DEFINITIEF

Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) jaarrapportage 2019-2020

Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) jaarrapportage 2019-2020

Auteur(s)

Gilles Erkens, Sanneke van Asselen, Saskia Hommes, Roel Melman, Hans van Meerten, Harry van Essen - DELTARES, UTRECHT/DELFT

Merit van den Berg, Ralf Aben, Christian Fritz – Radboud Universiteit Nijmegen, NIJMEGEN

Rudi Hessel, Daniel van de Craats, Harry Massop, Paul Gerritsen, Jan van den Akker, Jordy van 't Hull, Gerard Velthof – Wageningen Environmental Research, WAGENINGEN

Ype van de Velde, Ko van Huissteden, Jim Boonman, Ron Lootens - Vrije Universiteit Amsterdam, AMSTELVEEN

Mariet Hefting, Joost Keuskamp – Universiteit Utrecht, UTRECHT

Ronald Hutjes, Bart Kruijt, Wietse Franssen – Wageningen Universiteit & Research, WAGENINGEN

Bas van de Riet, Gijs van Dijk, Fons Smolders – Onderzoekcentrum B-WARE, NIJMEGEN

Partners

DELTARES, UTRECHT/DELFT
Radboud Universiteit Nijmegen, NIJMEGEN
Wageningen Environmental Research, WAGENINGEN
Vrije Universiteit Amsterdam, AMSTELVEEN
Universiteit Utrecht, UTRECHT
Wageningen Universiteit & Research, WAGENINGEN
Onderzoekcentrum B-WARE, NIJMEGEN

Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) jaarrapportage 2019-2020

Opdrachtgever	STOWA
Contactpersoon	Pui Mee Chan
Referentie	Erkens, G. et al., 2020. Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) jaarrapportage 2019-2020. NOBV-rapport ref 11204108, 171 pp.
Trefwoorden	

Documentgegevens	
Versie	2.0
Datum	2 december 2020
Projectnummer	11204108
Document ID	
Pagina's	171
Status	Definitief Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoudsopgave

1	**Aanleiding en doelstelling NOBV**	**6**
1.1	Context en aanleiding	6
1.2	Doelstelling NOBV	7
1.3	Doel van deze rapportage	9
1.4	Leeswijzer	10
2	**Aanpak en opzet NOBV**	**11**
2.1	Inzicht in de werking van het systeem	11
2.2	Onderzoeksaanpak en -opzet	13
2.3	Onderzoeksaanpak meetjaar 1	14
3	**Gebruikte methoden en standaard inrichting**	**16**
3.1	CO_2 flux	17
3.2	CO_2/CH_4 flux	19
3.3	N_2O flux	19
3.4	Grondwaterstand	23
3.5	Bodemvocht en -temperatuur	28
3.6	Tensiometer	29
3.7	Redoxpotentiaal	31
3.8	Zuurstofgehalte	32
3.9	Meteo-sensoren	32
3.10	Bodembeweging	33
3.11	Bodemonderzoek	39
3.12	Biogeochemie	45
3.13	Bodemincubatie metingen	49
4	**Opzet sites**	**54**
4.1	Inleiding	54
4.2	Aldeboarn - Friesland	57
4.3	Assendelft – Noord-Holland	62
4.4	Rouveen – Overijssel	68
4.5	Vlist – Zuid-Holland	80
4.6	Zegveld – Utrecht	83
4.7	Vliegtuigmetingen – ZW Friesland, Groene Hart en Kop van Overijssel	90
5	**Geleerde lessen**	**92**
5.1	Methoden	92
5.2	Installatie	96
5.3	Beheer en onderhoud	97
5.4	De waarde van meetreeksen	97
5.5	Meerwaarde van het consortium	98
6	**Eerste resultaten en vervolgstappen**	**99**
6.1	Inleiding en disclaimer	99
6.2	CO_2 fluxen	99
6.3	N_2O flux	107
6.4	Grondwaterstanden	110
6.5	Bodemvocht	115
6.6	Tensiometer	117

6.7 Redoxpotentiaal 119
6.8 O_2 120
6.9 Bodemtemperatuur 120
6.10 Meteo-sensoren 121
6.11 Bodembeweging 124
6.12 Bodemonderzoek 136
6.13 Biogeochemie 141
6.14 Bodemincubatie 156
6.15 Grasopbrengst 163
6.16 Opzet database 164

7 Vooruitblik meetjaar 2: 2020 – 2021 168
7.1 Focus op doelstellingen 168
7.2 Programmalijn: Kennis over effectiviteit van maatregelen 168
7.3 Programmalijn: Aanleg van nieuwe meetsites op aanvullende pilots 169
7.4 Programmalijn: Monitoring 169

8 Referenties 170

9 Bijlagenlijst 171

1 Aanleiding en doelstelling NOBV

1.1 Context en aanleiding

Voor u ligt de eerste jaarrapportage van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV). Dit onderzoeksprogramma is in september 2019 van start gegaan binnen het klimaatakkoord (Den Haag, 28 juni 2019). In deze jaarrapportage wordt op hoofdlijnen verslag gedaan van de werkzaamheden die in de periode 1 september 2019 tot 1 juli 2020 (meetjaar 1) hebben plaatsgevonden.

De Nederlandse veenweidegebieden en organische gronden zijn momenteel een bron van broeikasgassen. De verhoogde aanwezigheid van de broeikasgassen koolstofdioxide (CO_2), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) in de atmosfeer dragen bij aan het opwarmen van het klimaat. Het Verdrag van Parijs (2015) heeft als doelstelling om de opwarming van het klimaat te beperken door broeikasgasuitstoot te reduceren. In Nederland zijn deze doelstellingen vastgelegd in de klimaatwet (2019) met reductiedoelstelling van 49% van de broeikasgasemissie t.o.v. 1990 in 2030 en een reductiedoelstelling van 95% in 2050. In het klimaatakkoord (2019) wordt door maatschappelijke partijen vastgelegd hoe Nederland aan deze doelstellingen gaat voldoen per uitstoot-sector. Binnen de sector landbouw en landgebruik in het klimaatakkoord is overeengekomen dat de broeikasgassen veenweidegebieden in Nederland met 1 Mton per jaar in 2030 moeten zijn gereduceerd.

Om deze doelstelling te halen moeten de komende tien jaar verschillende maatregelen worden genomen in het landelijk veenweidegebied om de CO_2 uitstoot[1] in het veenweidegebied te verminderen. Om te besluiten wat de juiste mix van maatregelen is waarmee de doelstelling wordt gehaald, is het essentieel om te weten hoeveel een bepaalde maatregel bijdraagt aan het verminderen van broeikasgasuitstoot en wat de onzekerheden rondom de effectiviteit van de maatregel zijn. Daarom is kennisontwikkeling rondom de werking van de verschillende maatregelen een belangrijk onderdeel van het klimaatakkoord. Het NOBV heeft als doel de kennisbasis van broeikasgasuitstoot reductiemaatregelen in het veenweidegebied aanzienlijk te verstevigen en de onzekerheid over haalbare reductiedoelen te verkleinen.

Hoewel in het verleden onderzoeksmatig gemeten is aan broeikasgasuitstoot in veenweidegebieden ontbreekt het vooralsnog aan een structurele monitoring van broeikasgasemissies in deze gebieden. Door de versnipperde en kortdurige meetreeksen is het daarom nog niet gelukt om een vergelijking te maken op grond van de emissies en de onderliggende processen tussen locaties waar maatregelen zijn genomen en locaties waar dit niet gedaan is. Veelal omdat de maatregelen zelf nog experimenteel waren, of omdat aandacht en daarmee financiering voor onderzoek niet aanwezig was. Juist lange termijn meetreeksen en structurele monitoring is essentieel bij het bepalen van de effectiviteit van maatregelenmix die genomen zal worden om de broeikasgasuitstoot uit het veenweidegebied te verminderen. Dit geldt ook voor het volgen, evalueren en eventueel bijsturen van deze maatregelen in de tijd. Het NOBV is een langjarig onderzoeksprogramma dat structurele monitoring omvat van de werking van verschillende maatregelen in pilots in het veenweidegebied.

[1] Hierbij tellen andere broeikasgassen, namelijk lachgas (N_2O) en methaan (CH_4), naar CO_2-equivalenten ook mee. Bij de huidige monitoring van de broeikasgasuitstoot in het veenweidegebied wordt wel de uitstoot van CO_2 gerapporteerd, maar niet die van CH_4. Lachgas wordt gedeeltelijk meegenomen in de monitoringsrapportage.

In januari 2019 hebben een aantal vertegenwoordigers van regionale overheden in het veenweidegebied en betrokkenen bij lokale pilots in het veenweidegebied gesproken met vertegenwoordigers van landelijke onderzoekspartijen. Op basis van dit gesprek zijn de onderzoekspartijen door STOWA, dat als gedelegeerd opdrachtgever opereert namens de veenweidetafel (sinds 2020 regiegroep veenweide), gevraagd om een onderzoeksvoorstel uit te werken voor het klimaatakkoord in de veenweidegebieden met een landelijk onderzoeksconsortium. De financiering voor dit eerste meetjaar is mede verzorgd door Provincie Friesland/Provinsje Fryslân, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, RegioDeal Groene Hart Bodemdaling en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Uit dit onderzoeksvoorstel is begin september 2019 een opdracht voortgevloeid voor het uitvoeren van het onderzoek voor het eerste meetjaar (1 september 2019 – 1 juli 2020). Dit voorliggende document is een van de resultaten van dit eerste onderzoeksjaar.

Dit document is in concept op 1 oktober 2020 opgeleverd aan STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer), gedelegeerd opdrachtgever van het NOBV. STOWA en de leden van de begeleidingscommissie (inhoudelijke medewerkers van provincies en waterschappen) van het NOBV-programma hebben een conceptversie van deze rapportage van commentaar voorzien. Dit commentaar is verwerkt in deze tweede en definitieve versie van 1 december 2020. Dit proces wordt beschouwd als een review. Dit document leent zich niet voor een wetenschappelijke review. Omdat het eerste meetjaar vooral in het teken stond van het opstarten van de metingen en het onderzoeksprogramma, zijn er maar zeer beperkt wetenschappelijke resultaten en kan nog geen geïntegreerde analyse gemaakt worden. Daarom wordt in deze rapportage vooral illustratief een aantal voorbeelden gegeven van het type metingen dat de komende jaren te verwachten is. Met deze rapportage hebben de auteurs ook niet geprobeerd compleet te zijn. Door het anekdotische karakter van dit document zijn onderdelen goed apart te gebruiken en is dit geen document om van begin tot eind door te lezen.

1.2 Doelstelling NOBV

Er bestaan verschillende vragen rondom het voornemen om de broeikasgasuitstoot in het veenweidegebied[2] te verminderen. Er leven vragen over de effecten van verschillende maatregelen op de grondwaterstand, de bodemdaling en de broeikasgasuitstoot. Ook zijn er vragen over de variatie die kan optreden in de werking van maatregelen in ruimte en tijd. Daarnaast zijn er vragen naar hoe verschillende mechanismes werken die leiden tot broeikasgasuitstoot in de veengebieden en of maatregelen nog kunnen worden geoptimaliseerd. Maar er leven ook vragen over de totale broeikasgasuitstoot in Nederland uit de veengronden. Hoe groot is die? Hoe verhoudt die zich tot de gerapporteerde broeikasgasuitstoot binnen de internationale klimaatverdragen? En wat zijn hotspots van broeikasgasuitstoot in de Nederlandse veengebieden? Tenslotte zijn er vragen over de toekomstige situatie: Hoe kunnen we voorspellen hoeveel broeikasgasuitstoot er met bepaalde mixen van maatregelen te verwachten is? Is het mogelijk om vast te stellen dat Nederland heeft voldaan aan de ambities in het klimaatakkoord wat betreft de veenweidegebieden?

[2] Waar in dit document wordt gesproken over veengebieden wordt bedoeld alle gronden in Nederland waar in de bovenste 120 cm cumulatief tenminste 10 cm aan organische materiaal voorkomt. Dit zijn over het algemeen de moerige en venige gronden volgens de bodemclassificatie.

De hierboven genoemde maatschappelijke en technische vragen (niet noodzakelijkerwijs compleet) hebben geleid tot het formuleren van vier doelstellingen voor het NOBV. Het behalen van deze doelstellingen zou de basis leggen voor het beantwoorden van de eerdergenoemde vragen. Het NOBV werkt daarom aan de volgende doelstellingen:

i. het bepalen van de effecten van maatregelen in het veenweidegebied op broeikasgasuitstoot en bodemdaling;
ii. het opstellen van een meetprotocol voor het meten van broeikasgasuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied;
iii. het actualiseren en optimaliseren van het modelinstrumentarium voor het voorspellen van broeikasgasuitstoot en bodemdaling; en
iv. het opbouwen van een landelijk dekkend meetnetwerk dat gebruikt kan worden voor langjarige monitoring van de broeikasgasuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied.

Voor doelstellingen i) en iii) is mechanistisch begrip nodig over het uitstoten en opnemen van broeikasgassen in de veenbodem en van de processen die leiden tot bodemdaling. Dit is de onderliggende voorwaardelijke doelstelling van het NOBV om aan de hoofddoelstellingen te voldoen. Voor zowel doelstelling i) als voor doelstelling iv) worden metingen uitgevoerd, waarbij de metingen ten behoeve van doelstelling i) zijn geoptimaliseerd voor het begrip van de onderliggende processen terwijl de metingen voor doelstelling iv) zijn geoptimaliseerd om op grote ruimtelijke schaal te kunnen worden uitgevoerd voor langere duur. In sommige gevallen zijn de uitgevoerde metingen voor beide doeleinden geschikt. In andere gevallen kunnen metingen die zijn uitgevoerd voor een van de twee doelstellingen wel bijdragen aan het verwezenlijken van de andere doelstelling.

Naast broeikasgasuitstoot gelden deze doelstellingen ook voor bodemdaling. De koppeling tussen deze twee onderwerpen vindt zijn oorsprong in het feit dat veenafbraak zowel broeikasgasuitstoot als bodemdaling veroorzaakt. Daarnaast wordt bodemdaling in het landelijk veengebied gebruikt als proxy voor de hoeveelheid broeikasgasuitstoot. De koppeling van deze onderwerpen heeft meerwaarde, omdat op deze manier inzichtelijk gemaakt kan worden wat maatregelen opleveren voor het reduceren van broeikasgasuitstoot en bodemdaling.

In de eerste jaren heeft het NOBV als primair doel om de effecten van verschillende maatregelen op de uitstoot van broeikasgassen en bodemdaling in het veenweidegebied te bepalen en om bepalende variabelen (bv. bodemeigenschappen, grondwaterstand, microbiële omstandigheden) in kaart te brengen. Deze variabelen kunnen, op termijn, tevens gebruikt worden om een landelijk beeld te verkrijgen van broeikasgasuitstoot (en bodemdaling). In het eerste meetjaar (2019-2020, deze rapportage) is een begin gemaakt met de structurele monitoring van de uitstoot van broeikasgassen en bodemdaling bij verschillende maatregelen in het veenweidegebied verspreid over heel Nederland. Ook is in het eerste meetjaar een start gemaakt met het fundamenteel onderzoek dat nodig is voor het verkrijgen van mechanistisch begrip.

In het eerste meetjaar is ook gewerkt aan het meetprotocol (doelstelling 2), waarvan tegelijktijdig met dit document een eerste versie wordt opgeleverd. Dit meetprotocol wordt steeds geactualiseerd en aangevuld de komende jaren. In het eerste meetjaar is beperkt gewerkt aan doelstellingen 3 en 4. De komende jaren wordt voorzien in een steeds verdere verschuiving naar activiteiten die bijdragen aan het bepalen van doelstellingen 3 en 4. Uiteindelijk moeten de resultaten van het onderzoek bijdragen aan het verbeteren van de voorspellende capaciteit op het gebied van broeikasgasuitstoot en bodemdaling bij toekomstscenario's en strategieën (middels numerieke modellen). Het meetnetwerk, bestaande uit de meetinstallaties bij de verschillende maatregelen en aangevuld met meetstations geoptimaliseerd voor opschaling en monitoring, moet uiteindelijk ons in staat stellen om langdurig de broeikasgasuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied te monitoren. Dit alles betekent dat in de komende jaren een verschuiving wordt voorzien van het opbouwen van het gedetailleerd meetsysteem voor doelstelling i) (jaren 2019,

2020, 2021) naar steeds meer investeringen in het mechanistisch begrip, het bepalen van de effecten van maatregelen (jaren 2020, 2021 en verder), en het ontwikkelen van numerieke modellen en uitrollen van een landelijk geoptimaliseerd monitoringssysteem (jaren 2020, 2021 en verder).

Het nationaal onderzoeksprogramma wordt uitgevoerd door een onderzoeksconsortium bestaande uit onderzoeksinstituten en universiteiten: Radboud Universiteit Nijmegen, Wageningen Universiteit, Vrije Universiteit Amsterdam, Universiteit Utrecht, Deltares, Wageningen Environmental Research. Daarnaast zijn er verschillende vaste partners verbonden aan dit programma, zoals B-WARE, Kytalyk Geoscience, Technische Universiteit Delft en Flevo Instruments. Het NOBV wordt uitgevoerd in opdracht van de werkgroep veenweide, waarbij STOWA als gedelegeerd opdrachtgever fungeert. STOWA zit ook de begeleidingscommissie voor, die verder bestaat uit vertegenwoordigers van waterschappen en provincies. Daarnaast is een Wetenschappelijke Adviesraad in oprichting, welke bij zal dragen aan de beoordeling van de wetenschappelijke waarde van het onderzoek en de resultaten.

1.3 Doel van deze rapportage

Deze jaarrapportage is een van de producten die het onderzoeksconsortium oplevert. Deze jaarrapportage kent een aantal doelstellingen. Ten eerste wordt met deze rapportage de activiteiten van meetjaar 1 operationeel afgesloten. In de rapportage wordt verslag gedaan van het werk dat is uitgevoerd gedurende het eerste jaar, overigens zonder dat dit overzicht compleet is. Wetenschappelijk gezien is de jaarrapportage belangrijk omdat in dit document de aanpak en methoden worden geborgd. Met behulp van de informatie in dit document zijn de resultaten van dit onderzoek reproduceerbaar. Ook wordt met dit document de aanpak en methoden ontsloten voor derden die een soortgelijk onderzoek zouden willen uitvoeren. Door de verslaglegging wordt voorkomen dat het wiel opnieuw uitgevonden moet worden. Daarom is er in deze rapportage ook in het bijzonder veel aandacht besteed aan het documenteren van de geleerde lessen. De rapportage fungeert vervolgens ook als logboek van de activiteiten en zodoende kan altijd worden teruggevonden welke keuzes destijds zijn gemaakt. Tenslotte bevat deze rapportage ook een eerste indruk, geleverd door voorbeelden, van de resultaten van het eerste jaar. Aangezien het grootste deel van de tijd is besteed aan het opbouwen en inrichten van de meetlocaties en het uitvoeren van testen van metingen, zijn de meetreeksen nog te kort om resultaten te presenteren. Op basis van het eerste meetjaar en gesprekken met belanghebbenden wordt in deze rapportage ook een vooruitblik gegeven naar de activiteiten die de komende tijd (met name in meetjaar 2) worden uitgevoerd.

Deze jaarrapportage vormt een onderdeel van een serie van producten die door het onderzoeksconsortium worden opgeleverd:

- Een jaarlijkse rapportage over de ervaringen en beslissingen bij het uitvoeren van het onderzoek, met name het inrichten van de nieuwe meetlocaties, in de vorm van een logboek (deze rapportage).
- Een jaarlijkse versie van het meetprotocol (dynamisch document – een document dat steeds geactualiseerd wordt) voor het doelmatig meten van broeikasgassenuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied met een uitwerking voor twee doelstellingen (lokaal/mechanistisch en landelijk/structureel). Van dit meetprotocol wordt gelijktijdig met deze eerste jaarrapportage versie 1 opgeleverd.
- Een jaarlijkse rapportage met een overzicht en analyse van de verkregen data. Dit jaar is dit geïntegreerd in de jaarrapportage (dit document), vanwege het ontbreken van lange meetreeksen.
- Een jaarlijkse versie van een dynamisch document met de onderzoeksstrategie en lange termijn visie op het onderzoek. In dit document staat ook een samenvatting van de plannen voor het komend onderzoeksjaar. Het onderzoeksprogrammavoorstel dat opgeleverd is aan STOWA voorafgaand aan meetjaar 1 is de huidige versie van dit

document (Onderzoeksvoorstel Broeikasgassen uit veenweide v4, d.d. 13 maart 2019). In voorliggend document zijn hier ook onderdelen van opgenomen

- Een jaarlijkse versie van het dynamisch document waarin de voortgang gemaakt met betrekking tot de hoofddoelstellingen van dit onderzoeksprogramma wordt besproken. Dit document is specifiek bedoeld voor gebruik bij beleidsvorming. De opzet is dat in deze rapportage elk jaar een vast aantal vragen worden beantwoorden of aangegeven wordt hoever het onderzoek is bij het de beantwoording van deze vragen. Het gaat dan bijvoorbeeld om vragen als: Wat zijn de effecten van onderwaterdrainage op broeikasgassen? Welke emissie factoren zijn er voor verschillende soorten landgebruik? Ook kan er in deze rapportage beleidsrelevante informatie zoals kengetallen met onzekerheid-ranges worden gegeven. Een eerste versie van dit document wordt in meetjaar 2 opgeleverd.
- Een overzicht van relevante onderliggende rapportages op verschillende onderwerpen (e.g. experimentele meetmethoden, inzet mobiele systemen, wetenschappelijke publicaties die gebruik maken van data verkregen binnen het NOBV, etc.). Een eerste versie hiervan wordt in meetjaar 2 opgeleverd.

Met deze jaarrapportage en met versie v1 van het meetprotocol wordt in hoofdlijnen voldaan aan de onderzoeksuitvraag van STOWA. Op een aantal punten is het onderzoek minder ver gevorderd dan eerder voorzien. Zo was het de verwachting dat op basis van deze jaarrapportage activiteiten voor het meetjaar 2 (2020/2021) nader konden worden gespecificeerd. Gedeeltelijk is dit gelukt en is dit beschreven in de opzet van de meetsites en de geleerde lessen. Voor het maken van een aantal keuzes rondom meetapparatuur en meetstrategieën (bijvoorbeeld belang van in duplo meten) is de voorhanden zijnde meetreeks nog te kort. Het beloofde overzicht van de installeerde apparatuur per locatie is opgenomen in hoofdstuk 3.

1.4 Leeswijzer

Dit document draagt bij aan het halen van een aantal verschillende doelstellingen (zie paragraaf 1.3) en bevat daarom een brede selectie aan typen informatie. In hoofdstuk 2 van deze jaarrapportage wordt de algemene onderzoeksfilosofie en -opzet van het NOBV besproken. Hierin is terug te vinden welke aanpak er is gebruikt om de doelstellingen te halen en wat de redenatie is waarom voor deze aanpak is gekozen. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan de gebruikte methoden in het onderzoek en de standaardinrichting van de meetlocaties. Ook is hier een overzicht opgenomen van alle sensoren en metingen per meetlocatie. Als er is afgeweken van deze standaardinrichting is dit aangegeven in Hoofdstuk 4. In dit hoofdstuk worden ook de specifieke kenmerken per meetlocatie beschreven. In hoofdstuk 5 worden geleerde lessen gedocumenteerd, met name de onverwachte ontdekkingen. Hoofdstuk 6 bevat eerste resultaten van de metingen als voorbeeld voor de metingen die de komende jaren te verwachten zijn. De onderzoeksactiviteiten voor het komend jaar zijn vermeld in Hoofdstuk 7.

2 Aanpak en opzet NOBV

2.1 Inzicht in de werking van het systeem

Het NOBV werkt aan inzicht in de broeikasgasuitstoot en bodemdaling in de Nederlandse organische gronden. Een belangrijk onderdeel van dit onderzoek is het bepalen van de effecten van maatregelen. Veel van de voorgestelde maatregelen (maar niet alle) zijn ingrepen die tot hogere (grond)waterstanden moeten leiden. Achterliggend is de these dat hogere grondwaterstanden leiden tot minder veenafbraak onder invloed van zuurstof en daarmee tot minder broeikasgasuitstoot en bodemdaling. Dit is een voorbeeld van een these waarover op basis van eerdere onderzoeken en kennis aanwezig in het consortium weinig discussie is. De mate waarin hogere grondwaterstanden zorgen voor minder bodemdaling en broeikasgasuitstoot en de invloed van verschillende omgevingsparameters op deze processen is een vraag waar actief aan wordt gewerkt. Om tot een goede vraagstelling te komen en om in staat te kunnen zijn om uit te leggen waarom voor de betreffende aanpak binnen het NOBV is gekozen, geeft deze paragraaf een korte beschrijving van het veensysteem met uitleg van de belangrijkste uitgangspunten voor dit onderzoek. Deze systeembeschrijving is deels gebaseerd op eerder onderzoek, ervaringen en verwachtingen en niet altijd op harde meetgegevens. Met de resultaten van het NOBV-onderzoek worden vervolgens deze verwachtingen getoetst.

Veenbodems bestaan voor het belangrijkste deel uit organische stof wat over millennia is geaccumuleerd in natuurlijke veenvormende moerasgebieden. Het accumulerende plantmateriaal bestaat uit dode plantenresten van onder andere riet, zegge, els, wilg, wollegras, bladmossen en veenmossen. Accumulatie van dit materiaal treedt alleen op wanneer de constante afbraak van het dode plantmateriaal langzamer verloopt dan de productie. Er zijn een aantal verklaringen voor de langzame afbraak van organisch materiaal in deze natuurlijke veenvormende gebieden, te weten 1) de overwegend anaerobe omstandigheden, 2) nutriënten-arme condities, 3) de lage pH en 4) de aanwezigheid van fenolverbindingen die het veen ontoegankelijk maken voor micro-organismen die voor de afbraak en omzetting zorgen.

Sinds de ontginning van veenbodems (1000 AD) is er een sterke maaivelddaling van 1 tot enkele meters opgetreden (Erkens et al., 2016) doordat het veen is gaan compacteren, krimpen en oxideren (veenafbraak door micro-organismen). Veenoxidatie is een van de belangrijkste oorzaken voor bodemdaling in ontgonnen veengebieden en verklaard naar schatting zo'n 70% van de totale bodemdaling (e.g. Schothorst 1977, Erkens et al., 2016, Van Asselen et al., 2018). Deze veenoxidatie na ontginning wordt in gang gezet door het verlagen van de grondwaterstand wat resulteert in een verhoogde zuurstofindringing. Bij deze aerobe afbraak komt de geaccumuleerde organische stof vrij in de vorm van CO_2. Zonder zuurstof verloopt de veenafbraak aanmerkelijk langzamer dan met zuurstof. Echter in voedselrijkere gebieden kan zuurstof nog vervangen worden door andere terminale elektronen-acceptoren zoals nitraat, sulfaat of driewaardig ijzer of CO_2. Bij deze anaerobe afbraak kunnen de broeikasgassen lachgas of methaan vrijkomen. Hoewel deze gassen een hogere bijdrage hebben aan het broeikaseffect ("global warming potential") is de uitstoot van methaan en lachgas uit het veenweidegebied momenteel gering in vergelijking tot de CO_2 emissie door de diepe ontwatering.

De belangrijkste maatregel om de veenoxidatie in het veenweidegebied te beperken is het verhogen van de grondwaterstand. Een hoge grondwaterstand beperkt de uitstoot van CO_2, doordat een dunner veenpakket blootgesteld wordt aan zuurstof wat zal leiden tot een verhoogde CO_2 emissie. Maar bij ondiepere grondwaterstanden kan het zijn dat de bijdrage van methaan (en eventueel lachgas) gaan toenemen omdat anaerobe omstandigheden prefaleren en omdat

geproduceerd methaan dan niet meer geoxideerd kan worden in de bovenste bodemlaag. Het is dus belangrijk om hier een evenwicht in te vinden. Duidelijk is dat dit evenwicht wat betreft netto broeikasgasuitstoot niet ligt bij een grondwaterstand aan maaiveld of daarboven, tenzij er actieve veengroei plaatsvindt. Zo kan de aanwezigheid van veenmos – met een grondwaterpeil van 5 à 10 cm onder het maaiveld – zorgen voor methaanoxidatie in het veenmospakket. De verwachting is dat de bulk van de CO_2 emissie afkomstig is uit de bovenste decimeters van het veenprofiel omdat hier een hogere microbiële biomassa aanwezig is, een hogere zuurstof beschikbaarheid en zuurstofaanvoer kan plaatsvinden en een grotere hoeveelheid labiel organisch materiaal beschikbaar. Tevens zal deze toplaag sneller opwarmen en ook fluctueren in bodemvocht (wetting-drying cycles) wat het afbraak proces (en lachgasemissie) kan stimuleren. Ook kan een hoge nutriëntenbeschikbaarheid en/of beschikbaarheid van labiele organische stof de afbraak stimuleren door het zogenaamde priming effect. Wanneer eventuele nutriëntenlimitaties en/of energielimitaties worden opgeheven kan de microbiële biomassa en de enzymproductie sterk toenemen wat leidt tot een versnelde veenafbraak. Belangrijk is om binnen dit onderzoek een onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende bronnen van koolstof (C) die bijdragen aan de CO_2 uitstoot. Er is namelijk opname en uitstoot van snelle kort-cyclische koolstof en de fossiele koolstof uit de bodem en/of het veen (zie verder Figuur 6.1). Bovenin is de kort-cyclische koolstof flux dan ook dominant. Maar in de metingen wordt een mix aan uitstoot uit verschillende bronnen gemeten. Het ontrafelen van de bronnen en de cycli is een belangrijk onderdeel van het NOBV onderzoek en een onderdeel van het opbouwen van het mechanistisch begrip. De CO_2 uitstoot op grotere diepte in het gedraineerde veenprofiel is lager, doordat het veen daar kouder is (minder snel opwarmt) en porien meer gevuld zijn met water. Maar de uitstoot is mogelijk wel voor een groter deel het gevolg van afbraak van organisch materiaal in het veen. Daarom worden er ook parameters in profielen in de bodem gemeten tot in de permanent verzadigde zone.

In de veenlaag boven de grondwaterstand treedt altijd veenoxidatie op. De snelheid van deze aerobe afbraak wordt onder andere bepaald door zuurstofbeschikbaarheid, de bodemtemperatuur en het bodemvocht. Hogere temperaturen zullen het afbraakproces versnellen. Wanneer een veenpakket echter sterk uitdroogt (zoals in droge zomers het geval kan zijn) zal de afbraaksnelheid weer geremd worden. Micro-organismen hebben wel water nodig om actief te kunnen blijven. Daarnaast speelt de pH en het veentype een belangrijke rol in de afbraak. Zure condities (onder de pH 5.0) remmen de afbraak terwijl hogere pH-waarden of kalktoevoeging zal leiden tot een verhoogde afbraaksnelheid. Oxidatiegevoeligheid kan verschillen tussen veentypen. Er wordt van uit gegaan dat veenmosveen een lagere afbraaksnelheid dan zeggeveen, rietveen of bosveen.

Onder de grondwaterspiegel kan ook veenafbraak plaatsvinden. Deze anaerobe afbraaksnelheid hangt af van de samenstelling van het veen (oa degradatiestadium en hoeveelheid fenolverbindingen) en de redoxcondities die een afspiegeling zijn van de beschikbaarheid of aanvoer van oxidatoren (zuurstof, en alternatieve terminale elektronen-acceptoren als nitraat, sulfaat of driewaardig ijzer of CO_2. Naar schatting zal de afbraaksnelheid met alternatieve elektronenacceptoren in de anaerobe zone een factor 2 langzamer zijn dan de aerobe afbraak.

Bovenstaande maakt duidelijk dat verschillende factoren belangrijk kunnen zijn bij het bepalen van het effecten van maatregelen op de broeikasgasuitstoot en bodemdaling. Het bepalen dat de grondwaterstand hoger staat bij een maatregel is veelal onvoldoende om vast te stellen dat er daadwerkelijk ook minder broeikasgassen worden uitgestoten. Door veranderingen in bijvoorbeeld pH waarden, beschikbare nutrienten en verschillen in aandeel labiel organisch materiaal kan bij hogere grondwaterstanden toch (in bepaalde gevallen) de veenafbraak getimuleerd worden in vergelijking tot de controle.

2.2 Onderzoeksaanpak en -opzet

Het meetjaar waarover wordt gerapporteerd in dit document (2019-2020) betreft het eerste meetjaar. De doelstellingen van het NOB zoals die vermeld staan in hoofdstuk 1 zijn allemaal lange termijn doelen, die niet in meetjaar 1 behaald worden. Ook gezien de beperkte capaciteit moesten dus keuzes worden gemaakt waarmee begonnen moest worden, maar wel op zo'n manier dat op langere termijn het onderzoek verder uitgebouwd kan worden. Er is gekozen om voorrang te geven aan het inrichten van meetlocaties, waarbij wordt gemeten aan de broeikasgasfluxen, de bodemdaling en de omgevingsparameters op percelen waar maatregelen zijn genomen en op nabijgelegen referentiepercelen (zonder maatregelen). Hier is voor gekozen omdat het opbouwen van deze meetlocaties tijd kost en door dit zo vroeg mogelijk te starten wordt er een zo lang mogelijk meetreeks verkregen. Ook is aan het onderzoeksconsortium gevraagd om in 2024 een eerste uitspraak te doen over de effecten van maatregelen, bij uitstel zou de meetreeks te kort worden voor deze uitspraak. Overigens is niet uitgesloten dat door beperkte meetduur in 2024 alsnog in beperkte mate antwoord kan worden gegeven op de vraag. Daarnaast kan met het opbouwen van de meetlocaties ervaring worden opgedaan die als input kan dienen voor het meetprotocol (doelstelling van NOBV) en voor de opschalingsmetingen (doelstelling NOBV). Belangrijke onderliggende doelstelling is het vergroten van het fundamenteel begrip van de werking van de processen die leiden tot broeikasgasuitstoot en bodemdaling en ook hieraan is gewerkt in het eerste meetjaar.

Het onderzoeksprogramma heeft zich daarom in meetjaar 1 gericht op:

1. Het inrichten van meetlocaties bestaande uit twee meetplots. Dit wordt op een uniforme manier (zo veel mogelijk) uitgevoerd zodat de meetresultaten en interpretaties vergelijkbaar zijn.
2. Fundamenteel onderzoek: laboratoriumonderzoek gericht op het begrijpen van processen en mechanismen, onder andere uiteindelijk ten behoeve van het actualiseren van bestaande numerieke voorspellingsmodellen.
3. Het maken van een begin met het onderzoek ten behoeve van opschaling en modelleren: hierbij wordt gekeken hoe op grote schaal veengebieden binnen Nederland van elkaar verschillen in broeikasgasemissies.

Wat betreft de meetlocaties is gekozen voor het koppelen van de metingen aan bestaande projecten, indien mogelijk. Dit heeft een aantal voordelen. Ten eerste zijn er dan langere meetreeksen beschikbaar en kunnen uiteindelijk vaak langere meetreeksen verkregen worden dan eerder voorzien. Daarnaast is in die bestaande projecten de maatregel al genomen/aangelegd. Het uitvoeren van een maatregel kan maanden tot jaren duren. De tijd om hierop te wachten was niet voorhanden. Tenslotte is de samenwerking met de bestaande projecten belangrijk, vaak zijn hier al inzichten op gedaan en is er specifieke gebied kennis aanwezig. Ook is de basis-infrastructuur, zowel fysiek als mentaal, aanwezig om onderzoek uit te voeren.

Er is gekozen om in 2019 vijf meetlocaties verspreid over Nederland volledig op dezelfde manier in te richten wat betreft type metingen en methodes. Deze locaties zijn: Aldeboarn, Rouveen, Zegveld, Vlist en Assendelft. Met deze locaties worden de vier grote veenweidegebieden afgedekt (Fries, Overijssels, Noord-Hollands, Utrechts/Zuid-Hollands). Op verschillende locaties zijn verschillende maatregelen genomen (onderwaterdrainage, drukdrainage, peilverhoging, paludicultuur) en verschilt de ondergrondopbouw (dikte van kleidek, dikte en samenstelling van veenlagen, dikte van totale pakket aan slappe lagen). In hoofdstuk 4 wordt dit nader toegelicht.

2.3 Onderzoeksaanpak meetjaar 1

Op alle locaties worden de broeikasgasfluxen, alsmede de omgevingsvariabelen die invloed hebben op die broeikasgassen of die nodig zijn om de fluxen op te schalen, op dezelfde manier gemeten. CO_2 draagt het meeste bij aan de totale emissie en maatregelen zijn vooral gericht op de reductie van de uitstoot, waardoor de focus ligt bij het meten van CO_2. Om langere meetreeksen te kunnen genereren wordt met automatische kamers gemeten. Het voordeel van het meten met deze techniek is dat er een verbinding kan worden gemaakt tussen de (zeer) lokale broeikasgasuitstoot en de activiteiten in de bodem. Door voor automatische kamers te kiezen wordt er jaarrond gemeten en kunnen uiteindelijk jaarbudgetten worden uitgerekend. Om inzicht te krijgen in de broeikasgasuitstoot op iets grotere schaal, kan de eddy covariance techniek worden gebruikt. In meetjaar 1 is deze techniek toegepast in Aldeboarn om een vergelijking te maken met de kamermetingen en inzicht te krijgen in de broeikasgasuitstoot op perceelschaal. In Zegveld wordt deze techniek toegepast om de momenten van broeikasgasopname en -uitstoot (ook van methaan) in een lisdoddeveld vast te stellen.

Naast het grootschalig inzetten op het meten van broeikasgasuitstoot bij verschillende maatregelen, is het belangrijk om de onderliggende processen die leiden tot broeikasgasuitstoot onder de verschillende scenario's voor grondwaterstand, waterkwaliteit en bodemgebruik te begrijpen. Aanvoer van water via onderwaterdrains in de zomer heeft bijvoorbeeld niet alleen invloed op grondwaterstand, maar ook op bodemtemperatuur en beschikbaarheid van nutriënten of elektronenacceptoren voor microbieel metabolisme. Dit kan in sommige gevallen de afbraak van veen versnellen. Daarnaast leiden veranderingen van redox-condities tot verschuivingen in microbiële processen, die bijvoorbeeld kunnen leiden tot hogere CH_4 emissie. Daarom is het nodig om naast de CO_2 metingen aan het oppervlak, ook bodemtemperatuur, redoxcondities, bodemwaterchemie en vochtgehalte in verticale profielen te meten op meerdere momenten in het jaar.

Grondwaterstanden worden gezien als één de belangrijke bepalende parameters. Grondwaterstanden meten op één plek in het perceel levert echter geen goed beeld op van de grondwaterstanden in veenweidepercelen. Het is bekend dat de grondwaterstanden tussen de drainerende elementen (sloten, greppels, drainagebuizen) sterk kunnen uitzakken op opbollen, afhankelijk van de profielopbouw en de doorlatendheid van het veen. Daarom wordt er op meerdere locaties binnen een meetplot en op het perceel continu gemeten.

Bodemvocht in het profiel boven de grondwaterstand speelt een belangrijke rol te spelen in de veenafbraak. Daarom wordt nu in het gehele profiel (tot 90 cm) gemeten met dezelfde methode. Bodemvochtmetingen in veen is echter niet eenvoudig, daarom is er gekozen om op drie locaties (Aldeboarn, Rouveen en Zegveld) ook met tensiometers de drukhoogte te meten. Hiermee kan het percentage met lucht gevulde poriën worden bepaald. Bodemtemperatuur is een andere belangrijke factor voor microbiële activiteit. Bij bodemvochtsensoren wordt over het algemeen ook temperatuur gemeten en wordt deze variabele dus op dezelfde dieptes in kaart gebracht.

Alle CO_2 reductiemaatregelen zijn erop gericht om aerobe veenoxidatie (met zuurstof) terug te dringen. Om daadwerkelijk te zien of dit effect voldoende optreedt wordt ook het redox potentiaal gemeten. Hiermee kan niet alleen gezien worden of er zuurstofloze omstandigheden zijn, maar ook of er anaerobe veenoxidatie (zonder zuurstof) plaats kan vinden. Omdat redoxpotentiaal niet altijd direct te vertalen is naar de aan- of afwezigheid van zuurstof wordt op twee locaties op dezelfde dieptes naast redox ook zuurstofmetingen gedaan.

De verschillen in broeikasgasemissies en bodemdaling tussen de locaties kunnen tevens veroorzaakt worden door verschil in statische bodemeigenschappen tussen de verschillende veengebieden. Daarom is voor elke meetlocatie gemeten aan de bodemkarakteristieken zoals

bodemopbouw, organische stofgehalte, labiel koolstof fractie, mate van veendegradatie, nutriënten, plasticiteit (niet overal), krimpkarakteristiek, botanische samenstelling en droge bulk dichtheid. Deze bodemeigenschappen kunnen ook variëren in de tijd en daarom zijn sommige van deze eigenschappen gedurende meerdere momenten in het jaar gemeten.

Wat betreft fundamenteel onderzoek is er in 2019 gestart met bodemincubaties in het lab voor het begrijpen op welke diepte en met welk veentype potentieel de meeste broeikasgasproductie plaatsvindt. Met deze incubatie-experimenten is het ook mogelijk te testen wat de invloed is van de veranderende bodemcondities (temperatuur, vochtgehalte, aanwezigheid elektronenacceptoren/oxidator, pH, etc.) op veenoxidatie snelheid. Deze informatie biedt inzicht tot welke diepte vernatten het meest effect heeft.

Met deze locaties wordt een beeld van de effecten van maatregelen op vijf verschillende plekken en welke omgevingsvariabelen belangrijk zijn daarbij. Deze locaties zijn representatief voor een bepaald deel van het veenweidegebied, maar representativiteit was niet een van de bepalende criteria. Ook is het veenweidegebied wat betreft bodemopbouw, watersysteem en beheer nogal divers. Dit blijkt ook wel uit de variatie in veen- en bodemtypes tussen de meetlocaties. Deze meetlocaties kunnen op zichzelf dan ook niet gebruikt worden om een beeld te krijgen van de uitstoot van de Nederlandse veenweidegebieden. Hiervoor zijn aanvullende metingen noodzakelijk, die op grotere schaal plaatsvinden en/of opschaling mogelijk maken. In het eerste meetjaar is hiermee een begin gemaakt. Zo zijn in het eerste meetjaar een aantal keer directe CO_2-flux metingen uit gevoerd boven het landschap vanaf een klein vliegtuig, de ‘PH-WUR, dat laag (30-60 m) en langzaam (100 km/uur) over het landschap vliegt. Hierbij kan met een ruimtelijke resolutie van ongeveer 2 km de netto CO_2 flux (uitstoot of opname) worden gemeten en vlakdekkend in kaart gebracht voor het gebied waar gevlogen wordt. Met statistische methoden en door herhaald en op verschillende tijden van de dag te vliegen kan ook de flux worden bepaald voor de belangrijkste landgebruiks- en bodemtypen.

Om bodemdaling als toekomstige parameter mee te nemen, wordt er op alle meetlocaties bodemdaling gemeten. Indien er een duidelijke link gelegd kan worden tussen bodemdaling en broeikasgasuitstoot (of meerdere links afhankelijk van de omstandigheden), dan kunnen landelijke bodemdaling monitoring resultaten gebruikt worden om broeikasgasemissies op te schalen naar landelijke schaal. Op twee locaties (Rouveen en Zegveld) wordt vlakdekkend bodemdaling gemeten met alle voorhanden zijnde technieken: met extensometers, met traditionele handmetingen (dit wordt ook op andere locaties uitgevoerd ter vergelijking), een GNSS (GPS) meetpaal, airborn LiDAR (drone en vliegtuig), en radarsatellietmetingen (InSAR). Het toepassen van verschillende methoden is bedoeld om -net zoals bij de broeikasgasmetingen - te kunnen bepalen welke meettechniek optimaal is voor het volgen van bodemdaling. Extensometers kunnen de relatie tussen krimp-zwel en CO_2-uitstoot aan het licht brengen. Alle vijf locaties zijn daarom uitgerust met deze sensoren. Op basis van deze metingen kunnen we niet alleen – op termijn – bepalen wat de (dagelijkse) dynamiek is in bodemhoogte en waar die vanaf hangt (welke diepte vinden de processen plaats), maar dit biedt ook inzicht in hoe lang gemeten moet worden voordat effecten van maatregelen op de lange termijn bodemdaling zichtbaar zijn.

3 Gebruikte methoden en standaard inrichting

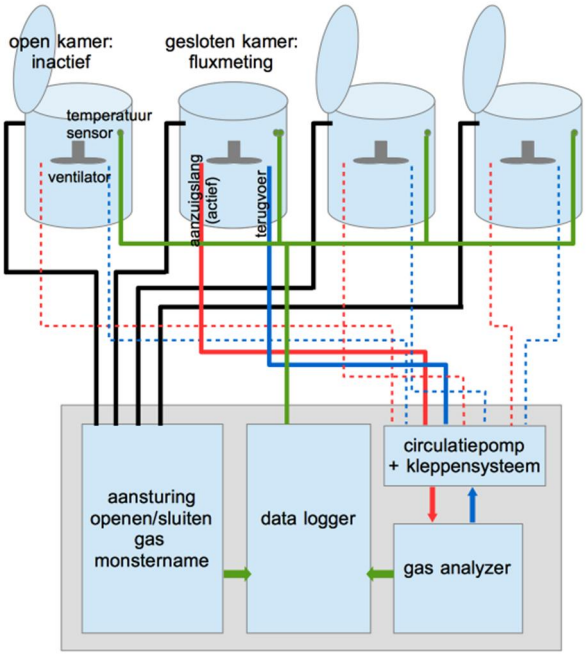
Meting	Methode/type meting	Locaties	NOBV partner	Aantal per plot	Sensor-/systeemtype
CO_2 flux	Automatische kamers	ALB, ASD, ROV, VLI, ZEG1	RU, WENR, VU	4 kamers, 1 gas analyzer	Eosense in ALB, ROV, ZEG. VU kamers in ASD en VLI Gas analyzer: LI-850 (CO_2/H_2O)
CO_2 flux	Vliegtuigmetingen/ EC		WU	-	-
CO_2/CH_4 flux	Eddy covariance	ALB, ZEG3	WU, VU	2, resp 1	LI-7500DS (CO_2), LI-7700 (CH_4)
N_2O/CO_2 flux	Handmatige kamers	ZEG2	WENR	1	Picarro G2508 (N_2O/CH_4/CO_2/H_2O)
Grondwater-stand		ALB, ASD, ROV, VLI, ZEG1	RU, WENR, Deltares	7	Ellitrack-D waterstandlogger (Leiderdorp Instruments) met telemetrie
Bodemvocht	TDR/TDT	ALB, ASD, ROV, VLI, ZEG1	RU	3	Sentek Drill & Drop (1x) GroPoint Profile (5x)
Tensiometer		ALB, ROV, ZEG1, ZEG2	WENR	6-9	TEROS 32 (METER)
Redox potentiaal		ALB, ASD, ROV, VLI, ZEG1	VU	3	Paleo Terra (Amsterdam)
O_2		ALB, ASD	VU	8	OXYBase (PreSens)
Bodem-temperatuur		ALB, ASD, ROV, VLI, ZEG1			Ingebouwd in GroPoint en Redox profielsensoren
Meteo-sensoren	stralingscomponenten (8x), RH, lucht temperatuur, windsnelheid/richting, regen, fluxplaatjes	ALB, ASD, ROV, VLI, ZEG	WU	1 station per locatie	Kipp&zonen, Skye, Gill-Maximet, Huxefllux, CR1000x datalogger
Maaiveldbe-weging	Waterpassen	ZEG	Deltares	perceelsniveau	Waterpasinstrument en baak
	Extensometer	ALB, ASD, ROV, VLI, ZEG1	Deltares	1 per perceel	Specialistisch ontwerp met borros ankers, ontworpen voor slappe gronden.
	LiDAR	ZEG	Deltares	Hele KTC Zegveld terrein	LiDAR aan drone, laser aan mobiel statief
	InSAR	ZEG, ROV	Deltares	Plot en weide omgeving	Radar satellietbeelden (Sentinel 1-a/b)
Bodem-onderzoek	Profielbeschrijving, monstername (conform BRO), lab-analyses	ALB, ASD, ROV, VLI, ZEG1	WENR, Deltares	Boringen op perceelsniveau, monstername voor labanalyse op puntlocatie	Handboringen, Deltares Large Diameter Sampler, samendrukkingsproeven, bepaling dichtheid, organische stof- en C-gehalte
Biogeo-chemie	Poriewater, oppervlaktewater	ALB, ASD, ROV, VLI, ZEG1	B-WARE	5	Lysimeters
Bodem-incubatie	aerobe respiratie, SIR-substraat induced respiration substraatgebruik met BIOLOG	ALB, ASD, ROV, VLI, ZEG1	UU	4 per perceel 3-4 dieptes	Respirometer Platereader

3.1 CO_2 flux

3.1.1 Automatische kamers

Een relatief goedkope en overal toepasbare methode voor het meten van CO_2 fluxen is het gebruik van kamers. Deze bestaan uit een aan de onderzijde open, luchtdichte ruimte die over de bodem geplaatst wordt. Door op regelmatige tijdstippen luchtmonsters te nemen wordt de verandering van de concentratie CO_2 in de kamer gemeten. Als de concentratie over de tijd toeneemt, komt er netto CO_2 vrij uit de bodem en de planten die zich in de kamer bevinden. Als de concentratie afneemt, wordt er CO_2 opgenomen, door de fotosynthese van planten. Dat laatste gebeurt alleen overdag, en als de kamer van transparant materiaal gemaakt is. Uit de toe- of afname van de CO_2 concentratie in de kamer kan de *flux* berekend worden - de hoeveelheid CO_2 die door bodem + vegetatie per oppervlakte-eenheid en per tijdseenheid wordt afgegeven/opgenomen.

De gasconcentratie wordt tegenwoordig doorgaans in het veld bepaald door middel van aan de kamer gekoppelde gasanalyse-apparatuur. Deze gasanalyse-apparatuur heeft zich in het laatste decennium in sneltreinvaart ontwikkeld. Voor CO_2 is deze relatief goedkoop, voor andere broeikasgassen (CH_4, N_2O) veel duurder. Met de huidige generatie gasanalyse-apparatuur voor kamers kan een meetfrequentie van een meting per seconde bereikt worden, waardoor binnen een paar minuten een betrouwbare flux-bepaling mogelijk is.



Figuur 3.1: Schema automatisch kamersysteem. Zwart: besturing van deksel; groen: data voor temperatuur en eventueel andere omgevingsvariabelen kamer; rood+blauw: aanzuig- en terugvoerleiding voor lucht uit de kamer naar de gasanalyzer. Doorgetrokken lijnen geven de actieve leidingen tijdens een fluxmeting aan.

De meetmethoden met kamers hebben zich snel ontwikkeld. Voorheen waren kamermetingen met de hand uitgevoerd, waren daardoor arbeidsintensief en konden maar een paar keer per dag gedaan worden, meten in de nacht werd zelden gedaan. In het NOBV-project worden voor het eerst in Nederland op grote schaal automatische kamersystemen ingezet. Op de locaties Vlist en Assendelft worden door de technische dienst van de VU ontwikkelde kamers ingezet, in Aldeboarn kamer die door het bedrijf Eosense ontwikkeld zijn.

Deze bestaan uit een set van meerdere identieke kamers, met aan de bovenzijde een beweegbaar deksel (Figuur 3.1). De kamers kunnen beurtelings gesloten en weer geopend worden. In gesloten stand wordt de kamer gebruikt voor een fluxmeting, in geopende stand wordt

de kamer gelucht om de CO_2 concentratie in de kamer weer in evenwicht te brengen met die van de buitenlucht. De kamers worden aangestuurd door een controlbox die zorgt voor het openen en sluiten van de deksels, en voor de aanvoer van gas naar de gasanalyzer via een kleppensysteem. Ook is een datalogger opgenomen waarin tijd, gasconcentraties, temperatuur, luchtdruk en eventueel andere omgevingsvariabelen vastgelegd worden.

De automatische kamers kunnen nagenoeg continu, 24 uur per dag meten, zodat de hele dagelijkse gang, inclusief nachtelijke fluxen gemeten worden. Doordat meerdere kamers gebruikt worden, wordt ook de ruimtelijke variatie in beeld gebracht. Afhankelijk van het aantal kamers en de meettijd per kamer, kan over het algemeen minimaal iedere 5 minuten een fluxmeting gedaan worden.

De voordelen van een automatisch kamersysteem zijn wat betreft productiviteit van meetgegevens evident. Een nadeel is, dat de kamers op een vaste plaats staan. Daardoor ontstaat in de kamer een microklimaat waardoor plantengroei, bodemtemperatuur en bodemvocht beïnvloed worden, wat weer de gemeten fluxen kan beïnvloeden. Dit kan voorkomen worden door de kamer steeds na enkele dagen te verplaatsen.

Door het gebruik van meerdere kamers tegelijk wordt ook de vaak aanzienlijke ruimtelijke variatie in fluxen ook gemeten. Automatische kamersystemen zijn ook bruikbaar op relatief kleine testplots, terwijl de ander gebruikte methode, eddy covariance, over grotere oppervlakten meet.

3.1.2 Vliegtuigmetingen

De vliegtuigmetingen maken gebruik van dezelfde eddy covariance methodiek als die op de meeste meetlocaties wordt gebruikt. Technisch zijn er wel verschillen in die zin dat wind op een andere manier gemeten wordt (druksensoren) en dat elke beweging van het vliegtuig uit gecorrigeerd moet worden, om deze te vertalen naar een windmeting als van een vast punt. Ook worden de covariances niet over een tijdsinterval (typisch een half uur) berekend maar over een afstand (typisch over 2 km). De uiteindelijke waarden zijn qua nauwkeurigheid echter volkomen vergelijkbaar met de metingen op de grond.
Wel inherent anders is de bemeten footprint. Bij een EC-meting vanaf een torentje is de footprint een tot enkele honderden meters en kan bij een voldoende groot perceel gesproken worden van een homogene footprint. Doordat de vliegtuigmetingen op ca 60m hoogte gedaan worden is de footprint veel groter, typisch 1-6km lang x 2km breed, afhankelijk van de condities. Daarmee is die footprint zelden homogeen t.a.v. bodem of vegetatie karakteristieken. De metingen representeren daar mee het landschap als geheel en zijn daarmee direct geschikt (model) berekeningen op die schaal te valideren. Pas in de nadere analyse zijn die signalen van een gemengde footprint weer te dis-aggregeren naar bijdragen van verschillende landschapselementen, zoals bv verschillende veendikten of verschillende peilen. Dit met behulp van multivariate statistische, c.q. machine learning methoden.

3.2 CO_2/CH_4 flux

3.2.1 Eddy covariantie

Principe
Met eddy covariance is het mogelijk om continu CO_2 en CH_4 fluxen te meten, waarbij elk half uur een fluxwaarde gegenereerd wordt over een reikwijdte tot maximaal 100 m. De windrichting en windsnelheid bepalen de oppervlakte waarvan de gemeten gassen komen en dus ook wat de “voetafdruk” van de flux is (Aubinet et al., 2012). Dit betekent dat een groot oppervlak gemeten wordt, en hiermee de heterogeniteit van een perceel gemiddeld wordt. Een groot voordeel hiervan is dat het gemeten gebied minder wordt beïnvloed dan met de kamer methode (door frames in de bodem of verschillen in maai- en bemestingsregime).

Locatie
Een eddy covariance toren van 1,5-2,0 m hoog meet fluxen tot een afstand van 100-150 m. Dat betekent dat gekeken moet worden naar de dominante windrichtingen (zuidwest en noordoost) en de ligging van de percelen om de juiste locaties te selecteren. De locatie in Aldeboarn is om deze reden de meest geschikte locatie. Er zijn op de site bij Aldeboarn twee EC sets geïnstalleerd, in oktober 2018: een op het OWD perceel en een op het controleperceel, in beide gevallen op de NO-hoek zodat bij ZW wind de optimale strijklengte bereikt kan worden.

In Zegveld zijn EC fluxen inclusief CH_4 gemeten op de NO hoek van het Lisdoddeveld, op grotere meethoogte omdat de lisdodde zelf 1-2 m hoog is.

3.3 N_2O flux

3.3.1 Inleiding

Door het hoge gehalten aan organische stof en relatief natte omstandigheden zijn veengronden een grote bron van lachgas. Lachgas (N_2O) wordt onder natte omstandigheden gevormd tijdens de biologische processen nitrificatie en denitrificatie. De kans bestaat dat door verandering van het drainagesysteem, de grootte van de emissie van N_2O verandert en daarmee het netto-effect op de emissie van broeikasgassen in veenweidegebieden. Dit kan zowel een positief als negatief effect zijn.

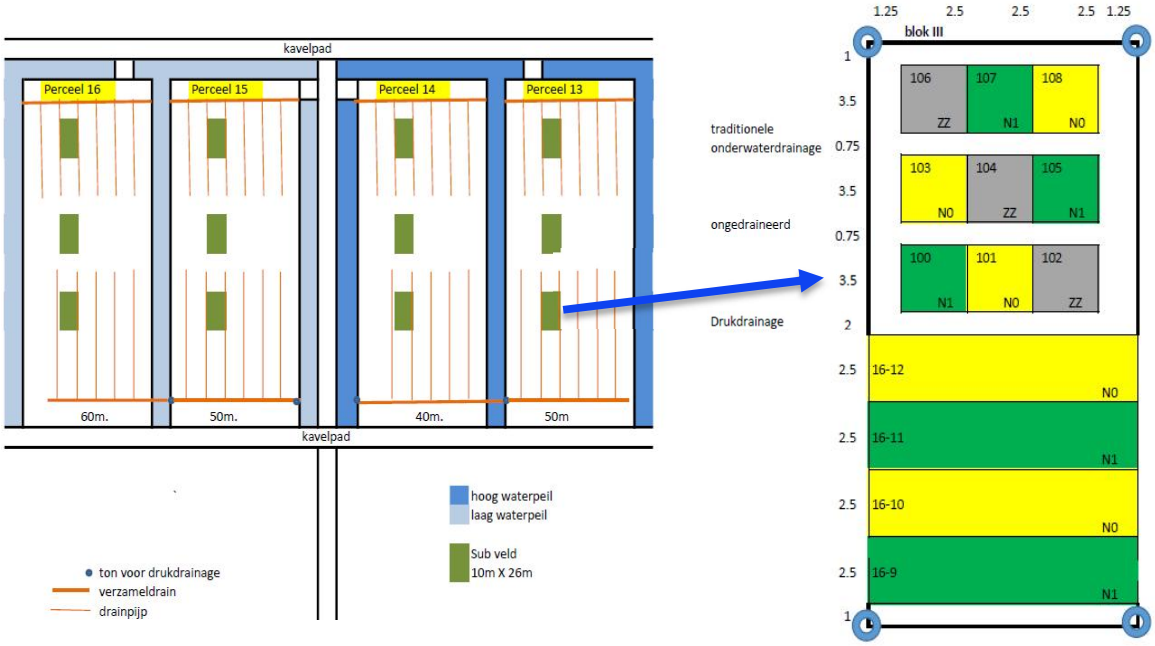
In de kwantificering van N_2O-emissies in emissierapportages wordt gebruik gemaakt van emissiefactoren; hiervoor wordt in Nederland het model NEMA (National Emission Model Agriculture) gebruikt. De N_2O-emissiefactoren worden berekend door de N_2O-N emissie van bemeste velden te corrigeren voor de N_2O-N emissie van onbemeste velden en dit te delen door het stikstofbemestingsniveau. In het onderzoek worden emissiefactoren voor N_2O afgeleid conform de IPCC Good Practice Guidance die kunnen worden gebruikt voor rapportage onder klimaatverdragen van veranderingen in emissies.

