lumbricus rubellus*, in a laboratory-controlled environment. *Soil Biol. Biochem.* 40, 587–593. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.028>