3.3.2 Uitvoering

De metingen voor de proef zijn gehouden op vier percelen (13, 14, 15 en 16) in Zegveld waar 1/3 deel onderwaterdrainage, 1/3 deel geen drainage (wel aanwezig, maar niet aangesloten) en 1/3 deel drukdrainage zijn toegepast (Figuur 3.2). Op de percelen 13 en 14 is de drainage aangelegd met een drainafstand van 6 m met een draindiepte van 65-70 cm beneden maaiveld. Bij deze percelen wordt een vast hoog slootpeil nagestreefd met een drooglegging van 20 cm beneden maaiveld. Op de percelen 15 en 16 is de drainage aangelegd met een dezelfde drainafstand met een draindiepte van 70-75 cm beneden maaiveld en wordt een vast laag slootpeil nagestreefd met een drooglegging van 55 cm beneden maaiveld.

Op elke drainagesysteem is een veldproef aangelegd met drie objecten in drievoud: i) veldjes die onbemest zijn (N0), ii) veldjes die stikstof bemest zijn (N1) en veldjes waarvan de graszode verwijderd zijn (ZZ). De N0 en N1 veldjes zijn nodig voor het bepalen van de N_2O emissie uit veen (LULUCF) en nodig voor bepaling van een N_2O-emissiefactor (NEMA). De ZZ veldjes worden gebruikt voor het bepalen van de CO_2 emissie uit veen (LULUCF). De ZZ veldjes zijn eerst voorbewerkt door van te voren de graszode 5-10 cm te verwijderen met een spade. De graszode is verwijderd om effecten van fotosynthese van het gras en koolstofvastlegging door het gras uit te sluiten; de CO_2-emissie die na verwijderen van de zode wordt bepaald, is de CO_2 afkomstig van het veen. Het verwijderen van het gras heeft ook nadelen, omdat het vochtgehalte, nutriëntenstromen en effecten van wortels op veenafbraak wordt beïnvloed. De metingen op perceel 16 worden in een latere fase van het project vergeleken met continue CO_2-metingen die op hetzelfde perceel plaatsvinden.

Daarnaast zijn er op elk proefveld stroken aangelegd met twee N-niveaus (N0 en N1) in tweevoud voor bepaling van droge stof- en stikstofopbrengst van grasland. Voor de N1 veldjes werd een stikstofbemestingsniveau gehanteerd van 250 kg N ha^{-1} als kalkammonsalpeter (KAS). Voor de rest zijn alle velden bemest met P_2O_5 en K_2O in de vorm van kunstmest. Samengevat bestaat de proef uit vier percelen (2 hoog en 2 laag slootwaterpeil), 3 drainagesystemen (traditioneel onderwaterdrainage, drukdrainage en geen onderwaterdrainage) en 3 objecten in drievoud (N0, N1, ZZ); zie Figuur 3.2.



Figuur 3.2: Schematisch overzicht van de veldproef (Links) en het proefveld (rechts).

De metingen van CO_2 en N_2O vinden plaats in een fluxkamer. De lachgasemissie wordt met één fluxkamer per plot bepaald. Bij elk plot is een PVC-ring met een diameter van 20 cm in de grond geïnstalleerd (Figuur 3.3). Op deze ring komt een omgekeerde emmer te staan die strak om de PVC-ring gaat. De fluxkamer heeft een inhoud van 4,7 L. Bij de fluxmetingen worden de slangen bevestigd aan de gasmonitor (Figuur 3.4). In de eerste twee maanden van de proef (april t/m juni 2019) is er gemeten met de fotoakoestische gasmonitor INNOVA 1312 (LumaSense Technologies[3]) en vanaf juli 2019 is er gemeten met de Picarro G2508 gasmonitor (PICARRO Inc[4]). Voorafgaand van de metingen van de CO_2 en N_2O fluxen wordt de fluxkamer voor 10-15

[3] https://innova.lumasenseinc.com/manuals/historical-manuals/1312/

[4] https://www.picarro.com/products/g2508_gas_concentration_analyzer

minuten gesloten om de concentratie binnen de fluxkamer op te laten lopen. Er wordt vanuit gegaan dat de concentraties CO_2 en N_2O in die sluitingstijd lineair toeneemt (dit wordt regelmatig getest). Door de grootte van de proef was het niet mogelijk om alle veldjes in één dag te meten. Veldjes 13 en 15 werden steeds op één dag gemeten en veldjes 14 en 16 de dag erna.

In groeiseizoen wordt wekelijks de emissie gemeten en in de winter elke twee weken. In totaal zijn er in deze periode 31 meetmomenten geweest. Deze discrete metingen zullen in het kader van NOBV worden vergeleken met de continue metingen (voor CO_2) met fluxkamers en eddy-correlatie.

De voor- en nadelen van de opzet van de proef ten opzichte van de continue-metingen met fluxkamers op de andere locaties zijn:
Voordelen:

- De opzet met onbemeste en bemeste veldjes in verschillende herhalingen voldoet aan de internationale eisen aan proeven waarin N_2O-emissiefactoren worden afgeleid. De afgeleide N_2O-emissiefactoren kunnen worden toegepast in de emissieregistratie.
- Door opzet met herhalingen en meerdere percelen is het mogelijk om verschillen in emissies tussen drainagesystemen statistisch te toetsen.
- Directe meting van de CO_2-emissie uit het veen; er is geen correctie nodig voor C-aan- en afvoer en CO_2-consumptie door het gras.

Nadeel van de opzet:

- Er wordt 1x per week tot 1x per twee weken gemeten. Dit geeft minder inzicht in de N_2O- en CO_2-emissies in de tijd (inclusief dag-nachtritmes) en een grotere onnauwkeurigheid in de schatting van de totale CO_2-emissie per jaar ten opzichte van continue metingen.
- Effect afplaggen graszode op veenafbraak en CO_2-emissies zijn niet duidelijk.

Figuur 3.3: Installatie van de PVC ringen en fluxkamers op N0 en N1 veldjes (bovenste foto's) en ZZ veldjes (onderste foto's).

Figuur 3.4: Emissie meting.

3.4 Grondwaterstand

3.4.1 Rouveen en Assendelft

In Rouveen en Assendelft zijn er per meetlocatie in totaal 14 peilbuizen met druksensoren en 2 peilbuizen zonder druksensoren geplaatst. In zowel het referentie- als het drainageperceel is er 1 diepe peilbuis geplaatst met het filter in de zandondergrond, waardoor de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket kan worden bepaald. Daarnaast is er per perceel 1 peilbuis met filter op grotere diepte, maar nog in de veenlaag, geplaatst, en naast elk perceel 1 peilbuis in de sloot. Ook wordt er 1 meting in de drain gedaan (met eenzelfde constructie als in Zegveld en Vlist, zie volgende paragraaf en Figuur 3.10). De overige peilbuizen meten de freatische grondwaterstand.

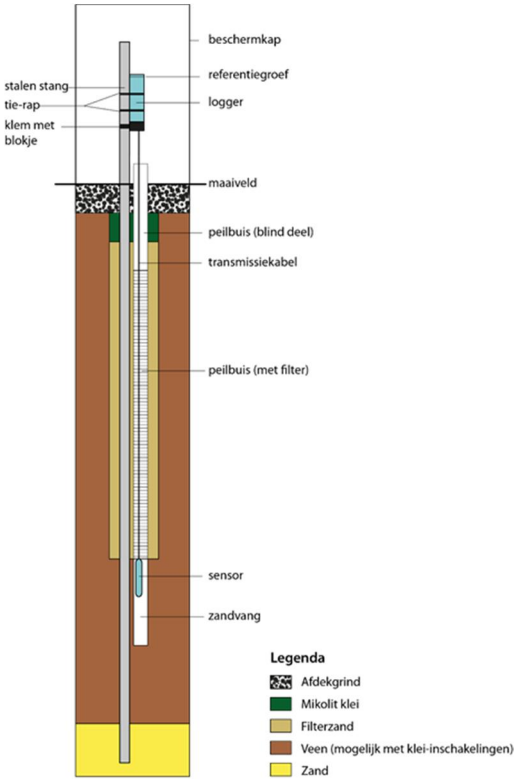
Alle peilbuizen zijn gefundeerd. Dit om te voorkomen dat de peilbuis met druksensoren meebewegen met de omliggende grond. Dit zou foutieve waarden van de grondwaterstand opleveren, waarbij de kans dat dit gebeurt groot is aangezien veldmetingen van bodembeweging in veenweidegebied (binnen pilot Rouveen) een sterke seizoensgebonden dynamiek hebben laten zien, waarbij de toplaag met orde grootte van centimeters op en neer beweegt gedurende het jaar. Deze aanpak heeft gevolgen voor het bepalen van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld. Vanwege de gefundeerde peilbuizen is er voor gekozen om grondwaterstand en maaiveldbeweging als twee onafhankelijke parameters te beschouwen. Zowel alle peilbuizen of de loggers zijn gefundeerd in Pleistocene afzettingen en dit geldt ook voor de extensometers en de referentiepunten van de waterpasmetingen. Op deze manier kan zowel de grondwaterstand worden uitgedrukt ten opzichte van NAP en ook de bodemhoogte ten opzichte van NAP. Vervolgens wordt grondwaterstand ten opzichte van maaiveld bepaald, waarmee rekening wordt gehouden met zowel de grondwaterstandfluctuaties en maaiveldhoogtefluctuaties.

Voor het plaatsen van een gefundeerde peilbuis is in Rouveen eerst handmatig geboord tot aan de gewenste diepte van de onderkant van het filter. In dit openstaande gat is vervolgens een stalen buis tot in een zandige laag onder het veen gehamerd. In Rouveen betreft het de Pleistocene zandondergrond op een diepte van ongeveer 4 m-maaiveld. Vervolgens is een peilbuis gemaakt met filter en een blind deel zandvang onder het filter (Figuur 3.5). De peilbuis is in het gat geplaatst waarbij het blinde deel (de zandvang) circa 30 cm in het veen is geduwd. Hierna is het boorgat aangevuld met filterzand en aan de bovenkant afgedicht met mikoliet (klei prop van 10 cm). In Assendelft, waar de Pleistocene zandondergrond veel dieper onder maaiveld ligt, is er eerst een sondering gezet om de diepte van het (stabiele) zand te bepalen (16,30 m-mv). Vervolgens is hier een diepe stalen peilbuis met een 20 cm lang filter onderin met het sondeervoertuig weggedrukt.

De druksensor is via een transmissiekabel verbonden met een logger, type Ellitrack-D van Leiderdrop Instruments. De logger (c.q. telemetrie) is bevestigd aan de stalen stang door deze op een klem, bevestigd aan de stang, te plaatsen en vast te maken met tie-raps. Op deze manier kan de logger (en druksensor) niet in de verticaal bewegen. De peilbuis zelf kan dit mogelijk wel. Indien de peilbuis zou zijn bevestigd aan de stalen stang bestaat het risico dat deze kapot of scheef wordt getrokken door grondwerking. Naast de druk meet de sensor ook de temperatuur. In zowel Rouveen als in Assendelft zijn twee peilbuizen buiten de omheinde meetplot geplaatst. Deze zijn ondergronds afgewerkt in een straatpot, waarbij de logger horizontaal naast de peilbuis ligt, op een laag grind.

De top van alle stalen fundeerstaven en de top van alle peilbuizen zijn ingemeten met waterpassen ten opzichte van de NAP-hoogte van het referentiepunt in het betreffende perceel. In Rouveen zijn de referentiepunten gemaakt voor het waterpassen hiervoor gebruikt. In Assendelft zijn de gefundeerde diepe peilbuizen als referentiepunt gebruikt. Ook is de afstand van de top van de peilbuis en/of de top van de stalen staaf tot de referentiegroef op de logger ingemeten. Deze

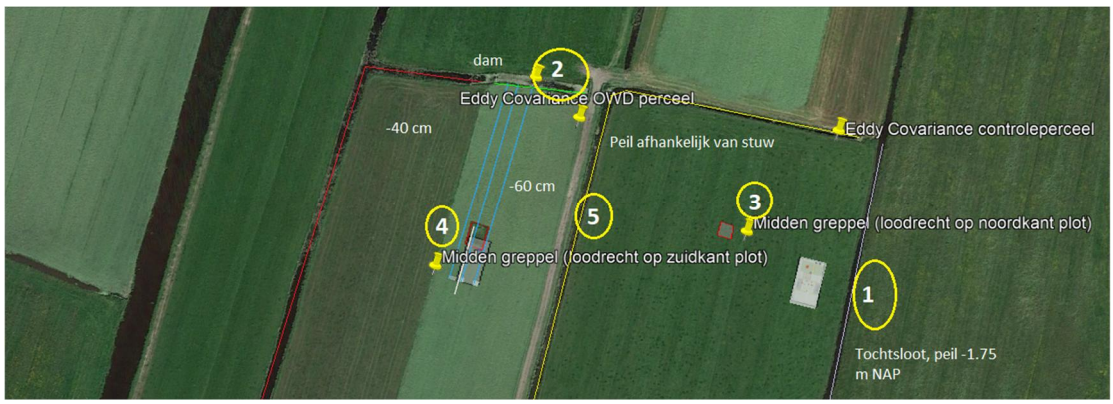
waarden, in combinatie met de kabellengte (afstand referentiegroef tot de sensor), worden gebruikt om de NAP-hoogte van het grondwaterniveau te bepalen.



Figuur 3.5: Schematische weergave van de standaard peilbuisconstructie, zoals gebruikt in Rouveen en Assendelft.

3.4.2 Aldeboarn

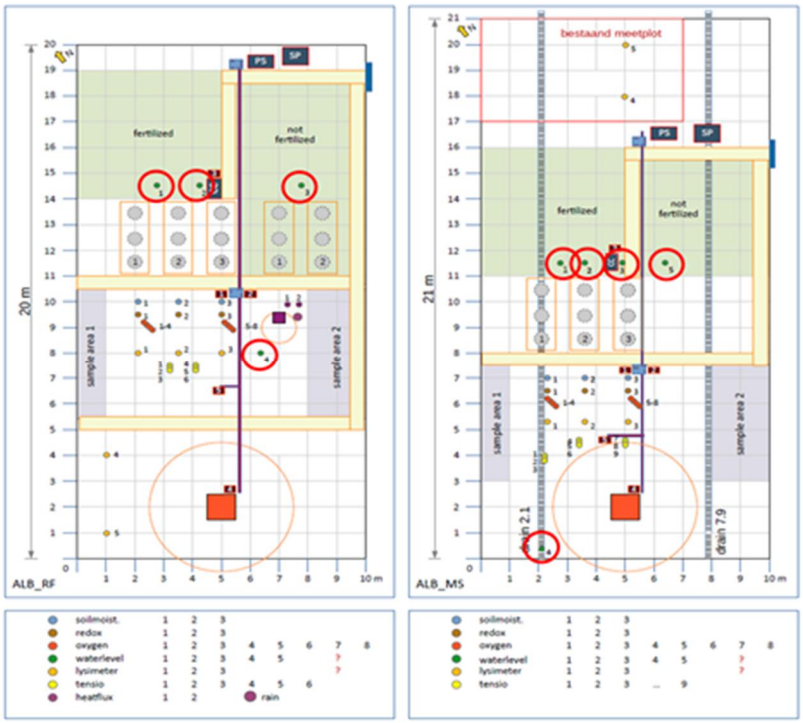
In Aldeboarn zijn momenteel 12 peilbuizen met temperatuur- en druksensoren (type Ellitrack-D, Leiderdorp Instruments) geplaatst. Twee additionele peilbuizen met druksensoren zullen begin oktober geplaatst worden (peilbuis in Y-stuk van drain en peilbuis met filter in de zandlaag). Van de huidige 12 peilbuizen staan er vijf buiten de plots en 7 binnen de plots. Op het referentieperceel wordt het peil van de oostelijke tochtsloot gemeten, het peil van de sloot die ten westen en noorden van het perceel loopt (ook grenzend aan oostkant van maatregelperceel), en van de greppel die zich ten westen van het meetplot bevindt (Figuur 3.6). In het maatregelperceel wordt het peil van de noordelijke sloot—waar de drainbuizen mee verbonden zijn—gemeten en het peil van de greppel die zich ten westen van het meetplot bevindt.



Figuur 3.6: Locaties van peilbuizen in Aldeboarn buiten de meetplots

Binnen de het maatregelplot (Figuur 3.7) wordt de freatische grondwaterstand binnen het veenpakket gemeten direct naast, op een ¼ drainafstand en op een ½ drainafstand van de westelijk gelegen drain. De drie peilbuizen bevinden zich op korte afstand (<1 m) van de meest noordelijke rij van frames v/d automatische kamers. Aanvullend wordt ook de grondwaterstand op een ¼ drainafstand van de oostelijk gelegen drain gemeten. Binnen het referentieplot meten 2 peilbuizen de freatische grondwaterstand in het veenpakket ten noorden van de noordelijkste rij kamerframes in het bemeste plot en 1 peilbuis boven de noordelijkste rij kamerframes in het onbemeste plot.

Vanwege de seizoenale zwel en krimp van de veenbodem zijn alle peilbuizen in de bodem gefundeerd. Voor de plaatsing van de gefundeerde peilbuizen is eerst handmatig een gat geboord tot aan de gewenste diepte van de onderkant van het filter. Vervolgens is er een stalen pen t.b.v. de fundering de zandlaag in geslagen en m.b.v. een slangklem vast gemaakt aan de peilbuis. Het gat rond de peilbuis is opgevuld met filterzand. Tot een diepte van ca. 30 cm-mv is een bentonietomhulling aangebracht om te voorkomen dat lekkage van regenwater langs de peilbuis de meting beïnvloedt. Tot slot is elke peilbuis voorzien van een drukopmeter met logger. De onderkant van de peilbuis bevindt zich minimaal 10-15 cm beneden de drukopmeter om bagger op te vangen. Bij het bepalen van de filterdiepte is er rekening mee gehouden dat boven- en onderkant van het filter zich minimaal 15-20 cm van de, respectievelijk, boven- en ondergrens van het veenpakket bevindt. De top van de peilbuizen zal binnenkort ingemeten worden t.o.v. NAP-hoogte. Onderhoud, manier van dataverzameling en data output/opslag/transmissie is identiek aan wat eerder voor de peilbuizen in Rouveen is beschreven.

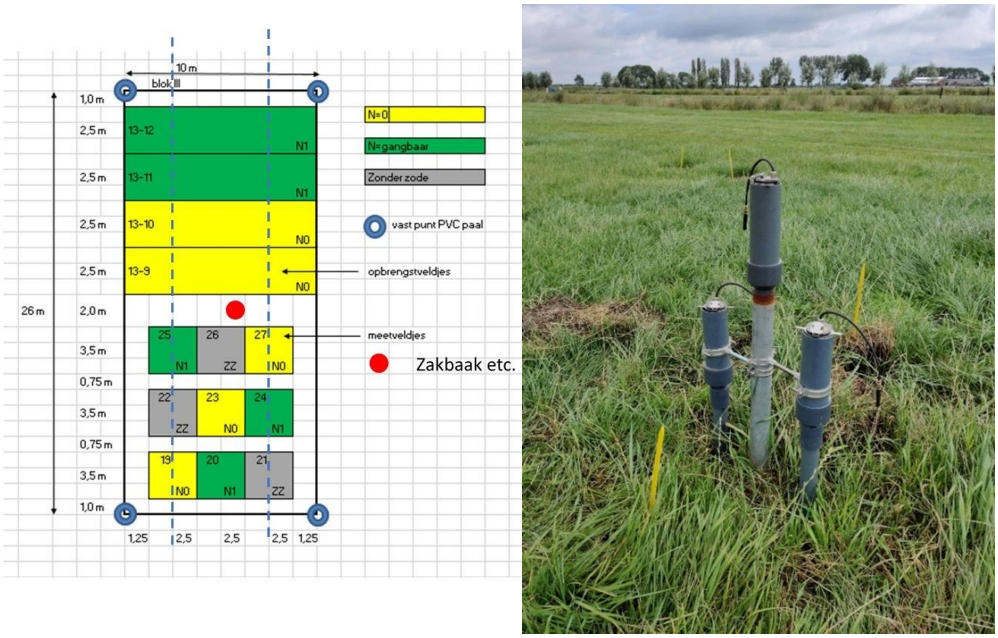


Figuur 3.7: Locaties van peilbuizen in Aldeboarn binnen de meetplots, voor verklaring van de symbolen, zie Figuur 4.1

3.4.3 Zegveld

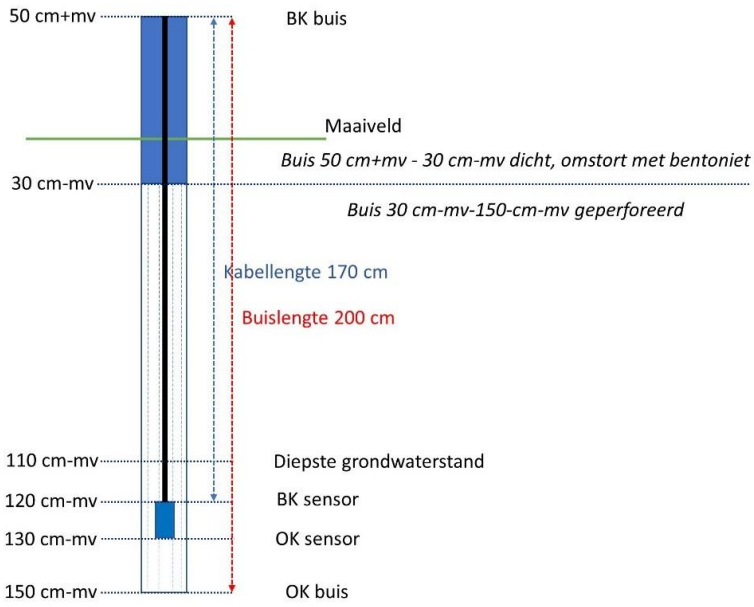
In het centrum van elke N_2O plot is een stalen pijp de bodem ingetrild met de palenrammer. De buis is gefundeerd in de zandondergrond en kan dienen als zakbaak, de onderkant van de stalen pijp bestaat uit een filter. Via dit filter is de stijghoogte van het diepe grondwater te meten, dit geeft informatie of er sprake is van een kwel of wegzijgingssituatie. Naast deze stalen buis zijn 2 PVC-

buizen aangebracht, één PVC-buis heeft een filter op ca 4,0 m-mv en de andere één ondiep filter om de freatische grondwaterstand te meten. Alle freatische filters zijn voorzien van Ellitracks, in de filters op 4 m zijn op drie locaties Ellitracks geplaatst, namelijk in de buizen in de referentieplots in perceel 13 en 16 en ook in de plot met drukdrains in perceel 16. Op twee locaties zijn in de diepe filters in de zandondergrond Ellitracks geplaatst, dit betreft in perceel 13 in de plot met drukdrains en in perceel 16 in de plot met onderwaterdrains.



Figuur 3.8: Schema inrichting van plot (links) en voorbeeld van zakbaak met diep filter, met peilfilter op 4 m en freatisch filter (rechts).

In de 2 grote plots op perceel 16 zijn een aantal grondwaterstandbuizen geplaatst, 4 freatische buizen in het deel met drukdrains en 3 freatische buizen in het referentiedeel (Figuur 3.8). In het gedraineerde deel ligt buis 1 op 0,5 m van de rechterdrain, buis 2 en 4 op 1,5 m van resp. de rechter- en linker drain en buis 3 midden tussen beide drains. Al deze buizen zijn bevestigd aan gefundeerde buizen. Met de palenrammer zijn stalen buizen tot in de zandondergrond getrild. Aan deze stalen buizen zijn de freatische filter bevestigd (Figuur 3.109). In alle freatische buizen is een sensor van Ellitrack geplaatst.



Figuur 3.9: Schema freatische peilbuis met sensor te Zegveld.

Naast gefundeerde peilbuizen is er ook een groot aantal peilbuizen geplaatst buiten de plots. Dit zijn freatische niet gefundeerde peilbuizen afgedekt met een tegel, vergelijkbaar met Figuur 3.5. In deze tegel zitten een of meerdere gaten. In een van de gaten steekt een peilbuis die regelmatig wordt opgemeten. Deze aanvullende peilbuizen buiten de meetplot in Zegveld (maar ook in Vlist) worden regelmatig opgemeten, waarbij 4 keer per jaar ook de hoogte ten opzichte van NAP wordt gemeten met behulp van waterpassing. Deze buizen zijn er om een dwarsprofiel van de grondwaterstand te krijgen. Bij deze grondwaterstanden wordt ook gecorrigeerd voor maaiveldhoogte ten opzichte van NAP (op basis van aanwezige gegevens: extensometer, waterpassingen, eventueel LiDAR en InSAR).

Om te controleren of de drains goed werken is evenals te Vlist een peilbuis aan de drain bevestigd (linker buis in Figuur 3.10), hierin is een Ellitrack geplaatst. Dit is buis 5 in Figuur 3.8. De andere pijpen in Figuur 3.10 geven de mogelijkheid om de drainbuis te inspecteren alsook door te spoelen.

Figuur 3.10: Constructie op de drain te Zegveld perceel 16 om de waterdruk in de drain te kunnen meten (pijp links) en voor inspectie en doorspoelen drain (pijpen aan de rechterkant).

Naast grondwaterstand wordt ook de oppervlaktewaterstand gemeten. Aan de zuidzijde van de percelen is in elke sloot ongeveer ter weerszijden van de uitmonding van de collectordrain een funderingsbuis tot in de zandondergrond aangebracht, alleen voor de sloot ten oosten van perceel 16 is dit nog niet gedaan. Aan deze funderingsbuizen zijn peilschalen bevestigd. Op twee locaties, nl. tussen perceel 13 en 14 en tussen perceel 15 en 16 zijn filterbuizen in het oppervlaktewater geplaatst, deze buizen zijn bevestigd aan de funderingsbuizen. In de beide filterbuizen zijn Ellitracks geplaatst om de oppervlaktewaterstand te registreren.

3.5 Bodemvocht en -temperatuur

Bodemvocht probes meten continu, hoogfrequent het volumetrisch vochtgehalte en de temperatuur van het bodemprofiel middels een techniek gebaseerd op elektrische capaciteit.

3.5.1 Installatie

- In elk drainageplot zijn 3 Sentek Drill & Drop probes[5] (Sentek Sensor Technologies, Australië) geïnstalleerd op verschillende afstanden van de drain (vlak naast drain, ¼ drainafstand en ½ drainafstand). Locaties voor de sensoren staan vermeld in de tekeningen van de betreffende locaties en zijn zorgvuldig uitgemeten voordat installatie plaatsvond.
- Op het referentieplot zijn ook 3 probes geïnstalleerd, waarvan twee Sentek Drill & Drop en 1 GroPoint profile[6] (RioT Technology Corp., Canada), ter vergelijking. De probes in het referentieplot staan op ca. 1,0-1,5 m afstand van elkaar.
- Beide type probes zijn 120 cm lang. De Sentek Drill & Drop meet bodemvocht en temperatuur op intervallen van 10 cm. De GroPoint profile meet bodemvocht over de gehele lengte van de probe, opgedeeld in segmenten van 15 cm. Temperatuur wordt welke 10 cm gemeten.

De probes zijn geïnstalleerd m.b.v. het bijbehorende gereedschap en volgens de richtlijnen van de fabrikant. Uitzondering hierop is de GroPoint. Deze is geïnstalleerd m.b.v. het gereedschap van de Sentek probe, omdat het geleverde gereedschap voor de GroPoint installatie ongeschikt bleek.

[5] https://sentektechnologies.com/product-range/soil-data-probes/drill-and-drop/

[6] https://www.gropoint.com/products/soil-sensors/gropoint-profile?gclid=CjwKCAjw2dD7BRASEiwAWCtCbxHFqZZIsp3135-r5kFKwi1pwNbhDNuVtKFcUbr0newtOqYY1Sy7fBoC0zUQAvD_BwE

3.5.2 Onderhoud

- Gecontroleerd moet worden of er data op de server binnenkomt.
- In de zomer is een visuele inspectie van de probes noodzakelijk i.v.m. mogelijke scheurvorming rond de probes als gevolg van krimpend veen. Voor een juiste lezing dienen sensoren goed contact met de bodem te maken.
- De hoogte van de probes t.o.v. maaiveld en NAP moet enkele malen per jaar bepaald worden.

3.5.3 Dataverzameling

Beide probes voeren elke 30 minuten een meting uit. Bodemvochtwaardes worden gelogd als percentage volumetrisch vochtgehalte. Beide type sensoren zitten aangesloten op een Campbell datalogger (type CR1000x of CR310). Data wordt via een modem verzonden naar een server van de VU.

3.5.4 Data uitwerking

Kalibratie van individuele sensoren is mogelijk, maar praktisch niet haalbaar in een niet-homogene bodem (e.g. verschillende veen en kleilagen). Komend jaar kunnen op verschillende momenten bodemmonsters genomen worden ter labanalyse van volumetrisch vochtgehalte en vergelijking met sensorwaardes. Vergelijkbaar kan data van tensiometers (in combinatie met bodemfysische eigenschappen) vergeleken worden met data van de bodemvochtsensoren. Ook zonder deze vergelijkingen geven de geobserveerde veranderingen in bodemvocht al veel info.

3.6 Tensiometer

3.6.1 Installatie

Tensiometers zijn geïnstalleerd in Aldeboarn, Rouveen en Zegveld, De installatie-procedure was zeer vergelijkbaar voor de verschillende locaties. In alle gevallen zijn er 9 tensiometers geïnstalleerd in de MP plot en 6 in de RF plot, steeds in setjes van 3 dieptes. In de MP plot zijn de tensiometers op 3 afstanden van de drain geïnstalleerd, namelijk bij de drain, op ¼ afstand tussen drains (bij 6 afstand drains dus op 1,5 m van de drain) en midden tussen de drains. De dieptes voor installatie zijn bepaald op basis van de uitgevoerde profielbeschrijvingen. Hierbij is er opgelet dat de 3 tensiometers in 3 verschillende lagen kwamen; bovengrond, veraard veen en min of meer ongestoord veen. Ook gegevens over grondwaterstanden zijn betrokken bij het bepalen van de installatiediepte. Op de kaartjes van de plots is ingetekend waar de kuilen gegraven moesten worden voor installatie van de tensiometers.

Alle tensiometers zijn vanuit de kuilen onder een hoek geïnstalleerd. Voor de bovenste tensiometers was dit een hoek naar boven, om te voorkomen dat water langs de tensiometer zou gaan stromen. Voor lagere tensiometers was naar boven installeren niet mogelijk en is gekozen voor een hoek naar beneden, die voorkomt dat er water op de platte tensiometers blijft staan. Ter plekke van de punt van de tensiometer is een monster genomen voor bepaling van het organisch stofgehalte. De positie van de kuilen is gedocumenteerd, zie Figuur 3.11. De kuilen worden na de installatie dichtgegooid, waarbij rekening wordt gehouden met het bodemprofiel door diepste veen als eerste weer in de kuil te gooien. Tot slot wordt de afgestoken zode weer op zijn plaats gelegd.

Tabel 3.1-3.3 geven informatie over locaties en dieptes van de tensiometers in Aldeboarn, Rouveen en Zegveld.

Tabel 3.1: Installatiedieptes en bodemtype van installatie voor tensiometers in Aldeboarn.

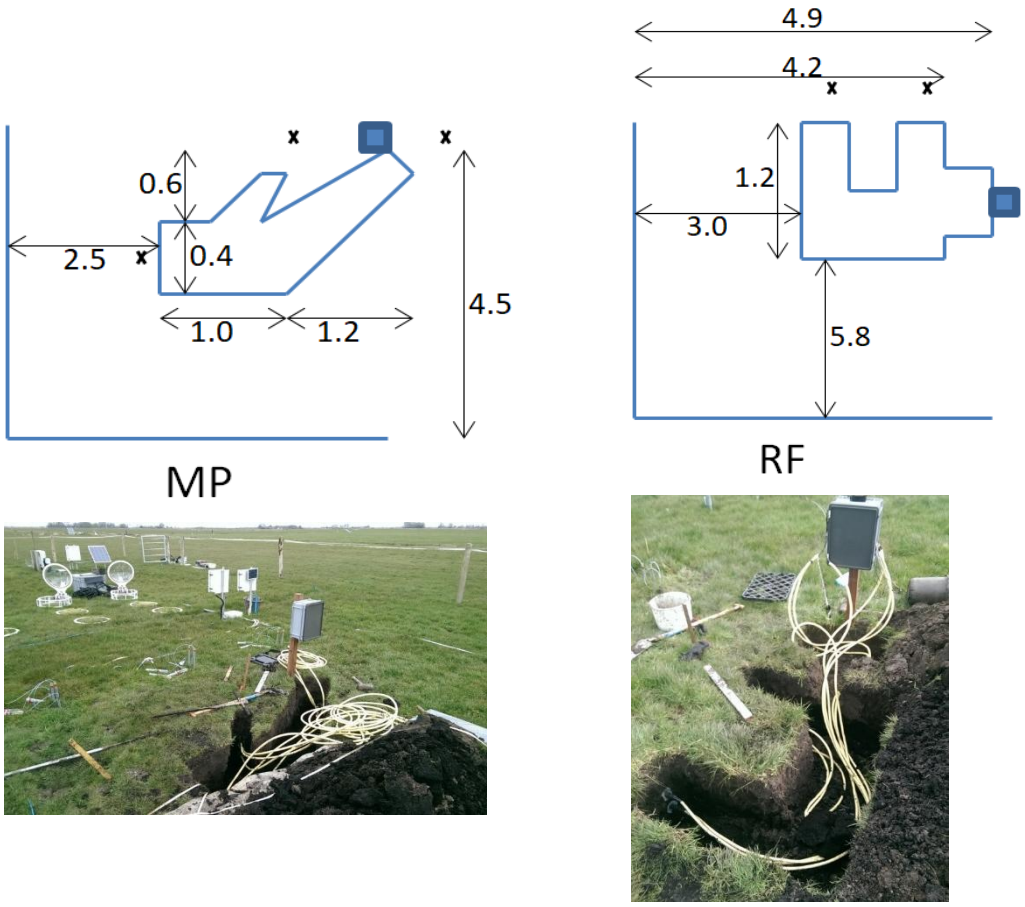
	Diepte [cm - mv]	**Type**	**Diepte [cm - mv]**	**Type**	**Diepte [cm - mv]**	**Type**
Referentie 1	20	Klei	45	Veen	70	Veenmos
Referentie 2	30	Klei	50	Veen	80	Veenmos
Maatregel 1	20	Klei	35	Klei	50	Veen
Maatregel 2	20	Klei	40	Veen	60	Veenmos
Maatregel 3	30	Klei	50	Veen	70	Veenmos

Tabel 3.2: Installatiedieptes en bodemtype van installatie voor tensiometers in Rouveen.

	Diepte [cm - mv]	Type	Diepte [cm - mv]	Type	Diepte [cm -mv]	Type
Referentie 1	20	Klei	35	Kleiig veen	60	Veen
Referentie 2	33	Kleiig veen	50	Veen	80	Veenmos
Maatregel 1	20	Klei	32	Kleiig veen	45	Veen
Maatregel 2	20	Klei	30	Kleiig veen	50	Veen
Maatregel 3	32	Kleiig veen	50	Veen	70	Veenmos

Tabel 3.3: Installatiedieptes en bodemtype van installatie voor tensiometers in Zegveld.

	Diepte [cm - mv]	Type	Diepte [cm- mv]	Type	Diepte [cm -mv]	Type
Referentie 1	25	Veraard veen	55	Veen	90	Bosveen
Referentie 2	20	Veraard veen	40	Verweerd veen	60	Veen
Maatregel 1	20	Veraard veen	35	Verweerd veen	50	Veen
Maatregel 2	20	Veraard veen	40	Verweerd veen	60	Veen
Maatregel 3	35	Verweerd veen	50	Veen	60	Veen



Figuur 3.11: Installatiekuilen tensiometers Aldeboarn. Boven: kaartjes. Midden: MP plot, Onder: RF plot

3.6.2 Onderhoud

Aangezien de tensiometers onder de grond zijn geïnstalleerd is onderhoud aan de sensoren zelf niet mogelijk noch noodzakelijk in geval van goed functioneren van de tensiometers. Wat wel nodig is, is het hervullen van (met name) de bovenste tensiometers na afloop van droge periodes, dus in ieder geval één keer per jaar aan het eind van de zomer. Bij een te droge bodem drogen de tensiometers namelijk uit, waardoor geen (betrouwbare) metingen meer gedaan kunnen worden.

3.6.3 Data verzameling

De tensiometers meten iedere twee minuten druk (de som van luchtdruk en vochtspanning), in kPa, en temperatuur, in graden Celsius. Van ieder half uur worden de meetwaarden opgeslagen en wordt een standaardafwijking van de gemeten waarden in het afgelopen half uur bepaald, ter indicatie van de stabiliteit van de metingen. Tevens wordt de sensor status opgeslagen voor het herkennen van eventuele problemen. De halfuurlijkse waarden blijven opgeslagen op de datalogger en worden eens in de paar uur doorgegeven aan de research drive van de VU.

3.7 Redoxpotentiaal

Redox (**re**ductie – **ox**idatie) reacties zijn verantwoordelijk voor de afbraak van het veen –ook wel veenoxidatie. Bij dit verbrandingsproces dienen twee stoffen aanwezig te zijn: een oxidator, zoals zuurstof of nitraat, en een reductor, zoals organisch materiaal. Tijdens een redoxreactie vindt er een uitwisseling van elektronen plaats tussen deze twee stoffen. In organische afbraakprocessen zijn er microbiële katalysatoren nodig om de redoxreacties te laten verlopen, waarbij de uitwisseling van de elektronen een bron van energie is voor de micro-organismen.

Reductoren en oxidatoren verschillen per soort in redoxpotentiaal (kracht). Een hoger verschil in redoxpotentiaal tussen twee stoffen betekent dat er meer energie beschikbaar is om de redoxreactie te laten verlopen. Het is voor micro-organismen makkelijker en energie efficiënter om organisch materiaal af te breken wanneer er oxidatoren beschikbaar zijn met een hoog redoxpotentiaal. Daarom gaat veenafbraak meestal sneller als zuurstof beschikbaar is (hoog redoxpotentiaal) en langzamer met bijvoorbeeld sulfaat (laag redoxpotentiaal).
Aan het redoxpotentiaal van de bodem kan worden afgeleid wat de meest krachtige en dominante beschikbare oxidator is. Dit is direct in verband te brengen met snelheid waarmee veenafbraak plaatsvindt. Daarom wordt het redoxpotentiaal gemeten in de meetplots van het NOBV op verschillende diepten (10, 30, 50, 70, 90 cm-mv). Om de redoxpotentiaal te bepalen wordt het spanningsverschil gemeten tussen een platina elektrode in de bodem en een referentie elektrode in het grondwater. De potentiaal wordt vervolgens berekend door het gemeten voltage te corrigeren voor de referentiewaarde. Om te bepalen wat de meeste krachtige en dominante aanwezige oxidator is moet het potentiaal geïnterpreteerd worden met de pH in de bodem. Omdat de bodem een heterogene mix is van verschillende chemische stoffen en organismen die invloed uitoefenen op de redoxpotentiaal is het niet gemakkelijk de metingen direct te interpreteren in termen van veenafbraak. Daarnaast geven wetenschappelijke bronnen geen eenduidige redox-indicatiewaarden voor de aanwezigheid van oxidatoren, omdat deze veelal afhangen van de meettechnieken en het meetmilieu. Met de informatie die nu beschikbaar is, denken we dat een redoxpotentiaal boven de 500-600mV de aanwezigheid van zuurstof bevestigt. In anaerobe condities zijn de indicatiewaarden voor nitraat, ijzer en sulfaat respectievelijk 400-500mV, 100mV en -100mV.

3.8 Zuurstofgehalte

In Aldeboarn en Assendelft meten we met optische zuurstofsensoren (OXYBase[7] van Presens, Duitsland) het zuurstofgehalte in de bodem. De sensoren kunnen zowel het zuurstofgehalte in de bodemlucht als in het bodemwater meten. Echter met de huidige instellingen van de sensoren meten we vooral de zuurstofconcentratie in bodemlucht, dus in de onverzadigde bodem. We gaan komend jaar kijken hoe we ook beter het zuurstofgehalte in het bodemwater kunnen meten. In Aldeboarn meten we in zowel het maatregel- als het referentieplot het zuurstofgehalte op 2 posities en 4 dieptes: 20, 40, 60 en 80 cm-mv: in totaal dus 16 sensoren per locatie. In Assendelft doen we dit op dezelfde manier maar hebben we maar 1 set van 4 dieptes op het referentie perceel. De andere 4 sensoren worden gebruikt voor aanvullende tests onder laboratoriumomstandigheden om de resultaten beter te kunnen interpreteren. Om scheurvorming, en daarmee luchtstromen langs de sensoren, te minimaliseren hebben we de sensoren onder een hoek van 45graden in de bodem geïnstalleerd.

3.9 Meteo-sensoren

Op alle permanente sites is een eenvoudig, continue en automatisch weerstation geïnstalleerd. De variabelen die hier gemeten worden zijn:

- Stralingscomponenten, van alle zowel inkomend als gereflecteerd: kortgolvig, langgolvig, PAR (400-700 nm) en NIR (700-1000 nm). Uit de eerste twee kan de netto beschikbare energie worden afgeleid en de albedo van het landoppervlak, uit de PAR de beschikbare straling voor fotosynthese, en uit een combinatie van PAR en NIR wordt de NDVI berekend, een land-index voor productiviteit (‘groenheid’) van het gras die ook routinematig uit remote sensing wordt bepaald.
- Relatieve luchtvochtigheid en luchttemperatuur, tevens luchtdruk
- Windsnelheid en windrichting

[7] https://www.presens.de/products/detail/oxybase-series

Deze variabelen worden elke minuut gemeten, en opgeslagen/verstuurd door een campbell CR1000x datalogger.

3.10 Bodembeweging

3.10.1 Waterpassen

Binnen het NOBV worden waterpasmetingen uitgevoerd waarbij (veranderingen in) de hoogte van het maaiveld wordt gemeten op puntlocaties ten opzichte van een referentiepunt. Tot nog toe is dit binnen het NOBV gedaan in Rouveen en Zegveld. Een referentiepunt bestaat doorgaans uit een massief ijzeren staaf die tot in een stabiele (vaak Pleistocene) zandlaag onder de veenlaag is gebracht. Hiervoor wordt eerst een grondboring gezet om de opbouw van de ondergrond en de diepte van het zand (en daarmee van de buis) te bepalen. De staven worden de zandondergrond ingeduwd (hydraulisch - Rouveen) of ingetrild (Zegveld). In Rouveen is het gat rondom de buis opgevuld met afdicht(klei)pellets, welke uitzetten als ze nat worden en zo de buis vastklemmen. Indien een referentiepunt buiten een omheind meetplot valt moet deze ondergronds worden afgewerkt. Dit is gedaan door rondom de top van de staaf een vierkant gat te graven en daarin een straatkolk te plaatsen met gietijzeren deksel (±20 x 30 cm). Deze straatkolk wordt gebruikt om (1) het punt te markeren, (2) de buis te beschermen tegen verstoringen door bijvoorbeeld een tractor of vee, en (3) ruimte te creëren voor de baak die wordt gebruikt bij het inmeten van de hoogte. De top van de gefundeerde staaf bevindt zich op ongeveer 10-15 cm onder het deksel. Dit geeft ruimte voor zakking van de straatkolk (uitgaande van een maaivelddaling van 1 cm per jaar kan er op deze manier dus minstens 10 jaar lang gemeten worden). Indien een referentiepunt in een meetplot valt is het niet nodig om deze ondergronds af te werken. De top van de staaf dient als referentiepunt en dient daarom nauwkeurig ingemeten te worden (X- en Y-coördinaten Rijksdriehoeksstelsel en Z-coördinaat t.o.v. NAP).

Er worden om de circa drie maanden (januari, april, juli, oktober) hoogtemetingen uitgevoerd met waterpas en baak, zowel in het referentie- als in het maatregelperceel. Er wordt gemeten langs raaien, welke iedere meetcampagne worden uitgezet met meetlinten. De begin- en eindpunten van deze meetraaien(/-linten) worden in Rouveen bepaalt met een RTKGPS, en worden elke meetcampagne opnieuw gebruikt zodat de ligging van de raaien steeds hetzelfde is. In Zegveld wordt gebruik gemaakt van vaste hoekpunten van de twee uiterste raaien, welke met een detector kunnen worden teruggevonden. De middenraai loopt hier over het referentiepunt. Het is echter de praktijk dat nooit precies hetzelfde punt met deze methode wordt gemeten. Er kan een afwijking zijn van orde grootte van een paar cm. In Rouveen is om deze reden een horizontale plaat van 10 x 10 cm onder aan de baak bevestigd, waardoor tevens het onregelmatige oppervlak wordt vereffend. Langs de meetlinten wordt er om de 2 meter een hoogtemeting uitgevoerd ten opzichte van het lokale referentiepunt. Elke meetcampagne wordt per perceel de gemiddelde hoogteverandering van het maaiveld ten opzichte van de nulmeting berekend.

3.10.2 Extensometer

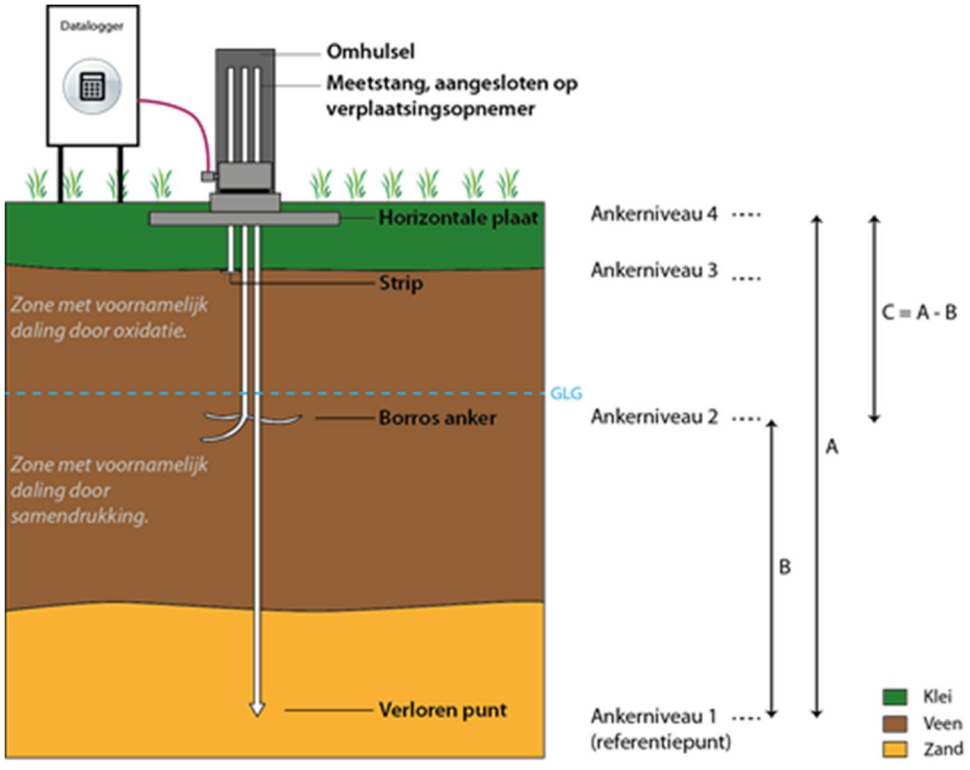
Een extensometer meet op één locatie doorlopend de beweging van verschillende (anker)niveaus in de ondergrond. Hieruit kan de bijdrage van verschillende bodemlagen, c.q. processen, worden afgeleid (bijvoorbeeld, de bijdrage van de onverzadigde zone tussen maaiveld en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) is C = A – B in Figuur 3.12). Op de verschillende niveaus wordt gebruik gemaakt van verschillende type ankers:

- Ankerniveau 1 is een massieve punt met gekoppelde stangen tot aan maaiveld. Het anker staat in het diepere zand en dient als referentie voor de andere ankerniveaus. Voor het plaatsen van dit anker is voorgeboord met een guts of is er een sondering gezet. Op basis van de sondeergegevens kan goed bepaald worden op welke diepte de stabiele (Pleistocene) zandlaag begint (hoge weerstand). Het anker is vervolgens met een sondeerapparaat in de stabiele zandlaag weggedrukt. Alleen in Rouveen, waar de

zandlaag relatief ondiep begint (circa 3.5 m-maaiveld) is het anker met een handhei circa 0.6 m het zand in geheid.

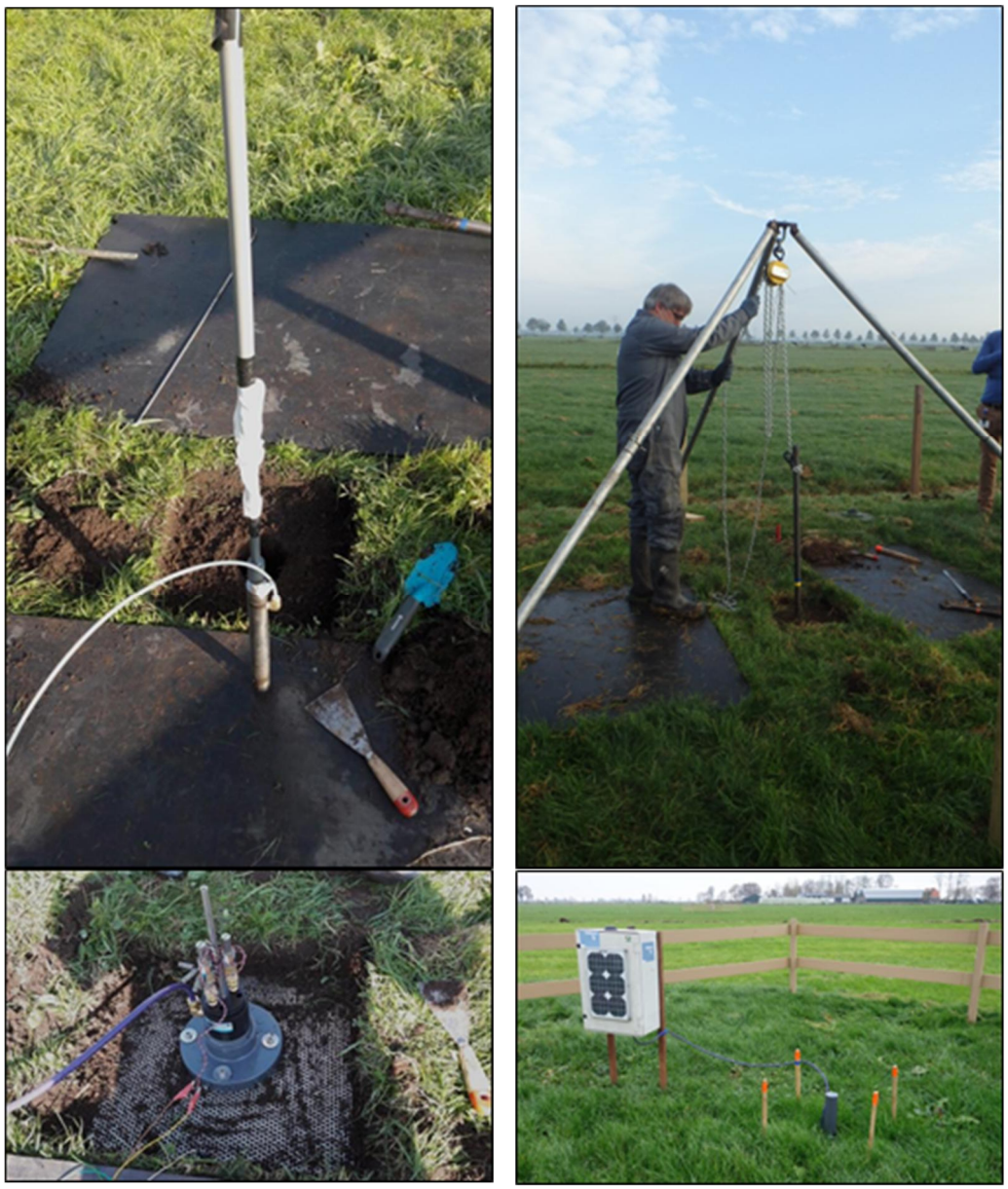
- Ankerniveau 2 is een Borros anker, welke onder de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) is geplaatst. De GLG is bepaald op basis van lokale grondwaterstandsmetingen en/of grondwaterputgegevens uit het Dinoloket. Voor het plaatsen van het Borros anker is voorgeboord met een guts. Nadat het anker op diepte is gebracht zijn de ankerhaken aan de onderkant van de staaf hydraulisch in de naastgelegen slappe bodemlaag gedrukt. Dit niveau meet de beweging veroorzaakt door het veen tussen dit punt en het dieper gelegen referentiepunt (voornamelijk veroorzaakt door samendrukking; B in Figuur 3.12).
- Ankerniveau 3 bestaat uit een staaf met haaks daarop een strip die met de hand onder de vaak kleiige toplaag is gedrukt (circa 0.4 m-maaiveld). Dit niveau meet de bijdrage van de veenlaag aan de totale bodemdaling. Samen met anker 4 kan ook de bijdrage van de toplaag worden bepaald.
- Ankerniveau 4 bestaat uit een vierkante geperforeerde RVS-plaat van 0.4 x 0.4 meter die is ingegraven op 5 cm onder maaiveld. De plaat zorgt ervoor dat dit niveau met de grond meebeweegt. Dit niveau meet de totale beweging van de grondlagen tussen grofweg maaiveld en het referentiepunt in het zand (A in Figuur 3.12). Het is niet mogelijk om de horizontale plaat precies op maaiveld te plaatsen omdat dat te verstoringsgevoelig is voor bijvoorbeeld grasgroei.

Tussen ankerniveaus 1 en 3 kunnen meerdere Borros ankers worden geplaatst. Dit is al dan niet gedaan op basis van de dikte en opbouw van de Holocene deklaag. Deze opbouw is bepaald op basis van handboringen en/of sonderingen (Bijlagen D - L). De beweegredenen voor het kiezen van bepaalde ankerdiepten per extensometer op de verschillende meetlocaties worden toegelicht in Hoofdstuk 4. In een drainageperceel is de extensometer midden tussen twee drains geplaatst.



Figuur 3.12: Schematische weergave van het extensometer meetsysteem. Meerdere Borros ankers kunnen worden toegevoegd op andere diepten in het veenpakket.

Rondom de ankerstaven van ankers 1 t/m 4 is een PVC-buisje met een schuifconstructie aangebracht om kleef en krachten door de inklinkende grond op de meetstaven te voorkomen. De ankerstaven komen uit in het opnemerhuis. Het opnemerhuis is met een flens bevestigd op de RVS-plaat van anker 4. In het opnemerhuis worden met verplaatsingsopnemers de hoogteveranderingen van alle ankers ten opzichte van anker 1 gemeten. Er wordt gebruik gemaakt van trillende snaar sensoren. Het meetpunt wordt afgeschermd met een beschermkap die tot ~30-35 cm boven maaiveld uitsteekt (Figuur 3.13).



Figuur 3.13: Linksboven: Meetstang met Borros anker met PVC beschermbuis over de ankerstang en een schuifconstructie afgedekt met geotextiel. Onderaan de buis is een verloren punt met kabel bevestigd aan de meetstang. Rechtsboven: stalen buis waarmee het diepste anker in het zand is geheid. Linksonder: de top van de afgewerkte extensometer met een RVS plaat, flens, opnemerhuis. Rechtsonder: De meetsensoren van de extensometer, afgedekt met een kap, zijn met kabels bevestigd aan een datalogger.

De verplaatsingsopnemers op de verschillende ankerniveaus van de extensometers zijn verbonden met een datalogger die in een kast naast het meetpunt staat. Er wordt automatisch en continu ieder uur de hoogte ten opzichte van het diepste anker gemeten. De data worden elk uur

naar Deltares en naar de NOBV-database verzonden, waar ze kunnen worden geanalyseerd en gevisualiseerd.

3.10.3 LiDAR

Airborne LiDAR
LiDAR staat voor *Light Detection And Ranging*. Bij deze technologie worden laserpulsen (lichtgolven) vanuit een scanner gezonden, waarbij de scanner bevestigd is aan een helikopter, vliegtuig of drone (airborne LiDAR). De afstand tot het object of oppervlak wordt bepaald door de tijd te meten die verstrijkt tussen het uitzenden van een puls en het opvangen van een reflectie van die puls. De metingen resulteren in een vlakdekkende kaart van de hoogte. Door op verschillende momenten te meten kunnen hoogteveranderingen worden bepaald. Airborne LiDAR is toegepast in Rouveen en Zegveld en worden uitgevoerd (veldmeting en dataverwerking) door Shore Monitoring.

LiDAR vanuit vliegtuigen en drones hebben een absolute nauwkeurigheid van 0-3 cm op landbouwgrond. Om de gewenste nauwkeurigheid te halen, waarbij we bodembeweging op sub-centimeter schaal betrouwbaar willen kunnen monitoren, is gebruik gemaakt van gefundeerde (stabiele) grond controle punten (GCP's), waaraan de veldmetingen worden gerefereerd. De GCP's kunnen of onderheide objecten zijn, zoals bruggen of de hoek of nok van een gebouw, of het zijn voor dit project gefabriceerde constructies bestaande uit een horizontale plaat van 100 x 100 cm op een verticale in de zandondergrond gefundeerde buis. De plaat is voorzien van reflecterende folie en steekt circa 30 cm boven maaiveld uit. Voor alle metingen worden de LiDAR puntenwolken in verticale richting naar een GCP verplaatst, waardoor de absolute nauwkeurigheid van de metingen wordt verhoogd. Dit is gedaan op basis van het verschil tussen hoogtewaarden in de LiDAR data van de horizontale GCP en de hoogtewaarden van de GCP zoals ingemeten met behulp van een langdurige GNSS meting. De puntenwolken zijn vervolgens vergrid naar regelmatige grids (Digitale Hoogtemodellen; DTM's). Op basis van de DTM's van de verschillende metingen zijn kaarten van hoogteverandering gemaakt per perceel en per platform (drone of vliegtuig). Ook zijn de LiDAR resultaten vergeleken met veldmetingen. Voor details van de methodiek en overige specificaties wordt verwezen naar Bijlage A.

Laser aan statief
In Rouveen en Zegveld wordt in het referentieperceel en het onderwaterdrainageperceel (Rouveen) of drukdrainageperceel (Zegveld) ook gemeten met een gedetailleerde optische (FARO) laserscan (type focus 3Dx) aan mobiel statief. Het doel hiervan is (1) om op lokale schaal de hoogte(verandering) van een klein oppervlak te bepalen ten behoeve van het optimaliseren van InSAR analyses, met name om de relatief snelle bodemstijging in de overgangsperiode naar de herfst (natte periode) beter te kunnen schatten, (2) het verder ontwikkelen van een beter mechanistisch begrip van het effect van druk- en onderwaterdrainage op bodembeweging en (3) deze metingen en methode te vergelijken met andere hoogtemeetmethoden zoals waterpassen, airborne LiDAR, en de extensometermethode, om zodoende uitspraken te kunnen doen over de betrouwbaarheid en toepasbaarheid van verschillende methoden. Verwacht wordt dat laser aan statief betrouwbaardere metingen oplevert dan airborne LiDAR omdat er vanuit een niet-bewegend punt wordt gemeten en de meetafstand kleiner is waardoor de puntdichtheid groter zal zijn. Daarnaast levert het sneller en meer data op vergeleken met waterpassen.

In elk perceel wordt met een laserscan gedetailleerd de maaiveldhoogte gemeten, inclusief enkele ruimtelijk verdeelde herkenningspunten (markers). Het meetveld heeft een straal van ongeveer 10 m vanaf het middelpunt. Hierbinnen valt een kleiner meetveld met een straal van ongeveer 5 m vanaf het middelpunt dat gemaaid wordt voorafgaand aan de meting. In het meetveld worden vier markers geplaatst. Dit zijn goed herkenbare bollen die op een stang worden geklikt. Elke stang wordt vooraf in de bodem gedrukt op vastgelegde coördinaten. De laserscan wordt opgesteld op

een statief nabij het middelpunt van het meetveld. De hoogte van het statief wordt geodetisch ingemeten middels waterpassen vanaf bekende vaste (diep gefundeerde) NAP-referentiepunten in de directe nabijheid.
Ook de hoogte van de bolmarkers wordt ingemeten ten opzichte van het lokale referentiepunt. Vervolgens wordt een automatische rondmeting gestart met de laserscan. Daarna wordt de laserscan verplaatst naar een tweede opstelpunt enkele meters vanaf het middelpunt en een tweede laserrondmeting gedaan. Deze tweede lasermeting wordt verricht om schaduwwerking in de separate metingen zo goed mogelijk te elimineren. Schaduwwerking is het gevolg van spoorvorming in het veld en gewashoogte.

De verzamelde hoogtedata van de lasermetingen van alle meetvelden worden door de laborant op kantoor uitgewerkt naar ascii-files met hoogtedata per coördinaatpunt. Nabewerking bestaat er vooral uit om de laserdata naar hoogten ten opzichte van NAP te transformeren op basis van de ingemeten hoogten van de bolmarkers die goed in het laserbeeld zijn te herkennen. Uit de analyse volgt een beeld van de exacte ruimtelijke verdeling van de maaiveldhoogte van ieder meetveld. De hoogtedata kunnen worden geanalyseerd om daar een gemiddelde hoogte en spreiding van de maaiveldhoogte van het meetveld uit af te leiden. Omdat data van meerdere meetmomenten in de tijd worden verzameld kunnen verschilhoogten (zakkingen en stijgingen) worden bepaald. Deze uitkomsten worden vergeleken met geodetische hoogtemetingen en metingen met extensometers op enkele nabijgelegen punten die bij het meetveld zijn geplaatst.

Er wordt vier keer per jaar gemeten; in januari, april, september en oktober. Drie meetmomenten vallen daarbij samen met waterpasmetingen. De zomermeting (juli) wordt verschoven naar september omdat het doel is om juist de snelle stijging in de nazomer/begin herfst te meten. Ook wordt dan minder hinder ondervonden van de hoogte van het gewas, wat vaak hoog staat in de zomer.

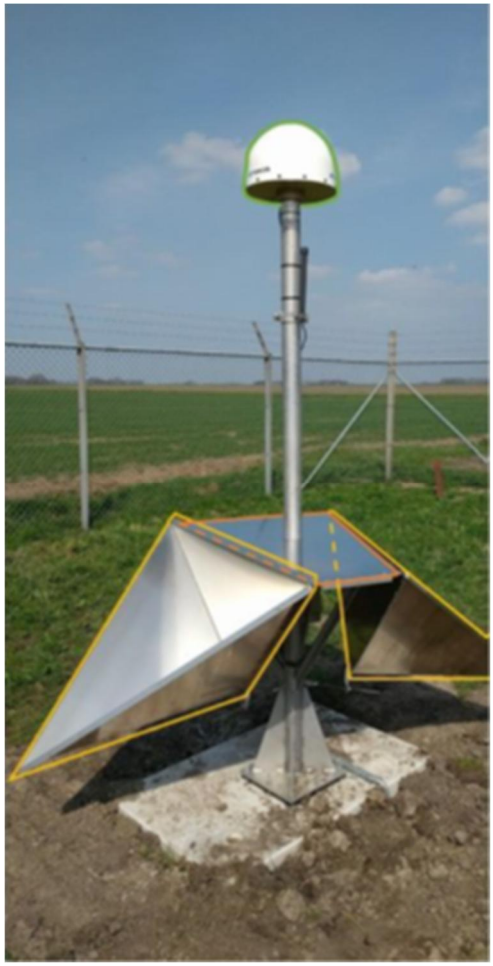
3.10.4 InSAR

InSAR staat voor *Interferometric Synthetic Aperture Radar*. InSAR gebruikt radarbeelden die van de aarde worden gemaakt met een satelliet. Beelden die op verschillende momenten van dezelfde plek zijn gemaakt worden gebruikt om bodemdaling uit af te leiden. Dat gebeurt voor reflectiepunten aan het oppervlak die een consistent (niet te sterk wisselend en daarmee goed te interpreteren) signaal terugkaatsen. Goede reflectiepunten zijn vooral te vinden in de bebouwde omgeving (delen van daken of het wegdek) en de verticale beweging kan voor die punten vaak worden bepaald met een nauwkeurigheid van minder dan een millimeter per jaar. In een weiland is de consistentie van gereflecteerde radarsignalen kleiner. Daardoor is het voor een weiland moeilijker om met InSAR bodemdaling te bepalen, en daarmee nog experimenteel en in ontwikkeling.

De InSAR analyses binnen het NOBV worden uitgevoerd door TUDelft in samenwerking met Deltares, en zijn in eerste instantie gedaan voor de meetlocaties Rouveen en Zegveld. Op deze locaties is in het eerste NOBV jaar een *Integrated Geodetic Reference Station* (IGRS) geïnstalleerd door Visser & Smit Bouw, onder leiding van Deltares en TUDelft. Een IGRS is een gefundeerde GNSS mast met daaraan vastgemaakt twee grote hoekreflectoren (tetraëders) voor het reflecteren van het radarsignaal en een horizontale plaat welke gebruikt kan worden als referentieniveau voor andere hoogtemetingen zoals waterpassen (Figuur 3.14). Dit biedt de mogelijkheid om verschillende meettechnieken te koppelen via hetzelfde referentieframe.

Door de hoogte(verandering)metingen bepaald met InSAR te refereren aan het gefundeerde IGRS kunnen absolute waarden van de hoogte(verandering) relatief ten opzichte van een geodetisch referentiesysteem (bijvoorbeeld NAP), en de zakkingssnelheid, met grotere precisie en betrouwbaarheid worden bepaald. Tevens kan worden bepaald of de Pleistocene ondergrond op

de meetlocaties daadwerkelijk, zoals aangenomen, een stabiele laag is, of dat deze laag mogelijk toch verticale bewegingen vertoont.



Figuur 3.14: Een Integrated Geodetic Reference Station, zoals geplaatst in Zegveld en Rouveen. Groen-omlijnd is de GNSS-antenne, geel-omlijnd zijn te twee radarreflectoren en oranje-omlijnd de horizontale (referentie) plaat.

De satelliet die het radarsignaal uitzendt, registreert onder andere de fase van een op het aardoppervlak gereflecteerde radargolf. Een verschil in fase (fractie van de hele radargolf) tussen twee observaties op één locatie duidt op beweging van het oppervlak. Omdat de lengte van een radargolf bekend is (orde grootte van enkele centimeters, afhankelijk van de satelliet) kan op deze manier deformatie van een oppervlak met millimeter betrouwbaarheid bepaald worden. Hiervoor worden interferogrammen gemaakt: een kaart van het faseverschil van twee radarbeelden. Op basis van de interferogrammen wordt de deformatie bepaald. Hierbij is het belangrijk te weten of een faseverschil gepaard gaat met een fractie van de radargolf, of daarnaast ook een of meerdere golfcycli bevat. In het laatste geval is de deformatie groter dan in het eerste geval. Het proces van het bepalen van het aantal golfcycli wordt aangeduid met ‘unwrapping’. Om dit proces zo goed mogelijk te doen wordt gebruik gemaakt van a priori kennis over de hoeveelheid en snelheid van bodembeweging op dezelfde tijdschaal van de InSAR analyse, zodat er een schatting gemaakt kan worden van het aantal cycli.

Voor de InSAR analyses in Rouveen en Zegveld zijn Sentinel 1-a/b data gebruikt voor de periode 2017-2019. De golflengte van deze data is 2.8 cm, waardoor bodembewegingen groter dan 1.4 cm tussen twee tijdsstappen het unwrapping proces lastig kan maken, omdat het tellen van golfcycli onzekerheid met zich meebrengt.

3.11 Bodemonderzoek

3.11.1 Opbouw van de ondergrond

De geologische opbouw van de ondergrond is onderzocht door middel van handboringen met guts en edelmanboor. In Rouveen, Zegveld en Aldeboarn is geboord tot de top van de Pleistocene zandondergrond. In Vlist en Assendelft, waar de stabiele Pleistocene zandondergrond relatief diep ligt, en er bovenliggende minerale lagen voorkomen in het veenpakket bestaande uit mengsels van kei, silt en zand, waar moeilijk doorheen te komen is met de hand, is geboord tot maximaal 7 m-maaiveld. De boringen zijn door Deltares onderzoekers in het veld beschreven volgens de Standaard Boorbeschrijving 5.1 (Bosch, 2000), waarbij veen in detail is beschreven volgens het door Deltares ontwikkelde veenbeschrijvingsprotocol (Erkens et al., 2013).

Daarnaast zijn, om een beeld te krijgen van de profielopbouw (bovenste circa 2 m), bodemkundige boringen verricht door onderzoekers van WEnR. De profielen zijn geclassificeerd volgens het Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland (Bakker en Schelling, 1989). De profielbeschrijvingen en het schatten van het grondwaterstandverloop is gedaan overeenkomstig de richtlijnen en voorschriften voor bodemgeografisch onderzoek (Cate et al., 1995). Bij elke grondboring zijn van elke onderscheiden laag het organische-stofgehalte, textuur, lutumgehalte, leemgehalte en M50 geschat. Tevens is aangegeven tot welk geologisch pakket de onderscheiden laag behoort. De eerste 100 cm is geboord met de Edelman boor, daarna is voor de veenondergrond de guts gebruikt. Na het boren zijn de boorgaten tijdelijk “open” gelaten om er een grondwaterstand in te meten.

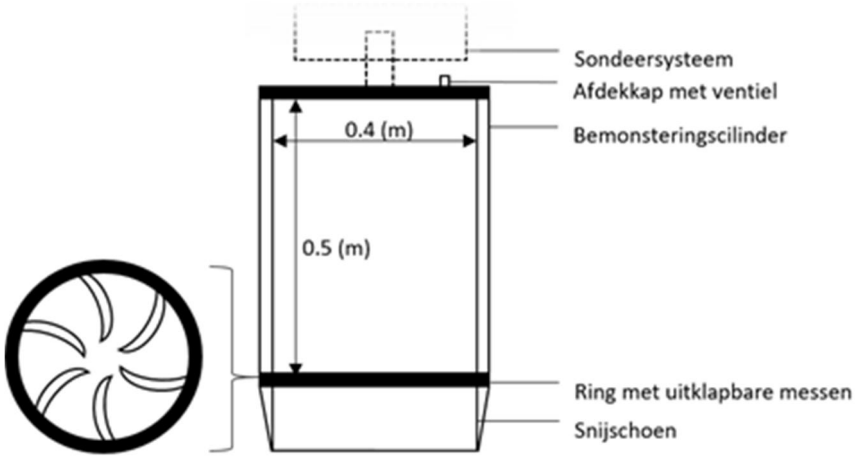
Op de meeste locaties zijn tevens sonderingen geplaatst op de locatie van de extensometer en/of diepe peilbuis. Dit is gedaan om een indruk te krijgen van de opbouw van de hele Holocene deklaag en om de diepte van de stabiele zandondergrond te bepalen. Dit laatste is van belang voor het bepalen van de diepte van het diepste anker van de extensometer, en voor het bepalen van de diepte van de gefundeerde peilbuizen (Assendelft en Vlist).

3.11.2 Geotechnische bodemeigenschappen

Het bepalen van geotechnische eigenschappen, in dit onderzoek met name samendrukkingseigenschappen, is nodig om bodemdaling te kunnen voorspellen met modellen. Omdat veen een vezelige en heterogene structuur heeft is dit voor veengronden een uitdaging en zijn standaard laboratoriumproeven op grondmonsters met een diameter van 3.8, 5.0 of 6.5 cm meestal niet toereikend. Bij dergelijke afmetingen kunnen vezels in het veen even lang zijn als de diameter van de standaard grondmonsters en wordt de veengrond al snel veel verstoord tijdens het bemonsteren en uitdrukken, waardoor de geotechnische eigenschappen makkelijk kunnen veranderen ten opzichte van de in-situ condities in de ondergrond. Het is daarom beter om monsters met een groot volume te steken. Mede hiervoor heeft Deltares de Deltares Large Diameter Sampler (DLDS) ontwikkeld (Zwanenburg, 2017). Het steken van grote monsters veroorzaakt ook geringe monsterverstoring: het oppervlak dat direct beïnvloed wordt door de steekbus is relatief gering wat een positieve invloed heeft op de monsterverstoring. Daarnaast is het door de grote afmetingen mogelijk zo representatief mogelijk materiaal te selecteren voor een test en om naast elkaar gelegen monsters genomen uit homogeen materiaal te beproeven, om zodoende variaties door de meting zelf te kwantificeren.

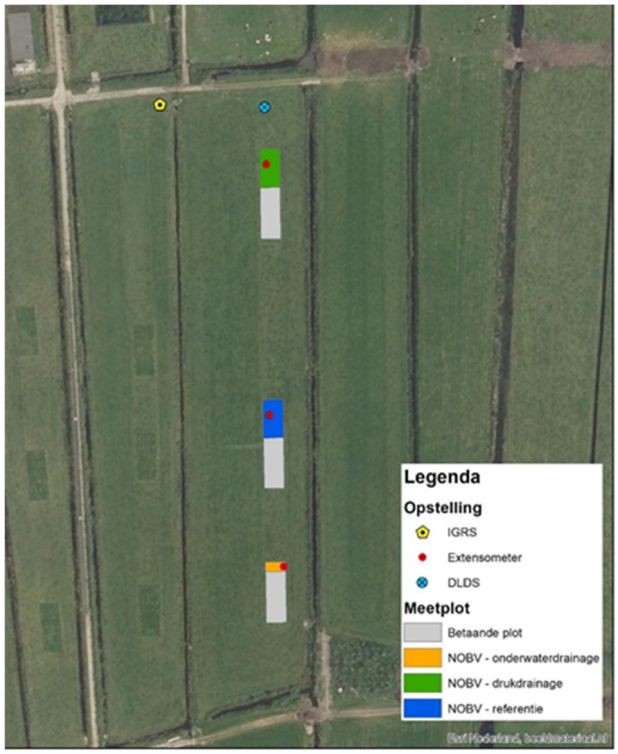
Met de DLDS-bemonstermethode kunnen geotechnische eigenschappen van veen beter bepaald worden dan met de standaard bemonstermethoden. Hierdoor worden bodemdalingsvoorspellingen nauwkeuriger. Met de DLDS kunnen veen- of kleimonsters worden genomen met een diameter van 40 cm en een hoogte van 50 of 100 cm, afhankelijk van de gebruikte steekbuis. Uit de grote grondmonsters kunnen vervolgens, onder gecontroleerde condities en met zo min mogelijk verstoring, kleinere monsters gesneden worden voor bijvoorbeeld samendrukkings- of CRS proeven.

Figuur 3.15 toont een schematische weergave van de DLDS. Het bemonsteringssysteem bestaat uit vier essentiële componenten: de snijschoen, een ring met uitklapbare messen, de bemonsteringscilinder en een afdekkap met ventiel. Het geheel wordt met een conventioneel sondeersysteem, in samenwerking met Wiertsema & Partners, de grond ingedrukt. Wanneer de DLDS de gewenste diepte heeft bereikt, snijden de uitklapbare messen het bodemmonster aan de onderkant horizontaal af. Bij het omhooghalen van de DLSD houden deze messen het bodemmonster op zijn plek. Daarnaast wordt het ventiel bovenin de bemonsteringscilinder gesloten bij het ophalen, waardoor door middel van zuiging het monster op zijn plek blijft.



Figuur 3.15: Schematische weergave van de belangrijkste componenten van de Deltares Large Diameter Sampler.

In Zegveld zijn vijf monsters met een diameter van 0.4 m en een hoogte van 0.5 m gestoken in perceel 16, ten noorden van de NOBV drukdrainage meetplot (Figuur 3.16) op diepten van 0.3-0.8 m-maaiveld, 0.8-1.3 m-maaiveld, 1.3–1.8 m-maaiveld, 1.8-2.3 m-maaiveld en 5-5.5 m-maaiveld.



Figuur 3.16: Locatie van de DLDS bemonstering op perceel 16 in Zegveld.

De bussen worden na het bovenhalen afgedicht met kunststoffen deksels. De feitelijke afsluiting wordt gevormd door een groef met O-ring. Na aankomst in het laboratorium van Deltares worden de bussen bij een constante temperatuur van ongeveer 10 graden Celsius en een relatieve luchtvochtigheid van minimaal 85% opgeslagen.

Vlak voor de bemonstering worden de bussen uit de koeling gehaald en op een speciaal geprepareerde tafel gefixeerd (Figuur 3.17). In de tafel is een uitsparing gemaakt waar de bemonsteringscilinder precies in past. In de uitsparing is de uitdrukplaat geplaatst die door middel van een handbediende, hydraulische cilinder langzaam het gestoken monster uit de bemonsteringscilinder drukt.

Figuur 3.17: Bemonsteringscilinder op de uitdruktafel.

De bovenste laag van enkele centimeters dik is verstoord, deze wordt verzameld en in een zak gedaan zonder speciale voorzieningen. Hierop kunnen eventueel proeven uitgevoerd worden

waarvoor het materiaal niet ongestoord hoeft te zijn. Vervolgens wordt het gestoken monster in etappes van de 12 cm langzaam uitgedrukt.

Figuur 3.18: Eerste halve 12-cm plak is uitgesneden.

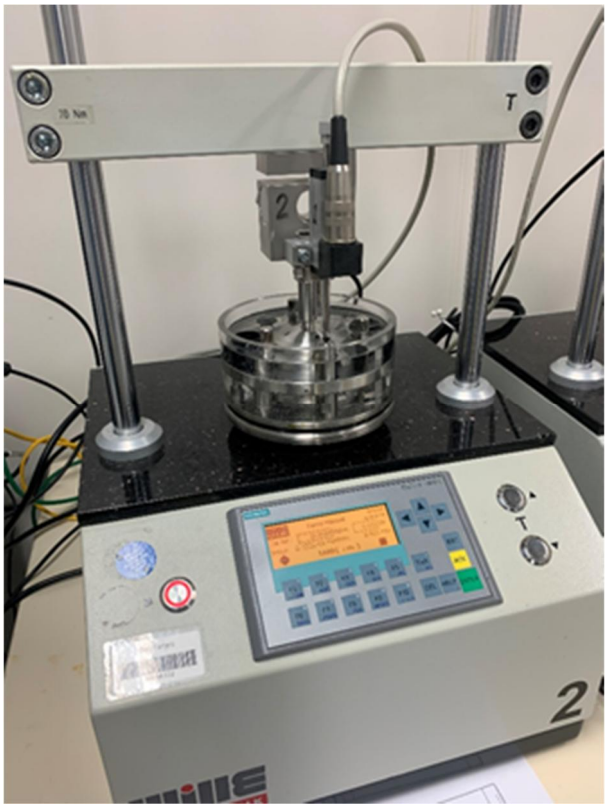
Met draadzagen en/of scherpe kebabmessen wordt elke plak van 12 cm dik losgesneden (Figuur 3.18). De bovenste laag wordt in z'n geheel in kwarten opgedeeld. Elk kwart wordt zorgvuldig in huishoudfolie met daaromheen aluminiumfolie gewikkeld om de intree van zuurstof in het monster zoveel mogelijk tegen te gaan. Van de lagen daaronder wordt van de helft kwarten genomen, dus 2 kwarten per 12 cm. Van het resterende deel wordt een plak in de verticaal afgesneden voor de beschrijving en een foto. Het resterende deel wordt, op dezelfde zorgvuldige wijze als de kwarten, ingepakt voor eventuele latere analyses.

Uit de kwarten worden vervolgens de samendrukkingsmonsters gestoken. Over de gehele hoogte van de bemonsterde veenlaag (dus uit alle genomen steekmonsters) worden 15 samendrukkingsproeven uitgevoerd, 10 verdeeld over de hoogte en de 5 direct naast één van die 10. Hierdoor wordt niet alleen een goed beeld van de samendrukkingseigenschappen (vervormbaarheid en consolidatiesnelheid) over het gehele diepte-interval verkregen, maar door de proeven die op dezelfde diepte als anderen worden uitgevoerd, ook van de variatie van de parameters op vergelijkbaar materiaal.

Naast de samendrukkingsproeven zijn ook bepalingen uitgevoerd van de volumieke massa, watergehalte en het organisch stofgehalte (gloeiverliesmethode). In onderstaande Tabel 3.4 zijn alle proeven per diepte weergegeven.

Tabel 3.4: Uitgevoerde proeven per diepte-interval (Zegveld).

Diepte [m-mv]		Samendrukkingsproef	Organisch stofgehalte	Volumieke massa, watergehalte
-0.30	-0.43		X	X
-0.43	-0.53		X	X
-0.58	-0.60	X	X	X
-0.58	-0.60	X	X	X
-0.71	-0.73	X	X	X
-0.74	-0.76	X	X	X
-0.90	-0.92	X	X	X
-0.90	-0.92	X	X	X
-1.00	-1.12		X	X
-1.01	-1.03	X	X	X
-1.01	-1.03	X	X	X
-1.01	-1.03	X	X	X
-1.24	-1.30		X	X
-1.34	-1.38		X	X
-1.46	-1.58	X	X	X
-1.46	-1.58	X	X	X
-1.62	-1.64	X	X	X
-1.84	-1.96	X	X	X
-1.84	-1.96	X	X	X
-1.96	-2.06		X	X
-2.06	-2.18	X	X	X
-2.06	-2.18	X	X	X
-2.18	-2.30		X	X
-5.10	-5.12	X	X	X
-5.10	-5.12	X	X	X
-5.16	-5.28		X	X
-5.28	-5.38	X	X	X
-5.38	-5.50		X	X



Figuur 3.19: Opstelling samendrukkingsproef.

Kruip is het proces waarbij het korrelskelet zich langzaam reorganiseert zonder dat dit direct wordt gedreven door een toename van effectieve spanning (korrelspanning = grondspanning – waterspanning). Kruip treedt tegelijkertijd op met de fase waarin het poriënwater wordt uitgedrukt (consolidatie), maar kan ook nog heel lang doorgaan. Kruip komt met name voor in veen- en kleigronden, en kan in deze gronden tot aanzienlijke restzettingen zorgen. Daarom is er speciale aandacht bij de uitvoering van de samendrukkingsproeven gegeven aan de bepaling van de kruipeigenschappen (Figuur 3.19). In totaal bestaat een proef uit 11 stappen, waarvan 2 stappen een week duren. Standaard duurt een belastingsstap 1 dag.

Eén lange stap wordt bij de terreinspanning (dus voorbelast) en één in het niet voorbelaste, maagdelijke gebied uitgevoerd. Op deze wijze wordt de kruipparameter niet alleen preciezer bepaald, maar ook de invloed van de voorbelasting (OCR) op deze snelheid en kan bovendien een vergelijking worden gemaakt met de in-situ kruipsnelheden.

Het is bekend dat de eigenschappen van veen kunnen veranderen tijdens een samendrukkingsproef, waarschijnlijk hangt dit samen met de inwerking van zuurstof. Een invloed die vooral van belang kan zijn bij deze langdurige proeven. Om deze reden worden de proeven bij een temperatuur van 9 graden Celsius uitgevoerd en wordt op het water rondom het monster in de ring, een laagje olie aangebracht. Hierdoor worden invloeden van zuurstof zoveel mogelijk beperkt zonder de toevoeging van chemische middelen die de eigenschappen van het materiaal kunnen veranderen.

Na afloop van elke samendrukkingsproef wordt het organisch stofgehalte van het beproefde monster bepaald. Daarnaast worden aparte monsters genomen waarvan volumieke massa, watergehalte en organisch stofgehalte van wordt bepaald. Op deze manier is er over de volledige hoogte, om de circa 10-12 cm informatie van volumieke massa, watergehalte en organisch stofgehalte. Het organisch stofgehalte is bepaald door middel van de gloeirest bepaling.

De proeven worden op de standaard manier uitgewerkt, waarbij de a,b,c isotachen en NEN-Bjerrum parameters bepaald worden. Ook worden de grensspanningen op verschillende manieren bepaald. In een later stadium worden de kruiptakken nader geanalyseerd ter verificatie van het isotachenmodel en vergelijking met de in-situ kruipsnelheden. Daarnaast gaan 1-D zettingssommen uitgevoerd worden met D-Settlement na interpretatie van de verschillen in parameters.

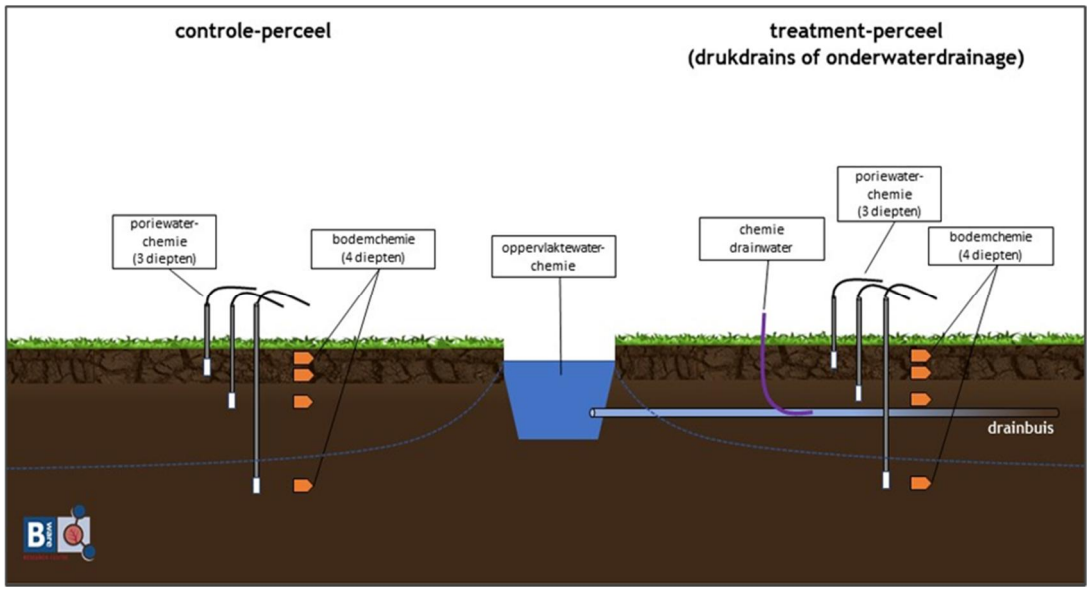
3.12 Biogeochemie

3.12.1 Bemonstering van bodem en water

Voor het biogeochemisch onderzoek werden verspreid over Nederland vijf locaties bemonsterd: Aldeboarn (ALB), Rouveen (ROU), Assendelft (ASD), Zegveld (ZEG) en Vlist (VLI). Op iedere locatie is sprake van onderzoek op één 'referentieperceel' en één 'treatment-perceel' waar een behandeling of maatregel wordt uitgevoerd. De 'treatment' bestaat uit drukdrainage (ASD, ZEG) of onderwaterdrainage (ROU, ZEG, VLI). Een belangrijk uitgangspunt van het meetprogramma is dat de biogeochemie op dezelfde tijdstippen wordt gemonitord als dat gasfluxmetingen worden verricht, omdat op die manier een koppeling kan worden gemaakt tussen broeikasgasemissies en de dan aanwezige biogeochemische toestand van het perceel. Voor het biogeochemisch onderzoek in meetjaar 1 werden op iedere locatie de volgende onderdelen bemonsterd (Figuur 3.20):

1. Bodem: éénmalige bemonstering;
2. Poriewater (bodemvocht): 2 – 4 x bemonsterd;
3. Oppervlaktewater: 2 - 4 x bemonsterd;
4. Drains: bemonstering van water uit de drainbuizen, 2-4 x bemonsterd (indien toegankelijk).

In totaal werden 10 percelen bemonsterd (5 locaties x 2 percelen). Per perceel werd voor poriewater op vijf locaties een bemonstering gedaan (5 replica's) en voor bodem op 4 locaties (4 replica's). Ervaring leert dat de bodemchemie relatief constant blijft over het jaar in vergelijking met de chemische samenstelling van porie- en oppervlaktewater, welke sterk kan fluctueren over het jaar. Daarom is binnen het monitoringsprogramma vooralsnog uitgegaan van een éénmalige bemonstering van de bodem en worden porie- en oppervlaktewater frequenter bemonsterd.



Figuur 3.20: Schematisch overzicht van de opzet van de bemonstering. Op iedere locatie werden alle 'compartimenten' van het grasland- en daarmee samenhangend watersysteem bemonsterd, te weten de bodem, het poriewater op verschillende diepten, het oppervlaktewater en het water in de drainbuizen.

3.12.2 Bodem

De bodem is bemonsterd op vier verschillende diepten. Op iedere site is de selectie van bemonsteringslocaties en de te bemonsteren bodemlagen gemaakt in overleg met de Universiteit Utrecht. Op die manier wordt efficiënt gebruik van middelen en zijn de resultaten van het bodemchemisch onderzoek tevens bruikbaar voor het onderzoek aan bodemrespiratie:

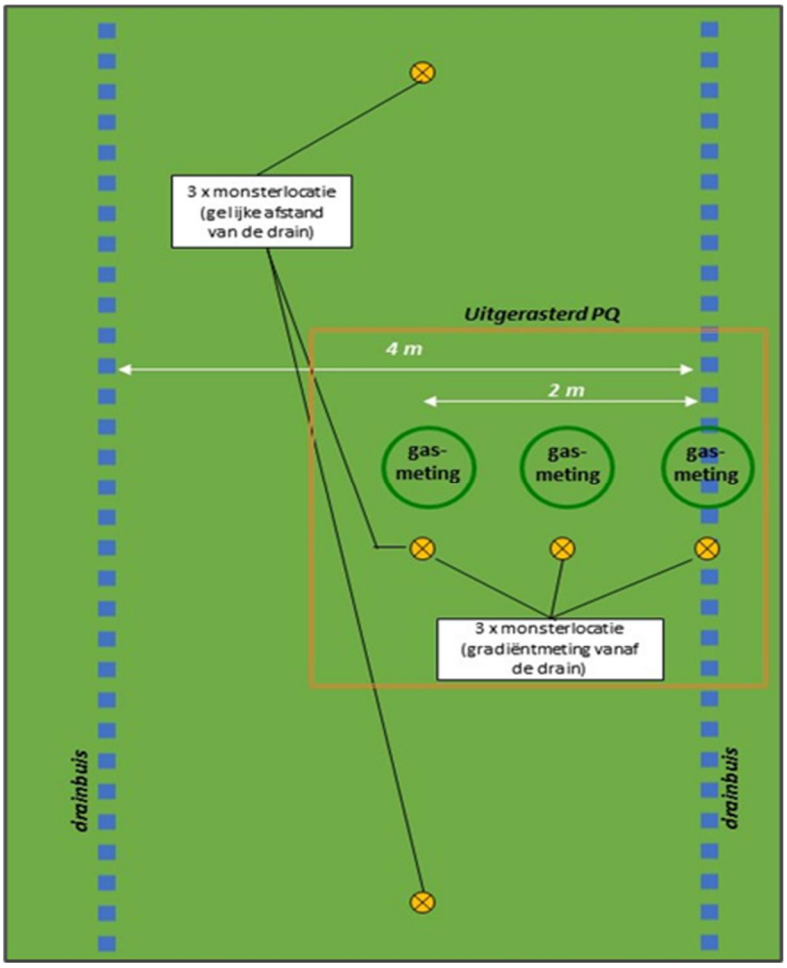
- Laag 1: toplaag (0-10 cm – mv);
- Laag 2: geoxideerde bouwvoor (20 – 30 cm - mv);
- Laag 3: wisselvochtige laag, (ca. 50 – 80 cm – mv, afhankelijk van de site);
- Laag 4: waterverzadigde zone, > 120-150 cm – mv (permanent onder het grondwater).

Aan de bodemmonsters werden de volgende analyses uitgevoerd; zie het meetprotocol voor een uitgebreide beschrijving van de methoden en analysen:

- DWOS: bepaling van versgewicht, drooggewicht, vochtgehalte en organisch stofgehalte (o.b.v. gloeiverlies); deze bepalingen zijn tevens noodzakelijk voor de verdere verwerking van de analyseresultaten verkregen uit de extracties en destructie.
- Destructie: door de bodem te destrueren (ontsluiten) in een sterk zuur is het mogelijk de totale concentratie van elementen in het bodemmateriaal te bepalen. Daarbij worden de totaalconcentraties geanalyseerd van Al, Fe, Ca, Mg, K, Cl, Mn, Na, S, P, Si en Zn.
- Zout-extractie: hierbij worden aan het bodemadsorptiecomplex gebonden ionen verdrongen door natrium en chloride; in het extract wordt de pH en o.a. de hoeveelheid uitwisselbaar NH_4^+, NO_3^-, Al^{3+} en Ca^{2+} bepaald. De P-z concentratie is een goede maat voor de concentratie labiel gebonden fosfaat.
- Oxalaat-extractie: door bepaling van de concentratie ijzer- en aluminiumgebonden fosfaat is een inschatting te maken van de hoeveelheid fosfor dat de bodem kan naleveren. Tevens kan hieruit de graad van fosfaatverzadiging worden berekend.
- Olsen-extractie: ter bepaling van de hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat wordt een hoeveelheid droog bodemmateriaal met een oplossing van 0,5 M $NaHCO_3$ uitgeschud.
- CN-analyse: voor de analyse van de totale hoeveelheid koolstof en stikstof wordt een deel van het verzamelde bodem- of plantmateriaal fijngemalen in een kogelmaler. Een kleine hoeveelheid van het gemalen materiaal in een tinnen container afgewogen, waarna het in een CNS-elementenanalyzer wordt geanalyseerd.

3.12.3 Poriewater

Het poriewater, ook wel bodemvocht genoemd, is het water dat in de poriën tussen de bodemdeeltjes aanwezig is. Het bodemvocht wordt anaeroob verzameld middels vacuüm spuiten verbonden aan een op de gewenste diepte in de bodem geplaatste poreuze keramische cup (Figuur 3.22abc). Deze keramische cups werden op drie verschillende diepten geplaatst, te weten: 45/50 cm – mv, 75/80 cm – mv en 120/125 cm – mv (Figuur 3.20). Om aan te sluiten op de methodiek van de gasfluxmetingen werden drie bemonsteringslocaties zo gekozen dat er langs een gradiënt loodrecht op de drainagebuis wordt bemonsterd. De overige twee monsterpunten worden op gelijke afstand van de drainagebuis gelegd om een goede replicatie te hebben (n=3) (Figuur 3.21 en Figuur 3.22a).



Figuur 3.21: Verdeling van de 5 bemonsteringslocaties (in oranje) waar de monitoring van poriewaterchemie werd uitgevoerd: drie bemonsteringslocaties liggen op de gradiënt van drainagebuis naar het midden tussen twee drains. Deze locaties liggen naast de plekken waar ook de gasmetingen worden uitgevoerd. De andere twee bemonsteringslocaties werden op gelijke afstand van de drainagebuis gekozen, elders in het meetplot (midden tussen de drains). Deze drie fungeren als replica's om percelen met en zonder drains onderling te vergelijken.

Voor de monitoring van de poriewaterchemie wordt voor een volledig jaarprogramma uitgegaan van minimaal 8 x per jaar verspreid over het jaar te bemonsteren. Nadat begin 2020 de meetsites ingericht waren, werd -afhankelijk van de site- het poriewater 2 tot 4 maal bemonsterd (Tabel 3.5).

Tabel 3.5: Bemonsteringsfrequentie van porie-, oppervlaktewater en drainbuiswater in meetjaar 1.

Locatie	***Aantal meetronden maart-juni 2020 (meetjaar 1)***
Assendelft, Noord-Holland (ASD)	4 x (mrt-juni)
Aldeboarn, Friesland (ALB)	4 x (mrt-juni)
Zegveld, Utrecht (ZEG)	2 x (mei-juni)
Rouveen, Overijssel (ROU)	2 x (mei-juni)
Vlist, Zuid-Holland (VLI)	2 x (mei-juni)

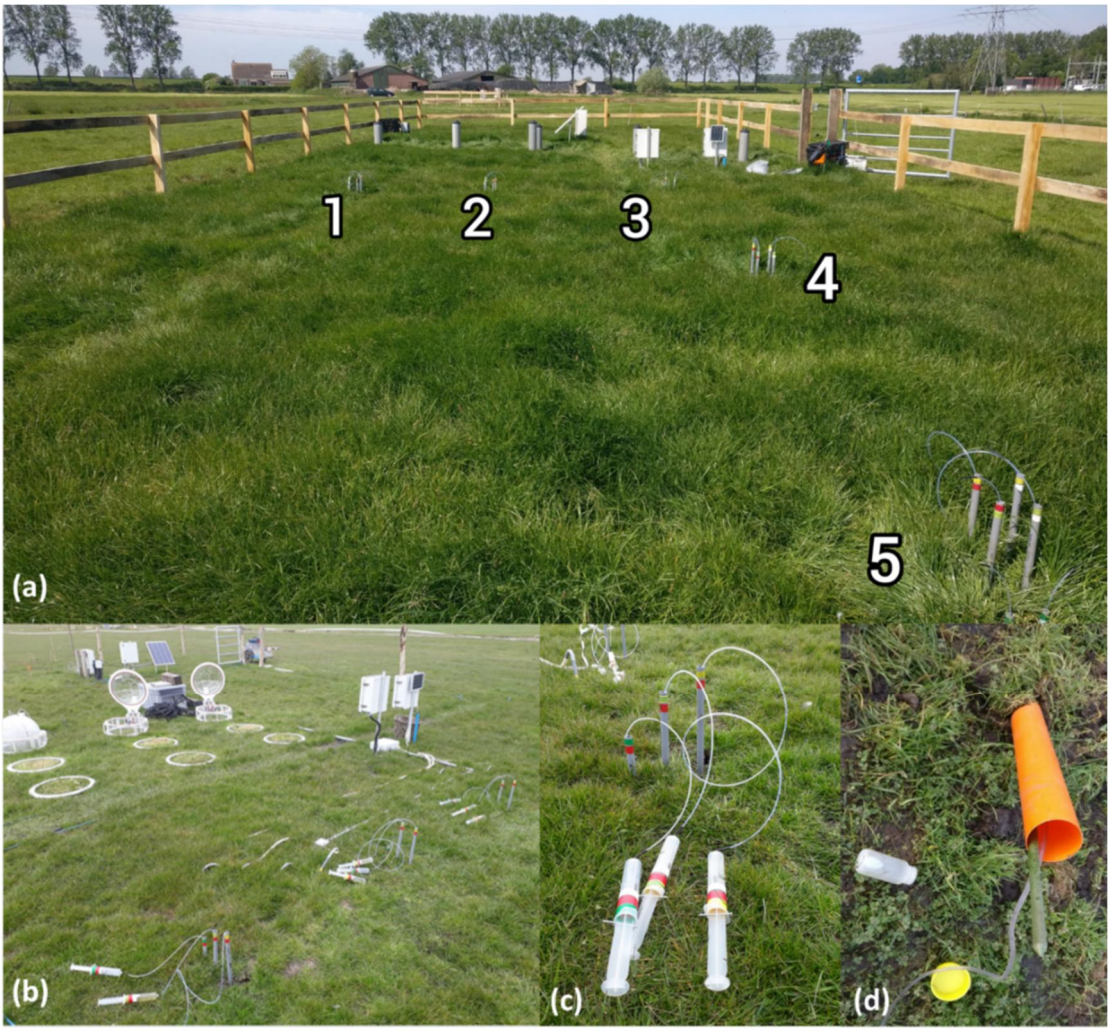
3.12.4 Oppervlakte- en drainbuiswater

Gelijktijdig met de bemonstering van het poriewater werd ook oppervlaktewater verzameld. Van de sloten werd een watermonster verzameld ter hoogte van de proefvlakken. In geval van percelen met onderwaterdrainage/drukdrainage werd specifiek de sloot bemonsterd van waaruit het water voor infiltratie wordt aangevoerd, evenals het water in de pompput (bij drukdrainage). Het drainwater werd uiteraard enkel verzameld op de locaties waar drains aanwezig zijn. Hiervoor werden op de maatregelpercelen in Assendelft en Aldeboarn drie drainbuizen toegankelijk gemaakt met Y-stukken (op de overige sites is dit pas later, aan het begin van meetjaar 2 gebeurd). Dit drainwater werd simultaan bemonsterd met het verzamelen van poriewater (Figuur 3.22d). De gegevens geven informatie over de chemische processen die zich in/rondom de drainbuis afspelen. Dit is van belang om inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van drains op de aan- en afvoer van nutriënten, DOC/POC en DON/TON naar het oppervlaktewater. Dit is relevant voor bijvoorbeeld eutrofiëring van de sloot of effecten op methaanemissies uit sloten, of effecten van de aanvoer van ionen, die de anaerobe veenafbraak zouden kunnen stimuleren. Afgezien van opgelost sulfide en methaan zijn de analysen die worden uitgevoerd aan het oppervlakte- en drainbuiswater hetzelfde als bij het poriewater (zie hieronder).

3.12.5 Chemische analysen aan watermonsters

Op de verzamelde porie-, drainbuis en oppervlaktewatermonsters werden de volgende analyses uitgevoerd:

- Opgeloste ionen, te weten: NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-}, Na^+, K^+, Cl^- (gemeten op een AutoAnalyzer) en Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Si en Zn (gemeten op een ICP);
- pH, EGV en TIC (totaal anorganisch koolstof, met pH om te rekenen in CO_2 en HCO_3^-);
- Alkaliniteit (alleen van oppervlaktewater);
- Methaan: de hoeveelheid methaan dat opgelost is in het bodemvocht wordt op locatie gefixeerd met een 4% HCl-oplossing in gasdichte vacuüm glazen buizen. De methaanconcentratie wordt gemeten met een specifieke gaschromatograaf. De uiteindelijke methaanconcentratie wordt teruggerekend naar het oorspronkelijke volume van het bodemvocht.
- Sulfide: de hoeveelheid sulfide dat is opgelost in het bodemvocht wordt op locatie gefixeerd met een 4% HCl-oplossing in gasdichte vacuüm glazen buizen. De sulfideconcentratie wordt gemeten met een specifieke gaschromatograaf. De uiteindelijke sulfideconcentratie wordt teruggerekend naar het oorspronkelijke volume van het bodemvocht.
- DOC/TOC en DON/TON: DOC (opgelost organisch koolstof), TOC (totaal organisch koolstof), DON (opgelost organisch stikstof), TON (totaal organisch stikstof) werden in water gemeten met behulp van een TOC-L CPH/CPN analyser (Shimadzu). Voorafgaand aan analyse werd het monster in de monsterbuis aangezuurd met een HCl-oplossing, gemengd en vervolgens doorborreld met een inert gas voor verwijdering van TIC (totaal anorganisch koolstof). Via een katalytische oxidatie werd al het C en N omgezet in CO_2, NO en NO_2. Deze gassen werden vervolgens gemeten, CO_2 met een Niet Dispersieve Infrarood (NDIR) sensor en NO en NO_2 met een chemi-luminiscentie detector (CLD).



Figuur 3.22: Impressie van het biogeochemisch onderzoek: (a) proefopzet in Rouveen met de verdeling van de 5 bemonsteringslocaties in het meetplot: locatie 1-3 liggen in een gradiënt vanaf de drainbuis, locatie 4 en 5 liggen net als locatie 3 midden tussen twee drainbuizen. (b) de bemonstering van het poriewater vond plaats in dezelfde gradiënt als dat de automatische fluxkamers zijn geplaatst (locatie Aldeboarn). (c) op iedere bemonsteringslocatie staan keramische cups op verschillende diepte geplaatst; met vacuüm spuiten werd het poriewater verzameld. (d) de drainbuizen zijn toegankelijk gemaakt met Y-stukken, via welke het drainwater werd verzameld (voorbeeld Assendelft).

3.13 Bodemincubatie metingen

3.13.1 Respirometer

Op de respirometer (Biometric Systems Germany) worden sub-samples van gemengde (gehomogeniseerde) bodemmonsters (grote wortel- en houtresten verwijderd) gemeten, telkens met verschillende nutriëntenaddities. In het protocol Respirometer NOBV staat in detail uitgeschreven hoe de respirometer aangesloten moet worden en welke keuzes er in de software gemaakt worden.
De metingen zijn uitgevoerd in een vaste volgorde. Bij iedere meetserie wordt er gemeten tot stabiele waarden kunnen worden bepaald en een activiteit-piek volledig kan worden vastgesteld. De minimumduur van een meetserie is 3 dagen.
Serie A: basis respiratie
Serie A+ glucose additie (toevoeging aan monster serie A)
Serie B: additie CN
Serie C: additie CP

Serie D: additie N of P (afhankelijk van de hoogste groei response in serie B en C) of in uitzonderingsgevallen CNP bij een vermoeden van co-limitatie.

De nutriënt oplossingen zijn gemaakt door respectievelijk $C_6H_{12}O_6$, NH_4Cl en Na_2HPO_4 op te lossen in demiwater (Tabel 3.6). Voor behandelingen met CN, CP en CNP zijn alle stoffen bij elkaar opgelost in 25 ml zodat het toe te dienen vocht gelijk is aan de behandelingen waar alleen C, N of P wordt toegediend. Per gram vers-gewicht (gewicht bodem + gewicht toegevoegd demiwater) wordt er voor het starten van de respiratie metingen 0,25 ml nutriënt-oplossing toegediend met behulp van een pipet.

Tabel 3.6: Overzicht van de gebruikte nutriënten en de oplossingen.

Nutriënt	Gebruikte stof	Gram gebruikte stof per 25 ml	Mg nutriënt per 1 g bodem (vers)
C	$C_6H_{12}O_6$	1.5013	6.0052
N	NH_4Cl	0.5349	1.4006
P	Na_2HPO_4	0.1650	0.3491

Na de respiratiemeting zijn van alle incubatieflessen de drooggewichten van de bodemmonsters bepaald (72 uur op 70°C).

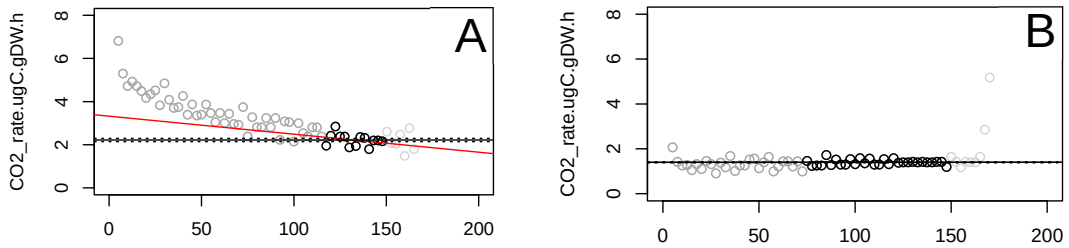
Figuur 3.23: Meetopstelling van de respirometer in het laboratorium van Ecologie en biodiversiteit. In deze meetopstelling wordt gelijktijdig de CO_2-uitstoot en de zuurstof consumptie gemeten.

3.13.2 Data-analyse respirometer metingen

De CO_2-emissie metingen die zijn verkregen met de respirometer (Figuur 3.23) worden gebruikt voor de bepaling van een aantal verschillende parameters (Figuur 3.24). Uit de Basisrespiratie metingen kunnen we aflezen wat de veenafbraak snelheid is onder aerobe omstandigheden met een optimale zuurstoftoevoer. Deze gegevens moeten geïnterpreteerd worden als potentiële veen oxidatie bepalingen onder optimale zuurstoftoevoer. Onder veldcondities zal de zuurstoftoevoer beperkt worden door diffusie gradiënten en water gevulde poriën. De potentiële metingen moeten dan ook geïnterpreteerd worden als een maat voor de oxidatie-"gevoeligheid" van een veenlaag bij optimale blootstelling aan zuurstof. In bovengrond kan de oxidatie snelheid in het veld de potentiele oxidatie snelheid vrij dicht naderen. De oxidatiesnelheden in de oxidatie-reductie zone en de reductiezone liggen in het veld vanzelfsprekend significant lager dan deze potentiële metingen.

Basisrespiratie (BR)

De basisrespiratie metingen worden bepaald uit de CO_2-emissie data wanneer eventuele verstoringseffecten (door monstername en homogeniseren) zijn uitgedoofd en de emissies niet meer noemenswaardig veranderen. In Figuur 3.24A is een voorbeeld te zien van een verhoogde respiratie door verstoringseffecten, terwijl de respiratie in Figuur 3.24B stabiel genoeg is om basisrespiratie uit te bepalen. Het bepalen van respiratiesnelheid wordt gedaan met behulp van een set r-scripts voor analyse van respiratiedata (RESP v2.0a, Keuskamp 2020)



Figuur 3.24: Voorbeelden van twee series respiratie metingen waarbij in panel A) nog sprake is van verstoringseffecten en in panel B) de respiratie gestabiliseerd is en de basisrespiratie snelheid kan worden bepaald.

Substraat geïnduceerde respiratie (SIR, SIGR, qCO_2 en μmax)

Na bepaling van de basisrespiratie wordt er substraat aan de metingen toegevoegd in de vorm van glucose. Deze gemakkelijke koolstofbron induceert in eerste instantie (eerste uren) een verhoogde microbiële activiteit. Door het energie-aanbod is de respiratie niet meer energie gelimiteerd en de activiteit na toevoeging van glucose is hiermee een maat voor de potentiële respiratie-capaciteit van het aanwezige microbioom (microbiële gemeenschap). Hieruit kan een inschatting worden gemaakt van de aanwezige microbiële biomassa (C_{SIR}-vergelijking 1) volgens Anderson & Domsch (1978), Keuskamp et al. (2013). Opvallend is dat in een zeer C rijke bodem als een veenbodem de microbiële biomassa toch sterk energie-gelimiteerd is. Toevoeging van gemakkelijk afbreekbaar substraat leidt in vrijwel alle gevallen tot een significante toename van respiratie activiteit.

$$C_{SIR} = 81.84R_c + 3.7 \quad (1)$$

Door BR/ C_{SIR} (basisrespiratie-biomassa ratio) kunnen we de metabolische quotiënt qCO_2 berekenen voor de aanwezig microbiële gemeenschap. Deze parameter geeft de snelheid waarmee micro-organismen substraat kunnen gebruiken. Wegens de ongevoeligheid voor fluctuaties in de microbiële biomassa is deze maat erg geschikt om meer inzicht te krijgen in het effect van omgevingsvariabelen op de afbraak van veen door micro-organismen

Microbiële gemeenschappen kunnen worden onderscheiden in opportunistisch-gedreven gemeenschappen (r-strategen) of weerstands-gedreven gemeenschappen (K-strategen). Doordat meer opportunistische gemeenschappen minder investeren in veen-afbrekende exo-enzymen kan worden verondersteld dat deze het veen minder snel aantasten. Omdat dit de mogelijkheid zou openen om veenafbraak te voorspellen of zelfs te beïnvloeden verdient het aanbeveling dit nader te onderzoeken. Verschuivingen in strategie kunnen o.a. zichtbaar worden gemaakt door te kijken naar de snelheid waarmee het bodemleven groeit als er een energiebron vrijkomt: Hoe groter deze snelheid, hoe meer opportunistisch de gemeenschap. Een beter beeld kan worden geschetst door het doen van enzymmetingen met name POX (potentiële enzymactiviteit van phenoloxidase). Deze enzymmetingen zijn wel uitgevoerd in het lab maar de data zijn nu nog niet reproduceerbaar en daarmee niet betrouwbaar genoeg om op te nemen in de resultaten van de pilotstudie.
De groei van de microbiële biomassa die volgt op de substraattoevoer resulteert in een exponentiële toename van de respiratiecapaciteit en daarmee de CO_2-emissie. Door het fitten van een logaritmische functie (vergelijking 2) kan uit deze groeirespons kan de zogenoemde μmax

worden bepaald. Dat is de relatieve groeisnelheid van het aanwezige de aanwezige microbiële gemeenschap. Voor de bepaling van μmax selecteert RESP v2.0a het exponentiele deel van de curve en fit een lineair model op de log-getransformeerde data om μmax te schatten.

$$R_{CO_2}(t) = p * e^{\mu_{max}(t-b)} \qquad (2)$$

Respiratie metingen met nutriënten-addities
Naast de substraat-geïnduceerde emissiebepalingen hebben we met de nutriëntenaddities (N, P) in combinatie met glucose bepaald of de groei van de microbiële biomassa ook beperkt werd door nutriënten. Hoewel de groei in deze bodems vooral energie-gelimiteerd was is er met deze procedure te zien welke limitatie erop gaat treden in de groeifase. Het nutriënt waarmee de respiratiecapaciteit het meest toeneemt. Wanneer deze response erg sterk was is ook gekeken of de nutriënt-toevoeging zonder energiebron de respiratie zou doen toenemen.

Eenheden van de respiratie meting
In dit rapport is ervoor gekozen om de respiratiedata uit te drukken in CO_2-C per eenheid bodem C (op basis van koolstofgehaltes zoals gemeten door B-Ware). Hiermee is ervoor gekozen om de respiratie uit te drukken in relatie tot de hoeveelheid substraat in de bodem. Andere veelgebruikte dimensies om respiratie uit te drukken zijn gram CO_2-C per gram bodem, per volume of per oppervlak. De keuze voor de dimensie maakt niet veel uit voor de vergelijking binnen een locatie van tussen de referentie en drainageplot. Voor de vergelijking tussen de verschillende locaties en de verschillende bodemlagen binnen één plot maakt dit echter wel degelijk verschil uit door grote verschillen in drooggewicht tussen minerale en organische lagen.

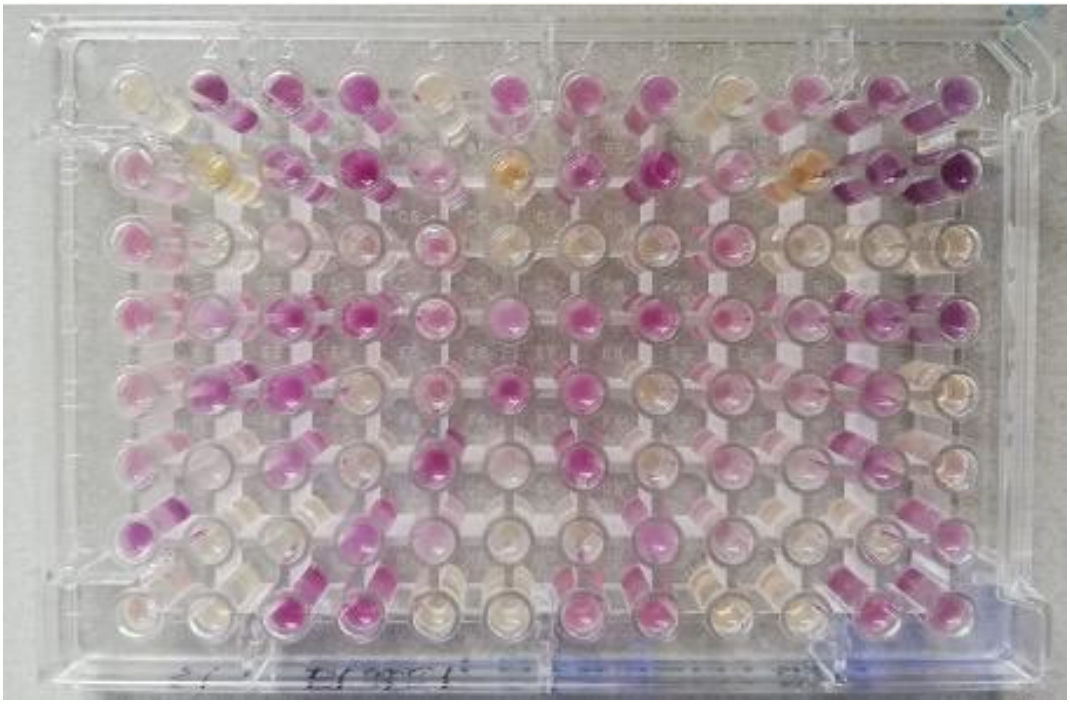
3.13.3 BIOLOG-EcoPlate metingen

Het doel van de BIOLOG-EcoPlate metingen is om een soort metabolische fingerprint te maken van de microbiële gemeenschap de (Microbial Community Substrate Utilization Profile (CLPP)) Dit is een goedkope en snelle scan om te zien of er grote verschillen zijn in de samenstelling/ functie van de microbiële gemeenschap tussen de locaties en de referentie en drainage percelen. Grote verschillen in de uitkomsten van de BIOLOG geven een aanleiding om verder in te zoomen op de microbiologische gemeenschap.

Een BIOLOG Ecoplate laat van vaste serie koolstof-substraten zien of ze kunnen worden afgebroken door de micro-organismen afkomstig uit de bodemmonsters. Deze platen bevatten niet heel moeilijk afbreekbare koolstofsubstraten maar een serie van suikers, aminozuren e.d. Het substraatgebruik is getest voor de locaties Vlist en Assendelft in mei en juni 2020, voor de overige locaties zijn de metingen uitgevoerd in September (data nog niet volledig beschikbaar). Voor de BIOLOG EcoPlate metingen is in het lab een sub-sample van de gehomogeniseerde bodemmonsters apart gelegd en gekoeld bewaard (maximaal 4 dagen, 5°C.) voordat deze verwerkt zijn. De 1 gram verse bodem is geschud (30 minuten) met 49 ml demiwater, Vervolgens is er 1,25 ml van deze oplossing met 23,75 ml fysiologisch zout aangevuld. Na goed schudden is er 2,5 ml van het mengsel opnieuw verdund in 22,5 ml fysiologisch zout.

Na schudden is op de oplossing klaar om BIOLOG EcoPlates (Biolog.com) mee te vullen. Per well is 80-90 microliter oplossing gepipetteerd. Naast de 4 veldreplica's is er bij de Ecoplate metingen gewerkt met 3 technische replica's, dit betekent dat er 33 platen zijn gebruikt. (32 samples + 1 'blanco' van fysiologisch zout keer 3, 3 samples op 1 plaat). De redox tetrazolium kleuring in de 96-well platen verandert van kleur wanneer het substraat wordt afgebroken en er respiratie optreedt. Iedere plaat bevat een brede range van substraten (onder andere aminozuren, suikers, vetzuren, esters, carbonzuren, melkzuur) waardoor er een soort metabolische vingerafdruk wordt bepaald van het microbioom. De kleuring op de platen (Figuur 3.25) wordt over de tijd gemeten met behulp absorptie metingen op 590 en 750 nm door middel van een plate-reader (Spectropstar, BMG labtech, Ortenberg, Germany). Metingen zijn uitgevoerd op t=0, 24, 72, 96 en

168 uur na het inzetten van de platen. Tijdens de incubatie werden de platen bewaard in een dichtgevouwen plastic zak in een incubator bij 28°C.



Figuur 3.25: Voorbeeld van een Ecoplate microtiterplaat met verschillend substraatgebruik.

3.13.4 Data analyse BIOLOG-Ecoplate metingen

Analyse van de BIOLOG -Ecoplate gegevens is voor de pilot beperkt gebleven tot een analyse van de diversiteit van substraatgebruik (richness) na 96 uur incubatie. Substraatgebruik door het microbioom (microbiële gemeenschap) is bij de eerste grove analyse gedefinieerd als een absorptiewaarde (gecorrigeerd voor de controle) boven de 0,01 bij een golflengte van 590 nm In het vervolgtraject wordt de analyse van de Ecoplate data in meer detail uitgewerkt en kunnen meerdere aspecten van de metabolische vingerafdruk van het microbioom worden bepaald. De “Richness” van het substraatgebruik door het microbioom is bepaald door de aantallen gekleurde cellen met een adsorptiewaarde boven de 0,01 te tellen en te middelen over de technische replica’s.

4 Opzet sites

4.1 Inleiding

Er is gekozen om in 2019 vijf meetlocaties verspreid over Nederland volledig op dezelfde manier in te richten wat betreft type metingen en methodes. Deze locaties zijn: Aldeboarn, Rouveen, Zegveld, Vlist en Assendelft. Met deze locaties worden de vier grote veenweidegebieden afgedekt (Fries, Overijssels, Noord-Hollands, Utrechts/Zuid-Hollands). Op verschillende locaties zijn verschillende maatregelen genomen (onderwaterdrainage, drukdrainage, peilverhoging, paludicultuur, Tabel 4.1) en verschilt de ondergrondopbouw (dikte van kleidek, dikte en samenstelling van veenlagen, dikte van totale pakket aan slappe lagen).

Tabel 4.1: Overzicht van NOBV-sites.

Site	**Maatregel**	**Aansluitend bij lopend programma**
Aldeboarn – Friesland	Onderwaterdrainage	Onderzoeksprogramma Provincie Friesland/Wetterskip
Assendelft – Noord-Holland	Drukdrainage	Innovatie Programma Veen (IPV)
Rouveen – Overijssel	Onderwaterdrainage	Pilot Onderwaterdrainage Rouveen
Vlist – Zuid-Holland	Onderwaterdrainage	Was ooit een proefsite voor onderwaterdrainage
Zegveld – Utrecht	Drukdrainage Onderwaterdrainage Peilverhoging Lisdoddeteelt	Kennis Transfer Centrum (KTC) Zegveld

De selectiecriteria van deze vijf sites zijn beschreven in paragraaf 2.2. Om de vergelijkbaarheid tussen de verschillende sites te waarborgen is een standaardinrichting opgesteld, die wordt gebruikt voor zowel de maatregelplot als de referentieplot. Hierdoor is een vaste plaats voor alle sensoren die nodig zijn voor het meten van broeikasgassen en bodemdaling in het plot. De kern bestaat steeds uit een CO_2 kamermeetsysteem en bodemdalingsmeetapparatuur, aangevuld met sensoren die omgevingsvariabelen meten.
Dat resulteerde in een standaardplot indeling (Figuur 4.1), waarbij de plot bestaat uit verschillende meetvakken:

- Grasopbrengstvak waar bemest wordt;
- Grasopbrengstvak waar niet bemest wordt;
- Vak met automatische kamers, op vaste afstand van de drain in het maatregelplot, verdeeld over bemest en onbemest vak in het referentieplot;
- Vak met metingen van omgevingsvariabelen;
- Vak voor het nemen van grondmonsters;
- Vak voor mogelijk toekomstige metingen.

Uitgangspunt was een rechthoekig stuk (af te zetten) weiland waarbij:

1) Sensoren voor de omgevingsvariabelen zo dicht mogelijk bij de kamers komen.
2) de meteorologietoren en autonome energie zo ver mogelijk van de gasanalysekamers komen, in verband met verstoring.

De standaardplotopzet was steeds de uitgangspositie bij het opzetten van de meetlocaties, maar vanwege lokale omstandigheden was het nodig om op verschillende punten terplekke wijzigingen aan te brengen. De daadwerkelijke uitzetting van het plot in het veld vond plaats in een aparte

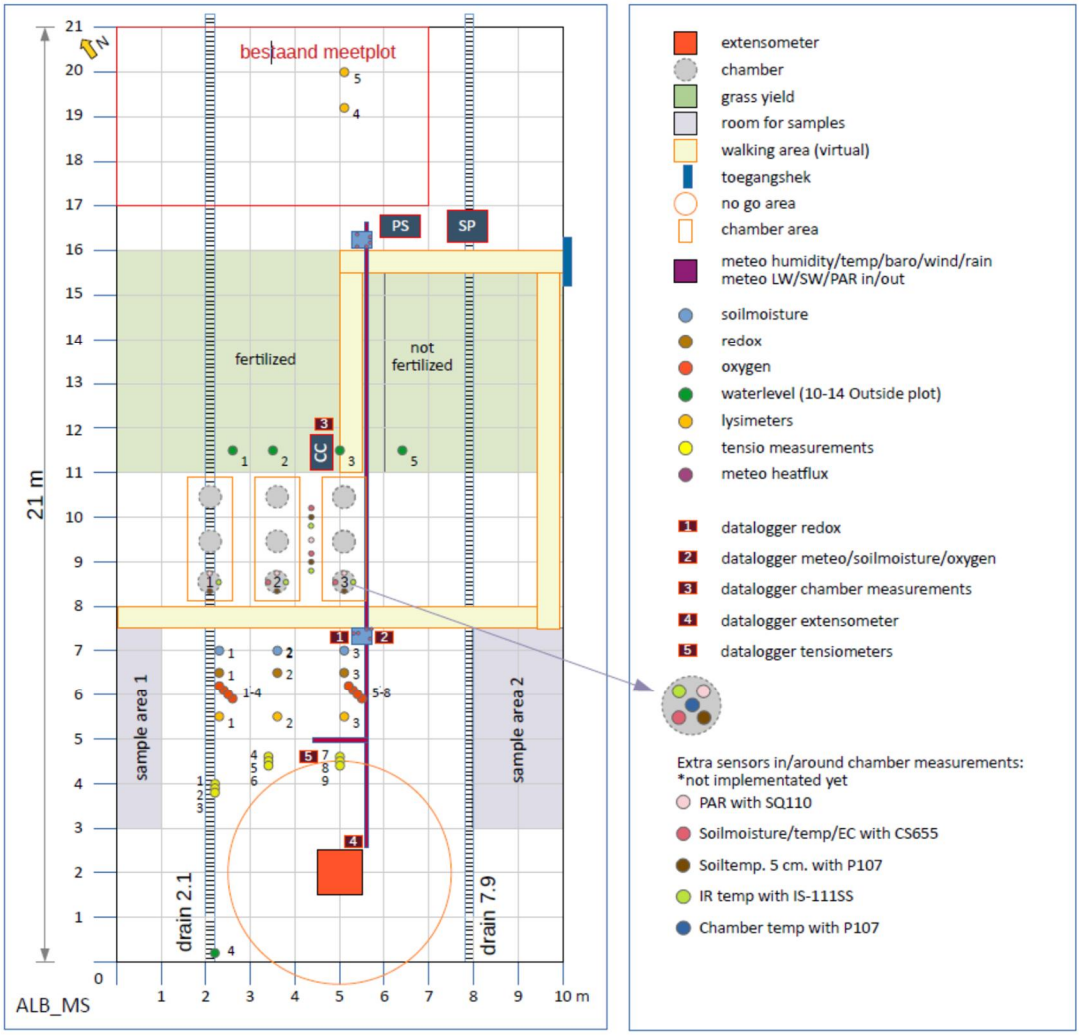
sessie met de onderzoekers en de landeigenaar. Er werd gezocht naar een locatie waar ruimte was voor de standaardplot van 10 meter breed en 20-25 meter lang. De plot moet niet direct langs de sloot liggen in verband met de invloeden van de sloot op de grondwaterstanden in de plot. Ook is het midden van het perceel vermeden, vaak omdat daar een greppel aanwezig is, en/of omdat het midden van het perceel ook niet karakteristiek is voor de processen in een perceel. Er is ervoor gekozen om de plot op ongeveer 1/4-1/3 van de breedte van het perceel te leggen en tenminste 1 maaibreedte (ruim 6 meter) van de sloot. Indien op de voorziene plek toch een greppel aanwezig was, is de plot er vlak langs gelegd, maar nooit er overheen. Door het aanhouden van de maaibreedte is het mogelijk om nog te maaien naast de meetplot. Voor de maatregelenmeetplots waar drainage/infiltratiebuizen aanwezig waren, is er voor gekozen om tenminste 1 profiel van buis tot buis in de plot te hebben (dus twee buizen binnen het plot), zodat er op standaardafstanden van de buizen gemeten kan worden. Ook is het niet handig als er een buis direct naast het hek van het meetplot loopt, in verband met mogelijke schade bij aanleg van het hek.
Vervolgens is gekeken naar de opbouw van de ondergrond middels een paar verkennende handboringen. Hierbij is gekeken naar de uniformiteit in opbouw en eigenschappen (kleidekdikte en -samenstelling, kleigehalte, veensoort, hydromorfe kenmerken, etc.) in het plot (net erbuiten) en in het plot ten opzichte van het perceel. Daarna is gekeken naar een aantal praktische zaken: ligt het plot niet onnodig ver van paden en toegangshekken af? Ligt het niet aan de rand van het perceel of aan de rand van het gebied waar een maatregel is getroffen? Hoe ziet de grasmat er ter plekke uit? Zijn er in het (recente) verleden ingrepen geweest (omleggen, diepploegen, dichtgooien sloten, etc.)? Hoe kunnen eventuele bestaande metingen geïncorporeerd worden in de plot? Tenslotte is in overleg met de landeigenaar gekeken naar praktische zaken: het afronden van de hoeken van het plot voor maaibewegingen, het verlengen/verkorten en verbreden/versmallen van de plot als dat handig was voor de bedrijfsvoering en de wensen/eisen voor het hekwerk.

Bij de uitvoering bleek verder dat het ontwerp voor de standaardplots op punten moest worden aangepast:

- Er is voor elk plot gekozen om te werken met 230V stroom middels een kabel van de boerderij, waardoor de zonnepaneel ligging minder belangrijk wordt.
- Lysimeters komen meer verdeeld over het plot.
- Tensiometingen gaan wat verder weg en apart vanwege het benodigde graafwerk bij aanleg.
- Waterlevel (in peilbuis) sensoren hebben een eigen datalogger en kunnen dus ‘vrij’ ingedeeld worden.
- De metingen van de omgevingsvariabelen (grondwaterstand, bodemvocht, redox, bodemwaterchemie; voor deze laatste ook nog 2 of 3 replica’s elders in het meetplot) liggen zo dicht mogelijk bij de kamers.

In het tweede meetjaar zal nog een evaluatie plaatsvinden van de standaardmeetplotinrichting, waarbij gekeken wordt of er zaken in meetjaar 2 beter kunnen en welke eventuele aanvullende metingen nog behulpzaam kunnen zijn bij het analyseren van de data.

Na het afrasteren en aanleggen van het hek, is bij de inrichting van de meetplot begonnen met het inrichten van de meetvakken, waartussen looppaden zijn aangelegd. Stroompunten en hektoegang tot plot zijn dusdanig gekozen dat de percelen minimaal worden belopen. Soms wordt de keuze gemaakt om een sensor op een iets andere plek te instaleren zodat de bundeling van sensoren aan datalogger logisch kan plaatsvinden. Er is gekozen om het operationeel zo eenvoudig en duidelijk mogelijk in te richten, zodat er de komende tijd (jaren) makkelijk door verschillende personen aan gewerkt kan worden.



Figuur 4.1 Standaardplotindeling

Tussen de vakken zijn paden aangelegd, bestaande uit maasvormige kunststoffen grastegels. Dit zorgt ervoor dat er zoveel mogelijk op de daartoe aangewezen paden wordt gelopen en niet overal in de plot rondgelopen wordt, wat verstoring en mogelijk schade aan sensoren teweeg kan brengen. Door de open structuur van de grastegel worden bodemprocessen en vegetatiegroei daarbij zo min mogelijk verstoord, en is het terrein in de natte periode nog goed betreedbaar (in elk geval op de paden).

De extensometer staat op enkele meters van de broeikasfluxmetingen. Rondom de extensometer is een stuk grond afgezet wat niet betreden mag worden, aangezien dit verstoringen kan veroorzaken; de bodembeweging wordt hier op mm-schaal gemeten.

Er is steeds bij de keuze voor de maatregelplot en de referentieplot geprobeerd om – met uitzondering van de genomen maatregel – de percelen voor de plots verder zoveel mogelijk op elkaar te laten lijken. In een aantal gevallen (Vlist en Zegveld) liggen de plots in elkaars verlengde, wat mogelijk was, omdat hier de maatregel op een deel van het perceel was uitgevoerd. De twee plots liggen zo dicht mogelijk bij elkaar (maar al snel toch enkele tientallen meters uit elkaar) en zijn vergeleken op onder andere veendikte, kleidekdikte, veenopbouw en -samenstelling. In de andere drie sites (Aldeboarn, Assendelft, Rouveen) moesten de twee plots op aparte percelen worden gelegd. Hierbij is gekozen voor het perceel dat er direct naast het perceel gelegen is waar de maatregel is geïmplementeerd. Deze percelen zijn ook onderzocht op verschillen in opbouw en

hydrologie, maar dit was in de meeste gevallen minimaal. Er is ook wel geprobeerd om soortgelijke profielen te krijgen: bijvoorbeeld in Rouveen is de afstand van het Zwarte Water bepalend voor de dikte van het kleidek, en dus ligt het referentieplot op een vergelijkbare afstand van de rivier als het maatregelenplot. Wel is het zo dat de percelen vaak niet precies dezelfde breedte hebben, maar door de afstand van de sloot vergelijkbaar te houden is de invloed hiervan geminimaliseerd.

Het is ook daarnaast ook interessant om te kijken naar de verschillen en overeenkomsten onderling tussen de referentieplots. Hoewel deze sites er niet op gekozen zijn om een landsdekkend beeld te krijgen, geven de referentieplots wel een beeld welke soorten veenweidegebied afgedekt worden. Het is opvallend dat alle referentieplots een kleidek hebben van enkele decimeters, met de uitzondering van Zegveld waar alleen een sterk venige klei/kleiig veen in de bovengrond aanwezig is. Wat betreft veentype springt Aldeboarn eruit: hier is oligotroof veen aangetroffen, terwijl in de andere sites vooral mesotroof aanwezig is (en dieper eutroof veen), waarbij in Rouveen wel mosveen is aangetroffen. De sites Aldeboarn en Rouveen hebben een dun Holoceen profiel (2-3 meter), wat vrijwel geheel uit veen bestaat. De sites Assendelft en de Vlist daarentegen kennen een veel dikker Holoceen pakket (meer dan 10 meter), maar dit bestaat uit een afwisseling van veen- en kleilagen. Zegveld zit hier meer tussenin: redelijk dik Holoceen profiel van ~6 meter, dat vrijwel volledig uit veen bestaat. In alle sites overheersen wegzijgingscondities, alleen in Rouveen is sprake van (lichte) kwel. Over het algemeen is deze collectie sites een aardige doorsnede van veelvoorkomende situaties in het Nederlandse veenweidegebied.

4.2 Aldeboarn - Friesland

4.2.1 Site opzet

Op deze locatie is vier jaar geleden onderwaterdrainage aangelegd in een perceel van ca. 2,5 hectare. Drainafstand is ca 6 meter en -diepte ca 70-80 cm beneden maaiveld. De drains zijn verbonden met de sloot aan de noordkant van het perceel, waardoor de drainlengte enkele honderden meters bedraagt. Het peil wordt actief door de boer beheerd: hoog in de (droge) zomer, laag in de winter. Het proefplot ligt ca 70-90 m in de zuidelijke richting van deze sloot (Figuur 4.). Sinds 2017 tot eind 2019 heeft RU in opdracht van Wetterskip Fryslân op deze locatie al broeikasgasfluxen gemeten. Het daarvoor gebruikte meetplot op het perceel met drains overlapt deels met de NOBV meetplot, waardoor bestaande meetreeksen kunnen worden voortgezet wat extra inzicht oplevert in seizoenale en jaarlijkse verschillen (e.g. droge vs. natte zomers). Tijdens het afpalen van de NOBV meetplot is er rekening mee gehouden om het gebied waar de afgelopen jaren bodemmonsters genomen zijn te ontwijken. Bij de keuze van het referentieplot is rekening gehouden met o.a. de dikte van het kleidek (ca. 35 cm, idem aan maatregelplot), afstand tot greppel en afstand tot sloten. Het referentieplot ligt ca 12 meter ten westen van de tochtsloot (Figuur 4.), waarvan het peil relatief laag en constant is gedurende het jaar.

Figuur 4.2: Kaart van de meetplots in het maatregel- (links) en referentieperceel (rechts). Blauwe lijnen: locatie drie drains in en bij plot. Rode kader is oude meetplot Radboud Universiteit.

Op het maatregelperceel lopen twee drains door het plot. Een derde drain ligt ten westen, net buiten het plot (Figuur 4.). Alle drie de drains zijn voorzien van Y-stukken (Figuur 4.) om de drains te kunnen inspecteren, watermonsters te kunnen nemen en de waterdruk in de drain te kunnen meten. Tijdens draininspectie is tevens een oude drain aangetroffen welke tussen de 2 drains in het plot ligt. Deze oude drain is echter zeer sterk vervuild en zal naar verwachting weinig watervoerend zijn. Draininspectie liet zien dat de nieuwe drains over het algemeen in goede conditie zijn.

Figuur 4.3: Y-stukken voor draininspectie en bemonstering drainwater.

4.2.2 Afwijkingen ten opzichte van oorspronkelijke plotindeling

De uiteindelijke plotindeling (Figuur 4.) wijkt af van de geplande indeling in de volgende opzichten:

- Waar oorspronkelijk geld begroot was voor autonome stroomvoorziening (windmolen en zonnepanelen) is dit geld uiteindelijk ingezet om een 230 V AC kabel aan te leggen. Dit zou meer garantie moeten bieden op continuïteit van metingen en meer ruimte moeten bieden aan uitbreiding van metingen vanwege hogere energiebeschikbaarheid.
- De extensometer is in het zuiden van de meetplot geïnstalleerd in plaats van in het grasopbrengstplot om enerzijds geen belemmering te vormen voor het maaiwerk en anderzijds verstoring (o.a. door maaiwerk) op extensometer metingen te voorkomen. Daarnaast was het niet wenselijk om de extensometer in de bestaande meetplot in het noordelijke deel van het maatregelenperceel te plaatsen omdat hier de ondergrond waarschijnlijk eerder al is verstoord.

– Origineel zouden er in het bemeste gedeelte van zowel het maatregel- als referentieplot vier automatische gasfluxkamers geplaatst worden met vier rijen frames waar de kamers elke 2 weken over verplaatst zouden worden. Het aantal rijen frames is echter teruggebracht naar drie, omdat frames anders te dicht op elkaar zouden komen te staan. Daarnaast is ervoor gekozen om in beide maatregelplots één meetkamer met bijbehorende frames weg te halen en deze in te zetten voor metingen in het onbemeste gedeelte van het referentieplot. Door deze keuze kan inzicht worden verkregen in het (transitie)effect van bemesting met drijfmest versus geen bemesting.
– Oorspronkelijk waren er negen nieuwe tensiometers voorzien voor Aldeboarn, omdat 1) het oorspronkelijke plan was om de bestaande tensiometers van Wetterskip Fryslân te hergebruiken en 2) n.a.v. discussies binnen het consortium besloten is het aantal herhalingen voor sommige dieptes uit te breiden. Hierdoor is uiteindelijk besloten om 15 tensiometers te plaatsen en de tensiometers van Wetterskip Fryslân niet te hergebruiken vanwege incompatibiliteit met de gebruikte dataloggers en om zoveel mogelijk uniformiteit tussen locaties te bereiken.
– De peilbuizen op verschillende afstanden van de drain zijn parallel aan de drain verder richting het noorden geplaatst dan gepland, waardoor ze verder van de bodemsensoren (e.g. vocht, temperatuur, redox) af komen te staan, maar dichter bij de gasfluxkamers. Dit, vanwege bevindingen uit het eerdergenoemde onderzoek van RU in Aldeboarn, waaruit bleek dat grondwaterstand op korte afstand sterk kan verschillen. Omdat het effect van grondwaterstand op broeikasgasfluxen centraal staat binnen het NOBV, werd plaatsing van peilbuizen dichter bij meetkamers belangrijker bevonden dan dichter bij bodemsensoren.
– Tot slot is ervoor gekozen één v/d twee bodembemonsteringsgebieden onbemest te laten, overeenkomstig met de keuze om ook broeikasgasfluxen te meten in een bemest en onbemest gedeelte.

Figuur 4.4: Plotindeling Aldeboarn

4.2.3 Start metingen

Tussen begin en half november zijn de meetplots afgepaald, zijn er proefboringen verricht en zijn de meetplots afgerasterd. Op 22 en 30 november zijn respectievelijk de zuurstof- en redoxsensoren geïnstalleerd. Tussen half en eind december zijn de meteosensoren, stroomkabel en bodemvochtprobes geïnstalleerd. Gasfluxkamers zijn begin februari geïnstalleerd. Vanwege de beperkte draagkracht van de bodem door de vele regen en, daaropvolgend, de coronacrisis is installatie van tensiometers en extensometers uitgesteld. Tensiometers en keramische cups voor bodemvochtbemonstering zijn begin april geplaatst en extensometers in eind mei. In juni zijn 12 van de 14 peilbuizen geplaatst. De peilbuis in de zandlaag en peilbuis in de drain zullen in eind september of begin oktober geplaatst worden. De plaatsing van de peilbuizen heeft veel vertraging opgelopen. In eerste instantie kwam dit doordat veel tijd ging zitten in o.a. afstemming van een uniforme meetstrategie binnen de 5 meetlocaties, keuze van geschikte filterdieptes, sensortypes en materiaal. Daaropvolgend heeft de coronacrisis voor veel vertraging gezorgd doordat bestellingen vertraging opliepen, verkeerd werden afgeleverd of incompleet bleken te zijn.

Extensometers

In Aldeboarn zijn de extensometers geplaatst op 26 mei 2020 en meten sindsdien. De positie en ankerdiepten van de extensometers in Aldeboarn zijn weergegeven Tabel 4.2. Het diepste ankerniveau (1) is bepaald op basis van een sondering (Bijlage E) en bevindt zich in de stabiele zandondergrond (waar deze een hoge weerstand geeft). Dit anker dient als referentieniveau. Ankerniveau 2 is op de overgang van het veen naar onderliggende meest minerale Pleistocene afzettingen geplaatst. De beweging van dit niveau geeft aan hoeveel beweging er nog plaatsvindt in de bovenste, nog niet heel consistente, meters van de Pleistocene ondergrond. Ankerniveau 3 bevindt zich op circa -1.20 m-mv (maaiveld). Er is aangenomen dat het onder dit niveau permanent verzadigd is, wat wordt bevestigd door lokale grondwaterstandsmetingen. Ankerniveau 4 bevindt zich op circa -0.80 m-mv. Dit niveau is zo gekozen met de gedachte dat de zone tussen -1.20 en -0.80 soms nog beïnvloedt kan worden door lage grondwaterstanden, bijvoorbeeld in zeer warme en droge perioden. Ankerniveau 5 valt samen met de onderkant van de kleiige toplaag. Op basis van dit anker kan zwel en krimp in de kleilaag worden bepaald. Ankerniveau 6 is het maaiveldniveau, en geeft de totale beweging van het maaiveld weer ten opzichte van het referentieniveau (anker 1).

Tabel 4.2: De positie (volgens Rijksdriehoekstelsel) en ankerdiepten van de extensometers in Aldeboarn.

Omschrijving	**Maatregelperceel**	**Referentieperceel**
X [m]	189537.408	189689.321
Y [m]	563080.82	563061.479
Maaiveld [m NAP]	-1.02	-1.02
Ankerdiepte [m-maaiveld]:		
Anker 1	-8.20	-7.40
Anker 2	-2.10	-2.10
Anker 3	-1.20	-1.21
Anker 4	-0.81	-0.80
Anker 5	-0.40	-0.40
Anker 6	-0.06	-0.06

Automatische fluxkamers

Hoewel de automatische fluxkamers voor CO_2 metingen (Figuur 4.5: Automatisch kamersysteem in Aldeboarn.niet veel later dan gepland zijn geïnstalleerd is er nog relatief weinig mee gemeten. Dit heeft te maken met het slechte weer in februari (verschillende dagen met windstoten van 80-100 km/h), waardoor kamers van 8 tot 25 februari preventief zijn gesloten. Daarnaast ontbreekt er meetdata doordat er veel problemen zijn geweest met het functioneren van de kamers, welke op het moment van kopen net de prototype fase uit waren. We hebben o.a. te maken gehad met

trage en problematische software, waardoor data niet kon worden gedownload, kamers niet deden wat ze zouden moeten doen (e.g. meerdere kamers tegelijk dicht, een systeem in bevroren toestand en kamers die niet gedetecteerd werden in de meetcyclus). Dit alles heeft ervoor gezorgd dat zeer veel tijd moest worden gestoken in communicatie van problemen richting de fabrikant en updaten en uitgebreid testen van nieuwe firmware. Deze cyclus heeft zich verschillende keren herhaald, gezien er telkens nieuwe problemen opdoken, wat tot veel frustratie heeft geleid. Van 26 februari tot 27 maart zijn de kamers dicht geweest vanwege softwareproblemen. Na een nieuwe firmware update heeft het systeem op het maatregelplot sindsdien grotendeels probleemloos gewerkt, maar dit gold niet voor het referentieplot. Begin juni is er opnieuw een software update gekomen, maar ook deze heeft niet tot het gewenste resultaat geleid, waardoor de systemen momenteel nog steeds verre van probleemloos functioneren. Verzamelde data zal grondig op kwaliteit gecontroleerd moeten worden en interpolatie van ontbrekende data zal noodzakelijk zijn. De druk op de fabrikant is inmiddels opgevoerd en we hopen dan ook dat er op korte termijn een constructieve oplossing komt. Naast ontbrekende data door problemen met de kamersystemen zijn er ook meerdere (meestal relatief korte) periodes geweest waarin de systemen niet actief waren doordat de stroomkabel aangepast moest worden (2x) of gerepareerd moest worden vanwege schade voor maaiwerkzaamheden (1x).

Figuur 4.5: Automatisch kamersysteem in Aldeboarn.

4.2.4 Bemesting en maaien

Het maatregel- en referentieperceel worden door de landeigenaar verschillend behandeld: het aantal bemestingsmomenten verschilt tussen de twee percelen, evenals de timing van bemesten, maaien en weiden (enkele weken tot > een maand verschil). Wij hebben beide plots altijd op dezelfde datums bemest en gemaaid. De plots zijn zes keer gemaaid tijdens het groeiseizoen: 27 maart, 15 april, 6 mei, 8 juni, 16 juli en 31 augustus. In oktober vindt nog een laatste maaibeurt van de plots plaats. Maaien van het gras in de frames van de automatische kamers vond niet altijd tegelijk plaats met het maaien van de rest van de plot. Daarnaast zijn kamerframes één keer extra gemaaid om de grashoogte binnen de frames zoveel mogelijk gelijk te houden met de grashoogte buiten de plot (ter vergelijking met door eddy covariance gemeten CO_2 fluxen). Kamerframes zijn gemaaid op: 27 maart, 27 april, 26 mei, 8 juni, 3 juli, 16 juli en 31 augustus. Verder is sinds april tijdens elk veldbezoek en vóór en na elke maaibeurt de grashoogte binnen de gewasopbrengstplots en kamerframes gemeten om 1) een relatie tussen gemaaide graslengte en biomassa te verkrijgen en 2) m.b.v. deze relatie en de grashoogtemetingen de staande biomassa door het seizoen heen te voorspellen.

Drijfmest

De benodigde hoeveelheid drijfmest (Tabel 4.3) is verzameld uit de mestput van de boerderij, nadat deze eerst goed gemengd werd met een lange hark. Vervolgens is de drijfmest naar de plots gebracht in gesloten emmers en binnen de plots verdund met slootwater (mest:water

verdunning 2:1). De verdunde mest in de emmers werd vervolgens goed gemengd, waarna met een maatbeker de juiste hoeveelheid uit de emmer werd gehaald en gelijkmatig in elk kamerframe werd aangebracht (m.u.v. de twee frames in het niet-bemeste subplot). Dezelfde procedure werd gevolgd voor het bemesten van de m^2 per sensorprobe en keramische cup, echter werd hier een 5L gieter (met maatstrepen) i.p.v. een maatbeker gebruikt. Op deze manier werd getracht de bemesting door de biologische boer, m.b.v. de ketsplaat, zo goed mogelijk te benaderen. De totale mestgift door ons (68 m^3 ha^{-1}) komt sterk overeen met die van de boer (ca. 69 m^3 ha^{-1}; gemiddelde van maatregel- en referentieperceel).

Tabel 4.3: Hoeveelheid mest per bemestingsmoment. Gedroogde mestmonsters per bemestingsmoment moeten nog geanalyseerd worden op C- en N-gehalte. De geschatte N-gift is berekend a.d.h.v. vochtgehaltes, bulkdichtheid en (droog) N-gehalte van mestmonsters die tijdens een vorig onderzoek in Friesland geanalyseerd zijn.

Bemestingsmoment	**Hoeveelheid mest per bemesting (m^3 ruwe mest per ha)**	**Geschatte N-gift (kg per hectare)**
27 maart 2020	24	53,4
6 mei 2020	12	26,7
17 juni 2020	12	26,7
21 juli 2020	10	22,2
8 september 2020	10	22,2

Droge koemestkorrels

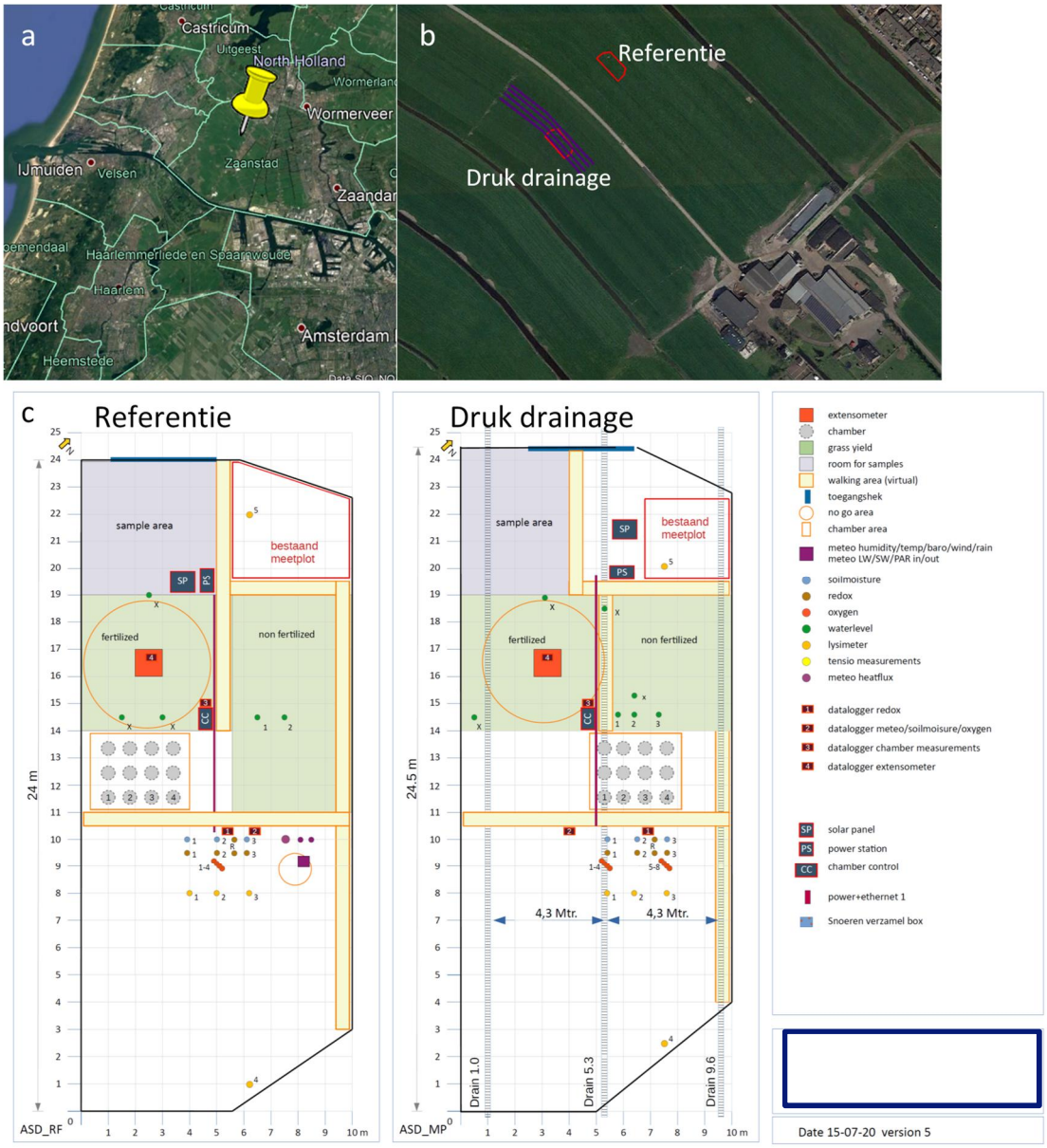
Om het grote deel van de plot wat met koemestkorrels is bemest zo goed en gelijkmatig mogelijk te bemesten, werd het plot eerst in verschillende vakken ingericht. Voor elk vak werd vervolgens de oppervlakte en de daarmee samenhangende benodigde hoeveelheid koemestkorrels berekend. De benodigde hoeveelheid koemestkorrels per m^2 is berekend door ten eerste de N gift per m^2 te berekenen vanuit de in Tabel 4.3 genoemde ruwe mestgiften per bemestingsmoment. Voor de conversie van m^3 ruwe mest per ha naar een N-gift per hectare is het vochtgehalte, droge bulkdichtheid en N-gehalte van reeds geanalyseerd mestmonsters uit een vorig onderzoeksproject in Friesland gebruikt. De Welkoop koemestkorrels geven geen specificatie over het N-gehalte in de korrels. Voor de vertaling van de benodigde N-gift naar de benodigde hoeveelheid droge koemestkorrels is daarom uitgegaan van een N-gehalte van 2%, overeenkomstig met het N-gehalte van droge koemestkorrels van een ander merk welke in het verleden door ons zijn gebruikt.

4.3 Assendelft – Noord-Holland

4.3.1 Site opzet

De landeigenaar van de meetsite in Assendelft doet al enkele jaren mee aan het Innovatie Programma Veen (IPV, http://www.innovatieprogrammaveen.nl/) om bodemdaling en uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Hiertoe zijn in 2017 door het IPV op een aantal percelen druk drainage aangelegd en is er een monitoringsprogramma gestart op zowel de percelen met drukdrainage als op een niet gedraineerd referentie perceel. Wij, NOBV, hebben ons bij de bestaande meetplots aangesloten en onze meetlocaties gelegd naast de bestaande veel kleinere plots van het IPV (“bestaande meetplots“ in Figuur 4.6c).

De druk-drains liggen op een diepte van 50-70 cm-mv met een onderlinge afstand van iets meer dan 4m. In de zomerperiode wordt het waterpeil (stijghoogte) in de drains aan het maaiveld gezet terwijl in de winterperiode een peil van 40-60 cm-mv wordt aangehouden.



Figuur 4.6: Locatie en opzet van de Assendelft-site.

Bodemkundig bestaan de percelen uit veengronden met een kleiige moerige eerdlaag (koopveengronden) en gronden met een kleidek met eerdlaag (weideveengronden). De bovengronddikte varieert in dikte van 20 tot 30 cm. Het verschil tussen een weideveengrond en een koopveengrond is het organische stofgehalte in de bovengrond. Bij de weideveenprofielen ligt dit op 20% of lager, bij de koopveenprofielen (rest) doorgaans hoger dan 25%. De verschillen zijn marginaal en mogelijk het gevolg van wat meer klei ophoging in de omgeving van het kavelpad en van klei-aanrijking door slootbagger vanuit de kavelsloot.

Onder de eerdlaag treffen we een verweerde veenlaag, met weinig herkenbare plantenresten, aan tot ca. 40 à 60 cm –mv. Vanaf deze diepte begint doorgaans het zeggeveen (duidelijk herkenbare plantenresten), dikwijls overgaand in gereduceerd rietzeggeveen, rustend op gereduceerd zeggerietveen en rietveen. Op circa 2.0 meter diepte gaat het veen over in mariene klei; consistente en stabiele (Pleistocene) zandlagen worden pas gevonden op een diepte van circa 16 m-maaiveld.

4.3.2 Afwijkingen ten opzichte van oorspronkelijke plotindeling

De belangrijkste afwijking is dat de NOBV-meetlocaties tegen de IPV-meetplots zijn aangelegd. Daardoor zijn de NOBV plots in Assendelft iets groter geworden dan oorspronkelijk voorgesteld. Inmiddels wordt sinds augustus 2020 niet meer gemeten op de oude IPV plots.

4.3.3 Installatie en meetprotocol

CO_2

Het broeikasgas CO_2 dat vrijkomt bij de afbraak van veen, maar ook door het gras wordt opgenomen en uitgestoten, meten we met 4 automatische kamers per plot (referentie en maatregel). De gebruikte kamers zijn plexiglas cilinders met een hoogte van 50 cm en een diameter van 40 cm. Deze kamers worden elke 2 weken verplaatst zodat het gras en de bodem zich niet te sterk gaan aanpassen aan de omstandigheden in de kamer (temperatuur, wind, vocht). We meten dit uitsluitend op het bemeste deel van beide plots.
We zijn nu bezig hiervoor een kalibratie en onderhoudsstrategie te ontwikkelen. Dit betekent dat de kamer-systemen enkele malen per jaar naar de VU worden gehaald om helemaal te worden nagelopen en schoongemaakt.

Op de IPV plots is vanaf februari 2019 de CO_2 en CH_4 flux gemeten met handbediende kamers (B-Ware) en automatische kamers (Kytalyk Carbon Cycle Research). Dit gebeurde op basis van korte campagnes (1 dag voor handmatige metingen en enkele dagen voor de automatische kamers). De automatische kamersystemen op de drukdrainage- en referentieplots verschilden enigszins van constructie (verschil in grootte en open-sluit mechanisme). In maart-april 2020 zijn op beide plots identieke automatische kamers van de VU opgesteld welke continu werken. Omdat uit voorgaande metingen bleek dat op beide plots CH_4 fluxen uit de bodem nagenoeg afwezig zijn, meten de VU-kamers alleen de CO_2 flux. Er zijn in april 2020 wel gelijktijdige metingen verricht met het eerder gebruikte kamersysteem ter vergelijking. Hieruit bleek dat er kleine verschillen zijn in de CO_2 opname fluxen overdag, waarschijnlijk veroorzaakt door schaduwwerking van de besturingsmechanismen van de kamers. De verschillen tussen de nachtelijke respiratiefluxen waren verwaarloosbaar.

Extensometer

In Assendelft zijn de extensometers geplaatst op 2 en 3 juni 2020 en meten sindsdien. De positie en ankerdiepten van de extensometers in Assendelft zijn weergegeven in Tabel 4.4. Het diepste ankerniveau (1) is bepaald op basis van een sondering (Bijlage H) en bevindt zich in de stabiele zandondergrond (sondeergrafiek geeft hoge weerstand). Dit anker dient als referentieniveau. Ankerniveau 2 is op de overgang van het veen naar onderliggende mariene afzettingen (klei en zand, >13 m dik) geplaatst. De beweging van dit niveau geeft de bijdrage aan de totale beweging aan het maaiveld aan van de mariene afzettingslaag en het onderliggende basisveen samen. Ankerniveau 3 bevindt zich op circa -1.20 m-mv (maaiveld). Er is aangenomen dat het onder dit niveau permanent verzadigd is. Dit is bevestigd door lokale grondwaterstandsmetingen vanuit het IPV programma. Ankerniveau 4 bevindt zich op circa 0.80 m-mv. Dit niveau is zo gekozen met de gedachte dat de zone tussen 1.20 en 0.80 m-mv soms nog beïnvloedt kan worden door lage grondwaterstanden. Ankerniveau 5 valt samen met de onderkant van de relatief kleiige toplaag, welke meestal bestaat uit kleiig veen en soms uit klei. Op basis van dit ankerniveau kan de bijdrage van bodembewegingen veroorzaakt door processen die in de vaak onverzadigde toplaag spelen, zoals krimp en zwel en oxidatie, worden afgeleid. Ankerniveau 6 is het maaiveldniveau, en geeft de totale beweging van het maaiveld weer ten opzichte van het referentieniveau (anker 1).

Tabel 4.4: De positie (volgens Rijksdriehoekstelsel) en ankerdiepten van de extensometers in Assendelft.

Omschrijving	**Maatregelperceel**	**Referentieperceel**
X [m]	110995.093	111037.555
Y [m]	498812.42	498873.412
Maaiveld [m NAP]	-1.95	-1.95
Ankerdiepte [m-maaiveld]:		
Anker 1	-16.80	-16.80
Anker 2	-1.99	-1.90
Anker 3	-1.22	-1.21
Anker 4	-0.81	-0.79
Anker 5	-0.34	-0.33
Anker 6	-0.06	-0.06

Grondwaterstanden

De locaties van de peilbuizen in Assendelft zijn aangegeven in Figuur 4.6 (binnen de plot) en Figuur 4.7 (buiten de plot). De specifieke eigenschappen van de grondwatermonitoringslocaties zijn aangegeven in Tabel 4.5 en Tabel 4.6.

In Assendelft worden sinds augustus 2018 grondwaterstanden gemeten, vanuit het onderzoeksprogramma IPV. Het diepst gemeten grondwaterniveau in deze periode ligt rond de -120 cm-mv (persoonlijke communicatie B. van de Riet). Daarom is gekozen voor een filterdiepte van 0.30 – 1.30 m-mv, en hangt de druksensor hieronder.
Op sommige locaties komt op circa 1.40 – 1.50 m-mv een kleiig interval voor in het veenpakket. Om te bepalen of de waterdruk halverwege het veenpakket, onder dit kleiige interval anders is dan daarboven wordt er op één locatie per meetplot een kort filter aangebracht op circa 1.50 -1.80 m-mv. In de drainageplot wordt deze peilbuis op 1 meter van de drain opgesteld.
De diepe peilbuis bestaat uit een stalen buis met filter onderin. Deze peilbuis is op diepte gedrukt met een sondeervoertuig. Het Pleistocene zand ligt in Assendelft aanzienlijk dieper onder het maaiveld dan in andere locaties. Om alles op dit niveau te funderen, zou er eerst door een circa 10 meter dikke mariene klei- en zandlaag heen geboord moeten worden. Omdat het de verwachting is dat de er in de laag tussen circa 5 m-mv en het Pleistocene zand weinig beweging voorkomt, aangezien dit hoofdzakelijk (op dunne basisveenlaag na) minerale afzettingen zijn, is hiervan afgezien.

Figuur 4.7: Peilbuislocaties Assendelft buiten de plot

Tabel 4.5: Overzicht van grondwatermeetlocaties in Assendelft.

Peilbuis	**X [m RD]**	**Y [m RD]**	Type meting
ASD_MP_1	110994.259	498816.861	Meting in de drain
ASD_MP_2	110998.839	498811.819	0.5 m van de drain
ASD_MP_3	110999.192	498812.154	1 m van de drain
ASD_MP_4	110999.95	498812.748	2 m van de drain
ASD_MP_5	110993.527	498814.428	Stijghoogte zandondergrond (1ste watervoerende pakket)
ASD_MP_6	110998.72	498812.799	Filter middendiep, 1 m van de drain
ASD_MP_7	110956.546	498783.437	Sloot
ASD_MP_8	110994.776	498808.304	Tussen drain en greppel
ASD_RF_9	111038.564	498871	Bij kamers
ASD_RF_10	111039.579	498872.001	Bij kamers
ASD_RF_11	111042.152	498874.329	Bij kamers
ASD_RF_12	111035.993	498875.275	Stijghoogte zandondergrond (handmatige meting)
ASD_RF_13	111042.868	498875.076	Filter middendiep (handmatige meting)
ASD_RF_14	111087.648	498916.578	Sloot
ASD_RF_15	111030.047	498863.197	Buiten meetplot (ondergronds afgewerkt)
ASD_RF_16	111083.201	498912.17	Buiten meetplot (ondergronds afgewerkt)

Tabel 4.6: Overzicht van peilbuisgegevens in Assendelft (bk = bovenkant, staaf = stalen funderingsstaf, groef = referentiegroef in Ellitrack logger).

Peilbuis	Ellitrack serie-nummer	Hoogte bk peilbuis [m NAP]	Hoogte bk staaf [m NAP]	Hoogte groef t.o.v. bk staaf [m]	Hoogte groef [m NAP]	Hoogte maaiveld 31-8-2020 [m NAP]	Kabel-lengte [m]	Filter-diepte [m-mv]	Diepte staaf [m-mv]
ASD_MP_1	20040811	-1.57	n.v.t.	n.v.t.	-1.37	-1.87	1.25	in drain	n.v.t.
ASD_MP_2	20040822	-1.80	-1.42	-0.12	-1.54	-1.91	1.60	0.30-1.32	ca 4.5-5.0
ASD_MP_3	20040824	-1.77	-1.42	-0.09	-1.51	-1.90	1.60	0.30-1.32	ca 4.5-5.0
ASD_MP_4	20040820	-1.78	-1.39	-0.12	-1.52	-1.90	1.60	0.30-1.32	ca 4.5-5.0
ASD_MP_5	19061726	-0.86	n.v.t.	n.v.t.	-0.73	-1.93	5.00	16.90-17.10	17.20
ASD_MP_6	20040825	-1.77	-1.42	-0.09	-1.51	-1.89	1.80	1.60-1.85	ca 4.5-5.0
ASD_MP_7	20040814	n.v.t.	-1.52	-0.22	-1.73	n.v.t.	1.50	n.v.t.	ca 4.5-5.1
ASD_MP_8	20040823	-1.86	-1.52	-0.08	-1.60	-1.98	1.60	0.30-1.30	ca 4.5-5.2
ASD_RF_9	20040817	-1.72	-1.34	-0.13	-1.46	-1.91	1.50	0.30-1.30	ca 4.5-5.3
ASD_RF_10	20040819	-1.74	-1.38	-0.10	-1.53	-1.89	1.60	0.30-1.30	ca 4.5-5.4
ASD_RF_11	20040818	-1.74	-1.38	-0.10	-1.48	-1.93	1.60	0.30-1.30	ca 4.5-5.5
ASD_RF_12	n.v.t.	-0.78	n.v.t.	n.v.t.	-0.58	-1.90	n.v.t.	16.90-17.10	17.20
ASD_RF_13	n.v.t.	-1.71	-1.33	n.v.t.	-1.71	-0.46	n.v.t.	1.50-1.80	ca 4.5-5.5
ASD_RF_14	20040815	n.v.t.	-1.66	-0.06	-1.72	n.v.t.	1.50	n.v.t.	ca 4.5-5.5
ASD_RF_15	20040812	-1.96	-1.97	n.v.t.	-1.71	-1.91	1.35	0.30-1.30	3.00
ASD_RF_16	20040813	-2.04	-2.00	n.v.t.	-1.75	-1.94	1.35	0.30-1.30	3.00

4.3.4 Bemesten en maaien

In het voorjaar 2020 hebben we vanwege haalbaarheid van het onderhoud besloten de plots maandelijks te gaan maaien en bemesten. We hebben in 2020 uitsluitend bemest met kunstmest en hiervoor in Assendelft (Tabel 4.7) het schema aangehouden dat ook op Zegveld is gehanteerd. Het maaien is door de aanwezigheid van sensoren en kabels zeer tijdrovend (Tabel 4.8); rond

sensoren en kabels moet met de hand geknipt worden om schade te voorkomen, en zelfs dan lukt dat niet altijd. Er is gewerkt aan betere markering van sensoren en het zoveel mogelijk boven grashoogte ophangen van kabels, wat het maaien en de kans op schade aanmerkelijk vermindert.

Tabel 4.7: Plotbemesting Assendelft

Datum	Plot	N (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)
3-4-2020	RF	120	100
	MP	118	98
15-5-2020	RF	54	45
	MP	53	44
13-6-2020	RF	40	0
	MP	40	0
8-7-2020	RF	20.9	0
	MP	20.9	0

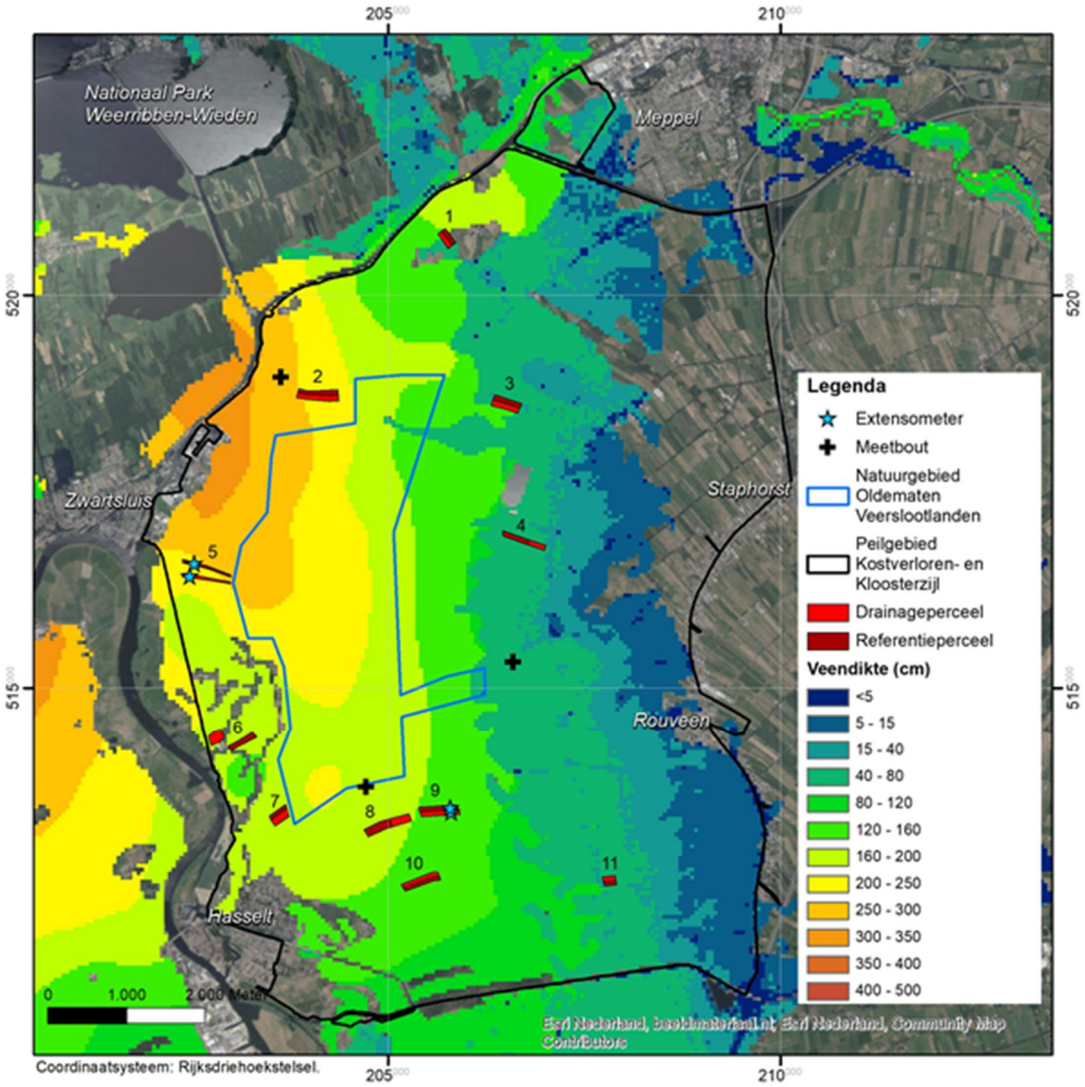
Tabel 4.8: Data plotonderhoud Assendelft.

Datum
12-5-2020
9-6-2020
10-6-2020
7-7-2020
20-8-2020

4.4 Rouveen – Overijssel

4.4.1 Lokale pilot

In het veenweidegebied rondom het dorp Rouveen (OV) vindt bodemdaling door veenoxidatie en -compactie plaats. Dit veroorzaakt vernatting (c.q. lagere draagkracht van de bodem), CO_2-uitstoot en uitspoeling van nutriënten naar oppervlakte- en grondwater. Hierdoor wordt de huidige landbouwfunctie in het gebied bedreigd. Het Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) staat voor de opgave de landbouwfunctie in het veenweidegebied te behouden, en tegelijkertijd te voldoen aan eisen van de Kaderrichtlijn Water en Natura2000: in het gebied ligt het Natura2000 gebied Olde Maten & Veerslootlanden. Daarom is in 2018 het project 'Pilot onderwaterdrainage: effecten op bodemdaling in het peilgebied Kostverloren- en Kloosterzijl (Overijssel)', hierna te noemen 'de pilot', gestart door LTO Noord in samenwerking met WDOD en elf agrariërs. De uitvoering van de pilot ligt bij Aequator Groen & Ruimte. Binnen deze pilot voert Deltares sinds oktober 2018 bodemdalingsmetingen uit, en zal dit in principe t/m 2022 blijven doen.



Figuur 4.8: Overzichtskaart met daarop aangegeven de meetlocaties (met namen van de elf veehouderijen) van de 'Pilot Onderwaterdrainage', inclusief de NOBV meetlocatie. Tevens zijn aangegeven de veendikte, en de locaties van geplaatste extensometers en het Integrated Geodetic Reference Station (verder toegelicht in de hoofdtekst).

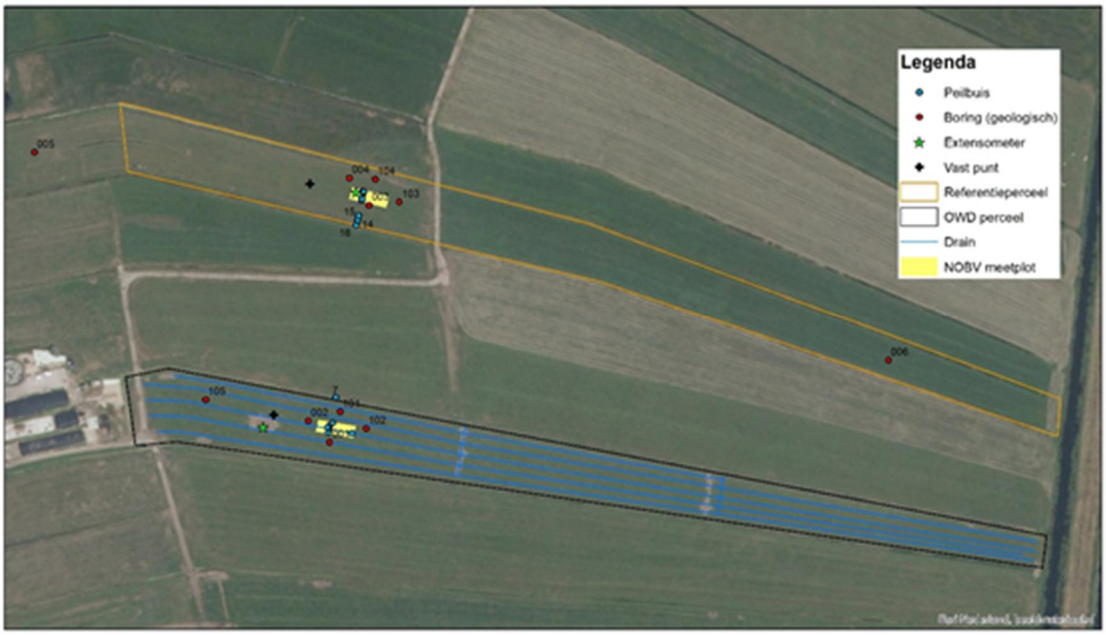
Binnen de pilot is bij de elf agrariërs in 2018 onderwaterdrainage aangelegd (Figuur 4.), waarbij de haalbaarheid en effectiviteit van deze maatregel wordt verkend. Er wordt met name onderzocht wat de invloed van onderwaterdrainage is op grondwaterstanden en bodemdaling. Bij elke veehouderij is er in één perceel onderwaterdrainage aangelegd en dient één perceel als referentieperceel. In beide percelen worden grondwaterstanden en bodembeweging gemonitord. Het doel van het meten en monitoren van bodembeweging is om (1) de effectiviteit van onderwaterdrainage met betrekking tot bodemdaling te bepalen en (2) een meetstrategie te ontwikkelen waarmee langere termijn bodemdaling met mm-betrouwbaarheid en vlakdekkend gemonitord kan worden. Er wordt hierbij gebruik gemaakt van vier verschillende technieken (Tabel *4.9*). Voor meer informatie wordt verwezen naar het Deltares rapport Van Asselen (2020).

Tabel 4.9: Overzicht van meettechnieken met bijbehorende informatie, toegepast binnen de pilot onderwaterdrainage bij Rouveen. IGRS = Integrated Geodetic Reference Station.

Methode	Meetgebied	Meetperiode en frequentie
Waterpassen	8 meest westelijk gelegen agrariërs (Figuur 4.; niet bij nummers 3, 4 en 11)	Sinds november 2018, vier keer per jaar
Extensometer	2 agrariërs, 2 per locatie (Figuur 4.; nummers 5 en 9)	Sinds oktober 2018, meet continu met een interval van 1 uur
LiDAR vanuit drone en vliegtuig	4 westelijk gelegen agrariërs (Figuur 4.; nummers 5, 6, 7, en 9)	Sinds november 2018, vier keer per jaar
InSAR	Hele veenweidegebied. T.b.v. de InSAR metingen is er een IGRS-station gebouwd in het zuidwestelijk deel van het project gebied (Figuur 4.).	Eerste analyse voor de periode 2017-2019 is gedaan in 2020

4.4.2 Site opzet

De NOBV-meetlocatie Rouveen betreft een melkveehouderij waar onderwaterdrainage is aangelegd in een perceel van circa 40 x 600 m (Figuur 4.). De draindiepte is circa 65 cm-maaiveld en de drainafstand is 8 meter. De NOBV-metingen vinden plaats in het westelijke deel van het drainage- en referentieperceel (Figuur 4.).



Figuur 4.9: Ligging van het drainage- en referentieperceel op de meetlocatie Rouveen, en de locatie van verschillende objecten in het veld.

In Rouveen is er afgeweken van de standaard inrichting van een meetplot:

- De afmetingen van de plot zijn aangepast naar 8 x 25 meter in plaats van 10 x 20 meter. Dit is gedaan omdat de percelen op deze locatie relatief smal zijn (circa 40 m) en bij instandhouding van de standaard 10 m breedte er te weinig ruimte voor de landeigenaar over zou blijven voor het maaien en bemesten. Door de plots langer te maken hebben we toch hetzelfde plotoppervlak.
- In het maatregelenperceel staat de extensometer, welke al eerder binnen de lokale pilot is geïnstalleerd, in een apart veldje van 5 x 5 m met een hek eromheen. De reden dat de nieuwe NOBV plot niet hieromheen is gebouwd, zoals wel is gedaan in het referentieperceel, is dat de dichtstbijzijnde greppel naast de extensometer plot in 2019 is

dichtgegooid zodat de landeigenaar het land beter kan bewerken rondom het afgezette stukje grond. Omdat dit waarschijnlijk invloed heeft op de lokale hydrologie is ervoor gekozen om de nieuwe NOBV plot circa 30 m naar het oosten op te schuiven.

De plattegronden van de twee plots van meetlocatie Rouveen zijn opgenomen in Bijlage B. De standaard inrichting en methoden zijn beschreven in Hoofdstuk 3. Specifieke werkzaamheden en informatie en/of afwijkingen ten opzichte van de standaardmethoden staan beschreven in de volgende paragrafen.

4.4.3 Installatie en meetprotocol

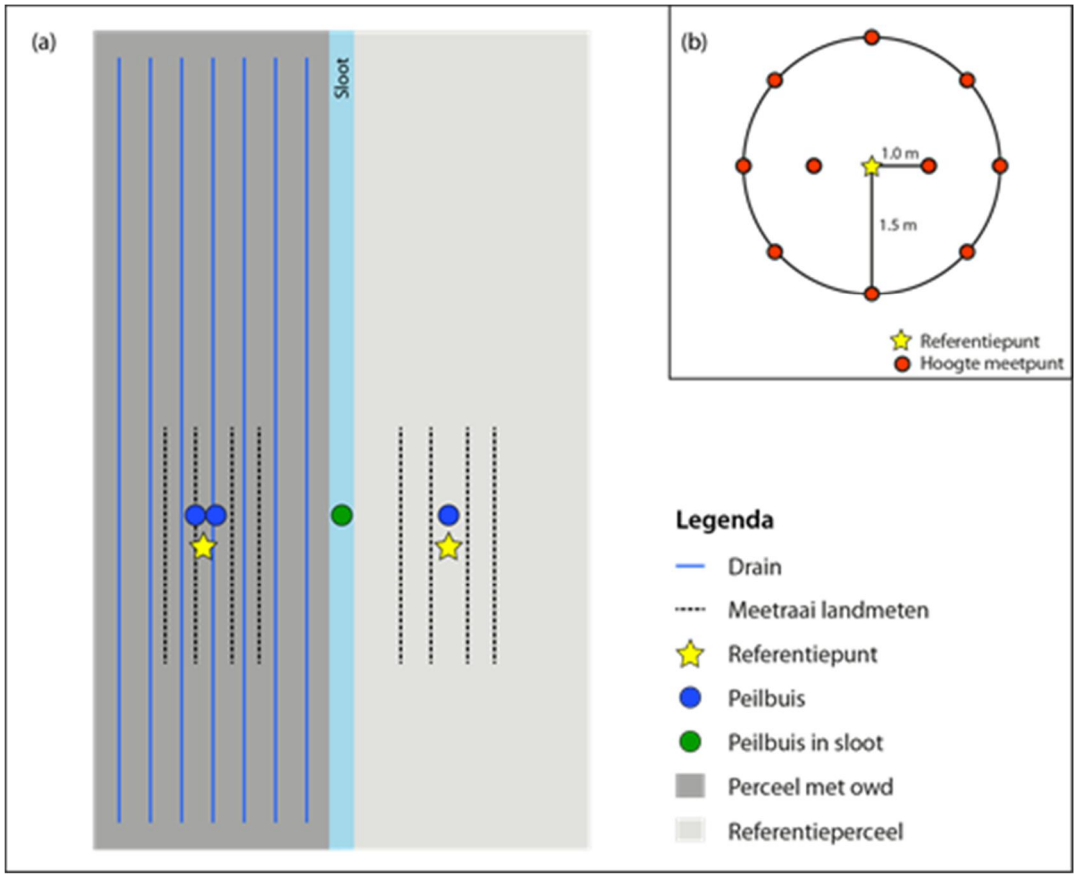
Inrichting veld voor waterpasmetingen

In Rouveen is zowel in het drainage- als het referentieperceel een referentiepunt geïnstalleerd door Woertink Waterpompen met behulp van een trekker met lagedrukbanden om de slappe ondergrond zo min mogelijk te belasten (Figuur 4.). Eerst is er een grondboring gezet om de opbouw van de ondergrond en de diepte van het zand (en daarmee van de buis) te bepalen. Vervolgens is er met de trekker geboord door middel van de verdringingsmethode met een verloren punt om de drukvastheid te behouden. De massief ijzeren buis is met behulp van de trekker loodrecht op de verloren punt geplaatst. De referentiepunten in Rouveen zijn onder de grond afgewerkt. De top van de gefundeerde buis bevindt zich op ongeveer 10-15 cm onder het deksel. Dit geeft ruimte voor zakking van de straatkolk (uitgaande van een maaivelddaling van 1 cm per jaar kan er op deze manier dus minstens 10 jaar lang gemeten worden).

De hoogte van de referentiepunten (top van de gefundeerde buis) zijn in november en december 2018 door Shore Monitoring ingemeten met een RTK-GNSS (Real Time Kinematic – Global Navigation Satellite System). De RTK-GNSS is hiervoor gedurende 15 minuten op een tripod boven een referentiepunt gezet. De X, Y en Z coördinaten van de top van een buis zijn ingemeten ten opzichte van permanente lokale benchmarks (Figuur 4.). Dit zijn meetbouten die in betonnen, op het Pleistocene zand gefundeerde constructies zijn geboord. De coördinaten van de meetbouten zijn bepaald door gedurende tenminste 15 minuten te meten met RTK GNSS correcties van LNRGlobalcom. Door de coördinaatmetingen van de referentiepunten te refereren aan de benchmarks, en door gedurende 15 minuten te meten, wordt een mm-nauwkeurigheid verkregen.

Figuur 4.10: Linksboven: installatie van vaste punten met behulp van een MB Track met lagedrukbanden. Rechtsboven: verloren punt. Linksonder: gat gegraven rondom de buis voor het plaatsen van de straatkolk met geel deksel. Rechtsonder: top van gefundeerde buis in straatkolk.

In Rouveen wordt er gemeten langs 4 raaien van 50 meter lang (Figuur 4.1a). De raaien liggen tussen/parallel aan de drain(richting) en worden iedere meetcampagne uitgezet met meetlinten. De begin- en eindpunten van deze meetraaien(/-linten) zijn bepaald met een Topcon GRS-1 RTKGPS, en worden elke meetcampagne opnieuw gebruikt zodat de ligging van de raaien steeds hetzelfde is. Langs de meetlinten wordt er om de 2 meter een hoogtemeting uitgevoerd ten opzichte van het referentiepunt met een Leica LS15 waterpasinstrument. Dit resulteert in 114 meetpunten per perceel. Voor elke meetcampagne wordt per perceel de gemiddelde hoogteverandering van het maaiveld ten opzichte van de nulmeting in november 2018 (T0) berekend. Op lokale schaal worden daarnaast in een cirkel met een diameter van 1.5 m rondom het referentiepunt acht hoogtemetingen uitgevoerd, plus twee metingen op 1.0 m vanaf het referentiepunt (Figuur 4.1b). Ook hiervan wordt per meetcampagne de gemiddelde hoogteverandering ten opzichte van T0 berekend.



Figuur 4.11: Schematische weergave van een meetplot met daarin weergeven de meetraaien voor de hoogtemetingen.

Installatie extensometers

In Rouveen zijn de extensometers binnen het lokale project in november 2018 geplaatst en meten sindsdien. De positie en ankerdiepten van de extensometers in Rouveen zijn weergegeven in Tabel 4.10. Ankerniveau 1 bevindt zich in de stabiele zandondergrond, bepaald op basis van handboringen, en dient als referentieniveau. Ankerniveau 2 is bepaald op basis van grondwatergegevens van putten in de directe omgeving van de meetplot uit Dinoloket, waarbij ervoor gezorgd is dat dit niveau onder de GLG ligt, en daarmee de beweging registreert veroorzaakt door processen in de permanent verzadigde veenlaag. Ankerniveau 3 valt samen met de onderkant van de kleiige toplaag. Op basis van dit niveau kan de bijdrage van processen die dominant zijn in de toplaag, zoals krimp, zwel en oxidatie, worden bepaald. Ankerniveau 4 is het maaiveldniveau en registreert de beweging van het maaiveld veroorzaakt door alle processen die spelen in de ondergrond tussen dit niveau en het referentieniveau (anker 1).

Tabel 4.10: De positie (volgens Rijksdriehoekstelsel) en ankerdiepten van de extensometers in Rouveen.

Omschrijving	**Maatregelperceel**	**Referentieperceel**
X [m]	202476.026	202537.472
Y [m]	516418.787	516574.47
Maaiveld [m NAP]	-0.56	-0.60
Ankerdiepte [m-maaiveld]:		
Anker 1	-4.2	-4.2
Anker 2	-1.15	-1.15
Anker 3	-0.35	-0.35
Anker 4	-0.05	-0.05

LiDAR metingen
Op de NOBV meetlocatie Rouveen is sinds november 2018 om de circa drie maanden gemeten met LiDAR aan drone en LiDAR aan vliegtuig, zie Tabel 4.11.

Tabel 4.11: Meetmomenten LiDAR aan vliegtuig Rouveen.

Meting	Periode	Locatie
T0	november 2018	Nummers 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9 en 10 (Figuur 4.)
T1	januari 2019	idem
T2	april 2019	idem
T3	juli 2019	idem
T4	oktober 2019	idem
T5	februari 2020	Nummers 5, 6, 7 en 9 (Figuur 4.)
T6	mei 2020	idem
T7	augustus 2020	idem

In Rouveen is gebruik worden gemaakt van drie permanente lokale benchmarks op betonnen constructies en van grond controle punten (GCP's). De drie benchmarks zijn meetbouten op betonnen in het Pleistocene zand gefundeerde constructies, waarvan de positie nauwkeurig is bepaald middels een RTK GNSS. Alle metingen in het veld zijn aan deze permanente referentiepunten gerefereerd. De GCP's bestaan uit een horizontale plaat van 100 x 100 cm op een verticale buis welke tijdens een meting op de referentiepunten in het perceel worden geplaatst. De plaat is voorzien van reflecterende folie en steekt circa 30 cm boven maaiveld uit (T0 t/m T4 zijn uitgevoerd met GCP's van 50 x 50 cm zonder reflecterende folie). Voor alle metingen worden de LiDAR puntenwolken in verticale richting naar het midden van de GCP-plaat verplaatst, waardoor de absolute nauwkeurigheid van de metingen wordt verhoogd. Dit is gedaan op basis van het verschil tussen hoogtewaarden in de LiDAR data van de horizontale GCP-plaat en de hoogtewaarden van de GCP zoals ingemeten met behulp van een langdurige GNSS meting. Voor metingen met drone is er per perceel een correctie bepaald, voor metingen met vliegtuig (één shift) is er voor alle locaties één correctiewaarde gebruikt. De puntenwolken zijn vergrid naar DTMs met een resolutie van 0.25 x 0.25 m.

InSAR metingen
Voor de analyse in Rouveen is er gebruik gemaakt van 3 satellietbanen, waarbij elke baan (c.q. track) 1 beeld per 6 dagen genereert:

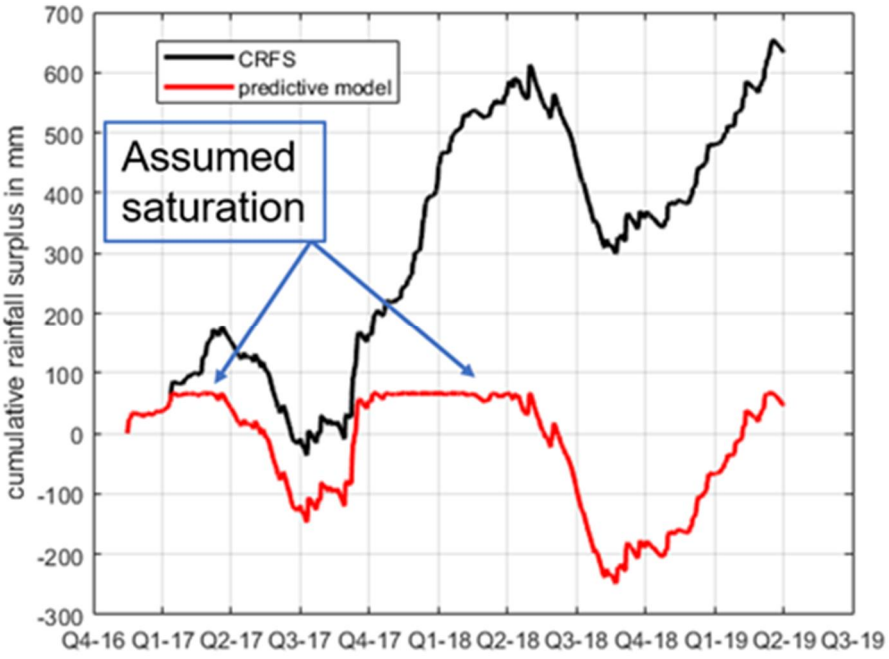
- Ascending track 15: 173 beelden (172 hoogteverschillen)
- Ascending track 88: 178 beelden (177 hoogteverschillen)
- Descending track 37: 182 beelden (181 hoogteverschillen)

Om ruis te onderdrukken zijn de observaties gemiddeld in vensters van 100 x 100 meter. Een venster bestaat minimaal uit 25 punten en maximaal uit 600 punten. Het gebied rondom Rouveen bestaat uit 113 x 119 vensters. De tracks worden gecombineerd door hoogteverschillen elke 6 dagen te middelen. Dit resulteert in een tijdserie van 181 hoogteverschillen per venster. Reflecties op wegen en bebouwing zijn eruit gefilterd op basis van de veendiktekaart (De Vries et al. 2018).

Als (a priori kennis)model is in eerste instantie gebruik gemaakt van het cumulatief neerslagoverschot (Cumulative RainFall Surplus - CRFS), op basis van een studie waarbij is aangetoond dat deze factor sterk gecorreleerd is met bodembeweging (Nijp et al, 2019). Er is gebruik gemaakt van het KNMI weerstation 273 (Marknesse).

Het CRFS wordt gebruikt om een eerst orde model van seizoensgebonden bodembeweging af te leiden. Globaal gezien daalt een veenbodem tijdens droge perioden (lente en zomer) en komt deze weer omhoog tijdens natte perioden (herfst en winter). Het is aannemelijk dat in de winter er

een toenemend neerslagoverschot is en dat de veengronden dan volledige verzadigdheid bereiken. Aangezien het CRFS onbeperkt kan toenemen, kiezen we in de winter – vrij arbitrair – een referentiepunt waarop er aangenomen wordt dat de gronden volledig verzadigd zijn en een toename in CRFS geen effect meer heeft op een verdere stijging van het maaiveld (Figuur 4.2). Dit is in het model terug te zien als een periode met vrij weinig bodembeweging. De bodem moet eerst weer een stukje dalen voordat het opnieuw kan stijgen. Het belang van dit afgeleide model is om in grote lijnen de verwachtte bodembeweging te voorspellen, en hoeft daarom niet heel accuraat te zijn.



Figuur 4.12: Voorbeeld van hoe een predictive model is afgeleid van de CRFS (Cumulative RainFall Surplus). Aangegeven is wanneer wordt aangenomen wordt dat de percelen zijn verzadigd.

In een latere fase van de InSAR-analyse in Rouveen is gebruik gemaakt van geïnterpoleerde grondwaterstandgegevens in het analysegebied van het Waterschap Drents Overijsselse Delta, wat op basis van veldmetingen in Rouveen, een betere correlatie leek te hebben met de bodembeweging.

Het CFRS-gebaseerde model of model op basis van grondwaterstanden (beide interpolatiemodellen), wat een indicatie geeft voor wanneer seizoensgebonden bodemdaling stopt en stijging (zwel) weer begint, wordt gefit op de radarmetingen en vervolgens gebruikt om unwrapping fouten beter te kunnen bepalen en corrigeren.

Grondwaterstandmetingen
De locaties van de peilbuizen in Rouveen zijn aangegeven in Figuur 4. (buiten de plot) en Bijlage B (binnen de plot). De specifieke eigenschappen van de grondwatermonitoringslocaties zijn aangegeven in Tabel 4.12 en Tabel 4.13.

In Rouveen begint vaak binnen circa 0.80 m-mv een mosveenlaag van maximaal 0.45 m dik. Deze mosveenlaag kan mogelijk een andere doorlatendheid hebben dan het boven- en onderliggend veen, waardoor de waterdruk boven en onder de mosveenlaag anders kan zijn. Omdat wij hier de freatische grondwaterstand willen meten is ervoor gekozen om het de

onderkant van het filter op 0.85 m-mv te plaatsten, zodat deze niet door de mosveenlaag heen gaat.

Om te bepalen of de waterdruk halverwege het veenpakket, onder de mosveenlaag en onder het kleiige interval op circa 2.20-2.45 m-mv dat op sommige locaties voorkomt, anders is dan daarboven is per perceel op één locatie een peilbuis met kort filter op middelgrote diepte geïnstalleerd.

Tabel 4.12: Overzicht van grondwatermeetlocaties in Rouveen.

Peilbuis	X [m RD]	Y [m RD]	Type meting
ROV_MP_1	202520.045	516420.229	4 m van de drain
ROV_MP_2	202519.645	516418.267	2 m van de drain
ROV_MP_3	202519.396	516416.863	0.5 m van de drain
ROV_MP_4	202534.58	516414.926	Meting in de drain
ROV_MP_5	202518.692	516418.578	Filter middendiep, 2 m van de drain
ROV_MP_6	202521.902	516421.742	Stijghoogte zandondergrond (1ste watervoerende pakket)
ROV_MP_7	202524.084	516438.589	Slootpeil
ROV_MP_8	202519.074	516415.399	Tussen greppel en drain
ROV_RF_9	202541.171	516569.149	Bij kamers (bemeste plot)
ROV_RF_10	202541.393	516570.12	Bij kamers (bemeste plot)
ROV_RF_11	202542.225	516573.994	Bij kamers (onbemeste plot)
ROV_RF_12	202541.658	516575.098	Filter middendiep (handmatige meting)
ROV_RF_13	202542.42	516574.948	Stijghoogte zandondergrond (handmatige meting)
ROV_RF_14	202538.343	516556.092	Buiten meetplot (2 m van de sloot)
ROV_RF_15	202539.052	516559.04	Buiten meetplot (5 m van de sloot)
ROV_RF_16	202537.439	516552.744	Slootpeil

Tabel 4.13: Overzicht van peilbuisgegevens in Rouveen (bk = bovenkant, staaf = stalen funderingsstaaf, groef = referentiegroef in Ellitrack logger).

Peilbuis	Ellitrack serie-nummer	Hoogte bk peilbuis [m NAP]	Hoogte bk staaf [m NAP]	Hoogte groef t.o.v. bk staaf [m]	Hoogte groef [m NAP]	Hoogte maaiveld 31-8-2020 [m NAP]	Kabel-lengte [m]	Filter-diepte [m-mv]	Diepte staaf [m-mv]
ROV_MP_1	20040804	-0.44	-0.23	0.05	-0.18	-0.57	1.25	0.30-0.85	3.80
ROV_MP_2	20040803	-0.49	-0.30	0.07	-0.24	-0.55	1.25	0.30-0.85	3.45
ROV_MP_3	20040805	-0.58	-0.40	0.04	-0.36	-0.58	1.25	0.30-0.85	3.60
ROV_MP_4	20040810	-0.51	n.v.t.	n.v.t.	-0.28	-	1.25	n.v.t.	n.v.t.
ROV_MP_5	19061725	-0.49	-0.09	-0.11	-0.20	-0.60	2.80	2.50-2.75	3.75
ROV_MP_6	19061723	-0.51	-0.08	-0.14	-0.20	-0.56	2.80	3.44-4.44	5.45
ROV_MP_7	20040809	-	-0.35	-0.25	-0.60	-	1.25	n.v.t.	3.60
ROV_MP_8	20040806	-0.69	-0.46	0.11	-0.35	-0.50	1.25	0.30-0.85	5.10
ROV_RF_9	20040821	-0.50	-0.05	-0.07	-0.13	-0.58	1.60	0.30-0.85	3.75
ROV_RF_10	20040808	-0.45	-0.06	-0.13	-0.18	-0.58	1.25	0.30-0.85	4.05
ROV_RF_11	20040807	-0.45	-0.03	-0.09	-0.12	-0.57	1.25	0.30-0.85	3.60
ROV_RF_12	n.v.t.	-	-0.03	-	-	-0.57	n.v.t.	2.50-2.75	3.60
ROV_RF_13	n.v.t.	-	-0.20	-	-	-0.57	n.v.t.	4.04-4.99	3.60
ROV_RF_14	20040802	-0.77	-0.74	0.19	-0.56	-0.69	1.00	0.30-0.85	3.60
ROV_RF_15	20040801	-0.80	-0.77	0.18	-0.59	-0.65	1.00	0.27-0.82	3.60
ROV_RF_16	20040816	-	-0.48	-0.01	-0.49	n.v.t.	1.50	n.v.t.	3.60

Bodemonderzoek

De methodiek gebruikt voor het bodemonderzoek is beschreven in Hoofdstuk 3.11. Resultaten, inclusief informatie over de handboringen, worden beschreven in Hoofdstuk 6.12.

4.4.4 Maaien en bemesten

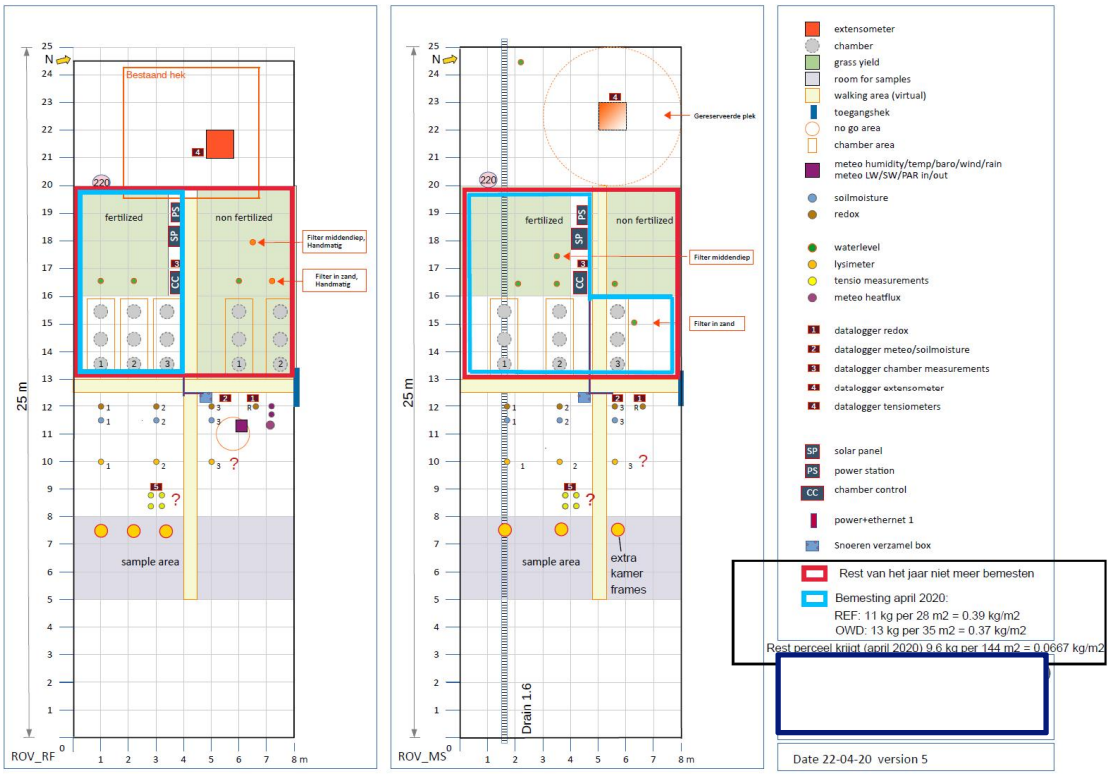
In Rouveen zijn de plots zes keer gemaaid (21 april, 25 mei, 30 juni, 31 juli, 25 augustus en eind september). Het maaien is gebeurd volgens de methode die beschreven staat in het meetprotocol. Omdat de automatische fluxkamers voor CO_2 metingen pas in juli zijn geïnstalleerd hebben de kamerframes slechts drie keer gemaaid hoeven worden (31 juli, 25 augustus en 29 september). Idem aan Aldeboarn is tijdens elk veldbezoek en vóór en na maaien de grashoogte binnen de gewasopbrengstplots en kamerframes opgemeten om op deze manier een relatie tussen grashoogte en biomassa te kunnen opstellen waarmee de staande grasbiomassa door het seizoen heen voorspeld kan worden.

In Rouveen is in totaal vier keer bemest met kunstmest (Tabel 4.14). Tijdens het eerste bemestingsmoment op 21 april 2020 is er door miscommunicatie een veel te grote hoeveelheid kunstmest toegediend aan zowel het maatregel- als referentieplot. De totale hoeveelheid mest bedoeld voor de gehele plot is verdeeld binnen het blauw-omkaderde deel in Figuur 4., waardoor 3900 kg/ha (referentieplot) en 3700 kg/ha (maatregelplot) is toegediend i.p.v. 667 kg/ha. Besloten is toen om dit deel v/d plots de rest van het seizoen niet meer te bemesten. De overige delen van het plot (met uitzondering van de onbemeste subplotjes) zijn op 27 april 2020 bemest volgens de giften vermeld in Tabel 4.14.

Mestkorrels zijn handmatig uitgestrooid over de plot door een medewerker die opgegroeid is op een boerderij en ervaring heeft met het gelijkmatig uitstrooien van kunstmest. Het plot is opgedeeld in verschillende secties om de bemesting overzichtelijk te houden en per sectie de benodigde hoeveelheid kunstmest te berekenen en voor te bereiden.

Tabel 4.14: Hoeveelheid gazonmeststof (Welkoop) per bemestingsmoment en de daarmee gepaarde berekende N-, P- en K-giften. Noot: Vanaf de derde bemesting is een andere Welkoopmeststof toegepast, om de fosfaatgift niet te groot te maken.

Bemestingsmoment	NPK 12-10-18 gazonmeststof (kg per ha)	N gazonmeststof (kg per ha)	N-gift (kg per ha)	P2O5-gift (kg per ha)	K2O-gift (kg per ha)
21 april 2020	667		80	67	120
25 mei 2020	417		50	42	75
30 juni 2020		174	40		
31 juli 2020		174	40		

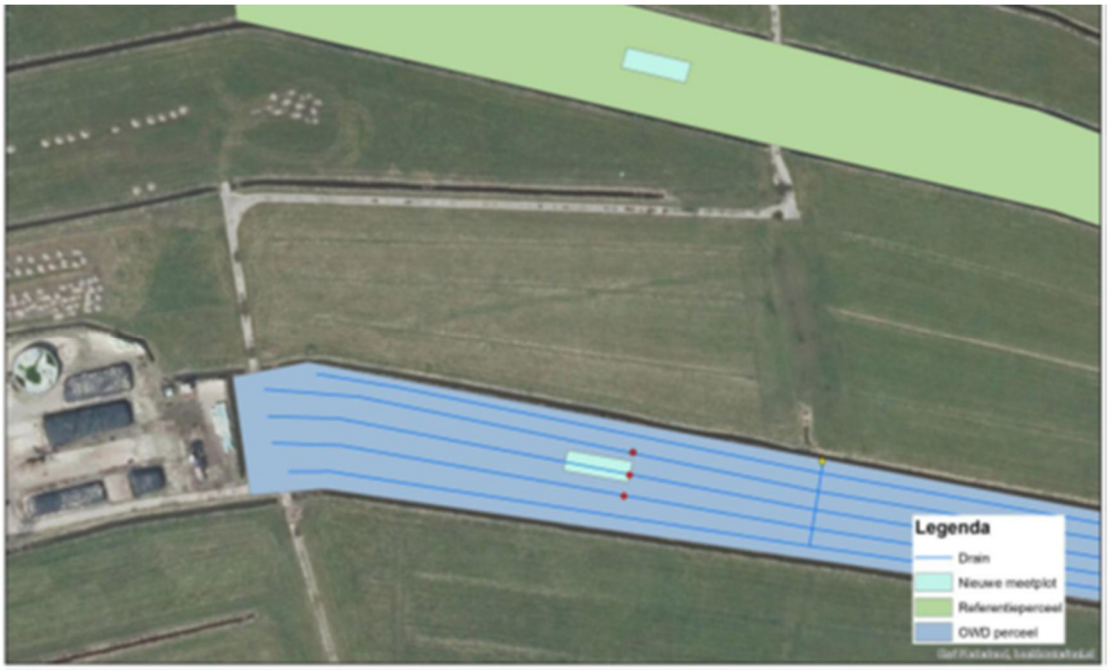


Figuur 4.13: Meetlocatie opbouw Rouveen

4.4.5 Draininspectie

Op 8 mei 2020 is een camera-inspectie gedaan van drie drainbuizen en een verzamelbuis. De drains zijn enkele jaren geleden geïnstalleerd, en sindsdien is er geen noemenswaardig onderhoud aan gepleegd. Er is een afstand gehanteerd van ongeveer 8 meter tussen de drains, en de installatiediepte bedraagt (op basis van aanprikken van de drain) ongeveer 60 tot 70 cm onder maaiveld op de locatie waar de drains zijn geïnstalleerd. Er zijn in totaal 10 drains aangesloten aan een verzamelbuis, waarvan vijf in oostelijke, en vijf in westelijke richting. De drains in westelijke richting hebben elk een lengte van ongeveer 180 m; op dit deel van het perceel ligt de NOBV plot. De verzamelbuis mondt direct uit in de sloot aan de noordkant van het perceel. Deze aansluiting is onder water; hiermee wordt getracht het waterpeil (stijghoogte) in de drains te sturen aan de hand van het peil in de sloot.

In het voorjaar van 2020 zijn er inspectiepunten geïnstalleerd op drie van de westelijke drains bij het proefvak (Figuur 4.2 en Figuur 4.3). Bij de installatie van deze punten kwam veel lucht vrij vanuit de drains. Vanuit de inspectiepunten is er in zowel de westelijke (stroomopwaartse) als oostelijke (stroomafwaartse) richting een inspectie van de binnenzijde van de drains gedaan middels een camera, waarbij tot een afstand van 30 meter vanaf het inspectiepunt gekeken kan worden. Tevens is de verzamelbuis (voor zover mogelijk) bekeken.



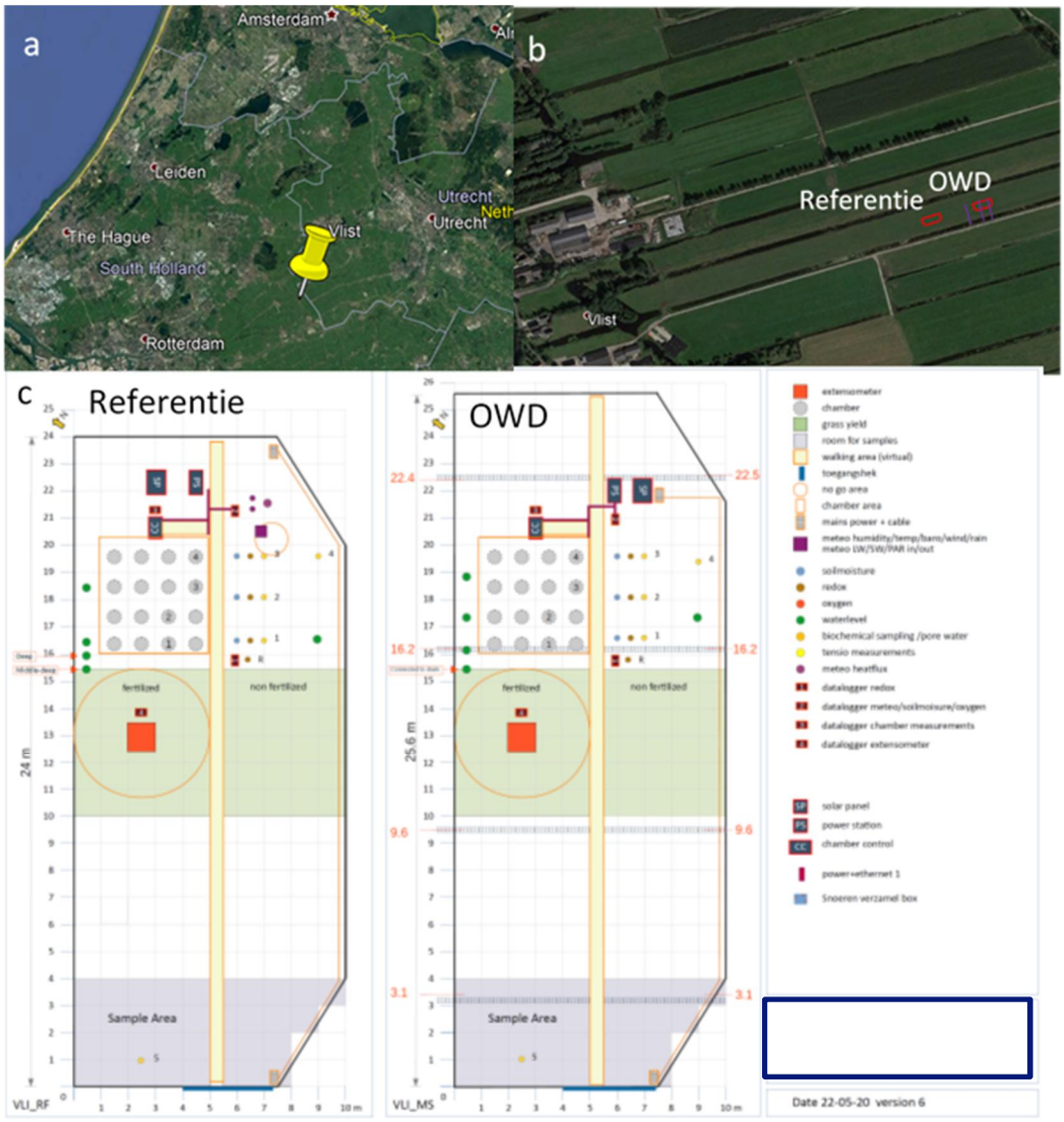
Figuur 4.24: Locatie van de drain-inspectiepunten (rode stip) bij het meetplot in het drainageperceel. Tevens zichtbaar is het uiteinde van de verzamelbuis, weergegeven met een gele stip.

Figuur 4.35: Constructie waarbij een Y-stuk op de drain is geplaatst voor de draininspectie, met zijstuk voor de waterdrukmeting in de drain.

4.5 Vlist – Zuid-Holland

4.5.1 Site opzet

Midden in het Groene Hart in de polder Keulevaart (Lopikerwaard) zijn bij de landeigenaar van de meetsite ca. tien jaar geleden onderwaterdrainagebuizen geïnstalleerd aan de oostkant van twee van zijn percelen. Het peilbesluit van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden zorgt voor een winter- en zomerpeil van respectievelijk 60 en 50 cm onder het maaiveld (-2.15 m NAP zomerpeil, -2.25 m NAP in de winter). De drainafstand bedraagt 6m en de draindiepte is rond de 70 cm-mv. De bodemprofielen zijn opgebouwd uit een kleibovengrond van ca. 35-40 cm diep, een verweerde kleiige veenlaag tot ca. 45-60 cm diep, eutroof broekveen met herkenbare plantenresten tot 50-70cm en hieronder gereduceerd bosveen. Op deze locatie is in 2011 - 2012 ook onderzoek uitgevoerd door Alterra (Hendriks et al., 2013) naar de effecten van onderwaterdrainage. In die periode zijn grondwaterstanden, debiet en waterchemie van in- en uitgepompte het slootwater, en bodemchemie gemeten. Er zijn geen directe CO_2 fluxen aan het oppervlak gemeten; wel is aan de hand van laboratoriumproeven de afbraaksnelheid van het veen onder het kleidek bepaald. De locatie is opgenomen in het onderzoek om de langere termijneffecten van toepassing van onderwaterdrainage te onderzoeken.



Figuur 4.46: Locatie en opzet van de Vlist-site

4.5.2 Installatie en meetprotocol

CO_2 metingen

De uitstoot van CO_2 uit de bodem en opname door het gras wordt gemeten we met 4 automatische kamers per plot (referentie en maatregel), zoals hierboven beschreven bij Assendelft. De gebruikte kamers zijn plexiglas cilinders met een hoogte van 50 cm en een diameter van 40 cm. Deze kamers worden elke 2 weken verplaatst zodat het gras en de bodem zich niet te sterk gaan aanpassen aan de omstandigheden in de kamer. We meten dit uitsluitend op het bemeste deel van beide plots (Figuur 4.16).

Extensometer

In Vlist zijn de extensometers geplaatst op 9 juni 2020 en meten sindsdien. De positie en ankerdiepten van de extensometers in Vlist zijn weergegeven in Tabel 4.15. Het diepste ankerniveau (1) is bepaald op basis van een sondering (Bijlage L) en bevindt zich in de stabiele zandondergrond (waar deze een hoge weerstand geeft). Dit anker dient als referentieniveau. Ankerniveau 2 valt samen met de onderkant van de onderste veenlaag, op de overgang van het veen naar onderliggende kleiige afzettingen. Op basis van dit ankerniveau kan de beweging van de onderste kleilaag, met eventuele venige tussenliggende lagen en/of de basisveenlaag, worden

afgeleid. Ankerniveau 3 bevindt zich op circa -1.20 m-mv (maaiveld). Er is aangenomen dat het onder dit niveau permanent verzadigd is. Dit wordt bevestigd door lokale grondwaterstandsmetingen. Ankerniveau 4 bevindt zich op circa -0.80 m-mv. Dit niveau is zo gekozen met de gedachte dat de zone tussen -1.20 en -0.80 soms nog beïnvloedt kan worden door lage grondwaterstanden. Ankerniveau 5 valt samen met de onderkant van de toplaag, op circa 0.40 m-mv, welke meestal bestaat uit kleiig veen en soms uit klei. Op basis van dit niveau kan de bijdrage van processen die dominant zijn in de vaak onverzadigde toplaag, zoals krimp en zwel en oxidatie, worden bepaald. Ankerniveau 6 is het maaiveldniveau, en geeft de totale beweging van het maaiveld weer ten opzichte van het referentieniveau (anker 1).

Tabel 4.15: De positie (volgens Rijksdriehoekstelsel) en ankerdiepten van de extensometers in Vlist.

Omschrijving	**Maatregelperceel**	**Referentieperceel**
X [m]	116348.677	116279.693
Y [m]	443910.898	443891.478
Maaiveld [m NAP]	-1.70	-1.69
Ankerdiepte [m-maaiveld]:		
Anker 1	-15.20	-15.30
Anker 2	-6.74	-6.85
Anker 3	-1.18	-1.20
Anker 4	-0.79	-0.78
Anker 5	-0.39	-0.37
Anker 6	-0.05	-0.05

4.5.3 Afwijkingen ten opzichte van standaard inrichting

De drains in Vlist liggen loodrecht op de plot, in tegenstelling tot andere locaties waar de drains parallel lopen aan het plot. Hierdoor lopen er vier drains door het meetplot. De installatie van meetapparatuur is georiënteerd op de ligging van de drains, waardoor de plot-indeling verschilt van andere locaties.

4.5.4 Bemesten en maaien

In het voorjaar 2020 hebben we vanwege haalbaarheid van het onderhoud besloten de plots maandelijks te gaan maaien en bemesten. We hebben uitsluitend bemest met kunstmest en hiervoor in Vlist het schema aangehouden dat een middenweg vormt tussen Zegveld en suggesties van de landeigenaar (Tabel 4.16). De data waarop plotonderhoud heeft plaatsgevonden zijn te vinden in Tabel 4.17.

Tabel 4.16: Plotbemesting Vlist

Datum	**Plot**	**N (kg/ha)**	**P_2O_5 (kg/ha)**
1-4-2020	RF	100	83
	MP	105	87
11-5-2020	RF	50	42
	MP	51	42
9-7-2020	RF	5	4.2
	MP	5	4.2
4-8-2020	RF	6	0
	MP	6	0

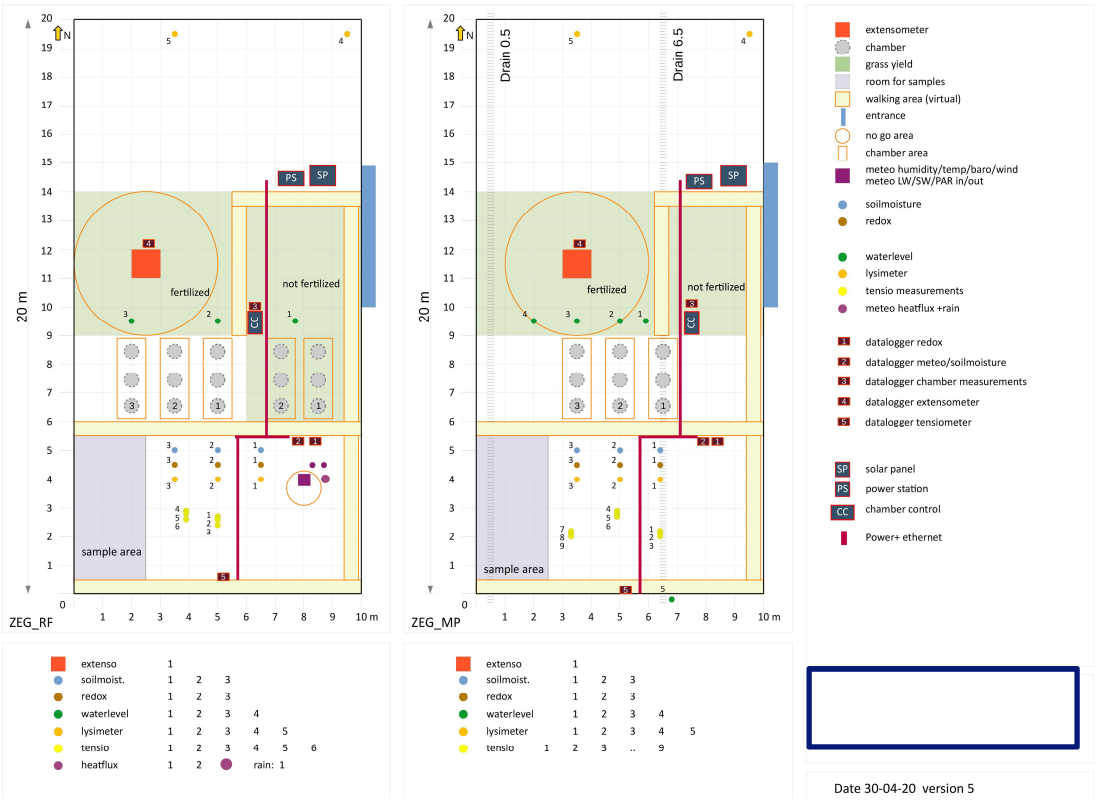
Tabel 4.17: Data plotonderhoud Vlist.

Datum
8-5-2020
11-5-2020
5-6-2020
2-7-2020
3-7-2020
29-7-2020
30-7-2020

4.6 Zegveld – Utrecht

4.6.1 Site opzet

Op proefboerderij KTC Zegveld zijn plots geïnstalleerd in perceel 16, en vinden N_2O metingen plaats op velden 13-16. Hoewel beide typen plots onderdeel zijn van NOBV, worden de 2 plots op veld 16 in het vervolg NOBV plots genoemd, en de andere plots worden N_2O plots genoemd. De drukdrains in percelen 13-16 liggen aan de noordkant. Ze zijn in 2016 aangelegd en zijn aan de noord en zuidzijde verbonden met een collectordrain. Het midden van het perceel heeft geen drainage, en is dus de referentie. Het zuidelijke deel van de velden heeft onder water drains. Voor velden 13 en 14 wordt een hoog slootpeil gehanteerd, en voor velden 15 en 16 een lager slootpeil. Voor de NOBV plots wordt een plot met drukdrains wordt vergeleken met een referentieplot. Figuur 4.5 laat een kaartje zien van beide plots.



Figuur 4.57: Inrichting van meetplots in Zegveld

4.6.2 Installatie en meetprotocol

N_2O metingen

In maart 2019 is op de percelen 13, 14 en 15 en 16 een veldproef aangelegd (N_2O plots), waarin op elk perceel drie objecten met elkaar worden vergeleken: drukdrainage, gangbare slootdrainage en geen onderwaterdrains; in totaal dus 12 plots. Bij elk drainage-object op elk perceel is een proefveld met een afmeting van 10m x 26m aangelegd met elk drie bemestingsobjecten in drievoud: i) onbemest (N0), ii) 250 kg N per ha per jaar bemest met kunstmest KAS (N1) en iii) onbemest waarbij de graszode is verwijderd (ZZ). De N0 en N1 veldjes zijn nodig voor het bepalen van de N_2O-emissie uit veen (voor toepassing in emissieregistratie: LULUCF) en nodig voor bepaling van een N_2O emissiefactor (voor toepassing in emissieregistratie: National Emission model NEMA). De ZZ veldjes worden gebruikt voor het bepalen van de CO_2 emissie uit veen (voor toepassing in emissieregistratie: LULUCF). In totaal zijn er dus 108 veldjes: 4 percelen x 3 drainagesystemen x 3 bemestingsobjecten in drievoud. Daarnaast zijn er op elk proefveld in tweevoud opbrengststroken aangelegd met twee N-niveaus (N0 en N1). Alle velden zijn bemest met fosfaat en kalium in de vorm van kunstmest. De emissiemetingen vinden plaats in een fluxkamer. Hiertoe is op elk veldje een PVC-ring (diameter van 20 cm) in de grond geïnstalleerd. Op deze ring wordt een fluxkamer van 4,7 l bevestigd tijdens de metingen. Bij de fluxmetingen worden de slangen bevestigd aan de gasmonitor. In de eerste twee maanden van de proef (april t/m juni 2019) is er gemeten met de fotoakoestische gasmonitor INNOVA 1312 (LumaSense Technologies) en vanaf juli 2019 is er gemeten met de Picarro G2508 gasmonitor (PICARRO Inc). Voorafgaand van de metingen van de CO_2 en N_2O fluxen wordt de fluxkamer voor 10-15 minuten gesloten om de concentratie binnen de fluxkamer op te laten lopen. Er is vanuit gegaan dat de concentraties CO_2 en N_2O in die sluitingstijd lineair toeneemt. De emissie wordt 1 keer per week (groeiseizoen) tot 2 à 3 weken (winter) bepaald.

Hoogtemetingen

Er zijn op alle velden van de proefboerderij hoogtemetingen gedaan door middel van waterpassing. In 1966, 1992, 2003 zijn er ook al hoogtemetingen uitgevoerd op de meeste percelen (perceel 1 t/m 20). De locatie van de meetpunten was in alle jaren gelijk en tevens waren deze metingen vastgelegd in GIS-bestanden. De maaiveldhoogte op de percelen is opgemeten d.m.v. lengteraaien (Noord-zuid) en dwarsraaien (Oost-west). De lengteraaien waren gesitueerd op 2,5 en 12,5 m van de sloten aan weerszijden van elk perceel en bij brede percelen was er ook nog een lengteraai over het midden van het perceel. In de lengteraai is om de 25 m een maaiveldhoogte gemeten. De dwarsraaien lagen op onderlinge afstand van veelal 75 m, zodat er per perceel 3 of 4 dwarsraaien zijn opgemeten. In de dwarsraaien is van sloot tot sloot gemeten, waarbij om de 2 m de maaiveldhoogte is gewaterpast. In 2020 zijn de locatie van de dwars- en lengteraaien opnieuw uitgezet en zijn de maaiveldhoogten gewaterpast in de lengte en dwarsraaien. Door deze herhaalde metingen op bedrijfsniveau is er een unieke dataset ontstaan over bodemdaling op de langere termijn.

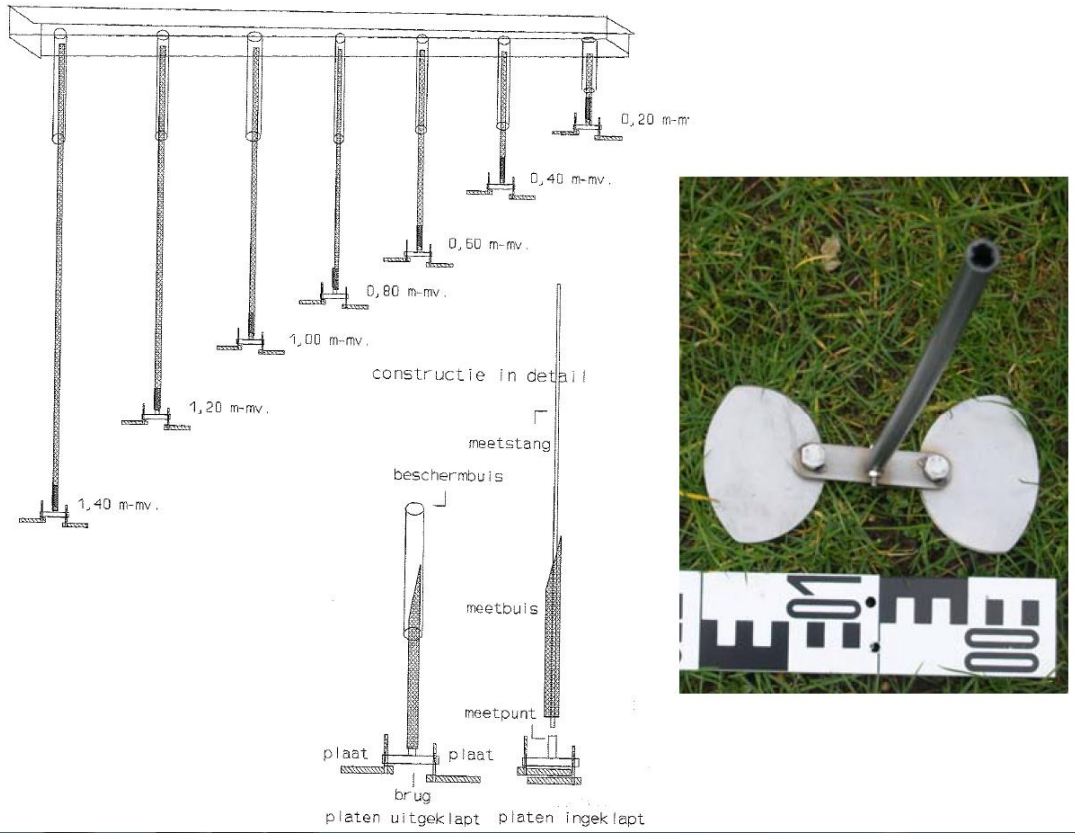
Daarnaast wordt op alle twaalf N_2O plots de maaiveldhoogte d.m.v. een aantal raaien gemeten. In Zegveld worden per plot drie Oost-Westraaien van sloot naar sloot opgemeten en daarnaast nog een noord-zuidraai over een lengte van 30 m. De Oost-Westraaien zijn verdeeld in een noord-, midden en zuidraai, de raaien liggen telkens 12 m uit elkaar. De middelste raai kruist de zakbaak/diepe peilfilter. De zakbaak/diepe peilfilter is ook het midden van de lengte raai. De hoekpunten van de noord- en zuidraai zijn vastgelegd met zogenaamde “raketjes”, deze locaties kunnen bij een volgende meting met een detector worden opgezocht, zodat steeds op dezelfde plek de raaien kunnen worden uitgezet. Als de raketjes met een detector zijn gevonden wordt ter plaatse een tijdelijk piketje geplaatst. De hoekpunten liggen ongeveer 2 m uit de sloot en de afstand binnen een raai tussen het oostelijke en westelijke hoekpunt is een veelvoud van 2 m. Bij het waterpassen wordt een meetband over het perceel gelegd tussen de beide hoekpunten, het oostelijke hoekpunt is het beginpunt van de eigenlijke raai. Bij het waterpassen wordt begonnen met het meten van slootpeil aan de oostzijde, daarna wordt nog een extra punt in het talud

gemeten, en vervolgens begint de eigenlijke raai bij het hoekpunt, daarna wordt langs het meetlint om de 2 m de maaiveldhoogte gemeten totdat het hoekpunt aan de westzijde is bereikt, na het opmeten van dit hoekpunt wordt nog een meting gedaan in het talud en wordt het slootwaterpeil aan de westzijde gemeten. De noordelijke en zuidelijke raai kunnen op deze manier worden gemeten. De hoekpunten van de middenraai worden uitgezet met gebruikmaking van de hoekpunten/piketjes van de noordelijke en zuidelijke raai en vervolgens kan de middenraai worden opgemeten. Voor de lengteraai wordt op het oog de meetband van noord naar zuid uitgelegd evenwijdig aan de sloot over 30 m met de zakbaak/diepe peilfilter als middelpunt. De raai wordt van Noord naar Zuid opgemeten eveneens om de 2 m. Op verzoek van Deltares zijn in perceel 16 in 2020 twee extra dwarsraaien, ten noorden van de bestaande raaien, toegevoegd aan de bestaande drie dwarsraaien. De extra raai bij de pilot met drukdrains ligt 10 m noordelijk van de bestaande noordelijke raai, er is voor 10 m gekozen i.v.m. de inrichting van de plot. De extra raai bij de pilot in de referentieraai ligt wel 12 m noordelijk van de bestaande noordelijke raai in de pilot. De hoekpunten van deze aanvullende raaien zijn met raketjes vastgelegd.
In Figuur 4.6 zijn de hoekpunten van de dwarsraaien weergegeven, de 2 aanvullende raaien ontbreken nog in het plaatjes.

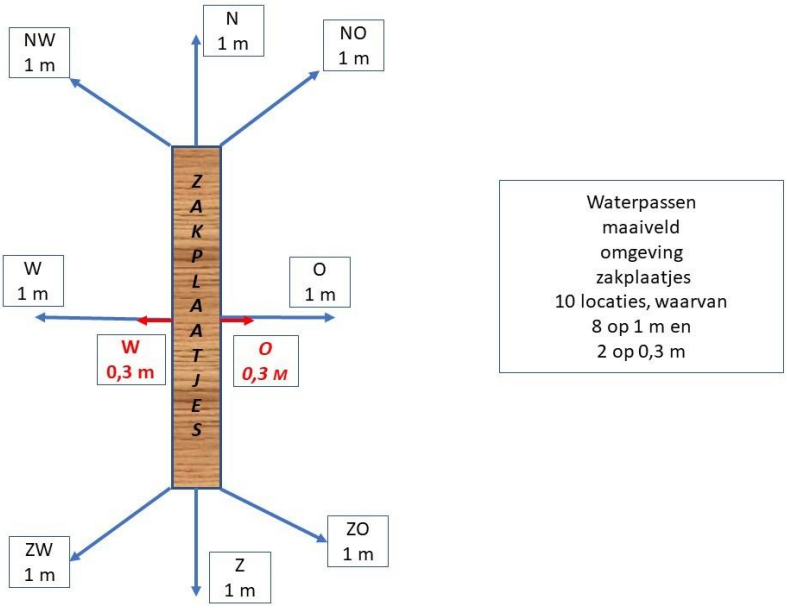
Figuur 4.68: Hoekpunten dwarsraaien op perceel 13 t/m 16, de hoekpunten van de extra raaien die in 2020 zijn uitgezet ontbreken in deze figuur

Tenslotte zijn er ook nog zakplaatjes geplaatst. Met een zakplaatje is de daling van het veen op een bepaalde diepte onder maaiveld te volgen. In Figuur 4. is een zakplaatjes weergegeven. Voor het inbrengen van een zakplaatje wordt een smal gat geboord. Voor het inbrengen worden de twee zakplaatjes (Figuur 4. foto) ingeklapt (Figuur 4. schema rechtsonder) onder een metalen staaf, zodat de ingenomen ruimte ongeveer overeenkomt met de diameter van het boorgat. Om dit mogelijk te maken verschillen de twee zakplaatjes enigszins in hoogte. Op de

juiste diepte aangekomen worden de zakplaatjes naar buiten gedraaid door met een sleutel de bout op de metalen staaf te verdraaien, zodat de metalen plaatjes in de veenlaag dringen (Figuur 4. schema links en foto rechts). Op de metalen staaf zit een massief ijzeren pijpje. Op deze metalen pijp is een holle PVC-buis met een schroef bevestigd. Over de buis is nog een beschermbuis met deksel geschoven. Bij het meten van de hoogte van de zakplaatjes wordt gebruik gemaakt van een meetstang met bekende lengte. Deze meetstang rust op de bovenkant van metalen pijp boven het zakplaatje, deze hoogte wordt aangeduid als de hoogte van de zakplaatjes. Deze hoogte komt niet exact overeen met de hoogte van de zakplaatjes. Op alle 12 locaties zijn 4 zakplaatjes aangebracht op ca 40, 80, 120 en 160 cm -mv. Elk voorjaar wordt de hoogte van de zakplaatjes opgemeten. Om de hoogte van de zakplaatjes te kunnen waterpassen wordt in de PVC-buis die op de zakplaatjes is gemonteerd, een metalen staal geplaatst. Omdat de zakplaatjes op verschillende diepte zijn geplaatst, wordt gebruik gemaakt van twee staven, korte staaf met lengte (0.764 m) voor de zakplaatjes op 40 en 80 cm en een lange staaf (1.641 m) voor de zakplaatjes op 120 en 140 cm diepte. Naast het opmeten van de hoogte van de zakplaatjes wordt ook de maaiveldhoogte op 10 locaties in de omgeving van de zakplaatjes gewaterpast, 8 locaties op ca 1 m van de afdekkist in N, NO, O, ZO, Z, ZW, W en NW richting, en 2 locaties op ca 0,3 m ten O en W van het midden van de zakplaatjes (Figuur 4.).



Figuur 4.19: Constructie van de zakplaatjes



Figuur 4.20: Meting maaiveldhoogte omgeving zakplaten.

Profielbeschrijving

De grondboringen zijn verricht in de directe omgeving van de meetplots, maar uiteraard niet in de plots zelf. De profielen zijn geclassificeerd volgens het Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland (Bakker en Schelling, 1989). De profielbeschrijvingen en het schatten van het grondwaterstandverloop is gedaan overeenkomstig de richtlijnen en voorschriften voor bodemgeografisch onderzoek (Cate et al., 1995).

Bij elke grondboring (50 in totaal) zijn van elke onderscheiden laag het organische-stofgehalte, textuur, lutumgehalte, leemgehalte en M50 geschat. Tevens is aangegeven tot welk geologisch pakket de onderscheiden laag behoort (kolom Geo_for_c). Alle boringen zijn tot 200 cm–mv. beschreven. De eerste 100 cm is geboord met de Edelmanboor, daarna is voor de veenondergrond de guts (steekboor) gebruikt.

Extensometers

In Zegveld zijn er vijf extensometers geplaatst. Op perceel 11 en 13 zijn ze op 16 april 2020 geplaatst en op perceel 16 op 11 en 12 mei 2020. De positie en ankerdiepten van de extensometers in Zegveld zijn weergegeven in Tabel 4.18. Het diepste ankerniveau (1) is bepaald op basis van een sondering (Bijlage J) en bevindt zich in de stabiele zandondergrond (waar deze een hoge weerstand geeft). Dit anker dient als referentieniveau.

Ankerniveaus 2 en 3 bevinden zich voor de verschillende extensometers in Zegeveld op verschillende diepten. In perceel 16 valt ankerniveau 2 samen met de bovenkant van een kleiig interval op ongeveer 4.5 m diepte in het verzadigde deel van het veenpakket. Dit niveau geeft aan hoeveel beweging er plaatsvindt in het diepst liggende veen en het kleiige interval samen. In perceel 13 valt ankerniveau 2 samen met de onderkant van het kleiige interval, en valt ankerniveau 3 samen met de bovenkant van het kleiige interval. Met deze opstelling kan de bijdrage van het kleiige interval zelf worden bepaald. In perceel 11 is anker 2 op de overgang van het veenpakket naar het onderliggende zand geplaatst. Hiermee kan bepaald worden of en hoeveel beweging er zit in de bovenste paar meter van de zandondergrond. Ankerniveau 3 in perceel 11 is geplaatst op de grens van de top van het kleiige interval met het bovenliggende veen. In perceel 16 bevindt ankerniveau 3 zich op circa -1.20 m-mv (maaiveld). Er is aangenomen dat het onder dit niveau permanent verzadigd is.

Bij alle vijf extensometers bevindt ankerniveau 4 zich op circa 0.80 m-mv. Dit niveau is zo gekozen met de gedachte dat de zone tussen 1.20 en 0.80 m-mv soms nog beïnvloedt kan worden door lage grondwaterstanden. Ankerniveau 5 valt samen met de onderkant van de toplaag, op ongeveer 0.40 m-mv, welke meestal bestaat uit kleiig veen. Op basis van dit ankerniveau kan de bijdrage van bodembewegingen veroorzaakt door processen die in de vaak onverzadigde toplaag spelen, zoals krimp en zwel en oxidatie, worden afgeleid. Ankerniveau 6 is het maaiveldniveau, en geeft de totale beweging van het maaiveld weer ten opzichte van het referentieniveau (anker 1).

Tabel 4.18: De positie (volgens Rijksdriehoekstelsel) en ankerdiepten van de extensometers in Zegveld.

Omschrijving	**Drukdrainage perceel 16**	**Referentie perceel 16**	**Onderwater-drainage Perceel 16**	**Onderwater-drainage perceel 13**	**Onderwater-drainage perceel 11**
X [m]	117537.644	117539.322	117546.804	117393.851	117266.62
Y [m]	461173.899	461042.717	460963.934	460916.909	461063.732
Maaiveld [m NAP]	-2.48	-2.51	-2.60	-2.36	-2.33
Ankerdiepte [m-maaiveld]:					
Anker 1	-9.20	-9.30	-9.20	-9.95	-9.98
Anker 2	-4.21	-4.49	-4.26	-4.72	-6.48
Anker 3	-1.21	-1.20	-1.18	-4.31	-5.05
Anker 4	-0.80	-0.79	-0.78	-0.82	-0.82
Anker 5	-0.42	-0.41	-0.40	-0.41	-0.38
Anker 6	-0.07	-0.06	-0.04	-0.05	-0.05

Airborne LiDAR

In Zegveld is eind januari/begin februari (T0), mei (T1) en augustus (T2) gemeten met LiDAR aan vliegtuig en drone. Hierbij is het hele terrein van KTC Zegveld gemeten (Figuur 4.7), het betreft dus een groter gebied (‘boerderijschaal’) dan in Rouveen. Op deze locatie zijn tevens twee GNSS-loggers in het zuidelijke deel van perceel 16 geïnstalleerd: één gefundeerd op de stabiele Pleistocene zandondergrond en één gemonteerd op een geperforeerde plaat die met het maaiveld mee kan bewegen. Deze metingen bieden mogelijk een relatief goedkoop alternatief voor het monitoren van maaiveldbeweging in veenweidegebied.

Net als in Rouveen wordt gebruik gemaakt van GCP’s. Hiervoor is gebruik gemaakt van (1) drie horizontale platen van 100 x 100 cm met reflecterende folie (zoals in Rouveen), welke permanent geïnstalleerd zijn op in de zandondergrond gefundeerde staven, en (2) elf 3D objecten die gefundeerd zijn op de Pleistocene zandondergrond, zoals bruggen of de nok van een gebouw. De aanwezigheid van dergelijke gefundeerde 3D objecten is een voordeel van het uitvoeren van de meting op boerderijschaal.

Tijdens de meting met drone worden ook luchtfoto’s genomen t.b.v. het maken van een orthophoto van het meetgebied, wat visuele informatie biedt van het gemeten gebied.

Figuur 4.71: Airborne LiDAR meetgebied op locatie KTC Zegveld en de locatie van de gebruikte Grond Controle Punten (GCP's; oranje = horizontale platen, geel = overige GCP's).

Van een verkregen LiDAR puntenwolken wordt een hoogtegrid gemaakt met een resolutie van 0.05 x 0.05 m, door alle punten binnen een gridcel te middelen. Op de locaties van de GCP's wordt de hoogte van het hoogtegrid vergeleken met de nauwkeurig ingemeten hoogte van het object. Het gemiddelde van de verschillen tussen hoogtegrid en daadwerkelijke hoogte wordt gebruikt om de puntenwolk verticaal te verplaatsen. Deze verplaatste puntenwolk is de basis voor verdere processing en vergelijk met volgende metingen. Vervolgens wordt een filtertechniek toegepast om de laagste punten eruit te filteren, zijnde het maaiveld (grondpunten). De rest wordt geclassificeerd als niet-grondpunten. Van de grondpunten wordt een hoogtegrid gemaakt met een resolutie van 0.10 x 0.10 m en 0.25 x 0.25 m, o.b.v. het gemiddelde van alle grondpunten in een gridcel. De puntenwolken van metingen T1 tot Tn worden gefit op de gevalideerde puntenwolk van de T0 meting op bruggen. De overige GCP's worden gebruikt als validatie (zie ook Bijlage A).

Zegveld

Net als in Rouveen (zie 4.4.3 voor meer detail) is in Zegveld een InSAR analyse gedaan. Het analysegebied bestaat uit 56 x 66 vensters van 200 x 200 meter. Het gebruikte weerstation is de Cabauw toren. Er wordt gebruik gemaakt van vier tracks:

- Ascending track 88: 184 beelden (183 hoogteverschillen)
- Ascending track 161: 185 beelden (184 hoogteverschillen)
- Descending track 37: 187 beelden (186 hoogteverschillen)
- Descending track 110: 183 beelden (182 hoogteverschillen)

Om reflecties van gebouwen en wegen eruit te filteren is gebruik gemaakt de Agrarisch Areaal Nederland kaart, in combinatie met GeoTOP (veenvoorkomen).

4.6.3 Meetprotocol

Het binnen het consortium opgestelde meetprotocol wordt toegepast. Er is ook een plan opgesteld voor onderhoud van de plots. Dit onderhoud vindt sinds juni 2020 iedere 2 weken plaats, en behelst o.a. het uitlezen van data van de kamers, maaien/knippen van gras rond de sensoren en een algemene controle van de situatie van de plot.

4.6.4 Afwijkingen ten opzichte van standaardinrichting

De plots in Zegveld zijn volgens de standaardinrichting opgezet. De belangrijkste afwijking is dat de nog niet gebruikte ruimte zich aan de noordkant van de plots bevindt. Dit is omdat de plots aan de zuidkant grenzen aan de plots waar N_2O wordt gemeten. Op deze manier zijn de metingen die met de tensiometers worden gedaan aan de zuidkant van de plots ook bruikbaar voor de N_2O plots. Om dezelfde reden zijn de T-stukken voor draininspectie en monstername ook aan de zuidkant van de plots geïnstalleerd; dit maakt inspectie mogelijk van zowel de grote plot als de N_2O plot.

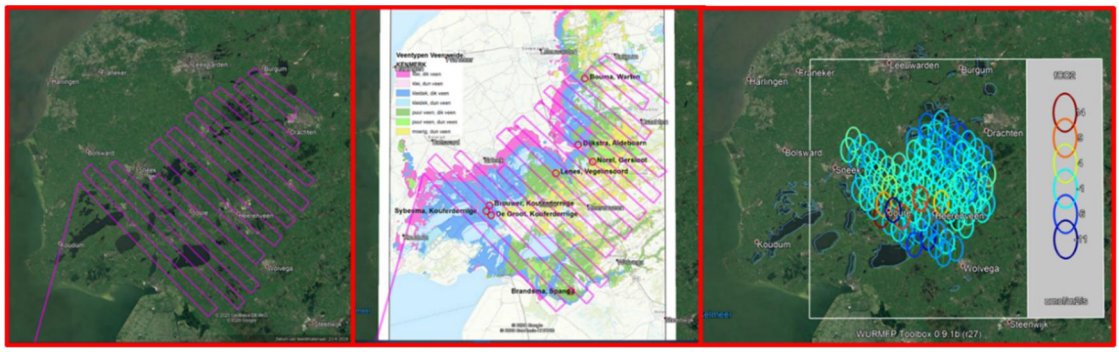
4.6.5 Draininspectie

Van 24 tot en met 26 juni 2019 heeft een inspectie van een deel van de drains plaatsgevonden op percelen 13 tot en met 16. De visuele inspectie met camera kan slechts gedaan worden voor de eerste 25 m van de drainbuis. Vervolgens is van tenminste één drain per kant van het proefveld een hoogtemeting gedaan. De theoretische maximale lengte van deze meting bedraagt 150 m. Bij deze hoogtemeting is in stappen van vijf meter de hoogteligging van de drain bepaald.

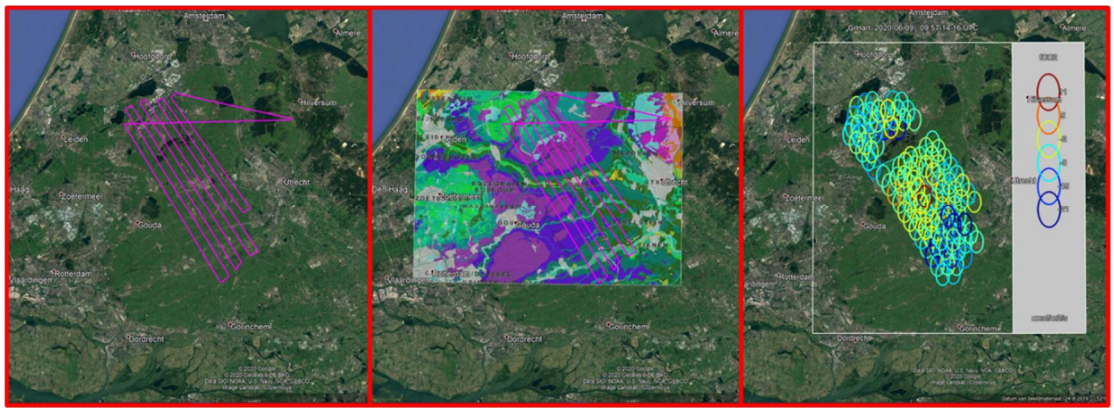
4.7 Vliegtuigmetingen – ZW Friesland, Groene Hart en Kop van Overijssel

Vluchtplannen zijn zo ontworpen dat in elk van de drie doelgebieden ZW Friesland, Groene Hart en Kop van Overijssel de volledige gradiënt in veentypen en veendiktes wordt bestreken, zie Figuur 4., Figuur 4.8 en Figuur 4.9. Daartoe wordt dwars op de heersende windrichting (die in Fryslân mooi samenvalt met de veen-gradiënten) een aantal evenwijdige lijnen gevlogen. Onderling liggen die op een afstand van elkaar die min of meer samenvalt met de gemiddeld te verwachten footprint[8] van de metingen. Daardoor wordt het gebied praktisch 100% afgedekt. Bij de analyse proberen we dan de gemeten variatie terug te relateren aan veenkarakteristieken en waterbeheer.
Het werd duidelijk tijdens de uitvoering van de vliegtuigmetingen dat deze niet altijd en overal uitgevoerd kunnen worden. Bekend was dat in bepaald gebieden niet gevlogen mag worden vanwege militaire en burgerluchtvaartrestricties. Daarnaast is vliegen boven natuurgebieden, met name in het broedseizoen niet altijd of beperkt toegestaan.

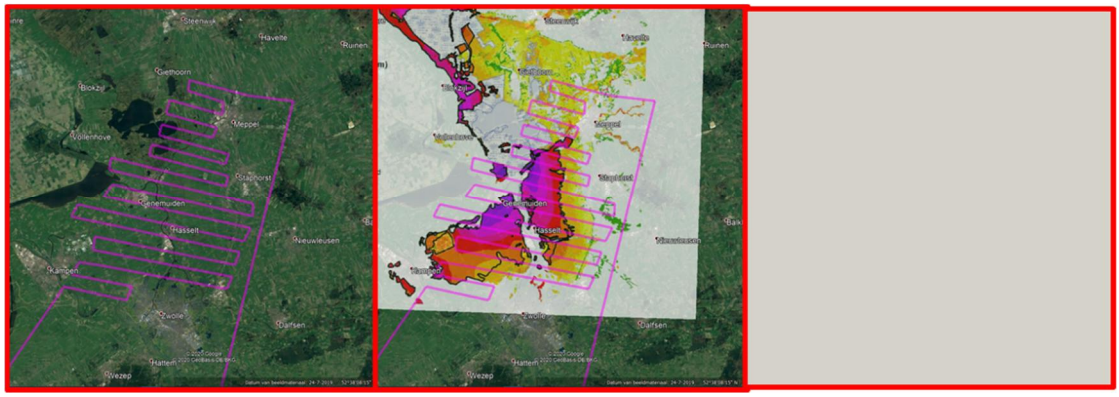
[8] De ‘footprint’ van eddy covariantie metingen is dat gebied dat dat ‘gezien’ wordt. Deze is ellipsvormig en ligt altijd bovenwinds van het meetpunt, waarbij de grootte afhankelijk is van vooral de meethoogte, windsnelheid en mate van turbulentie. Voor figuur 1 rechts ligt het punt dat de meting maximaal beïnvloedt gemiddeld ca 825 van het vliegtuig en beïnvloedt het gebied tot op gemiddeld 1670 m van het vliegtuig 80% van de meting.



Figuur 4.22: Links: vliegplan ZW Friesland. Midden: idem over een veendikte kaart Rechts: gerealiseerde vlucht (08 november 2019) met in kleur van de cirkels de gemeten CO_2 flux.



Figuur 4.83: Links: vliegplan Groene Hart. Midden: idem over een bodemkaart Rechts: gerealiseerde vlucht (9 juni 2020) met in kleur van de cirkels de gemeten CO_2 flux.



Figuur 4.94: Links: vliegplan Kop van Overijssel. Midden: idem over een veendiktekaart Rechts: nog geen vlucht gerealiseerd (zie tekst voor uitleg).

De gepresenteerde ideale vliegroutes worden praktisch benaderd door beperkingen van aeronautische aard (bebouwde gebieden moeten vermeden worden), en vooral (in het broedseizoen) door beperkingen gesteld door te vermijden Natura2000 gebieden. Daardoor zijn gerealiseerde routes minder strak dan gepland, maar is de algehele opzet voldoende te handhaven.

5 Geleerde lessen

5.1 Methoden

5.1.1 Locatie bodemmetingen

Aan de ene kant willen we zo goed mogelijk de gasfluxmetingen kunnen interpreteren met bodemvariabelen die zeer dicht bij de kamers zijn gemeten. Aan de andere kant willen we de bodem rond de kamers niet verstoren en liever geen mogelijkheden creëren voor zuurstof en zuurstofrijk regenwater om via de sensoren en peilbuizen diep in de bodem te dringen. De plaatsing van de bodemsensoren is daarom een afweging tussen deze twee belangen. Tot nu toe zijn we terughoudend geweest met het plaatsen van diepe sensoren en peilbuizen zeer dicht bij de kamers. We hebben we geen signalen dat de bodemsensoren zelf grote invloed hebben gehad op de gasfluxen. Voor de tensiometers die via een kuil moeten worden ingegraven valt dit wel te verwachten. Deze zijn daarom ook het verst van de kamers geplaatst.

5.1.2 Peilbuizen funderen

Uit eerdere grondwater- en bodemdalingsmeetprogramma's (lokale projecten in beheersgebied van HDSR, in Rouveen, Aldeboarn) is gebleken dat in veenweidegebieden de seizoensgebonden bodembeweging in orde grootte van centimeters ligt, tot wel circa 10 cm verticale beweging gedurende een jaar. Het risico is zeer groot dat peilbuizen die in een veenbodem zijn gedrukt meebewegen met de omliggende grond. Dit zou foutieve grondwaterstandmetingen veroorzaken doordat het referentieniveau (vaak bovenkant peilbuis) waar ten opzichte van de grondwaterstand wordt gemeten in hoogte verandert door het meebewegen van de peilbuis. Daarom is het aan te raden om peilbuizen in veengronden te funderen in een stabiele zandondergrond. Tijdens het eerste jaar van het NOBV-programma is, met *trial-and-error*, toegewerkt naar een optimale constructie voor het funderen van peilbuizen (zie paragraaf 3.4).

5.1.3 Tensiometers

Tijdens en na de installatie zijn de volgende aandachtspunten naar voren gekomen. Een belangrijk aspect van de installatie van de tensiometers is de vochttoestand op het moment van installatie. Bij een te natte bodem verhinderd toestromend water een gemakkelijke installatie (zoals het geval was in Zegveld), bij een te droge bodem is het moeilijk om de tensiometers ver genoeg de bodem in te duwen. De periode waarin installatie van tensiometers plaats kan vinden is dus redelijk beperkt en sterk afhankelijk van de weerssituatie. Hier dient bij een eventuele volgende installatie rekening mee gehouden te worden in de planning. Tijdens de installatie is regelmatig gekozen om de tensiometers onder een hoek van 10° te installeren. Installatie onder een kleinere hoek kan de mogelijkheid tot doorspuiten van de tensiometers verhinderen, maar installatie onder een grotere hoek kan leiden tot sterke preferente stroombanen rondom de tensiometer. Nu blijkt (uit gegevens van de tensiometers zelf) dat de uiteindelijke hoek in sommige gevallen minder is dan 10°, waarschijnlijk mede veroorzaakt door zwel en krimp van de bodem. Dit moet bij een volgende installatie voorkomen worden door bijvoorbeeld een hoek van 20° als uitgangspunt te nemen. Een ander punt voor de installatie is de toegang tot de vulslangen van de tensiometers. Op dit moment zijn deze in groepen van drie gepositioneerd op basis van horizontale coördinaat, terwijl het voor het vullen gemakkelijker zou zijn dit te doen op basis van de verticale coördinaat (de meest ondiepe bij elkaar, etc.). Als blijkt het lastig om niet goed functionerende tensiometers te vervangen. Dit is helaas inherent aan het type meetinstrument.

5.1.4 Automatische kamers

De automatische kamers van Eosense zijn begin februari in Aldeboarn geïnstalleerd. De systemen hadden en hebben enorm veel kinderziektes wat een gigantische tijdsinvestering van onze kant heeft gevraagd als gevolg van troubleshooting en ellenlange conversaties met de fabrikant. Een greep uit de problemen zijn: traag of überhaupt niet kunnen downloaden van meetgegevens, kamers die onbedoeld voor langere tijd gesloten blijven (met alle gevolgen voor gras en bodem wat zich eronder bevindt), compleet vastlopen van het systeem, kamers die niet gedetecteerd en/of worden overgeslagen tijdens de meetcyclus, defecte actuators en multiplexers). Op het moment van schrijven worden de systemen met nieuwe firmware uitgerust. De hoop is dat dit de problemen oplost, maar dit was helaas niet het geval bij eerdere firmware upgrades.

De vraag die er nu ligt is of we voor het tweede meetjaar opnieuw voor Eosense systemen moeten kiezen of dat er voor een andere type kamers (e.g. VU-kamers of een nieuw type kamer die gezamenlijk door RU en VU werkplaatsen ontwikkeld wordt). Om meer druk bij de fabrikant te leggen zal Eosense op de hoogte worden gesteld van het mogelijk mislopen van een grote order. Indien de nieuwe firmware en onderdelen binnen enkele weken niet tot het gewenste resultaat leiden, zal er actie worden ondernomen om de aanschaf/ontwikkeling van een alternatief in gang te zetten.

Verder zal het gebruik van frames, waar de Eosense kamers op staan en welke zo'n 15 cm diep in de bodem zitten, heroverwogen moeten worden. Frames worden gebruikt om het gas binnen een meetkamer zo goed mogelijk te isoleren van de buitenlucht (voorkomen van lekkage). Waar dit voor de meeste typen bodems een uitstekende methode is, is karakteristieke krimpen en zwellen van een veenbodem problematisch. In de zomermaanden ontstaan krimpscheuren van ca. 2 cm breed en 15 cm diep binnen de frames, waardoor enerzijds een reële kans op significante lekkage ontstaat (m.n. tijdens harde wind) en anderzijds zuurstof en regenwater diep de bodem kunnen indringen en CO_2-emissies mogelijk bevorderd worden. Vergelijkingsexperimenten met en zonder frames zullen uit moeten wijzen welke methode het meest geschikt is.

Verder is er enige tijd onduidelijkheid geweest over hoe om te gaan met het maaien in en rond de kamers. Voor een volgend groeiseizoen moet hierover unaniem duidelijkheid zijn.

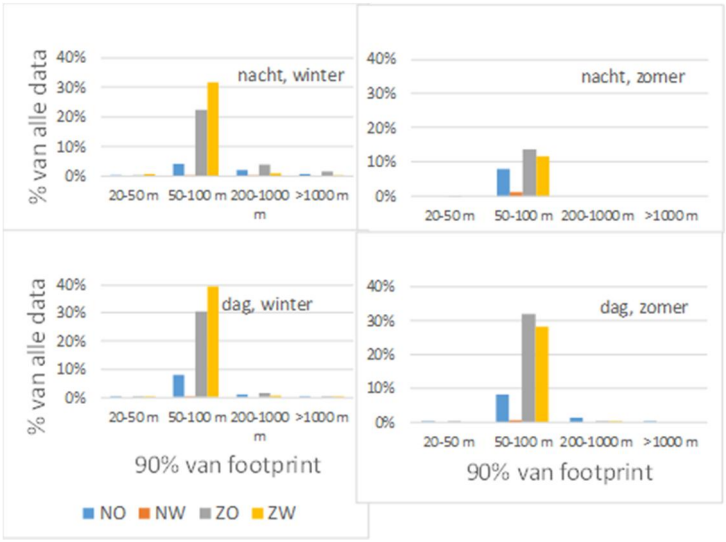
De door de technische dienst van de VU geconstrueerde kamers blijken bedrijfszeker te zijn. Ze zijn ook niet gevoelig voor wind door de pneumatische aansturing van de deksels. Mogelijk is ook de vorming van krimpscheuren wat minder omdat voor deze kamers geen frames gebruikt worden, en makkelijk verplaatsbaar zijn.

5.1.5 Eddy Covariance opstellingen

De eddy covariance opstellingen op de Aldeboarn sites werken over het algemeen goed, afgezien van een paar persistente, maar niet-essentiële problemen in de dataoverdracht. De systemen dragen data automatisch over en vergen bijzonder weinig onderhoud in het veld, afgezien van soms problemen met stroomvoorziening in de winter en overmatig spinrag in de sensors, in de herfst (eenvoudig op te lossen met lokale veldmedewerker). Het systeem vergt wel een dagelijkse online check en vaan online reset, maar dat kost geen reistijd en niet veel werktijd. Ook moet het gras in de omgeving van de sensors worden bijgehouden, en de grashoogte regelmatig gemeten als een van de omgevingsvariabelen.

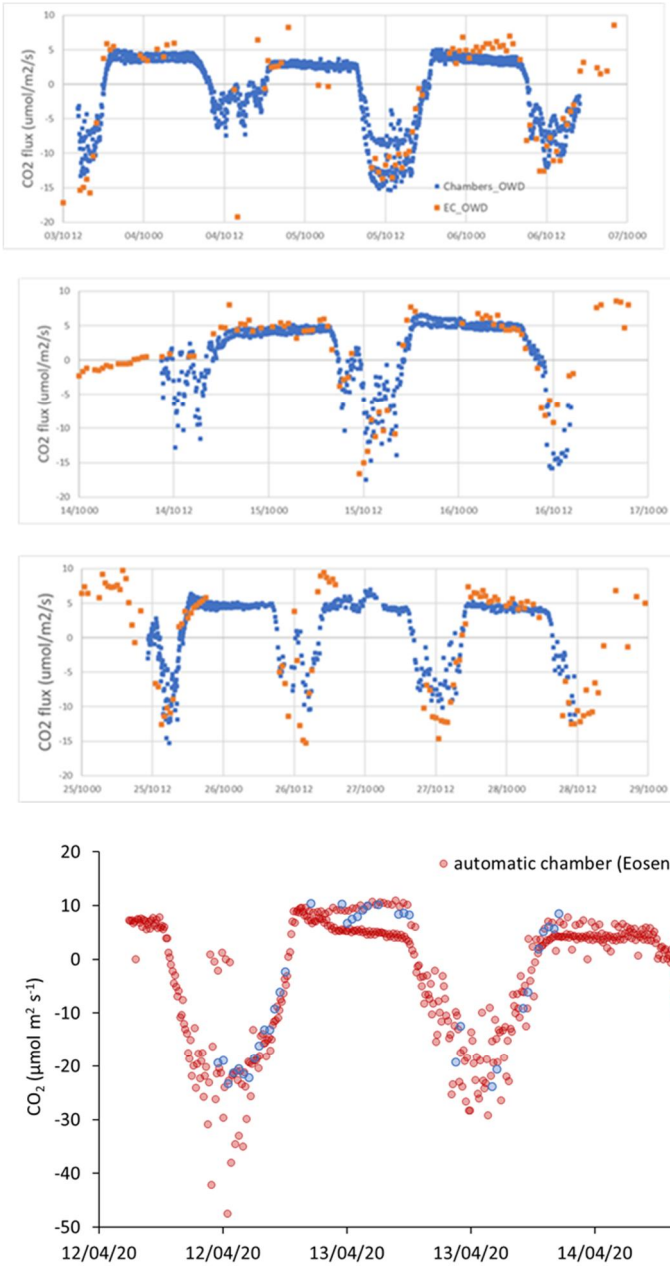
Deze twee systemen zijn in de pre-NOBV tijd met subsidie van Provincie Friesland opgebouwd en gebruikt, waarbij NOBV een upgrade van de CO_2 sensors heeft gefinancierd maar niet van de dataopslag-apparatuur. De metingen op lage hoogte geven een voetafdruk die goed binnen de meetpercelen valt (<100 m lengteschaal), maar alleen als de wind uit ZW (tussen de 200 en 290 graden) komt. Hoewel ZW-wind de meest frequente windrichting is, betekent dit wel een restrictie

in het aantal bruikbare metingen, en potentieel een *bias* naar data met relatief kouder, natter en winderiger weer. De nachtelijke metingen geven relatief meer uitval vanwege onvolledige turbulente menging, en dat is normaal bij eddy covariance, maar vanwege de combinatie met windrichting-selectie blijver en dan met name 's zomers weinig goede data over. Figuur 5.1 geeft een overzicht van datakwaliteit, windrichting en voetafdruk. Ondanks de soms lage hoeveelheid valide data blijven er nog zoveel over dat voor elk jaargetijde een goede schatting van de CO_2 uitwisseling/uitstoot te maken is.



Figuur 5.1: Het voorkomen van voetafdruk-lengtes afhankelijk van seizoen, tijd van de dag en windrichting

Het Aldeboarn EC-systeem is enige malen vergeleken met de automatische kamers op dezelfde percelen: een maal in oktober 2019 met het mobiele systeem van Wetterskip Fryslân/Nijmegen (systeem VU -van Huissteden), en eenmaal in April 2020 met de Eosense kamers. Meer vergelijkingen staan op het programma maar deze vergelijkingen zijn erg gunstig: in Figuur 5.2 zien we dat afgezien van wat ruis en verschillen overdag door afwijkende grashoogtes, komen de fluxen zeer goed overeen.



Figuur 5.2: vergelijkingen tussen EC-metingen en kamermetingen op maatregelperceel in Aldeboarn.

Een geleerde les is, dat een EC-meetsysteem op deze kleine schaal goed werkt en genoeg data oplevert maar idealiter snel verplaatsbaar zou moeten zijn, zodat vrij eenvoudig op wisselende windrichtingen is in te spelen. Daarvoor zou het goed zijn deze systemen verder te upgraden naar een Licor Smartflux systeem, waardoor het geheel compacter wordt.

5.2 Installatie

5.2.1 Algemeen

In overleg met alle consortiumleden is besproken om meetopstellingen zoveel als mogelijk uniform in te richten. Dat is op alle locaties ook gelukt voor de omgevingsvariabelen en de grondmetingen. Alle dataloggers zijn verbonden met een 4G modem waardoor honderden variabelen tijdsynchroon gemeten en verstuurd worden naar een centrale plek. Installatie is verlopen zoals voorzien wel heeft het lang geduurd voordat op alle locaties hekken en stroom waren geplaatst. Bescherming van kabels en sensoren moet met de tijd anders. De PVC en PE beschermslang bieden bescherming tegen ongedierte en UV maar zijn niet bedoeld voor de messen van een bosmaaier tijdens het perceelonderhoud.

Levertijd van CO_2 kamersystemen ten behoeve van het meten van broeikasgassen is lang. Daarom is er gekozen voor twee typen (Eosense & eigen VU product). Wel is afgesproken dat het type gas analyzer hetzelfde is (Licor Li850) Beide systemen zijn betrekkelijke nieuwe opstellingen en hebben kinderziektes. Installatie heeft beduidend meer tijd gekost dan vooraf geraamd. De installaties zijn daarom op dit moment nog niet overal identiek.

Om binnen de percelen alle meetopstellingen van energie te voorzien zijn er op alle percelen 220V. voorzieningen aangelegd. Daarnaast is er een accu/zonnepaneel combinatie dat als back-up systeem voor de meetopstellingen fungeert. Behoudens de kamersystemen gaan alle metingen door.

Voor het onderhoud van alle installaties in het veld wordt nog een protocol uitgewerkt om bij uitval zo snel mogelijk vervanging of reparatie uit te voeren. Hiervoor zullen we binnenkort ook extra apparatuur en sensoren aanschaffen waar een lange (lees 6-8 weken) levertijd op zit om datagaps binnen het meetprogramma zo klein mogelijk te houden.

5.2.2 Periode van installatie meetinstrumenten en bemonstering

De start van het eerste NOBV jaar begon in de nazomer van 2019. Door de planning van het onderzoeksprogramma en omdat het bestellen van (onderdelen van) meetinstrumenten en het voorbereiden van deze instrumenten voor installatie in het veld doorgaans weken tot een paar maanden tijd kost, was het onvermijdelijk dat er in het natte seizoen het veld in moest worden gegaan voor installatie en/of bemonstering. Dit is niet ideaal omdat de draagkracht van de natte verzadigde veengrond in de winter veel lager is dan in de drogere zomerperiode. Het gevolg hiervan is dat er niet met zware machines op het veld gereden kan worden, iets wat voor sommige installaties wel noodzakelijk is. Ook hebben koude en natte omstandigheden invloed op de veldwerkers, waardoor veldwerkzaamheden vertraging kunnen oplopen, en mogelijk de kwaliteit van waarnemingen minder wordt (bijvoorbeeld, als alles nat is wordt alles (veld, formulieren) veel sneller vies bij bijvoorbeeld het zetten van handboringen en het bemonsteren). Omdat we toch door moesten met de inrichting van de meetplots zijn er wel maatregelen genomen, zoals gebruik maken van rijplaten zodat zwaardere voertuigen toch het veld in konden. Ondanks dit is er toch een keer schade veroorzaakt door de zware voertuigen.

Om deze redenen is het aan te raden om zoveel mogelijk veldwerkzaamheden (installatie, bemonstering, boren) uit te voeren in het droge seizoen (bij voorkeur in het voorjaar of najaar). Punt is ook dat veldwerkzaamheden niet altijd goed te plannen zijn, omdat ze mede afhangen van weers- en veldomstandigheden.

5.3 Beheer en onderhoud

Maaien van de plots is tijdrovend en houdt risico in voor de instrumenten, een maaimes of grasschaar kan snel een kabel beschadigen. Ook spelen arbeidsomstandigheden en veiligheid een rol. Het gras in de plots groeit snel en bereikt al binnen een maand hoogtes van 30 cm of meer; ongemarkeerde instrumenten zijn dan niet meer zichtbaar voor wie aan het maaien is. De efficiëntie van het onderhoud en veiligheid kan worden verbeterd, door:

- Ieder instrument zodanig te markeren zijn dat de exacte locatie ook boven hoog gras zichtbaar is.
- Methoden om kabels te beschermen toe te passen: boven het gras hangen, op de bodem leggen in stevige PVC-mantelbuis, of ingraven. Boven het gras hangen is het veiligst; een PVC-buis beschermt wel tegen beschadiging door een grasschaar, maar niet tegen een maaimes van een motorzeis of maaimachine.
- Op locaties waar veel instrumenten bij elkaar staan mag alleen met de hand gras geknipt worden. Dit moet duidelijk aangegeven worden, en de oppervlakte van dit soort locaties zoveel mogelijk beperkt, aangezien met de hand knippen zeer tijdrovend is. Met elektrische grastondeuses werkt dit sneller, maar er is ook een groter risico op beschadiging van kabels.
- Aanwezigheid van lijnen, metalen voorwerpen onder het gras hinderen het maaien en leveren gevaar op als ze geraakt worden. Vervang markeringen van looppaden, vakken in de plot door paaltjes die eenvoudig opgetild en weer teruggezet kunnen worden tijdens het maaien. Deze kunnen eveneens dienen om kabels boven de grond op te hangen.
- Gereedschap, apparatuur etc. mag nooit in het gras blijven liggen.
- Tegen stuktrappen van de bodem op looppaden in de winter werken plastic of rubberen matten met gaten voor de grasgroei goed.

Vaker maaien, zodat het gras minder hoog groeit en sensoren beter zichtbaar zijn, is een optie. Aan de andere kant levert iedere maaibeurt een extra kans op beschadigingen op, en is het wat tijdsinvestering betreft duurder. In het tweede jaar van het project zal geïnvesteerd worden in meer robuuste inrichting van de sites en instructies aan de veldmedewerkers. De huidige methode van grashoogte/biomassa meten (met de hand op monsterlocaties, en knippen) is tijdrovend, een andere methode moet overwogen worden.

In het onderhoud is er ook een spanningsveld tussen benaderingen: maaidata zo mogelijk dichtbij het management van de boer, versus vergelijkbaarheid tussen de sites. Voor beide is wat te zeggen, nu is gekozen voor

- Optimaal begrijpen van effecten van maatregelen, waarbij onderlinge vergelijkbaarheid van onderzoekslocaties boven vergelijkbaarheid met management door de boer gaat.
- Om de uitstoot van het Nederlandse veenweidegebied zo goed mogelijk te benaderen wordt afgezien van het voorgaande zoveel mogelijk het lokaal beheer benaderd.

5.4 De waarde van meetreeksen

Dit onderzoek gaat over de lange termijn broeikasgasuitstoot en -opname en de bodemdaling in het veenweidegebied, onder verschillende omstandigheden en bij verschillende maatregelen. Deze langer termijn ontwikkelingen staan wat betreft dynamiek in schril contrast met de korte termijn dynamiek die daadwerkelijk gemeten worden. Wat betreft broeikasgasuitstoot wordt op dagelijkse basis opname en uitstoot gemeten (zie ook paragraaf 6.2) die te maken heeft met processen in de vegetatie, zoals fotosynthese en verbranding van glucose en processen in de bodem (o.a. wortelrespiratie). De omvang van deze fluxen van bijvoorbeeld CO_2 twee kanten domineert de metingen op korte termijn. Op langere termijn zijn binnen de koolstofcyclus processen zoals maaien (afvoer), bemesten (aanvoer), en bodemrespiratie aanvullend dominant. Pas op zeer lange termijn (meerdere jaren) kan door continue te meten worden berekend wat de bijdrage van de korte koolstofcyclus is in de metingen en welk deel van de metingen terug te leiden is tot veenafbraak. Doordat de metingen vooral de korte termijn variatie laten zien, is het de

verwachting dat er minimaal een meetduur van 5 jaar nodig is om conclusies te trekken over de lange termijn broeikasgasuitstoot door veenafbraak. Opmerkelijk is dat dit in vergelijkbare mate ook geldt voor de bodembewegingen. Dit onderzoek richt zich op de lange termijn permanente bodemdaling in het veenweidegebieden, terwijl de metingen gedomineerd worden door korte termijn bodembewegingen. Hierbij gaat het om variaties in bodemhoogte op weken-schaal door natte en droge perioden, die meerdere mm kunnen bedragen en de seizoenale trend in bodemhoogte die een grootte van meerdere cms kunnen hebben (zie ook hoofdstuk 6). De veronderstelde lange termijn bodemdaling in het veenweidegebied heeft een grootte van 5-8 mm per jaar. Ook voor bodemdaling geldt hiermee dat minimaal vijf jaar aan meetdata nodig is om conclusies te kunnen trekken met betrekking tot de lange termijn bodemdaling.
Deze constatering heeft als mogelijke consequentie dat het dus ook jaren kan gaan duren voordat vastgesteld kan worden of daadwerkelijk aan de beleidsdoelstelling is voldaan wat betreft broeikasgasuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied. Door de grote variatie in broeikasgasuitstoot en bodembeweging binnen een jaar en tussen verschillende jaren kan ook de vraag gesteld worden of de uitkomsten van een jaar gebruikt kunnen worden voor het bepalen of de doelstellingen bereikt zijn, of dat hiervoor een gemiddelde over een aantal jaren gebruikt moet worden. Bij de voortzetting van dit onderzoek zal dit steeds duidelijker worden.

5.5 Meerwaarde van het consortium

Het afgelopen jaar is veel tijd geïnvesteerd om het onderzoeksconsortium zo optimaal mogelijk te laten samenwerken. De onderzoekers komen niet alleen vanuit hele andere disciplines (geologie, geotechniek, hydrologie, bodemsystemen, remote sensing, ecosysteemmetingen, etc.), maar uit verschillende organisaties. Door regelmatig gestructureerd te discussiëren over verschillende onderwerpen, zowel operationeel, wetenschappelijk als strategisch, wordt zo goed gebruik gemaakt van de diversiteit in het onderzoeksconsortium. Hierbij wordt ook aandacht besteed aan onderliggende aannames en hypothesen, die soms impliciet worden gebruikt. Het is de ervaring dat in het eerste jaar deze samenwerking al veel opgeleverd heeft. De levendige discussies laten goed de verschillende invalshoeken zien en toetsen blijvend de ingeslagen weg. Er is een kruisbestuiving tussen de verschillende onderzoeksgroepen, die soms ook verder reikt dan het NOBV. In de komende jaren is het de verwachting dat dit ook toenemend zal bijdragen aan een geïntegreerde data-analyse en rapportage.

6 Eerste resultaten en vervolgstappen

6.1 Inleiding en disclaimer

In dit hoofdstuk worden een aantal eerste resultaten besproken. Het doel van het laten zien van deze resultaten is niet zo zeer het beantwoorden van onderzoeksvragen, maar om een indruk te geven van de typen metingen die zijn uitgevoerd en wat voor een soort resultaten verkregen kunnen worden. Op basis van deze selectie van anekdotische resultaten kan, vanwege de korte meetreeks en de beperkte tijd voor de analyse, dan ook geen conclusie worden getrokken met betrekking tot de doelstellingen van dit onderzoek.

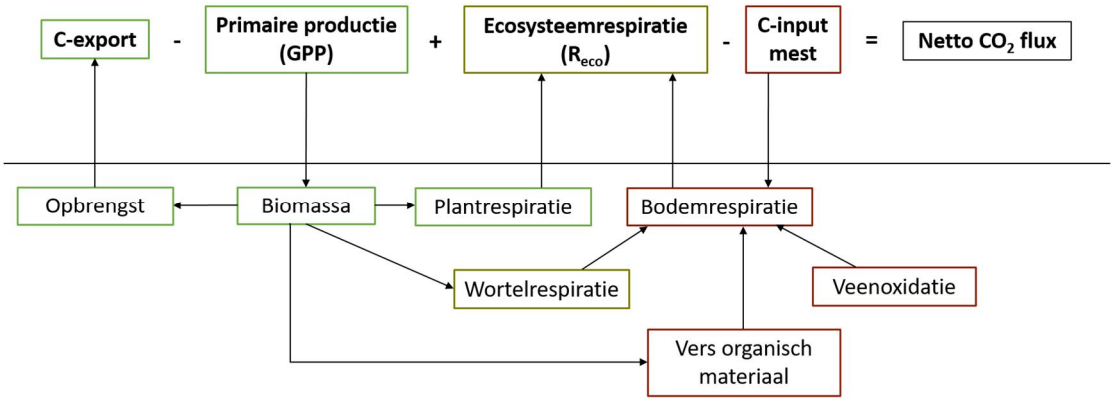
6.2 CO_2 fluxen

De gemeten CO_2 fluxen zijn een verzameling van uitstoot- en opnameprocessen die in en op de bodem plaatsvinden (Figuur 6.1). Het broeikasgas wordt in de bodem geproduceerd door bodemrespiratie, maar in het geval van organische grond ook door veenafbraak, en vastgelegd of uitgestoten door de vegetatie. Deze processen vinden tegelijkertijd plaats, waardoor het een uitdaging is te kwantificeren welk aandeel bij welk proces hoort.

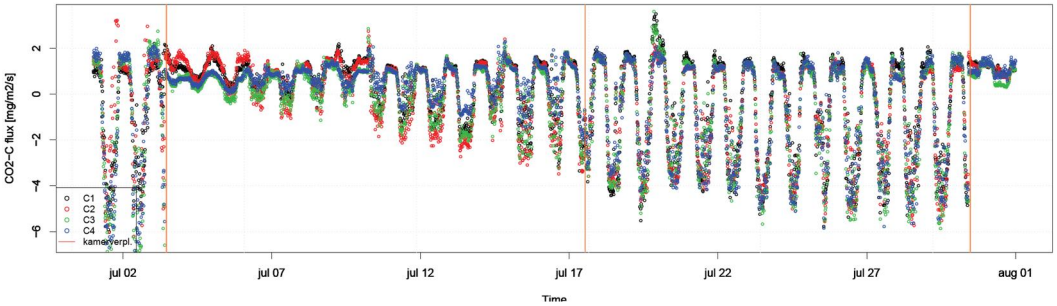
Gedurende de dag vindt er fotosynthese plaats, waarin CO_2 wordt vastgelegd in de vegetatie (gros primary production, GPP). Wanneer fotosynthese in grote hoeveelheid plaatsvindt, overstijgt de opname van CO_2 de uitstoot van de andere processen waardoor overdag veelal negatieve CO_2-fluxen waargenomen worden (Figuur 6.2). 's Nachts is er geen opname van CO_2 door de vegetatie, maar wel een netto uitstoot. Deze uitstoot wordt ecosysteemrespiratie (R_{eco}) genoemd en is afkomstig van biologische afbraakprocessen.

Bodemrespiratie is te verdelen in drie groepen: (1) respiratie van levend materiaal, zoals plantenwortels, (2) respiratie van jong organisch materiaal en (3) respiratie van oud organisch materiaal. Het veenpakket is opgebouwd uit oud organisch materiaal.
Naast de "natuurlijke" processen van primaire productie en respiratie, vindt er ook beheer plaats wat de koolstof balans beïnvloed. Zo wordt de biomassa weggenomen (C-export) wat ergens anders wordt omgezet tot CO_2 (of CH_4). Ook wordt er koolstof toegevoegd aan het systeem door bemesting (C-input mest). Dit moet allemaal meegenomen worden om de balans kloppend te maken.

De veenafbraak kan gekwantificeerd worden door fotosynthese en (boven en ondergrondse) respiratie van het gras te bepalen. Als er over meerdere jaren gemeten wordt, wordt er verwacht dat er een evenwicht ontstaat tussen de opgenomen koolstof in biomassa en de plant-, wortelrespiratie en de afbraak van vers organisch materiaal. Wat er netto overblijft is dan de veenoxidatie.



Figuur 6.1: Overzicht van verschillende processen die bijdragen aan de netto CO_2 flux. Uiteindelijk is het belangrijk om de bijdrage van veenoxidatie aan de CO_2 flux te bepalen. Maar daarvoor is kennis nodig in de andere fluxen om deze bijdrage te kunnen vaststellen. Aanvullend kan inzicht worden verkregen in de microbiële en geochemische processen in de bodem om meer te weten te komen over de veenoxidatie als proces. De combinatie van deze twee aanpakken wordt uitgevoerd binnen het NOBV.



Figuur 6.2: Voorbeeld van het dag en nachtritme in de CO_2 flux van Vlist (referentie perceel). Negatieve waarden duidt op opname, positieve waarden op uitstoot van CO_2. Duidelijk te zien is het effect van maaien op 3 en 30 juli waarna het dag en nacht ritme bijna weg is. C1-C4 zijn de 4 kamers waarmee gemeten wordt.

6.2.1 Aldeboarn

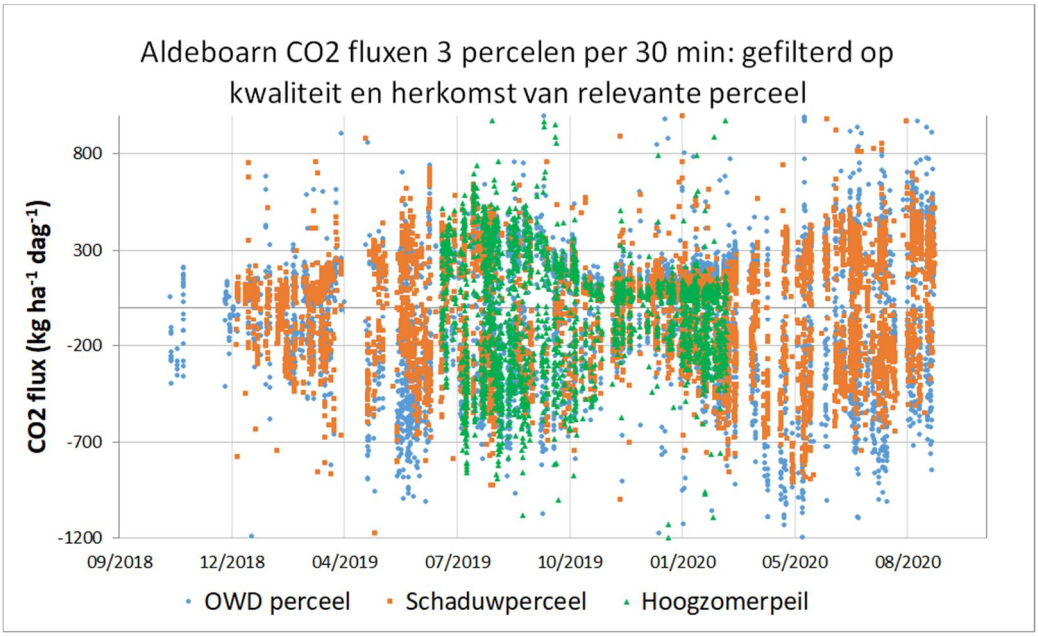
In Aldeboarn zijn al sinds 2018 CO_2 fluxen gemeten met zowel Eddy covariance als met diverse kamersystemen. Vanwege alle problemen omtrent de automatische kamersystemen (beschreven in hoofdstuk 4) ontbreekt er veel data. Desondanks hebben de systemen toch nog meerdere maanden data kunnen verzamelen. Door alle problemen omtrent de werking van de systemen zit hier echter veel foutieve data tussen. Kwaliteitscontrole en uitwerken van deze 'vervuilde' datasets is een tijdrovende klus, vandaar dat er op dit moment nog geen meetreeksen getoond kunnen worden in deze rapportage.

Zoals beloofd zijn er ook methodologische vergelijkingsexperimenten verricht waarbij met twee verschillende typen automatische kamers (model Eosense en Ko van Huissteden), handkamers en eddy covariance gelijktijdig fluxmetingen zijn verricht op het maatregelperceel. Hierbij is onder andere gekeken naar de validiteit van het modelleren van nachtfluxen aan de hand van gemeten bodemtemperaturen en CO_2 fluxen met donkerkamers overdag. Daarnaast is gekeken naar effecten van korte en lange verduistering van zowel handmatige als automatische kamers. Analyse van de data van deze meetcampagnes is nog niet afgerond en daarom niet in deze rapportage opgenomen.

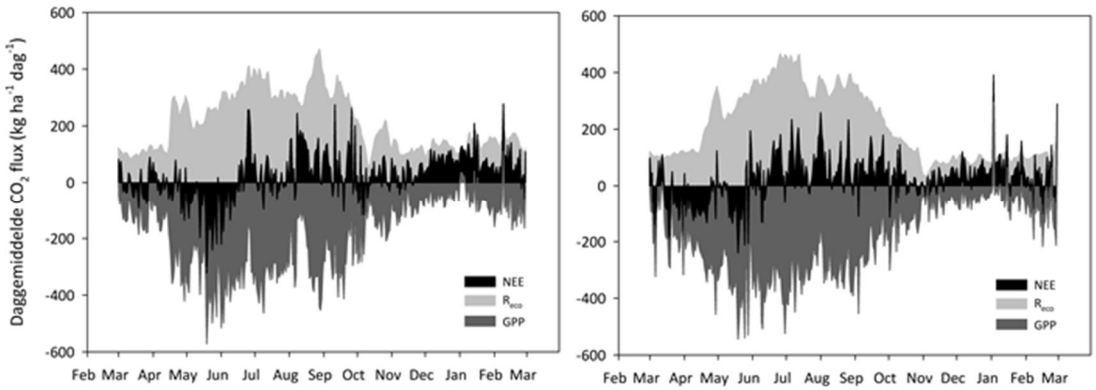
Eddy covariance

Variërend met de heersende windrichting en het weer, is er een bijna continue meetreeks van CO_2 fluxen (alsmede verdamping en voelbare warmte) sinds november 2018, in het

onderwaterdrainageperceel en het controleperceel. Voor kortere tijd is er ook op een derde perceel gemeten, het zogenaamde 'Hoogzomerpeil-perceel, dat in het broedseizoen hoog peil heeft voor weidevogelbeheer. Figuur 6.3 geeft alle datapunten tot September 2020 weer, waardoor de jaarlijkse gang van zowel nachtelijke uitstoot (positieve waarden) als netto opname overdag (negatieve waarden) te zien is. In het kader van een rapportage aan de provincie Friesland is hier al uitvoerig aan geanalyseerd en gerapporteerd, hetgeen we hier niet in detail zullen herhalen. Figuur 6.4 geeft een voorbeeld: de netto fluxen kunnen door het opvullen van gaten en interpreteren van de nachtelijke fluxen worden uitgesplitst naar bruto fotosynthese (GPP) en bruto uitstoot ofwel respiratie (Re). De belangrijkste conclusies waren, dat alhoewel de patronen in de tijd wel verschillen, er geen detecteerbaar verschil is in CO_2-uitstoot tussen de percelen, zowel op dagschaal als op jaarschaal, maar dat er wel een duidelijk lagere uitstoot optreedt wanneer de grondwaterstand in het winterseizoen, na neerslag door opbolling, boven de -40 cm uitkomt. Ook zijn er interessante effecten van de droge en warme zomers op de productiviteit te zien, alsmede duidelijke effecten van maaien, begrazen en bemesten.



Figuur 6.3: Alle halfuurlijkse waarden van EC fluxen tot september 2020 gemeten in Aldeboarn.

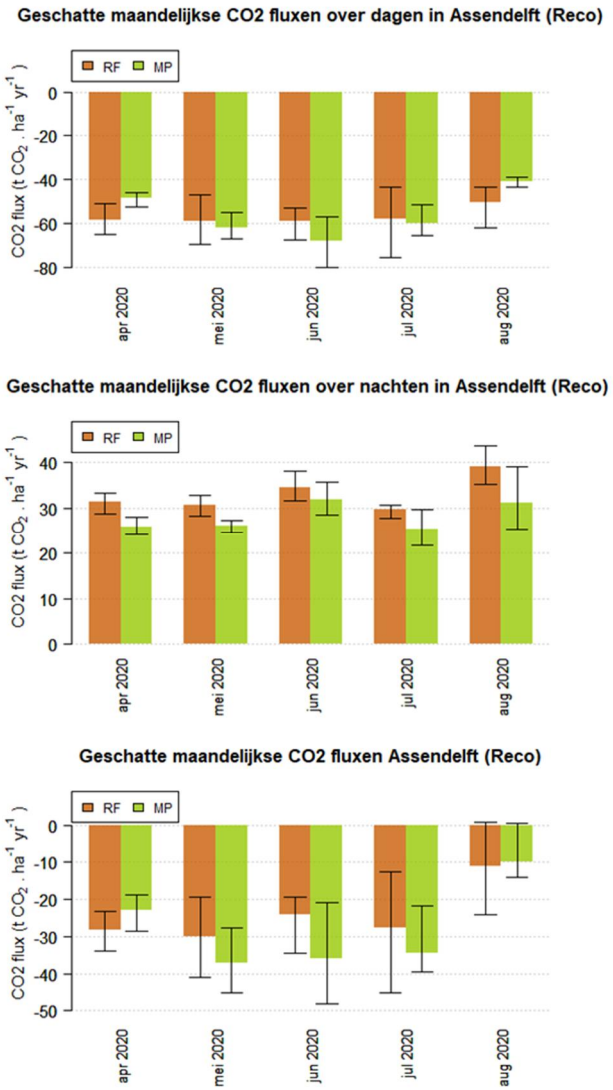


Figuur 6.4: CO_2 fluxen in Aldeboarn tot begin 2020, uitgesplitst naar fotosynthese (GPP), uitstoot (Re) en nette (NEE). Links het OWD-perceel en rechts het controleperceel.

6.2.2 Assendelft

De CO_2-metingen in Assendelft zijn verricht met vier transparante, automatische kamers. De meetcycli, waarin de kamers één voor één drie minuten sluiten, vinden continu plaats. Wanneer het kamerdeksel sluit wordt de lucht uit de kamer geanalyseerd met een CO_2 gas-analyzer. Uit concentratieverschillen over tijd worden fluxen berekend.
De resultaten van geschatte CO_2-fluxen van april, mei, juni, juli en augustus zijn gepresenteerd in Figuur 6.5. Gedurende de dagen is een netto opname waargenomen, gedurende de nachten een netto uitstoot. In alle maanden overstijgt de opname de uitstoot, waardoor er een netto opname gemeten is. Daarnaast is er over elke maand een lagere nachtelijke uitstoot gemeten in het drukdrainage perceel. In de maanden mei, juni en juli is de gemeten CO_2 opname gedurende de dag hoger in het perceel met drukdrainage. In april en augustus is deze opname lager, mogelijk veroorzaakt door een nattere bodem ten gevolge van drukdrainage.

De lagere nachtelijke uitstoot in het perceel met drukdrainage impliceert voorzichtig een lagere veenafbraak bij vergelijking met het referentieperceel tijdens de 5 gemeten zomermaanden. Echter of dit of jaarbasis ook zo is als we de wintermaanden meenemen en rekening houden met verschillen in gewasopbrengst zal dit moeten worden bevestigd door verder onderzoek.



Figuur 6.5: Geschatte maandelijkse CO_2-fluxen in Assendelft, gescheiden in fluxen gedurende de dag, nacht en totale fluxen. RF betekent referentieperceel en MP betekent maatregelperceel met drukdrainage. De waarden zijn berekend met een rlm-fit met één minuut aan datapunten na het sluiten van het kamerdeksel. De minimale en maximale fluxwaarden gemeten met één kamer zijn gevisualiseerd met foutbalken.

6.2.3 Rouveen

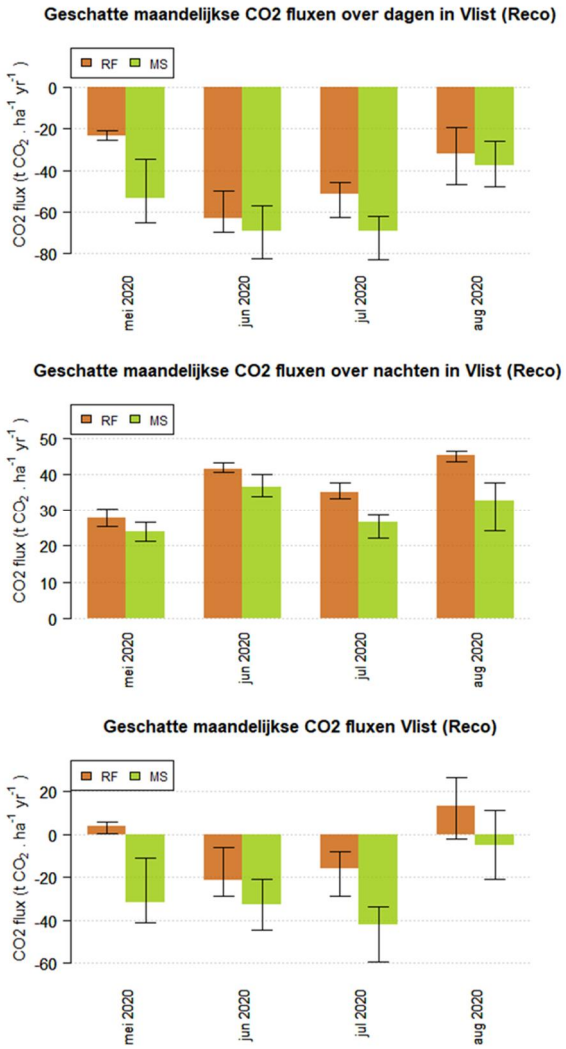
Vanwege de genoemde problemen met de Eosense kamersystemen kunnen er nog geen CO_2 fluxen voor Rouveen worden gerapporteerd.

6.2.4 Vlist

De kameropstelling in Vlist is exact gelijk aan deze in Assendelft en is een maand later in het veld geplaatst.

De resultaten van de gemeten fluxen in mei, juni, juli en augustus zijn gepresenteerd in Figuur 6.6. In alle maanden is er een hogere opname en lagere uitstoot geregistreerd in het perceel met de onderwaterdrainage. Het verschil in geschatte totale maandelijkse CO_2-fluxen van het referentieperceel en het perceel met onderwaterdrainage is aanzienlijk.

Er moet benadrukt worden dat de gepresenteerde figuren slechts gebaseerd zijn op metingen en nog niet gecorrigeerd zijn voor grasgroei en bodembedekking. Verder is de methode voor het uitrekenen van de fluxen nog in ontwikkeling en dus moeten geschatte waarden geïnterpreteerd worden als voorlopig en indicatief.



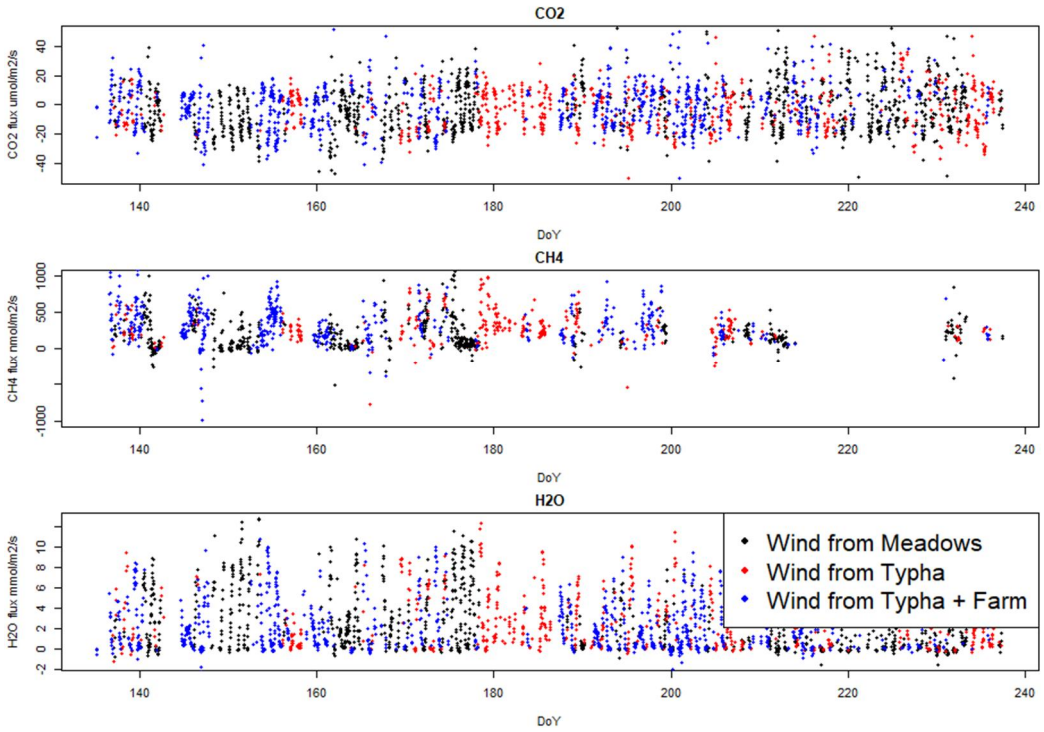
Figuur 6.6: Geschatte maandelijkse CO_2-fluxen in Vlist, gescheiden in fluxen gedurende de dag, nacht en totale fluxen. RF betekent referentieperceel en MP betekent maatregelperceel met drukdrainage. De waarden zijn berekend met een rlm-fit met één minuut aan datapunten na het sluiten van het kamerdeksel. De minimale en maximale fluxwaarden gemeten met één kamer zijn gevisualiseerd met foutbalken.

6.2.5 Zegveld

Op het moment van schrijven (september 2020) is het systeem helaas nog altijd niet geheel functioneel. De multiplexer (het apparaat dat de kamers aanstuurt) in het maatregelperceel werkt niet naar behoren, evenals kamer 1 in het maatregelperceel en kamer 5 in het referentieperceel. Deze hardware wordt momenteel in samenwerking met de leverancier (Eosense) regelmatig voorzien van updates om problemen te verhelpen. Er heeft nog amper data-analyse plaatsgevonden van de metingen, vooral vanwege het feit dat er geen continue metingen beschikbaar zijn van beide percelen tegelijk.

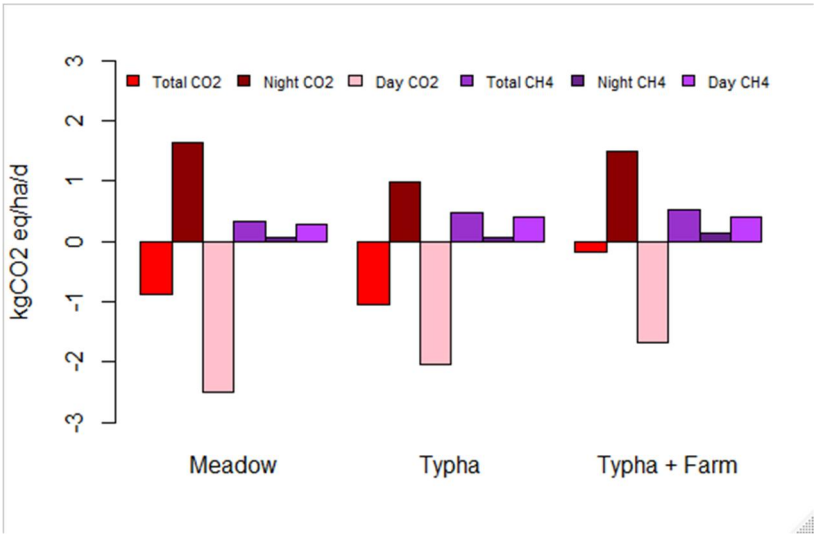
Lisdodde Zegveld

In mei 2020 zijn we begonnen met verkennende metingen met een Eddy-covariance (EC) toren op het lisdoddeveld in Zegveld. Deze toren meet netto verticale CO_2 en methaan fluxen in de lage atmosfeer boven het lisdoddeveld. Hoewel dit veld aan de kleine kant is voor een EC-toren, is dit toch een van de grootste lisdoddevelden in Nederland. De toren is aan de noordoostkant van het veld geplaatst, zodat tijdens de meest voorkomende windrichting (zuidwest) de CO_2 en CH_4 flux van het lisdodde veld gemeten wordt. Door de gemeten fluxen te groeperen naar windrichting (over het lisdoddeveld, over de weilanden en over lisdodde veld vanaf de boerderij) is Figuur 6.7 verkregen.



Figuur 6.7: Fluxen berekend met EddyPro uit de wind en concentratie metingen van de EC-toren.

Vooral bij de methaan-metingen worden veel berekende fluxen als onbetrouwbaar bestempeld en dus niet weergegeven in Figuur 6.8. Hier moeten we nog dieper induiken om dit probleem op te lossen.



Figuur 6.8: Geschatte gemiddelde CO_2 en methaan fluxen voor de gehele periode van juni, juli, augustus 2020.

6.2.6 Vliegtuigmetingen – ZW Friesland, Groene Hart en Kop van Overijssel

Helaas, heeft het verkrijgen van de benodigde toestemming om te vliegen in ZW Friesland en de Kop van Overijssel veel vertraging opgeleverd. Aeronautisch vergunningen voor laagvliegbewegingen voor onze meetdoeleinden (op basis van een zogenaamde SPO) waren al afgegeven[9]. Pas bij de eerste vluchten dit voorjaar ontstonden zorgen daarover bij de lokale natuurbeschermingsorganisaties, waarna de provincies een aanvullende studie vereisten. Als onderbouwing van de vergunningsaanvraag hebben we een natuurtoets laten opstellen door Bureau Waardenburg[10]. Die concluderen dat er geen bezwaar bestaat tegen de voorgesteld vliegbewegingen, mits die minimaal 300m afstand houden van een aantal broedkolonies. Hierdoor hebben we in 2020 voor Friesland en Overijssel niet de beoogde vluchten kunnen maken, maar voor het Groene Hart des te meer. Zodra de toestemming verkregen is, zullen ook de eerste twee (extra) bemeten worden.

Tabel 6.1 biedt een overzicht van de gerealiseerde vluchten en de condities waaronder die hebben plaatsgevonden. Voor het Groene Hart is er reeds een mooie variatie aan condities gesampled. Om respiratie en fotosynthese goed te kunnen scheiden, heb je bij voorkeur een representatieve steekproef uit de voorkomende temperatuur (vooral sturend op bodemrespiratie) tegen voorkomende zonneschijn (hier PAR, sturend voor fotosynthese). Deze ‘steekproef’ wordt komende jaren vergroot door aanvullende vluchten, onder zowel bewolkte als heldere dagen, verspreid over het jaar.

[9] gepubliceerd in de Staatscourant no 16686, ILT-2020/11329

[10] van der Vliet, R.E., juni 2020: “Wetenschappelijk monitoring per vliegtuig boven veenweide gebied; toetsing in het kader van de Wet Natuurbescherming” Rapport 20-135, Bureau Waardenburg, Culemborg. pp 83. Op te vragen bij R. Hutjes, WUR.

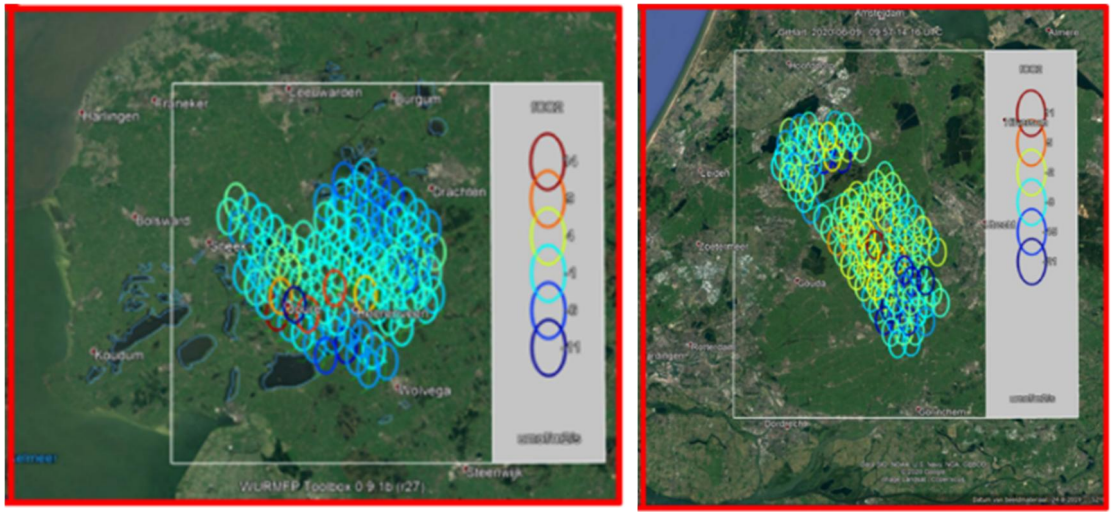
Tabel 6.1: Overzicht van gerealiseerde meetvluchten in 2019-2020.Kolom 2-6 geeft de gemiddelde meteorologische condities tijdens de vlucht. fCO_2 is de CO_2 flux, ofwel de Net Ecosystem Exchange (NEE) en bestaat uit zowel emissies uit de (organische) bodem alsook opname door groeiende vegetatie.

	fCO_2 (umol.m^{-2} s^{-1})	Temp (^{o}C)	PAR (umol.m^{-2} s^{-1})	Windsnelheid (m/s)	Windrichting (^{o} O)	Duur (uu:mm)	Data punten [11]	vluchten [12]
Groene Hart								
26 mrt 2020	-6.5	9.0	1196	7.1	68	1:42	94	1
27 mrt 2020	-8.2	10.5	1168	7.3	36	1:41	82	1
2 apr 2020	-5.1	9.0	570	6.5	250	1:45	88	1
8 mei 2020	-7.9	19.0	1342	2.0	124	2:42	123	2
15 mei 2020	-7.3	11.5	1259	48.6	211	1:29	87	1
9 jun 2020	-6.2	13.7	770	3.7	1	2:18	117	2
25 juni 2020	-5.6	27.3	1498	6.8	115	2:56	115	2
2 sep 2020	-5.5	18.3	1221	1.1	105	2:50	99	1
ZW Friesland								
8 nov 2019	-1.6	8.4	434	4.9	190	1:48	98	2
25 mrt 2020	-3.4	11.1	926	6.9	103	2:15	113	1
NW Overijssel								
-								
Totaal						21:26	1016	

Figuur 6.9 geeft een impressie van de variatie in CO_2 fluxen gemeten over Friese (links) en Zuid-Hollandse veenweidelandschap (rechts) (let op de verschillende kleurschaal in beiden). Daaruit vallen een paar dingen af te lezen. In beide landschappen zien we zowel opname (negatieve waarden) als emissies (positieve waarden) van CO_2. Emissies vooral in metingen/locaties met aanzienlijke bebouwing in de footprint. Opnamen zijn aanmerkelijk hoger in de zomer. Variaties in opname kunnen zowel komen door variaties in vegetatie als door variaties in bodemrespiratie, c.q. veenoxidatie. In het Friese plaatje (van November) kan de variatie in opname deels verklaard worden door variaties in daglicht (korte dagen t.o.v. relatief lange vlucht) en dus opname. In het Hollandse plaatje lijkt een relatie met de ondergrond te kunnen verklaren dat in het rivierklei gebied (blauwe kleuren in het ZO van bemeten gebied) de opnamen veel hoger zijn dan in het veenweidegebied (gele kleuren in het midden). De vegetatie in beiden verschilt niet veel en naar verwachting de bruto opname ook niet. Het verschil moet dus komen door respiratie van de ondergrond die de netto opname in het midden verlaagd. Gedetailleerdere analyse m.b.v. machine learning algoritmen moeten dit soort relaties veel duidelijker maken.

[11] Datapunten = een fluxmeting over een 2km vluchtsectie, gem. representatief voor 6-8 km^2 landschap

[12] Sommige routes zijn in meerdere delen opgedeeld die in afzonderlijke vluchten bemeten worden



Figuur 6.9: Links: Visualisatie van vliegtuig CO_2 flux metingen van vlucht op 08 november 2019 in ZW Friesland, met in kleur van de cirkels de gemeten CO_2 flux. Rechts: Visualisatie van vliegtuig CO_2 flux metingen van vlucht op 9 juni 2020 in Groen Hart met in kleur van de cirkels de gemeten CO_2 flux.

Alle ruwe metingen zijn verwerkt tot een versie v0.2. Een volgende slag zal een verdere kwaliteitsbewerking zijn (ruwe metingen ontdoen van mogelijke 'spikes', preciezer uitfilteren ongewenste vliegtuigbewegingen, gevolgd door herrekenen van fluxen). Op basis van de daaruit volgende v1.0 van de data worden de bijbehorende footprints berekend. Deze worden dan over digitale kaarten van de belangrijkste verklarende fysisch geografische variabelen gelegd, zoals hoogte terrein (AHN), bodemkarakteristieken (veentype, veendikte), water karakteristieken (oppervlaktewaterpeil, grondwaterpeil, waterkwaliteit (nutriënten belasting)), landgebruik (grasland, bouwland, etc. volgens LGN). Deze worden middels machine learning technieken gerelateerd aan de gemeten fluxen.

6.3 N_2O flux

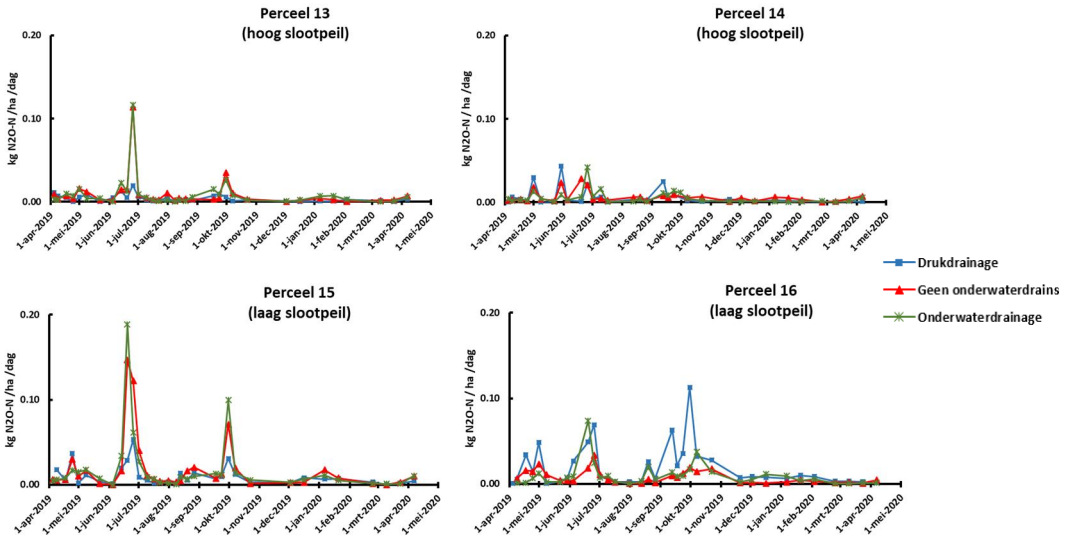
Wageningen Environmental Research heeft in het voorjaar 2019 een proef opgezet op Zegveld om de effecten van onderwaterdrainage en drukdrainage op de emissies van lachgas (N_2O) en CO_2 te bepalen. De broeikasgasmetingen zijn op 4 april 2019 gestart. Deze rapportage loopt tot en met 6 april 2020; de metingen zijn daarna gecontinueerd.

Lachgasemissie

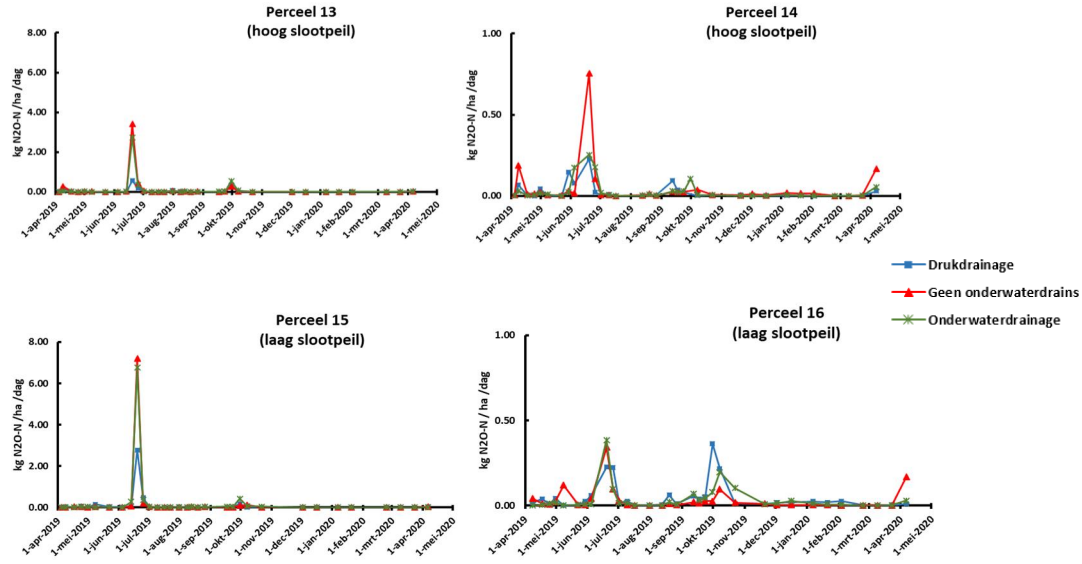
Op enkele momenten in het jaar was sprake van een verhoging van lachgasemissie op uit onbemeste veldjes (Figuur 6.10). Deze piek emissies uit onbemeste veldjes lijken te zijn gerelateerd aan tijdelijke pieken in de grondwaterstand (niet getoond). Bij langdurende hoge (winter) en lage (zomer) grondwaterstanden is de N_2O-emissie verwaarloosbaar. Hieruit blijkt dat met name de fluctuaties in grondwaterstanden voor emissies zorgen en niet de langdurige/stabiele hoge of lage grondwaterstanden. Bij bemesting onder natte omstandigheden dan heb je ook een N_2O piek maar bemesten onder zeer natte omstandigheden is niet gangbaar. De effecten van grondwaterstand en de verschillen tussen percelen moeten nader worden geanalyseerd.

In het algemeen lijkt een fluctuatie in de grondwaterstand te leiden tot een hogere N_2O-emissie uit bemeste veldjes (Figuur 6.11). Bij de bemeste veldjes valt de extreem hoge emissie op in week 25 op percelen 13 en 15. Deze meting heeft plaatsgevonden drie dagen na bemesting onder extreem natte omstandigheden. De emissie op percelen 14 en 16 zijn een dag later gemeten en waren veel lager.

Een eerste voorlopige analyse van de resultaten laat nog geen statistisch significante verschillen zien in de emissiefactor (Tabel 6.2). Dit wordt veroorzaakt door de grote variatie in N_2O-emissie. Op alle percelen is de emissiefactor bij drukdrainage wel het laagst. De emissiefactoren zijn hoog en veel hoger dan nu wordt gebruikt in emissieregistratie NEMA (gemiddelde emissiefactor voor veen is 3%). Dit wordt veroorzaakt door de extreme waarden in week 25. De gegevens betreffen een voorlopig analyse; de emissiefactoren zullen worden afgeleid op basis van metingen gedurende enkele jaren.



Figuur 6.10: Lachgasemissie uit onbemeste veldjes.



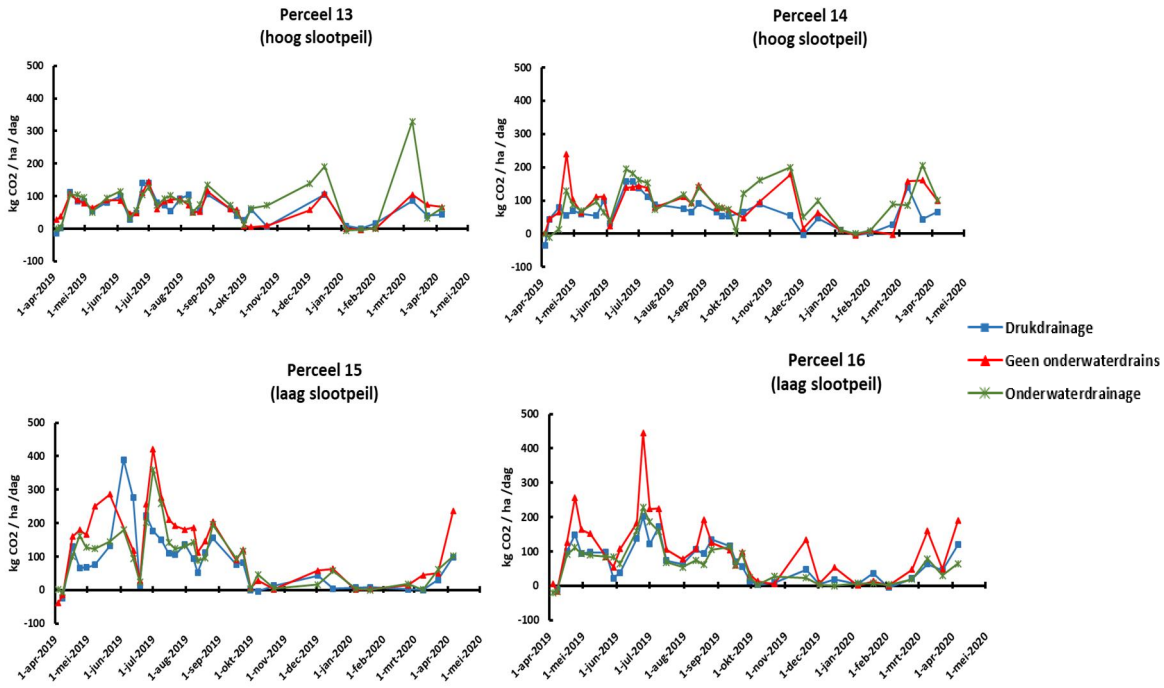
Figuur 6.11: Lachgasemissie uit bemeste veldjes (Let op verschillen Y-as tussen de figuren).

Tabel 6.2: Lachgasemissiefactoren in % van toegediende N, gemiddeld voor hoog slootpeil, laag sloot peil en alle percelen.

	Perceel 13 + 14 (hoog slootpeil)	**Perceel 15 + 16 (laag slootpeil)**	**Alle percelen**
Drukdrainage	2.9 (± 0.7)[a]	6.3 (± 3.0)[a]	4.6 (± 2.8)[a]
Geen onderwaterdrains	7.9 (± 3.2)[a]	10.6 (± 7.5)[a]	9.2 (± 5.9)[a]
Onderwaterdrainage	5.9 (± 3.3)[a]	11.5 (± 7.8)[a]	8.7 (± 6.6)[a]

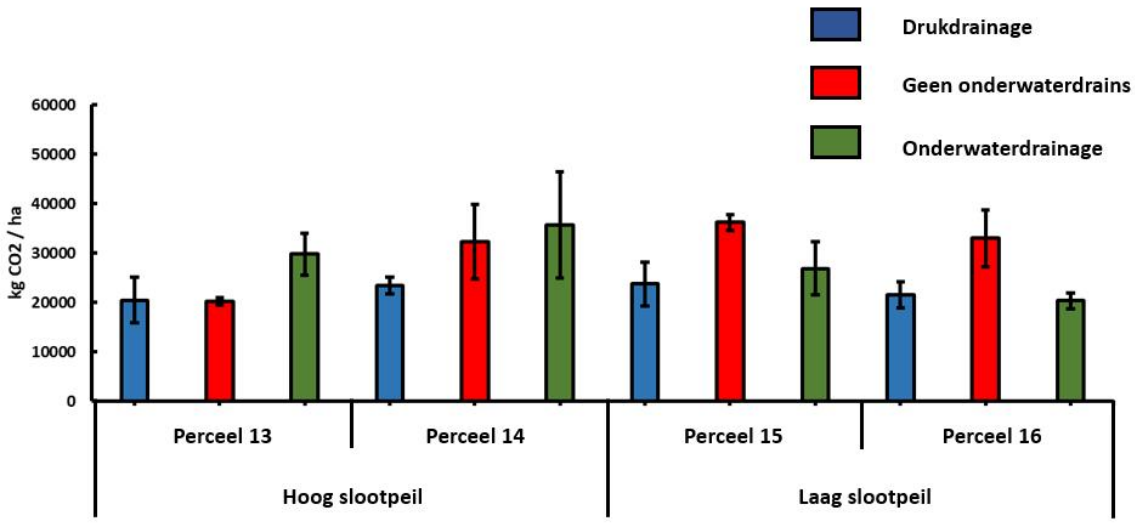
CO_2-emissie

Voor de analyse van de CO_2-emissie zijn de metingen van de veldjes zonder zode (ZZ) gebruikt. Figuur 6.12 geeft de CO_2-emissie over tijd weer voor alle objecten op alle percelen gedurende de periode 4 april 2019 t/m 6 april 2020. De patronen in emissies, de verschillen tussen percelen en de relatie met weer en grondwaterstand moeten nader worden geanalyseerd.



Figuur 6.12: CO_2-emissie over tijd van alle objecten voor alle percelen.

In Figuur 6.13 staat de totale CO_2-emissies gegeven, berekend uit de emissies weergegeven in Figuur 6.12. Het betreft een voorlopige berekening. Bij de percelen met een hoog slootpeil regime zijn nauwelijks verschillen te zien. De totale CO_2-emissie uit reguliere onderwaterdrainage is iets hoger dan geen onderwaterdrainage. De emissie bij drukdrainage is wel lager dan die van reguliere onderwaterdrainage en geen onderwaterdrainage op de percelen met een hoog slootpeil. Op de percelen met een lage grondwaterstand (15 en 16) zijn de verschillen tussen drainage duidelijker. Geen onderwaterdrains geeft een hogere emissie dan onderwaterdrainage en drukdrainage. Benadrukt moet worden dat dit voorlopige resultaten zijn en het mag niet worden uitgesloten dat het beeld verandert bij verdere data-bewerking en het opnemen van emissies uit meerdere jaren. Ook zal er een vergelijking gemaakt worden met de continue metingen op perceel 16.



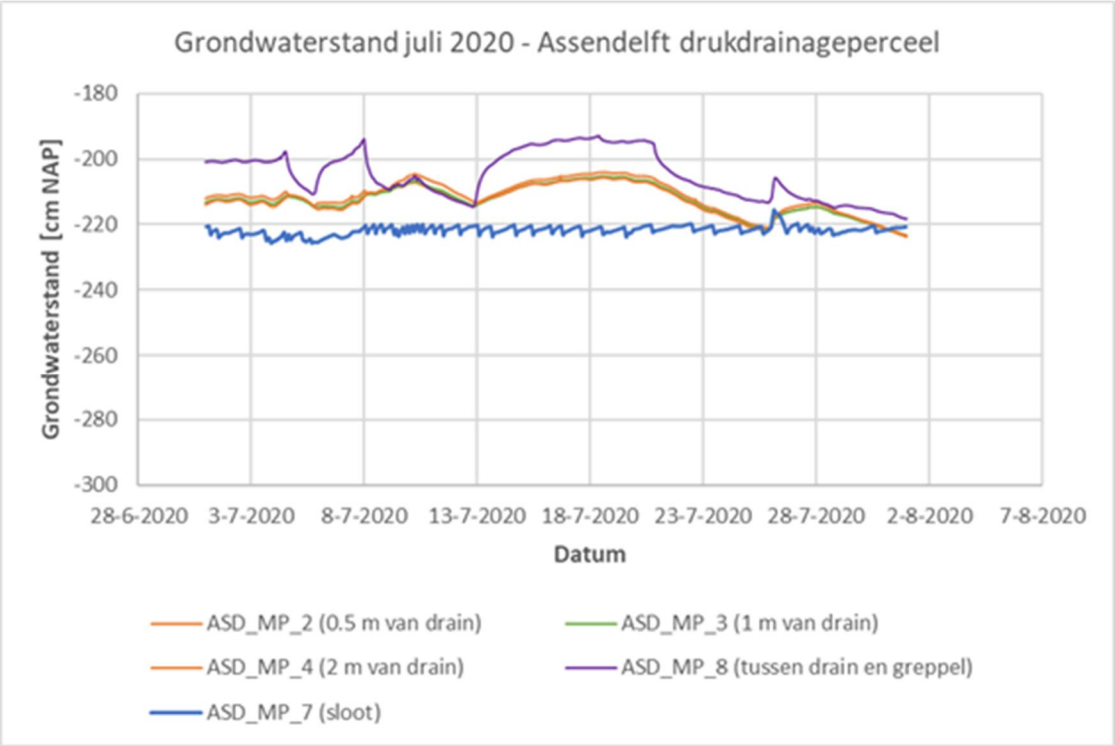
Figuur 6.13: Totale CO_2-emissie (gemiddelde en standaardafwijking; n=3) in de periode 4 april 2019 t/m 6 april 2020. Voorlopige resultaten.

6.4 Grondwaterstanden

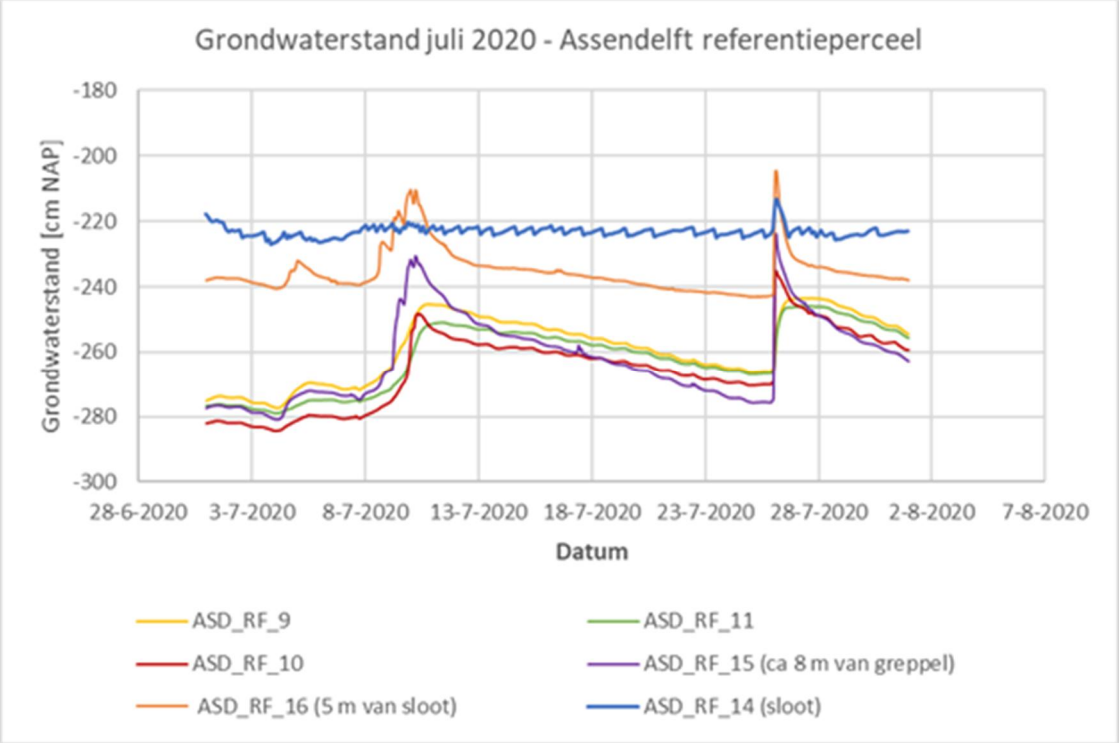
6.4.1 Assendelft en Rouveen

In Assendelft en Rouveen zijn de peilbuizen begin van de zomer 2020 geïnstalleerd (door Deltares). Ter illustratie van de eerste metingen is in deze paragraaf voor beide locaties het grondwaterstandsverloop voor de maand juli 2020 opgenomen, voor zowel het maatregelen- als het referentieperceel.

In Assendelft is goed te zien dat in het drukdrainageperceel de grondwaterstanden in het perceel in juli 2020 hoger stonden dan het slootpeil (Figuur 6.14). Dicht bij de greppel zijn de hoogste grondwaterstanden gemeten in deze periode. In het referentieperceel staan de grondwaterstanden in het perceel meest lager dan het slootpeil, waarbij over het algemeen lijkt te gelden hoe verder van de sloot of greppel hoe lager de grondwaterstand (Figuur 6.15). Dit duidt op een holle grondwaterspiegel in dit perceel.



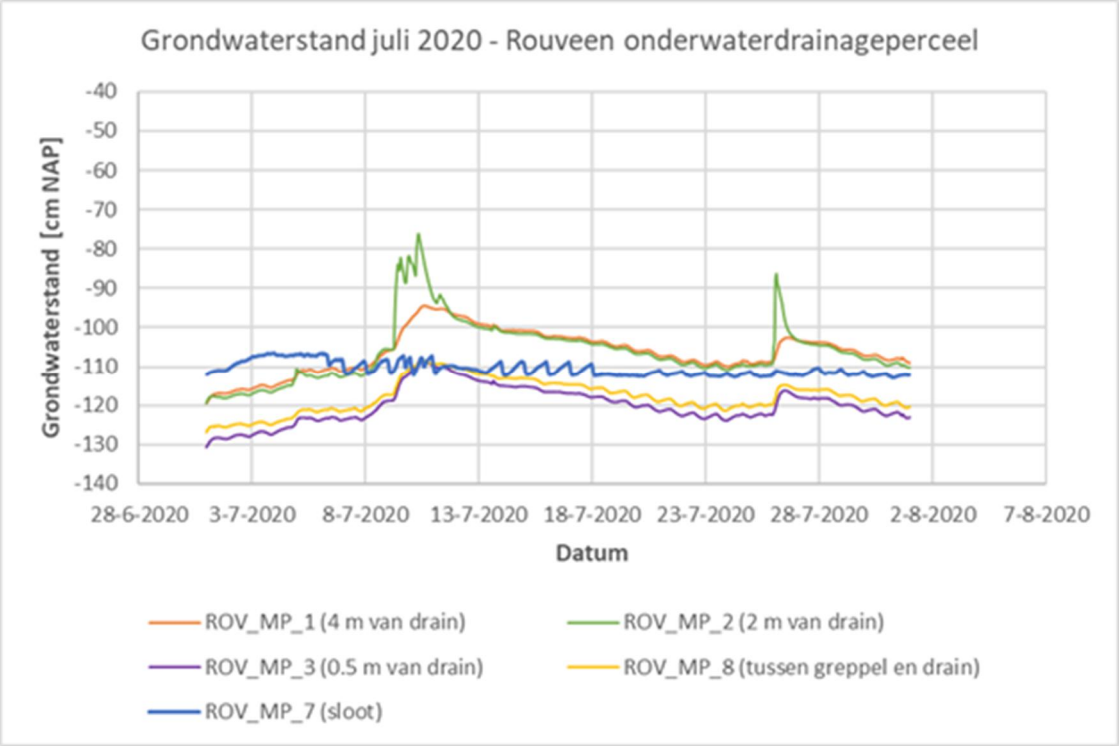
Figuur 6.14: Grondwaterstandsverloop voor verschillende meetpunten in het drukdrainageperceel in Assendelft, voor de maand juli 2020.



Figuur 6.15: Grondwaterstandsverloop voor verschillende meetpunten in het referentieperceel in Assendelft, voor de maand juli 2020.

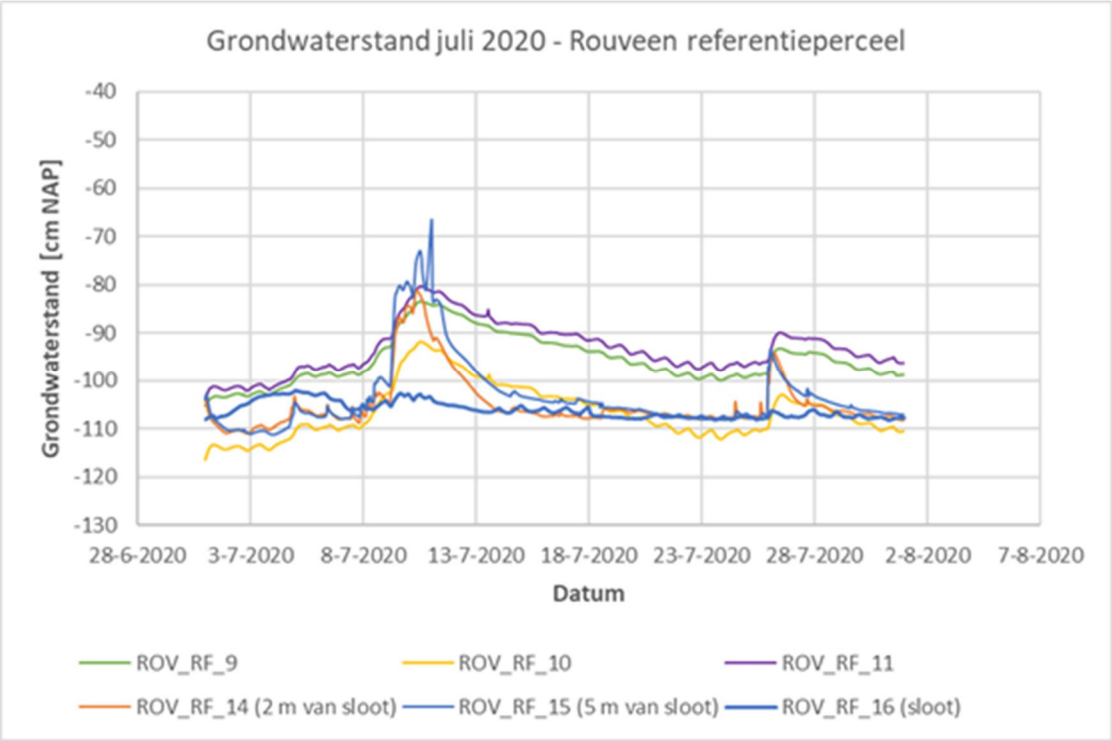
In Rouveen zien we dat de freatische grondwaterstand op 2 en 4 m afstand van de drain meestal (vanaf de eerste piek, waarschijnlijk een regenbui rond 10 juli) hoger ligt dan het slootpeil in de maand juli 2020 (Figuur 6.16). Dicht bij de drain blijft de grondwaterstand echter lager dan het

slootpeil, ook na de neerslagpiek. Dit kan duiden op een drainerende werking van de drain, wat een niet-gewenste situatie is in de zomer. Dit zal verder moeten worden onderzocht.



Figuur 6.16: Grondwaterstandsverloop voor verschillende meetpunten in het onderwaterdrainageperceel in Rouveen, voor de maand juli 2020.

In het referentieperceel in Rouveen ligt de freatische grondwaterstand meestal hoger dan het slootpeil, zowel voor als na neerslagpieken (Figuur 6.17). Dit duidt op een bolle grondwaterspiegel, wat erop duidt dat op deze locatie de grondwaterstand in het perceel niet ver uitzakt in de zomer, mogelijk als gevolg van kwel. Een infiltratiesysteem zou wel kunnen helpen om de grondwaterstand nog hoger te houden indien gewenst. De precieze werking van het drainage-/infiltratiesysteem in Rouveen zal echter op basis van een langere meetreeks, en eventuele controle van referentiehoogten in het veld, verder moeten worden onderzocht. Op dit moment kunnen hier nog geen conclusies over getrokken worden.



Figuur 6.17: Grondwaterstandsverloop voor verschillende meetpunten in het referentieperceel in Rouveen, voor de maand juli 2020.

Draininspectie Rouveen

Er is geen reden om aan te nemen dat de drains niet zouden functioneren. Er zijn geen blokkades aangetroffen (geen vervormingen in de drainbuis, nagenoeg geen wortels) en de drains lijken op basis van de camera-inspectie redelijk vlak te liggen. Er is slechts een dun sliblaagje aanwezig. De meest zuidelijke drain vertoonde op basis van de camerabeelden de grootste schommelingen in hoogteligging, en hier was ook het meeste slib aanwezig.

Wel is in elk van de drains is over nagenoeg de gehele (geïnspecteerde) afstand lucht aangetroffen. Dit zal in de praktijk resulteren in een verhoogde entreeweerstand, en een verlaagde uitwisseling van water met de bodem, zowel ten tijde van drainage als van infiltratie. De aangetroffen luchtbellen waren overal (ruim) minder dan een halve draindiameter dik, dus er zal geen directe belemmering zijn voor de waterstroming; dit zal pas het geval zijn wanneer op één punt nagenoeg de hele buis met lucht is gevuld. Tevens is duidelijk dat recent het waterniveau in de drains is verhoogd, dit waarschijnlijk ten gevolge van de installatie van de inspectiepunten, waarbij veel lucht is vrijgekomen. Een aandachtspunt is het schoonhouden van met name het uiteinde van de verzamelbuis; hier is relatief veel slib aanwezig, wat op den duur de stroming van water kan gaan blokkeren.

6.4.2 Zegveld en Vlist

Analyse van metingen Zegveld en Vlist is op dit moment nog bezig. Meetwaarden moeten nog uitgedrukt worden t.o.v. NAP. Figuur 6.18 laat ongecorrigeerde gegevens zien van perceel 16 in Zegveld. Hoewel de Y-as dus nog aangepast moet worden laat deze figuur al wel zien dat het grondwater in de referentieplot veel grotere variatie in niveau vertoont dan het grondwater in de drukdrainplot.

Figuur 6.18: Onbewerkte grondwatermetingen Zegveld perceel 16. Boven: druk drain plot. Onder: referentie plot

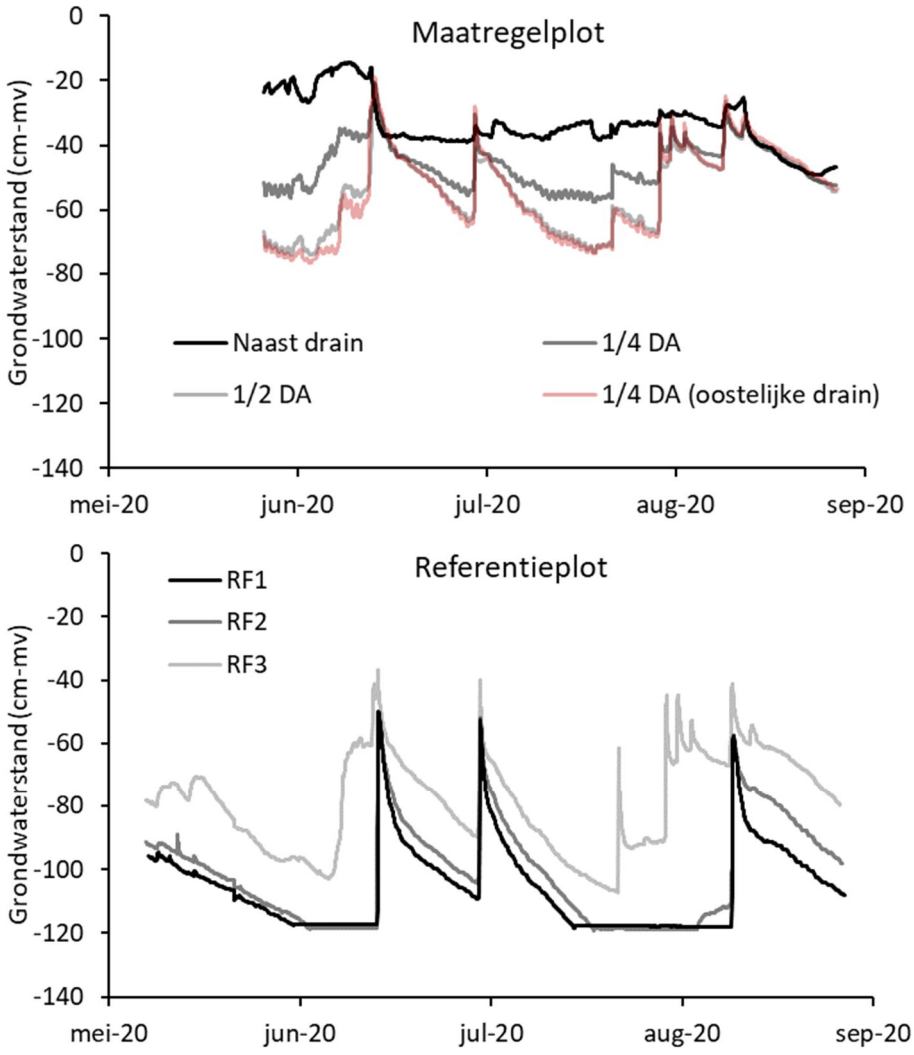
6.4.3 Aldeboarn

De grondwaterstanden in het maatregelplot van Aldeboarn laten een duidelijk effect van de (middelste) drain in het plot zien: vlak naast de drain zijn grondwaterstanden het hoogst en worden sequentieel lager op een kwart en een halve drainafstand (Figuur 6.19). Opvallend is dat de grondwaterstand die gemeten wordt op een kwart drainafstand van de naastgelegen, oostelijke drain nauwgezet de grondwaterstand van de drain op een halve drainafstand volgt. Een plausibele verklaring hiervoor is dat deze oostelijke drain minder goed functioneert dan de middelste drain. Draininspectie van WEnR trof veel luchtbellen aan in, met name, de oostelijke drain.

In het referentieplot valt het ten eerste op dat de hoogte van de grondwaterstanden effect ondervinden van de afstand tot de tochtsloot: hoe dichter bij de sloot (RF3, ca. 14 m; RF2, ca. 17,5 m; RF1, ca. 19 m) hoe hoger de grondwaterstand (Figuur 6.19). Ten tweede valt op dat de grondwaterstanden veel lager zijn dan in het maatregelplot. Een effect van de drains ligt hierbij voor de hand, echter moet wel opgemerkt worden dat de boer de percelen verschillend behandelt: de slootwaterpeilen bij het drainageperceel waren duidelijk hoger in het maatregelperceel. Daarnaast stonden greppels bij dit perceel regelmatig gevuld met water, wat bij het referentieperceel niet het geval was. Of het hier (enkel) om een effect van drains gaat is dus niet

vast te stellen, wel dat de combinatie van maatregelen (hoog slootpeil, drains en greppelinfiltratie) zeer waarschijnlijk tot de hogere grondwaterstanden heeft geleid.

Ten derde valt op dat grondwaterstanden dieper uitzakken van verwacht (>120 cm-mv). Hierdoor zijn op verschillende momenten in de zomer de drukopmeters van peilbuizen RF1 en RF2 drooggevallen. Om dit volgend zomer te voorkomen zullen deze peilbuizen binnenkort vervangen worden door exemplaren met een diepere drukopmeter.



Figuur 6.19: Grondwaterstanden t.o.v. maaiveld in het maatregel- (boven) en referentieplot (beneden). DA = drainafstand

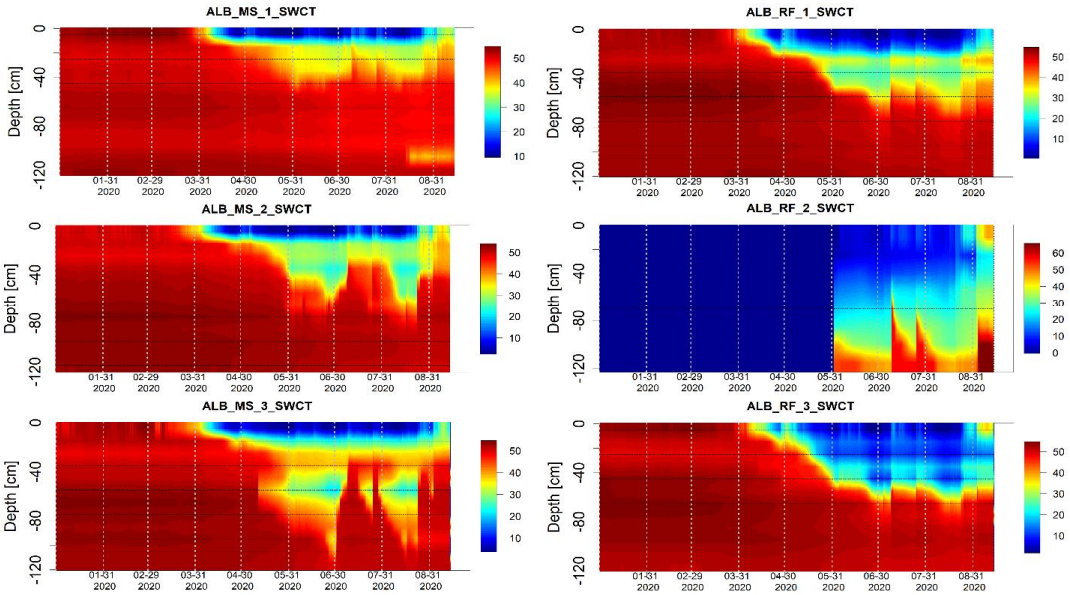
6.5 Bodemvocht

Voor alle locaties geven de bodemvochtprobes een duidelijk beeld van het verloop van het bodemvochtgehalte door het seizoen tot op 120 cm diepte, waarbij duidelijk te zien is dat de toplaag van de bodem uitdroogt tijdens het groeiseizoen (zie voorbeeld Aldeboarn, Figuur 6.20). Voor Aldeboarn, waar de langste meetreeks van beschikbaar is, is te zien dat het bodemvochtgehalte in beide plots—overeenkomstig met bodemtemperatuur—vrij stabiel is vanaf het begin van de meetreeks t/m ~eind maart (Figuur 6.20). Aangezien het in februari veel geregend heeft en het water tot op maaiveld stond, kunnen we aannemen dat de bodemvochtwaardes in deze periode corresponderen met een verzadigde bodem. Vanaf ~april is er een duidelijke afname in het bodemvochtgehalte te zien. Rond eind juni, begin juli en in augustus bereikt het bodemvochtgehalte het minimum (Figuur 6.20). In deze periode is het

bodemvocht in het referentieplot tot ~60 cm-mv sterk verlaagd. Opvallend is dat een v/d bodemvochtprobes in het referentieplot veel lagere waardes laat zien dan de andere twee, m.n. in de diepere bodemlagen (Figuur 6.20, RF2). Deze probe is van een ander type, waarvan elk referentieplot er één bevat ter vergelijking met de overige probes. Er moet nog worden uitgezocht of deze verschillen gerelateerd zijn aan bijv. de verschillende meettechniek van beide instrumenten of verschillen in fabriekskalibratie of manier van installatie.

We zien we een duidelijk effect van de drain op bodemvocht. Dit effect is binnen een plot te zien aan een afnemend bodemvochtgehalte met toenemende afstand tot de drain (Figuur 6.20, MS1–MS3) en tussen plots te zien aan duidelijk hogere bodemvochtgehaltes binnen het maatregelplot t.o.v. de referentie (Figuur 6.20). Bij dit laatste moet echter wel opgemerkt worden dat de boer de percelen verschillend behandelt: de slootwaterpeilen bij het drainageperceel waren duidelijk hoger in het maatregelperceel. Daarnaast stonden greppels bij dit perceel regelmatig gevuld met water, wat bij het referentieperceel niet het geval was.

Hoewel duidelijk te zien is dat binnen het maatregelplot het bodemvochtgehalte vanaf het voorjaar tot einde meetreeks afneemt met afstand tot de drain, valt het op dat bij twee probes er zich een vochtigere laag tussen twee drogere lagen lijkt te bevinden: voor de probe op kwart drainafstand bevindt deze laag zich op ca. 15–30 cm-mv en voor de probe op een halve drainafstand bevindt deze zich op ca. 25–35 cm-mv (Figuur 6.20). Mogelijk dat de gemeten hogere vochtwaarden in deze laag verklaard kunnen worden door de aanwezigheid van knipklei: de bodemvochtsensoren reageren op bulk elektrische conductiviteit welke—naast door water—ook toeneemt met kleigehalte. Helaas is er geen betrouwbare en accurate bodemvochtprofielprobe op de markt welke geschikt is voor een grote range aan bodemtypes, behalve een neutronenprobe (welke erg prijzig is en als gevolg van de radioactieve bron alleen door personen met licentie bediend mag worden). Hoewel sensoren van de probe individueel gekalibreerd kunnen worden is het praktisch niet mogelijk om elke sensor voor de bodemlaag waarin deze zich bevindt te kalibreren. Daarnaast kan fluctuatie in maaiveldhoogte ervoor zorgen dat de hoogte van een bepaalde bodemlaag niet constant is door het seizoen, waardoor een sensor mogelijk een verschillend bodemtype meet afhankelijk van de natte of droge periode. Koppeling van bodemvochtdata aan bodemfysische parameters en tensiometerdata kan gebruikt worden om absolute bodemvochtwaardes dichter te benaderen. Echter, de ruwe bodemvochtwaardes zoals getoond in de figuur geven reeds erg waardevolle informatie.



Figuur 6.20: Verloop van het bodemvochtgehalte in Aldeboarn in het maatregel- (links) en referentieplot (rechts). MS 1–3 laten respectievelijk het bodemvochtgehalte naast de drain, op ¼ drainafstand en ½ drainafstand zien.

6.6 Tensiometer

Tensiometers zijn in 2020 geïnstalleerd in Aldeboarn, Rouveen en Zegveld. Hieronder resultaten van Aldeboarn als voorbeeld.

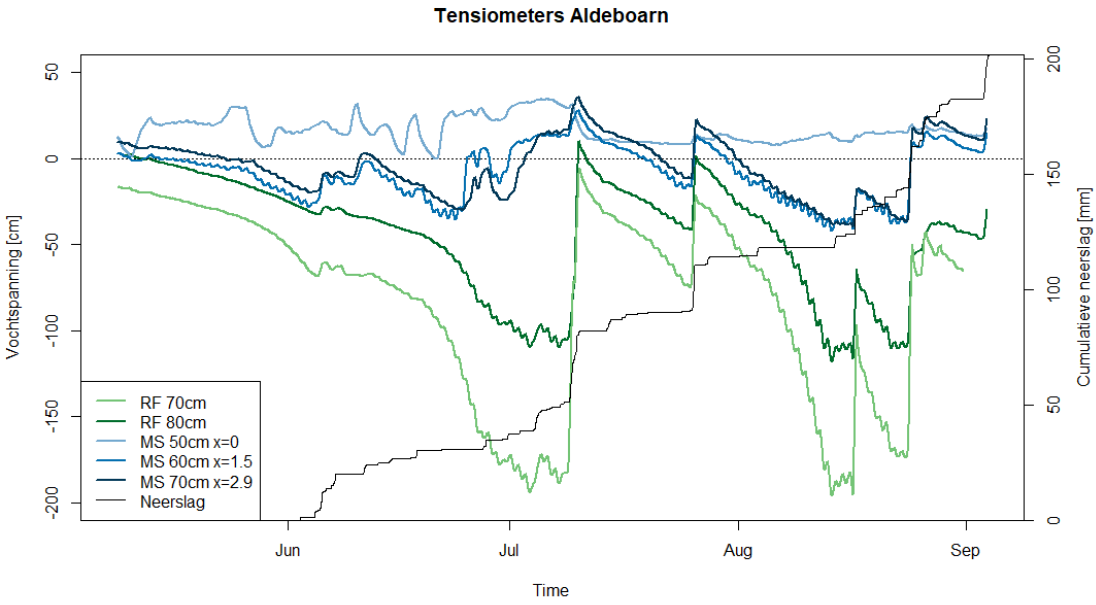
6.6.1 Aldeboarn

De installatie vond plaats middenin een droge periode die tot begin juni aanhield. Tijdens deze periode is het kleidek in Aldeboarn snel uitgedroogd, en zijn de tensiometers op 20 en 30 cm diepte binnen enkele dagen tot weken ‘doorgeslagen’. Zodra de weersomstandigheden dit toelaten, zullen deze tensiometers weer gevuld worden om wederom bruikbare data te kunnen leveren. Los van het leveren van onbruikbare data door doorgeslagen tensiometers, geven tensiometers 2 en 3 in het referentieperceel op het moment van schrijven incorrecte waarden. Er wordt nu onderzocht wat de oorzaak hiervan is. Deze tensiometers hebben echter wel een tijd bruikbare data geleverd. Tevens lijkt, op basis van de metingen, dat er lucht in de tensiometer op 50 cm diepte, boven de drain, in het maatregelperceel zit, waardoor deze vertraagd (of niet) reageert op veranderingen in vochtspanning.

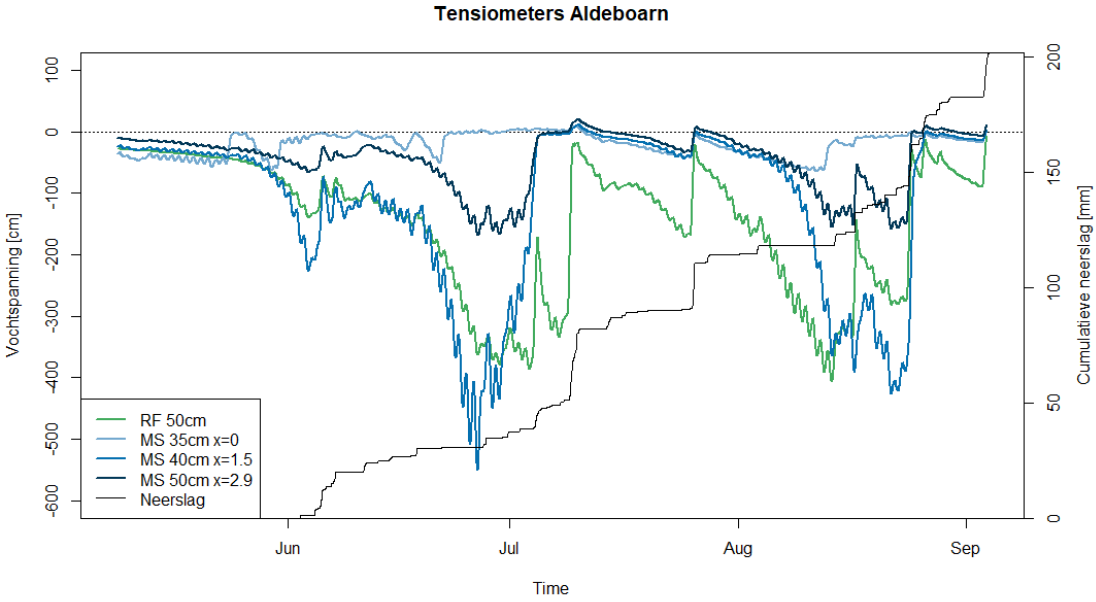
Gedurende de zomer zijn er enkele vochtige episodes geweest, afgewisseld door langdurige droge en (soms) hete periodes. Vanaf begin mei is ongeveer 200 mm neerslag gevallen, waardoor er een neerslagtekort is opgebouwd en de grondwaterspiegel kon zakken. Figuur 6.21 geeft de aflezing weer van de diepste tensiometers op de vijf plaatsen: 70 en 80 cm diepte in het referentieperceel (groen) en 50, 60 en 70 cm diepte in het maatregelperceel (blauw). Een directe vergelijking tussen de groene en blauwe kleuren laat zien dat de vochtspanning in het referentieperceel meer negatief is, ondanks dat deze tensiometers dieper in de bodem liggen. De bodem is in het referentieperceel dus aanzienlijk droger. Tevens is duidelijk dat de onderste tensiometers in het maatregelperceel tijdens nattere episodes in het verzadigde deel van de bodem liggen, dus onder de grondwaterspiegel. In het referentieperceel komt de onderste tensiometer slechts sporadisch in de verzadigde zone te liggen, en ligt de grondwaterstand dus dieper dan 80 cm-mv.

Om iets te kunnen zeggen over de laterale stroming van water vanuit de drain naar het midden van het perceel is het noodzakelijk een vergelijking te maken van tensiometers op verschillende

afstanden van de drain, op vergelijkbare dieptes. Figuur 6.22 laat daartoe een vergelijking zien van de vochtspanning op ongeveer 50 cm-mv. Boven de drain is de tensiometer op 35 cm-mv gekozen omdat degene op 50 cm-mv lucht lijkt te bevatten. Midden tussen de drains (x=2.9) en in het referentieperceel is een diepte van 50 cm-mv gebruikt en op x=1.5 m van de drain is de tensiometer op een diepte van 40 cm-mv weergegeven. Hieruit blijkt dat de bodem recht boven de drain zelfs op 35 cm diepte dichtbij verzadiging ligt als gevolg van de waterdruk in de drain. Alleen tijdens langdurigere droge of warme perioden wordt de vochtspanning sterker negatief op deze diepte. Midden tussen de drains is de bodem op 50 cm nagenoeg altijd onverzadigd, met name tijdens drogere perioden. De gradiënt in grondwaterstand loopt dus van de drain weg, wat duidt op een situatie met een verdampingsoverschot en infiltratie van (sloot)water middels de drain. Vlak na significante buien (rond 10 en 25 juli) is de vochtspanning (gecompenseerd voor diepte, uitgaande van een hydrostatisch evenwicht) op de drie afstanden t.o.v. de drain nagenoeg gelijk, wat kan wijzen op afvoer van water. De bodem droogt vervolgens eerder uit verder van de drain. De vochtspanning in het referentieperceel is op vergelijkbare diepte negatiever dan in het maatregelperceel; de bodem in het maatregelperceel is dus ook midden tussen de drains vochtiger dan wanneer er geen drains aanwezig zijn. Infiltrerend water vanuit de drain lijkt zich dus in horizontale zin te kunnen verplaatsen tot midden tussen de drains. Echter, in drogere periodes blijft er een duidelijke gradiënt zichtbaar van de drain met lagere waterstanden midden tussen de drains, wat duidt op weerstand tegen infiltratie of waterstroming.



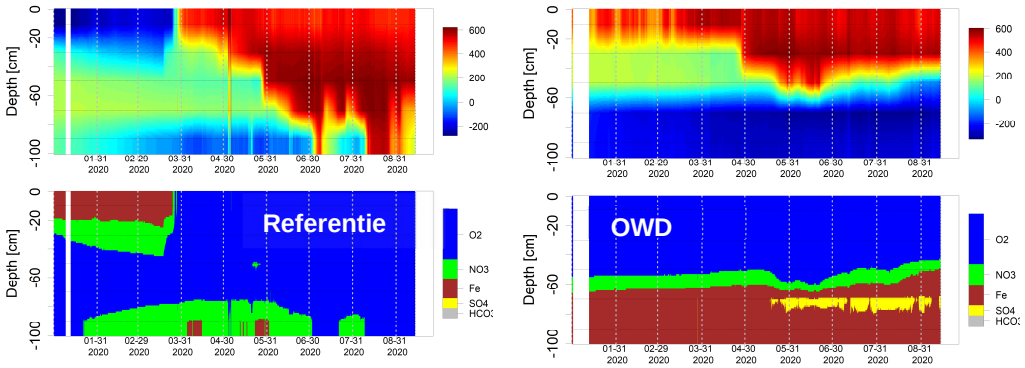
Figuur 6.21: Vochtspanning gemeten over de periode mei – september 2020 in het referentieperceel (groen) en het maatregelperceel (blauw), op de meest diepe meetplaatsen in Aldeboarn. Tevens weergegeven is de cumulatieve neerslag sinds begin mei (zwart).



Figuur 6.22: Vochtspanning gemeten over de periode mei – september 2020 in het referentieperceel (groen) en het maatregelperceel (blauw) rond 50 cm diepte in Aldeboarn. Tevens weergegeven is de cumulatieve neerslag sinds begin mei (zwart).

6.7 Redoxpotentiaal

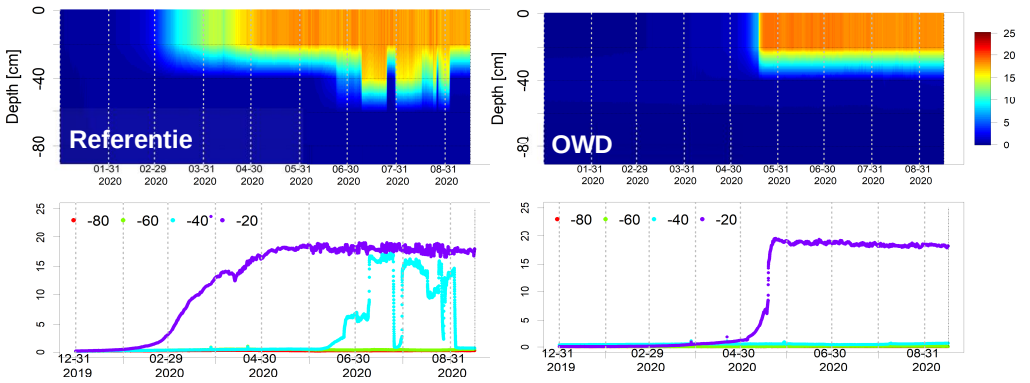
De redoxmetingen geven op alles sites een zeer eenduidig en waardevol beeld van de redoxtoestand van de bodem. Figuur 6.23 geeft een voorbeeld van het referentie- en OWD-perceel in Aldeboarn**.** Duidelijk is te zien dat hoge redoxwaarden dieper in het referentieperceel voorkomen dan in het perceel met onder water drainage (OWD). De redoxwaarden zeggen niet direct iets over de afbraak, alleen dat zuurstof aanwezig is. De aanwezigheid van zuurstof kan leiden tot hogere afbraak maar als er actieve afbraak is daalt het zuurstofgehalte en daarmee de redoxwaarde.



Figuur 6.23: Redoxpotential voor 1 van de 3 posities in het referentieperceel en bij de drain in het OWD-perceel bij Aldeboarn.

6.8 O_2

De OXYBase sensoren van PreSens meten zuurstofgehalten in gewichtspercentage. Figuur 6.24 geeft een voorbeeld van Aldeboarn, waar we duidelijk zien dat zuurstof minder diep lijkt te komen dan we op basis van de redoxsensoren zouden verwachten. Hier meten we echter vooral het zuurstofgehalte in de bodemlucht en niet in het bodemwater. We gaan komend jaar uitzoeken hoe we met deze sensoren ook beter zuurstofgehaltes in het bodemwater kunnen meten.

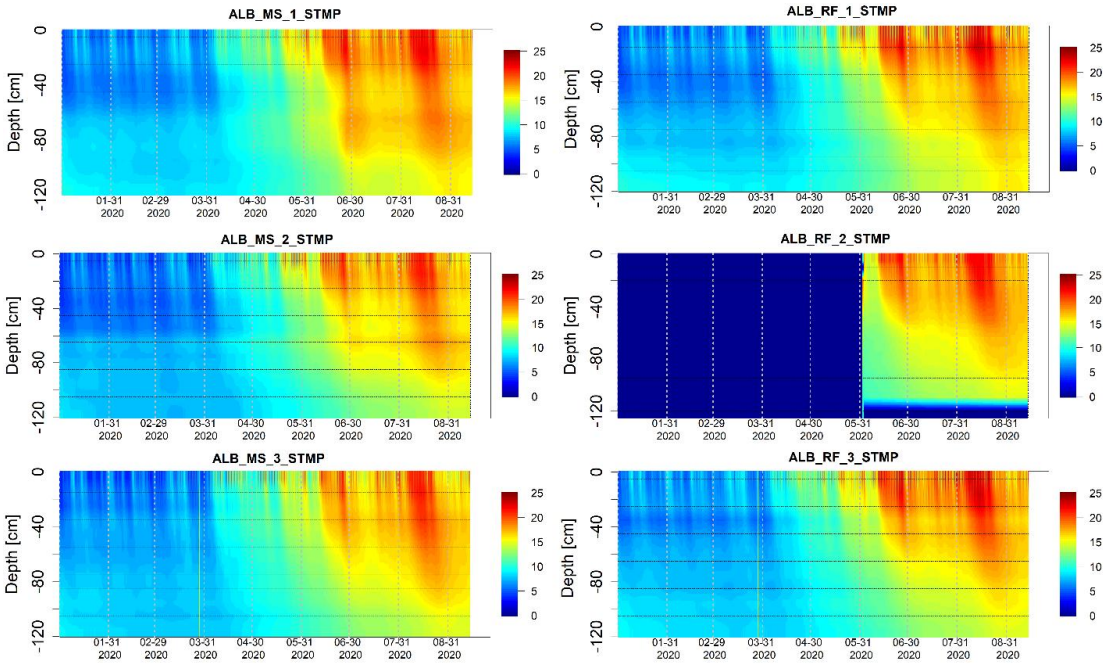


Figuur 6.24: Zuurstofconcentraties in gewichtsprocenten in Aldeboarn

6.9 Bodemtemperatuur

Over het algemeen laten zowel maatregel- als referentieplots van alle sites een vergelijkbaar (en voorspelbaar) temperatuurverloop in de diepte zien: vanaf het begin van de metingen (start v/h jaar) t/m ~eind maart zijn bodemtemperaturen in zowel het maatregel- als referentieplot vrij stabiel (voor deze periode alleen data van Aldeboarn beschikbaar; Figuur 6.25), waarbij de bodemtemperatuur bovenin (tot ca. 60 cm) duidelijk lager is dan de laag tot de onderkant van de probe (120 cm-mv). Variatie in bodemtemperatuur neemt op alle locaties duidelijk af met toenemende diepte: de temperatuur van de toplaag van de bodem varieert het meest van dag tot dag als gevolg van variatie in atmosferische temperaturen, instraling en neerslag. Vanaf april is er een stijgende lijn in de bodemtemperatuur op alle gemeten dieptes te zien (t/m 120 cm-mv). Ook vindt er een omslag plaats van lagere temperaturen bovenin de bodem naar hogere temperaturen bovenin de bodem (e.g. Figuur 6.25).

Hieronder zijn de bodemtemperaturen voor Aldeboarn te zien, de locatie waar de langste meetreeks voor beschikbaar is. Te zien is dat er geen sterke verschillen tussen maatregel- en referentieplot zijn. Verder valt het op dat in het maatregelplot de bodemlaag rond ca. 70 cm-mv in de periode eind juni tot 14 september (einde meetreeks) warmer lijkt te zijn dan de laag daarboven en daaronder. Dit is het duidelijkst direct naast de drain en neemt af met toenemende afstand van de drain (Figuur 6.25). Een mogelijke verklaring voor deze observatie is infiltratie van warm slootwater via de drain. Echter, de slootwatertemperatuur van de sloot waarin de drains uitkomen, is over het algemeen niet hoog genoeg om te beargumenteren dat dit het geval was. Wel moet opgemerkt worden dat de slootwatertemperatuur gemeten is met de diver waarmee het slootpeil gemeten wordt en welke zich onderin de sloot bevindt. Het is dus mogelijk dat slootwater ter hoogte van de drainmonden warmer is geweest. Komend jaar, wanneer een set sloten in het kader van het sloot- en open-wateronderzoek intensief zal worden gemonitord, zal slootwatertemperatuur op meerdere dieptes gemeten worden.



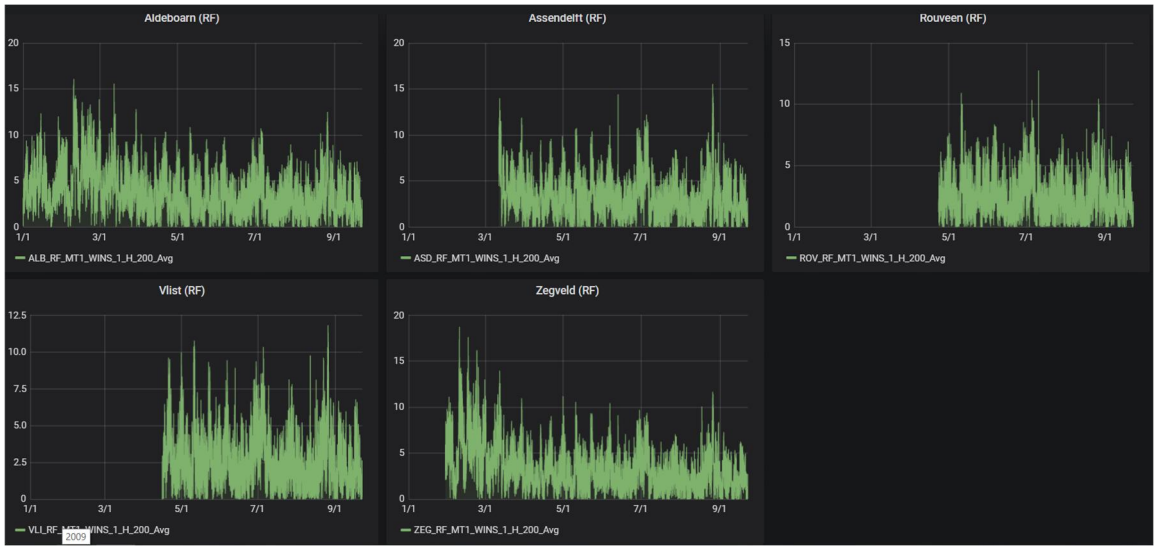
Figuur 6.25: Verloop van de bodemtemperatuur in Aldeboarn in het maatregel- (links) en referentieplot (rechts). MS 1–3 laten respectievelijk de bodemtemperatuur naast de drain, op ¼ drainafstand en ½ drainafstand zien.

6.10 Meteo-sensoren

Op alle meetsites is in de loop van 2020 een meteo-station opgezet. Deze appratuur heeft over het algemeen goed gefunctioneerd en een bijna continue meetreeks opgeleverd. Afgezien van de standaardvariabelen temperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid en -richting is ook de stralingsbalans in detail gemeten. Met name de gereflecteerde straling in de diverse golflengte-banden geven veel informatie over de aard en staat van het onderliggende (gras-)oppervlak. De combinatie van kwantumsensoren in het PAR-gebied (400-700 nm) en het nabije infrarood (NIR, 700-1000 nm) kunnen gebruikt te worden om een waarde te berekenen vergelijkbaar met de veelgebruikte remote-sensing waarde ‘NDVI’ - een maat voor de ‘groenheid’ van het oppervlak (Figuur 6.31). Figuur 6.26 t/m Figuur 6.30 geven een overzicht van de gemeten variabelen. De kortgolvige stralingscomponenten zijn wat lastig weer te geven in een eenvoudige overzichtsgrafiek, maar we kunnen stellen dat al deze stralingscomponenten goed gemeten zijn, met geen uitval, afgezien van een korte periode in mei in Zegveld waarbij een sensor scheef hing.

Figuur 6.26: Luchttemperatuur in C°, op de diverse locaties vanaf 1 januari. de oranje reeks onderaan vertegenwoordigt de standaarddeviaties.

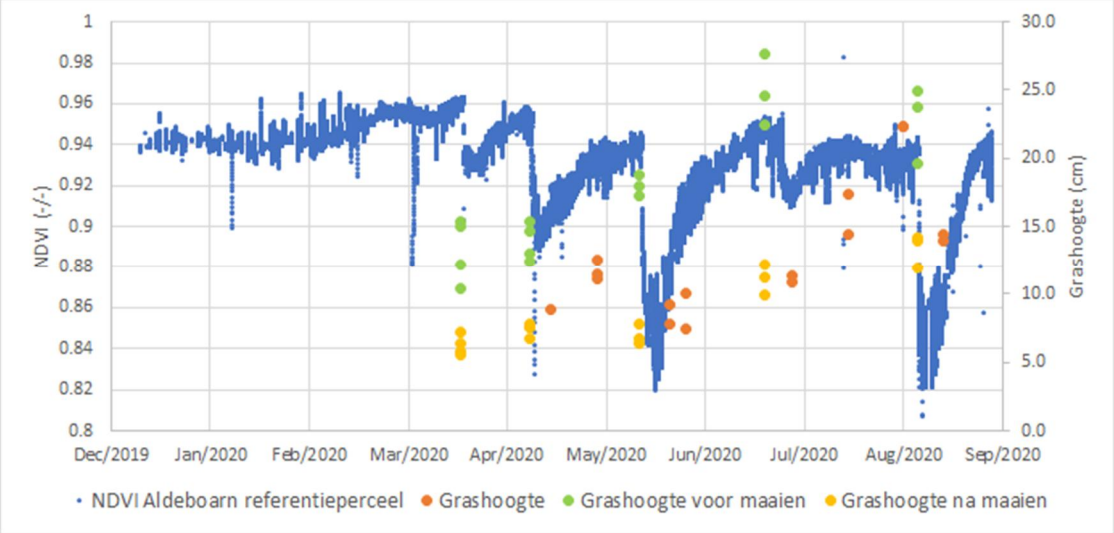
Figuur 6.27: Als Figuur 6.26, nu voor relatieve luchtvochtigheid in %



Figuur 6.28: Als Figuur 6.26, nu voor windsnelheid op 2.5 m, in m/s

Figuur 6.29: Als Figuur 6.26, nu voor langgolvige straling IN en UIT, in W/m2. In Zegveld heeft begin mei de sensor scheef gehangen.

Figuur 6.30: Als Figuur 6.26, nu voor neerslag, in mm/30min (let op, de meetreeksen beginnen op verschillende momenten in de tijd)



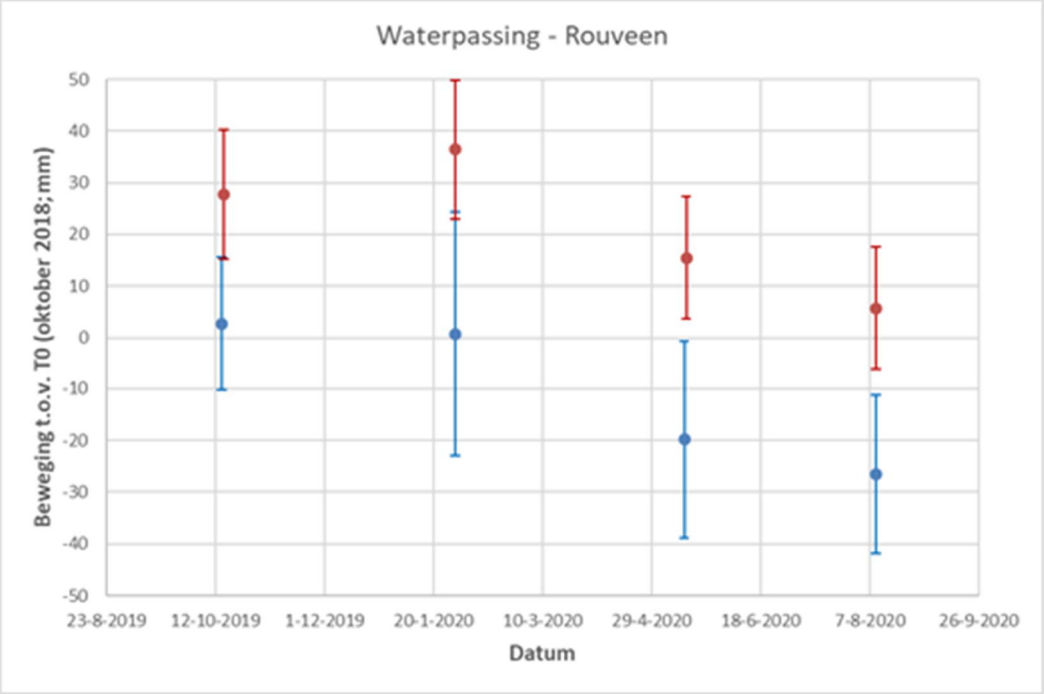
Figuur 6.31: Overdag-waarden voor NDVI (blauw punten, linker as) en grashoogte (oranje punten, rechter as) in Aldeboarn sinds maart 2020, berekend uit de combinatie van reflecties van PAR en NIR. Alle dips komen zeer goed overeen met maai-momenten, waarna het gras (de mate van groenheid) zich steeds weer herstelt. Ook lijkt de NDVI goed gecorreleerd met de grashoogte, waarbij rekening gehouden moet worden met het feit dat de grashoogtemetingen vanaf juli lager uitvallen vanwege gebruik van een ander instrument.

6.11 Bodembeweging

6.11.1 Waterpasmetingen

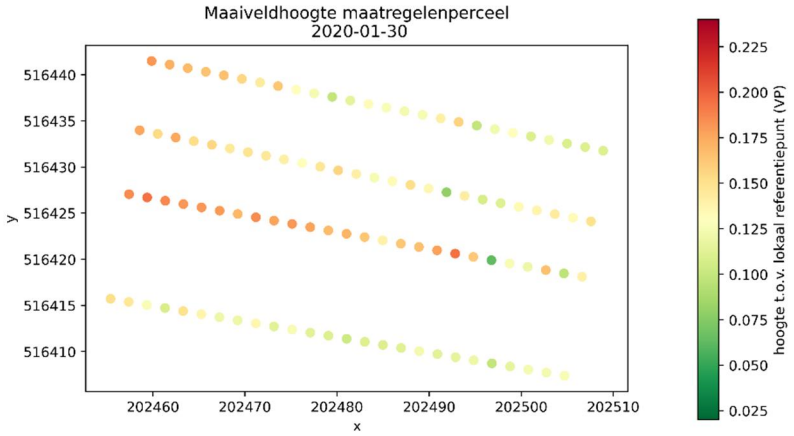
Rouveen

In het eerste NOBV jaar is in Rouveen gewaterpast in oktober 2019, en januari, mei en augustus 2020. In Figuur 6.32 is de gemiddelde hoogte en standaardafwijking per perceel per meting getoond.

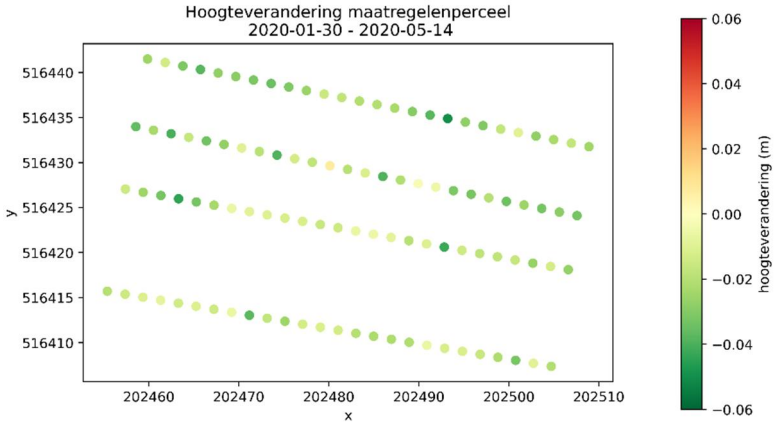


Figuur 6.32: Gemiddelde hoogte en standaardafwijking per perceel per meting op de locatie Rouveen. De verticale staven geven de standaardafwijking weer.

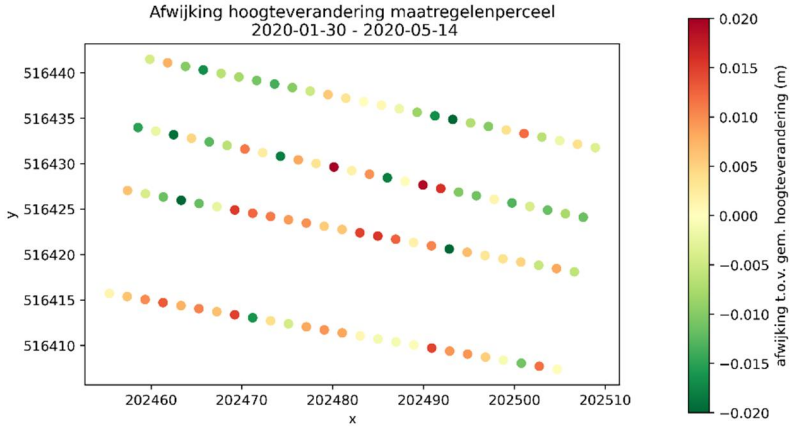
Naast het gemiddelde en standaardafwijking per perceel is er tevens gekeken naar de variatie van de hoogte binnen een perceel, de hoogteverandering op puntlocatie, en de afwijking van deze laatste ten opzichte van de gemiddelde hoogteverandering. Voorbeelden hiervan worden gegeven in Figuur 6.33, Figuur 6.34 en Figuur 6.35 respectievelijk. Bij een voldoende lange meetreeks (nu nog niet) geeft dergelijke informatie een beeld van ruimtelijke en temporele variaties in hoogte(verandering) binnen een perceel. Dit kan informatie bieden over of hoogteverandering willekeurig is of dat er sprake is van ruimtelijke correlaties.



Figuur 6.33: Maaiveldhoogte maatregelenperceel Rouveen ten opzichte van referentiepunt op 30 januari 2020.



Figuur 6.34: Hoogteverandering maatregelenperceel Rouveen tussen 30 januari en 14 mei 2020. Er is duidelijk te zien dat de meeste punten zijn gezakt (groen).



Figuur 6.35: Afwijking van de hoogteverandering maatregelenperceel Rouveen tussen 30 januari en 14 mei 2020 ten opzichte van de gemiddelde hoogteverandering. Rode punten zijn minder hard gedaald en groene punten zijn sneller gedaald dan de gemiddelde hoogteverandering.

Zegveld

Hoogtemetingen zijn in voorjaar 2020 uitgevoerd op alle percelen, en de hoogtes zijn vergeleken met eerdere hoogtemetingen. Figuur 6.36 laat resultaten zien voor perceel 16, en laat zien dat sinds 1992 het oppervlak met zo'n 15 cm gedaald is. De resultaten zullen ook uitgedrukt worden in een kaart die het verschil in hoogte laat zien tussen de huidige (2020) meting en de voorgaande meting (in 2003). Deze kaart komt binnenkort beschikbaar.

Daarnaast zijn op perceel 16 periodieke metingen gedaan rond de vaste punten, om daarmee informatie over bodemhoogte te krijgen die gebruikt kan worden voor een vergelijking met de data van de extensometers.

De zakplaatjes op ca 40, 80, 120 en 160 cm – maaiveld op de percelen 13 t/m 16 zijn in het voorjaar van 2020 geplaatst, de hoogte van de zakplaatjes wordt bij de waterpassing van de dwarsraaien in het voorjaar meegenomen. Bij de waterpassing van de maaiveldraaien eind maart – begin april waren nog niet alle zakplaatjes geplaatst. In Tabel 6.3 en 6.4 zijn de resultaten van de eerste meting weergegeven.

Tabel 6.3: Hoogte zakplaatjes en maaiveld in m. t.o.v. NAP van omgeving zakplaatjes perceel 13 en 14 voorjaar 2020

Datum opname	**3-4-2020**	**1-4-2020**	**1-4-2020**	**3-4-2020**	**3-4-2020**	**3-4-2020**
Perceel	13	13	13	14	14	14
Behandeling	Drukdr	Referentie	Onderwater-dr	Drukdr	Referentie	Onderwater-dr
maaiveld	-2.436	-2.433	-2.358	-2.456	-2.426	-2.440
40 cm-mv		-2.826	-2.757	-2.838	-2.827	-2.823
80 cm-mv		-3.142	-3.043	-3.126	-3.246	-3.229
120 cm -mv			-3.449	-3.574	-3.558	-3.596
160 cm -mv				-3.975	-3.925	-3.971

Tabel 6.4: Hoogte zakplaatjes en maaiveld in m t.o.v. NAP van omgeving zakplaatjes perceel 15 en 16 voorjaar 2020

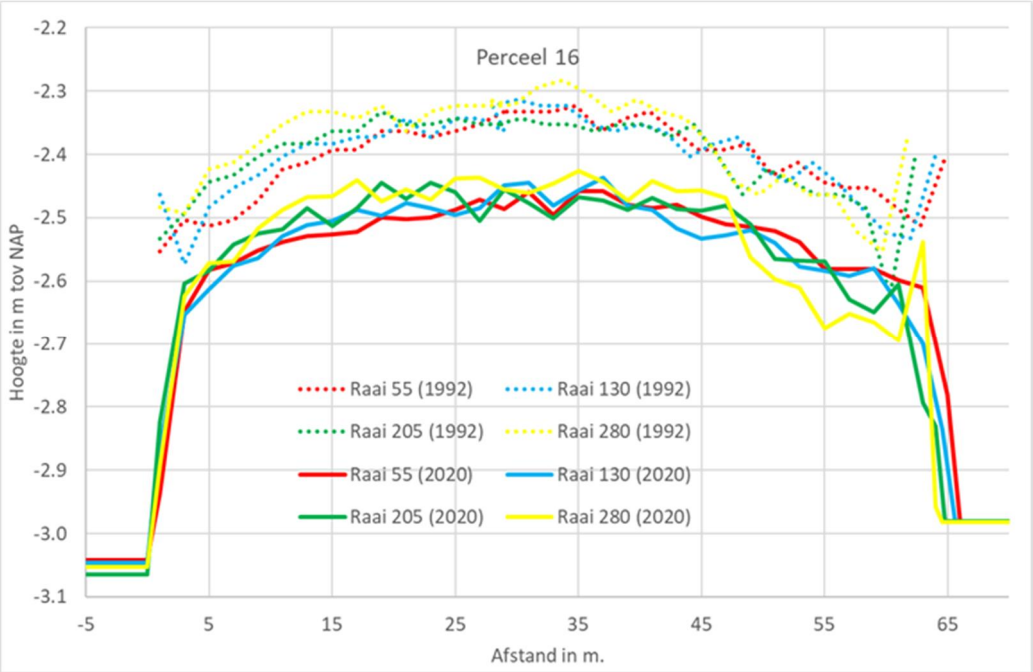
Datum opname	**1-4-2020**	**1-4-2020**	**1-4-2020**	**30-3-2020**	**30-3-2020**	**30-3-2020**
Perceel	15	15	15	16	16	16
Behandeling	Drukdr	Referentie	Onderwater-dr	Drukdr	Referentie	Onderwater-dr
maaiveld	-2.602	-2.589	-2.589	-2.527	-2.501	-2.506
40 cm-mv	-3.030	-3.005	-2.925	-2.920	-2.916	-2.892
80 cm-mv	-3.361	-3.351		-3.281	-3.304	-3.252
120 cm -mv	-3.760	-3.732	-3.724	-3.671	-3.667	-3.667
160 cm -mv	-4.158	-4.121	-4.125	-4.060	-4.031	-4.041

Tijdens de waterpassing van de raaien op perceel 13 en 16 in augustus 2020, zijn de zakplaatjes ook opgemeten. In Tabel 6.5 is voor de zakplaatjes waarvoor 2 metingen beschikbaar zijn het verschil weergegeven.

Tabel 6.5: Daling van hoogte van de zakplaatjes en het maaiveld in m. tussen begin april (Tabel 6.3 en 6.4) en 4 en 5 augustus 2020.

Perceel	**13**	**13**	**13**	**16**	**16**	**16**
Behandeling	Drukdrains	Referentie	Onderwater-drains	Drukdrains	Referentie	Onderwater-drains
maaiveld	0.012	0.055	0.026	0.037	0.073	0.041
40 cm-mv		0.035	0.016	0.011	0.047	0.019
80 cm-mv		0.033	0.011	0.007	0.039	0.014
120 cm -mv			0.013	0.008	0.042	-0.001
160 cm -mv				0.007	0.043	0.016

Tijdens de tweede meting valt op dat het maaiveld op perceel 13 met een hoog peil minder is gedaald dan op perceel 16 met een diep peil. Verder is de daling het grootst op de referentieplots en het laagst bij plots met drukdrains. De maaivelddaling in de omgeving van de zakplaatjes komt goed overeen met de gemiddelde maaivelddaling in de raaien.

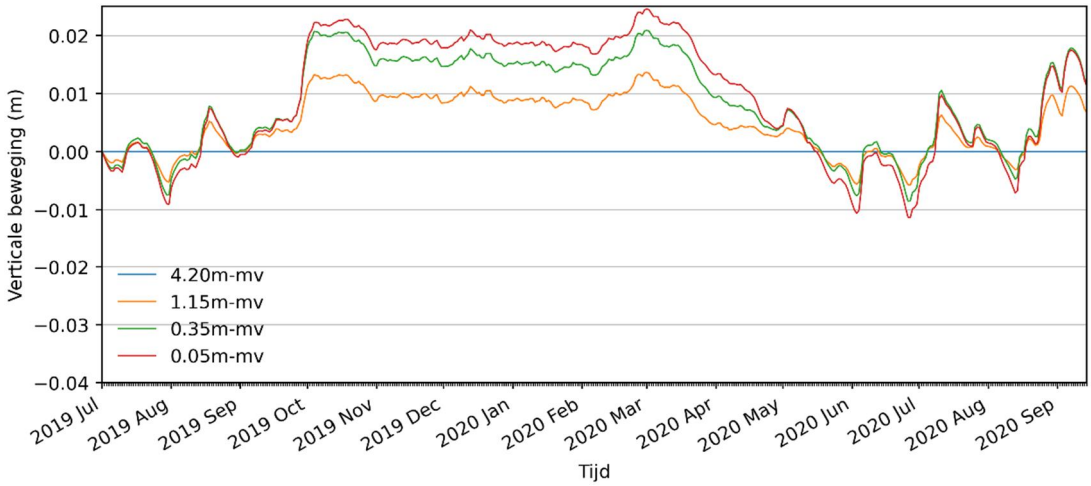


Figuur 6.36: Hoogtemetingen van raaien in perceel 16, Zegveld, in 1992 en 2020. Raaien liggen in de breedterichting van het perceel. Lage waarden links en rechts in het figuur zijn de sloten die aan het perceelgrenzen.

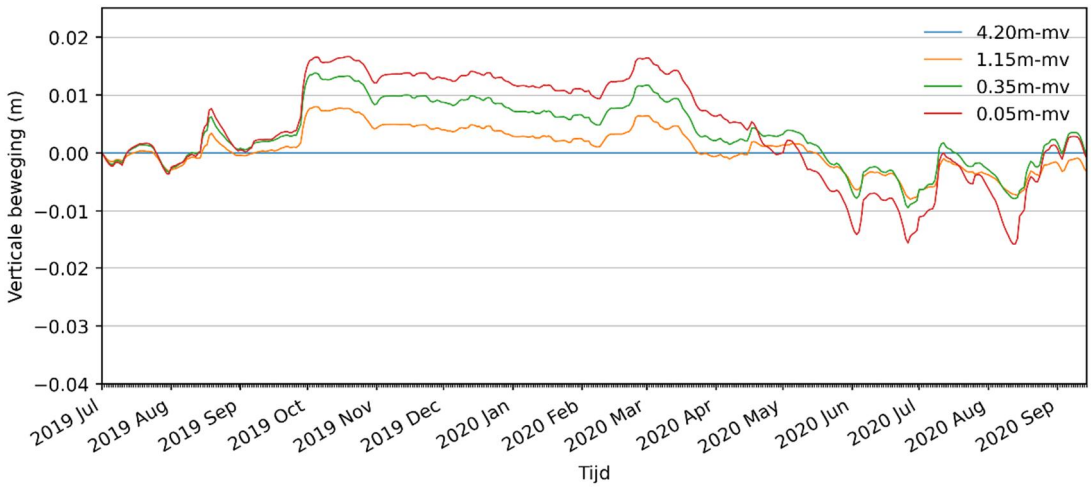
6.11.2 Extensometer

De extensometers in Aldeboarn, Assendelft, Zegveld en Vlist zijn geplaatst tussen half mei en begin juni 2020. In Rouveen zijn de extensometers al eerder (november 2018) binnen de lokale pilot onderwaterdrainage geplaatst, en meten daarom al sinds het begin van het eerste NOBV jaar. Omdat de verschillende type ankers van de extensometers enige tijd nodig kunnen hebben om zich te zetten in, c.q. goed meebewegen met, de omliggende grond, kunnen er nog geen harde conclusies worden getrokken op basis van de eerste 1 à 2 maanden van de meetreeksen. Toch laten de grafieken nu al een plausibel en eenduidig beeld zien (Bijlage C), waarbij de meetreeks van Rouveen wel al langer meet en dit dus ook al meer inzichten biedt (Figuur 6.37 en Figuur 6.38). Over het algemeen laten de grafieken zien dat het maaiveldniveau de grootste verticale beweging vertoont, en dat dieperliggende niveaus vaak substantieel bijdrage aan de totale maaiveldbeweging. Dit duidt op de bijdrage van verschillende processen dit spelen in verschillende grondlagen; bijvoorbeeld, krimp-zwel in de bovengrond en een duidelijke elastische respons in de verzadigde dieper ondergrond. De bijdragen van de verschillende diepte-intervallen, c.q. processen, gedurende het jaar, en relaties tussen de gemeten beweging en andere factoren, zoals de grondwaterstand, bodemeigenschappen en opbouw van de ondergrond, worden komend jaar verder onderzocht. Eerste analyses duiden op een doorgaans sterke correlatie tussen de tussen de bodembeweging en de grondwaterstand.

In Rouveen is goed de invloed van de seizoenen te zien: in oktober 2019, het begin van het natte seizoen gaan alle niveaus relatief snel omhoog, om vervolgens gedurende het natte seizoen rondom een niveau te blijven schommelen (Figuur 6.37 en Figuur 6.38). Vanaf maart 2020, het begin van de lente en drogere seizoen, is een dalende trend te zien van alle niveaus, waarbij het maaiveldniveau de grootste daling laat zien. In de zomer/droge periode lijkt de dynamiek van de bodembeweging groter te zijn dan in de winter/natte periode. De totale verticale beweging van het maaiveldniveau in de periode juli 2019 – juli 2020 is in Rouveen circa 3 cm.



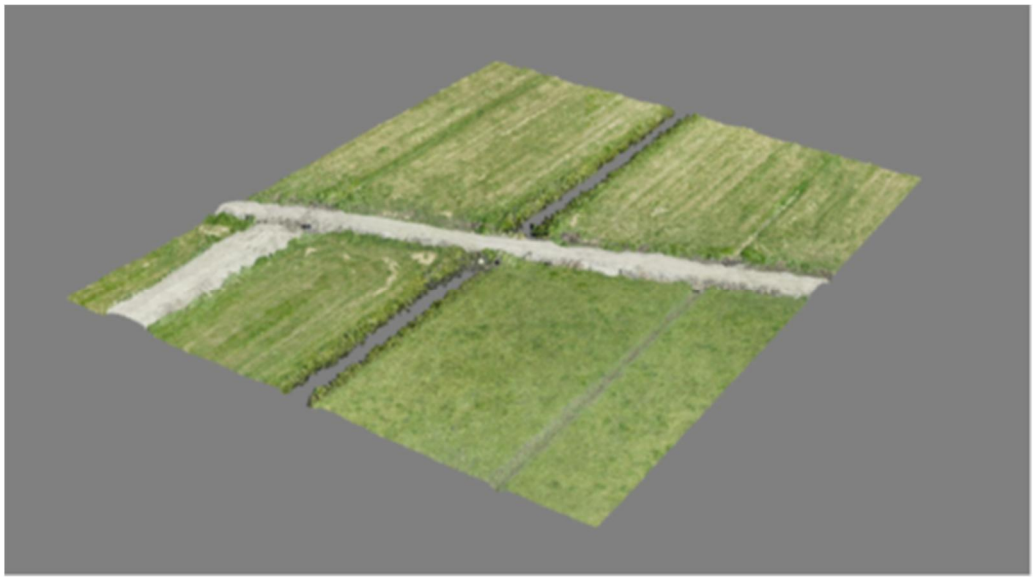
Figuur 6.37: Extensometer meetreeks voor het referentieperceel in Rouveen.



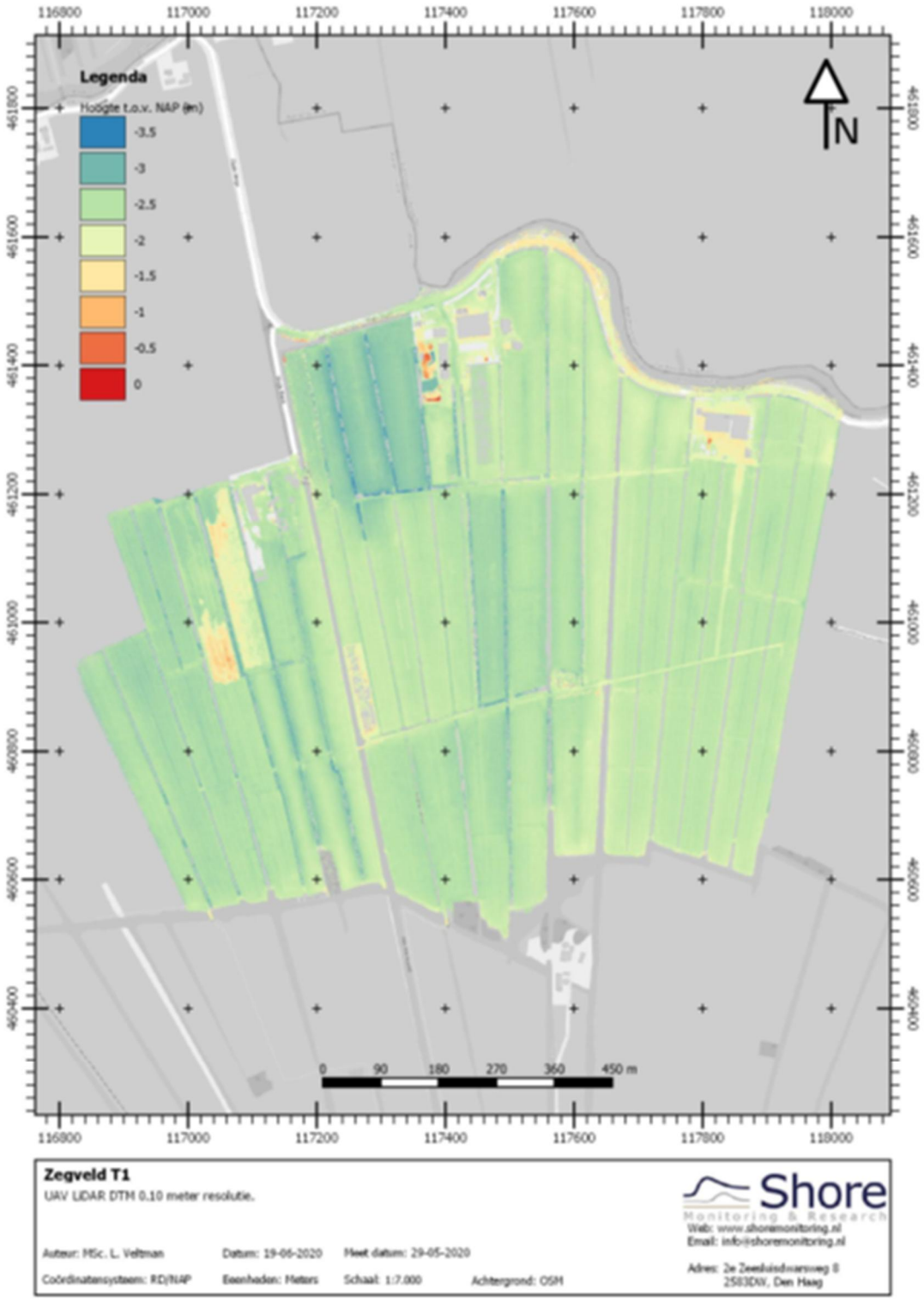
Figuur 6.38: Extensometer meetreeks voor het onderwaterdrainageperceel in Rouveen.

6.11.3 LiDAR

Airborne LiDAR metingen Rouveen en Zegveld
Om een indruk te krijgen van de eerste airborne LiDAR restulaten worden hier ter illustratie een aantal figuren (Figuur 6.39 en Figuur 6.40) getoond van de eerste resultaten in Zegveld, waar de meest uitgebreide LiDAR metingen plaatsvinden (boerderijschaal, meer Grond Controle Punten, vooraf maaien; zie paragraaf 4.6). Per meting wordt er een veldrapportage opgeleverd door Shore Monitoring. Pas na meerdere metingen kunnen er voldoende hoogteveranderingskaarten worden gemaakt en worden vergeleken met veldmetingen, op basis waarvan de resultaten verder kunnen worden geïnterpreteerd.

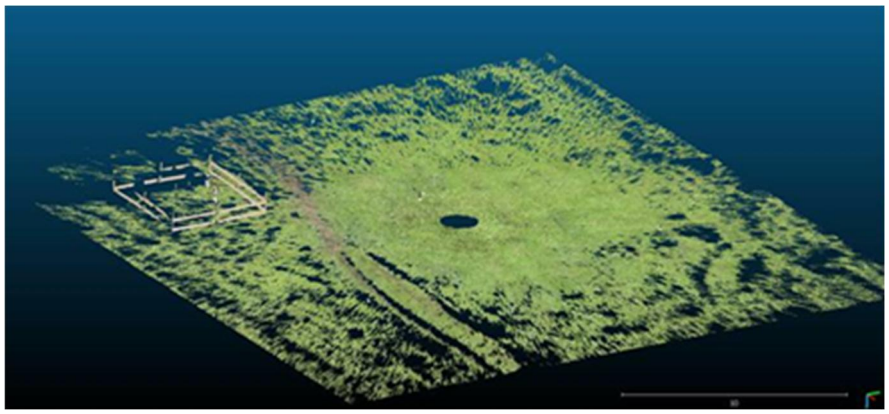


Figuur 6.39: Deel van de puntenwolk van een LiDAR aan drone meting (Zegveld, mei 2020 (T1) meting).



Figuur 6.40: Hoogtekaart op basis van LiDAR aan drone meting (Zegveld, mei 2020 (T1) meting). Resolutie 0.10 x 0.10 m.

Laser aan statief metingen Rouveen en Zegveld
In Figuur 6.41 is een eerste laserbeeld van een meting in Rouveen uit juli weergegeven. Pas na de volgende meting (september 2020) kunnen er verschilkaarten van de hoogte worden gemaakt.



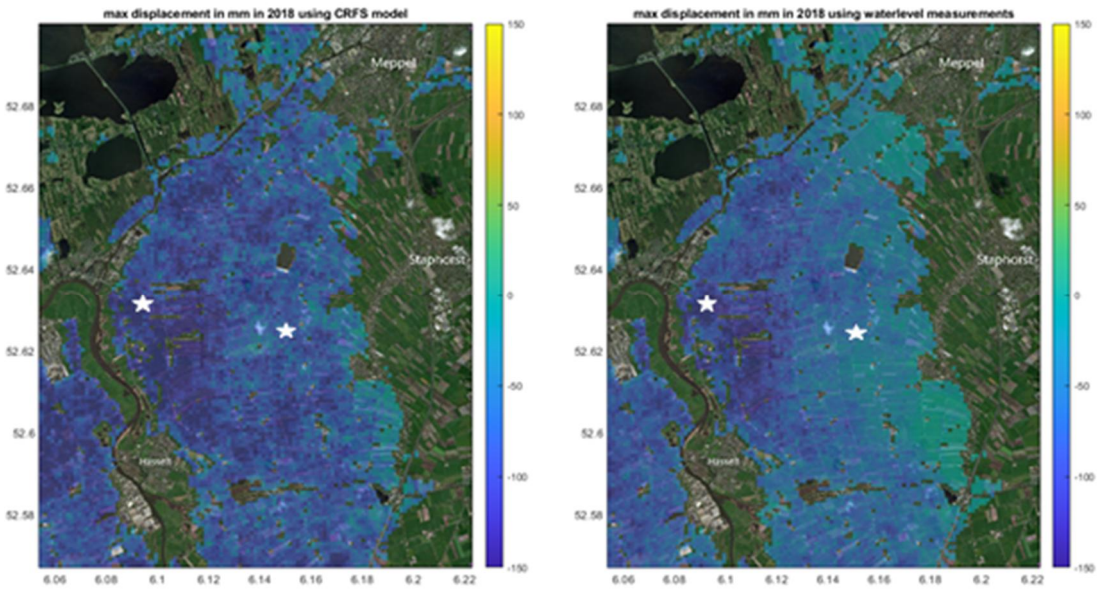
Figuur 6.41: Laserbeeld gemaakt met laser aan mobiel statief in juli in Rouveen. De zwarte punt in het midden is de opstelplaats van de laserscan.

6.11.4 InSAR

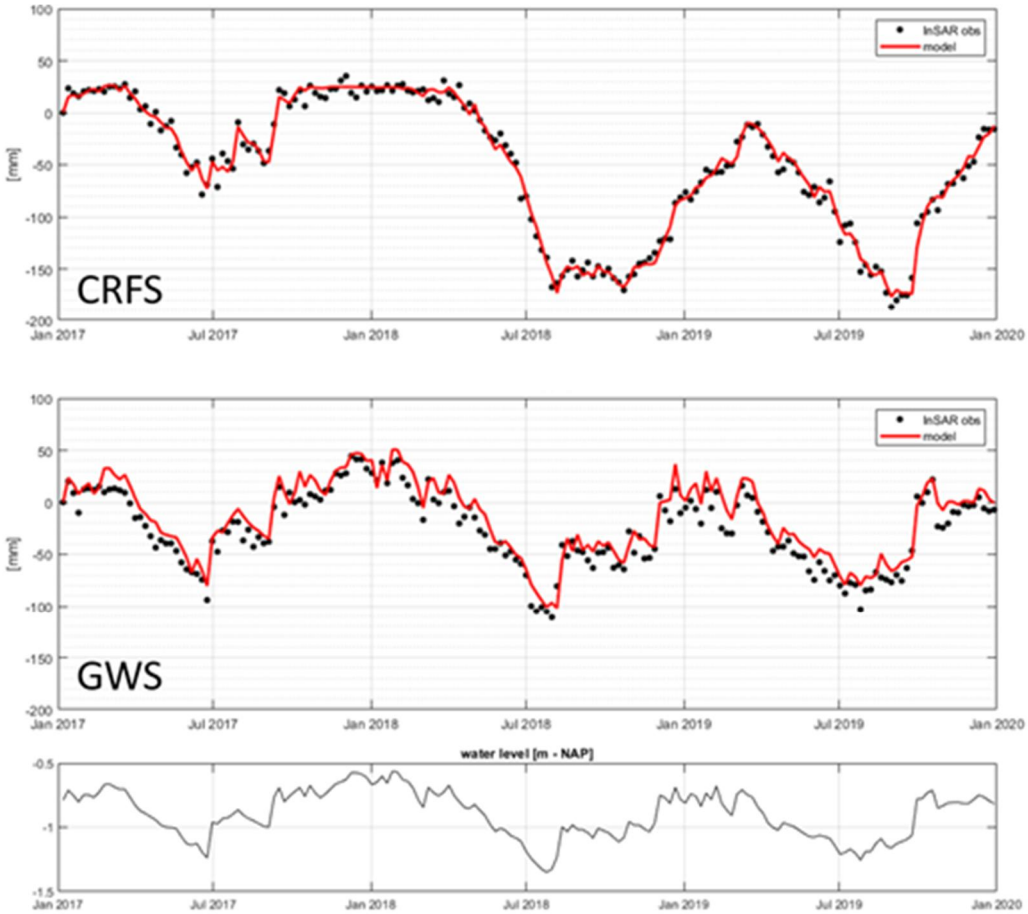
De resultaten van de InSAR analyse zijn gevisualiseerd in Figuur 6.42 en Figuur 6.45 voor de analyse van Rouveen en Zegveld, respectievelijk. In het geval van Rouveen worden twee kaarten getoond, links de analyse waarbij het cumulatieve neerslagtekort (Cumulative RainFall Surplus - CRFS) gebruikt wordt en rechts de analyse waarbij het grondwaterstanden wordt gebruikt. De gebruikte radar gegevens zijn voor beide analyses hetzelfde. De kaarten laten de geschatte maximale verticale beweging voor het jaar 2018 zien. Het grote neerslagtekort in 2018 veroorzaakt schattingen van meer dan 10 centimeter bodemdaling. De kaarten tonen een ruimtelijke variabiliteit, wat inhoudt dat veengebieden lokaal verschillend reageren op droogte en/of regen (c.q. neerslagtekort), en variaties in de grondwaterstand.

Opvallend is het verschil tussen beide Rouveen analyses; in het oosten van het studiegebied resulteert het CRFS-gebaseerde model in significant meer bodemdaling dan geschat wordt bij gebruik van het model op basis van grondwaterstanden. Het verschil is te verklaren, doordat het grondwaterstandmodel een gecompliceerder model is (interpolatie van putgegevens) waarbij de lokale grondwaterstanden leidend zijn voor het afleiden van de juiste bodembeweging. In het oostelijke deel van het studiegebied blijkt de grondwaterstanddynamiek minder extreem dan in het westen, en is daardoor ook de bodembeweging minder extreem. Het CRFS-model daarentegen is gebaseerd op de weergegevens van Marknesse een heel aantal kilometers verderop. In Figuur 6.43 en Figuur 6.44 is het verschil in individuele tijdseries te zien voor twee locaties. Opvallend hier is het verschil in vorm van de tijdserie. Het grondwaterstandmodel is dynamischer, en laat een aantal momenten van plotselinge zwel zien, die niet terug te vinden zijn in het CRFS-gebaseerde model (bijvoorbeeld in augustus 2018). Deze verschillen resulteren in een andere (unwrapping) oplossing, waardoor de uiteindelijke schatting ook anders is. Dit is te zien in het significante verschil tussen de maximale bodemdaling geschat met het CRFS-gebaseerde model (~20 cm) en het model op basis van grondwaterstanden (~15 cm).

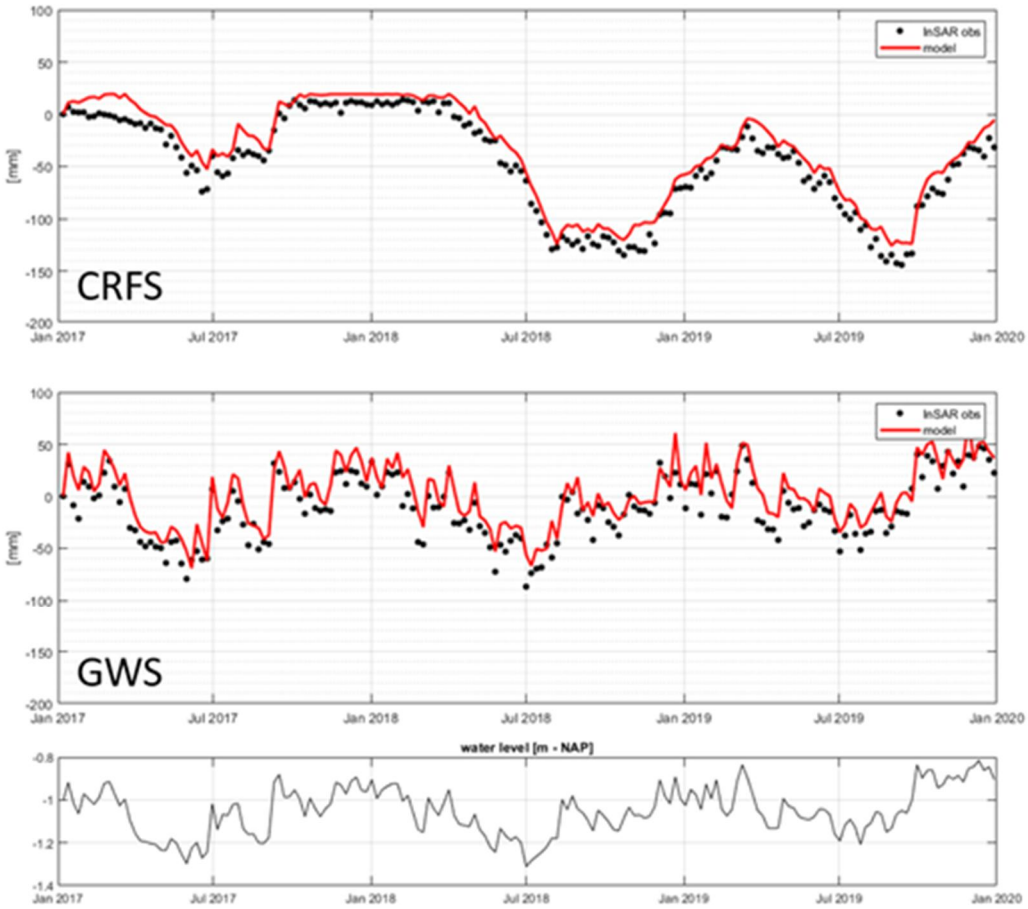
Omdat veldmetingen, met name de extensometermetingen, een sterke correlatie laten zien tussen maaiveldbeweging en grondwaterstand, heeft het onze voorkeur gebruik te maken van een model gebaseerd op lokale grondwaterstanden (gemeten in de veengronden). Echter, wanneer deze niet beschikbaar zijn (of van slechte kwaliteit) dan is het CRFS-gebaseerde model ook instaat een indicatie van maximale bodemdaling te geven. Om deze reden is voor Zegveld exclusief gebruik gemaakt van een CRFS-gebaseerde modelanalyse, omdat de grondwaterstanden (nog) niet van toereikende kwaliteit zijn. Bij Zegveld is een vergelijkbaar groot signaal gemeten als in Rouveen, met een maximale verticale beweging van meer dan 10 centimeter.



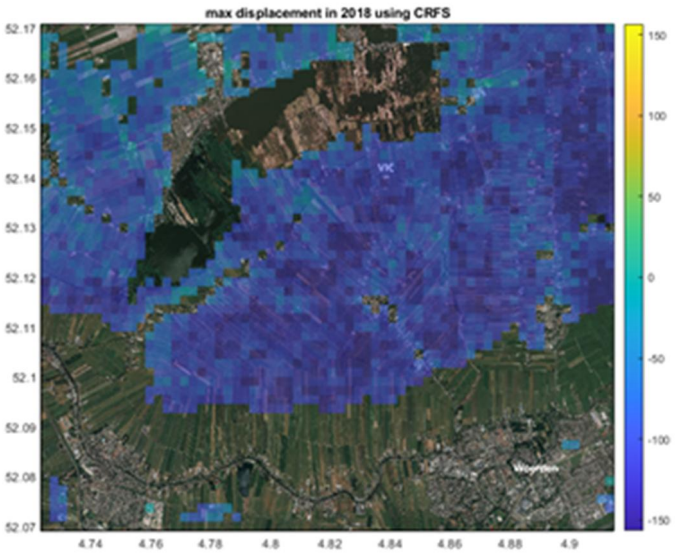
Figuur 6.42: Visualisatie van de maximale geschatte verticale bodembeweging in 2018, bepaald op basis van InSAR gegevens. Links: resultaten gebruikmakend van een CRFS-gebaseerd model. Rechts: resultaten gebruikmakend van een model op basis van grondwaterstanden in de omgeving. Tijdseries van twee locaties, aangegeven met de witte sterren zijn weergegeven in Figuur 6.43 (westelijke locatie) en Figuur 6.44 (oostelijke locatie).



Figuur 6.43: Tijdseries West – De zwarte rondjes zijn de schatting gemaakt met InSAR. De rode lijn geeft het model gefit op de InSAR oplossing weer. Boven: het CRFS-gebaseerde model. Midden: Het model op basis van grondwaterstanden. Onder: De (geïnterpoleerde) grondwaterstand.



Figuur 6.44: Tijdseries Oost - De zwarte rondjes zijn de schatting gemaakt met InSAR. De rode lijn geeft het model gefit op de InSAR oplossing weer. Boven: het CRFS-gebaseerde model. Midden: Het model op basis van grondwaterstanden. Onder: De (geïnterpoleerde) grondwaterstand.



Figuur 6.45: Visualisatie van de maximale geschatte verticale bodembeweging in 2018 rondom KTC Zegveld, bepaald op basis van InSAR gegevens.

Volgende stappen

Wanneer de resultaten worden vergeleken met recente meetgegevens van de extensometers, blijkt dat de maximale bodembeweging nog overschat wordt. Momenteel wordt er onderzocht hoe deze overschatting wordt veroorzaakt.

Het is duidelijk dat de radar observaties een ruimtelijk beeld leveren, maar dat schattingen minder nauwkeurig zijn dan de gegevens van een extensometer of soortgelijke veldmetingen. Een volgende stap is dan ook om databronnen, inclusief veldmetingen, te gaan combineren in een totaalanalyse. Dit gaat een stap verder dan het huidige gebruik van het CRFS-gebaseerde model en model gebaseerd op grondwaterstanden. Die aanpak is redelijk tot goed in staat de grote variabiliteit (op een tijdschaal van maanden) te vangen. Echter, snelle veranderingen in hoogte (tijdschaal dagen-week) worden minder goed waargenomen. Waarschijnlijk als gevolg van unwrapping fouten. We verwachten dat dit mede de oorzaak is van de overschatting van maximale bodembeweging.

6.12 Bodemonderzoek

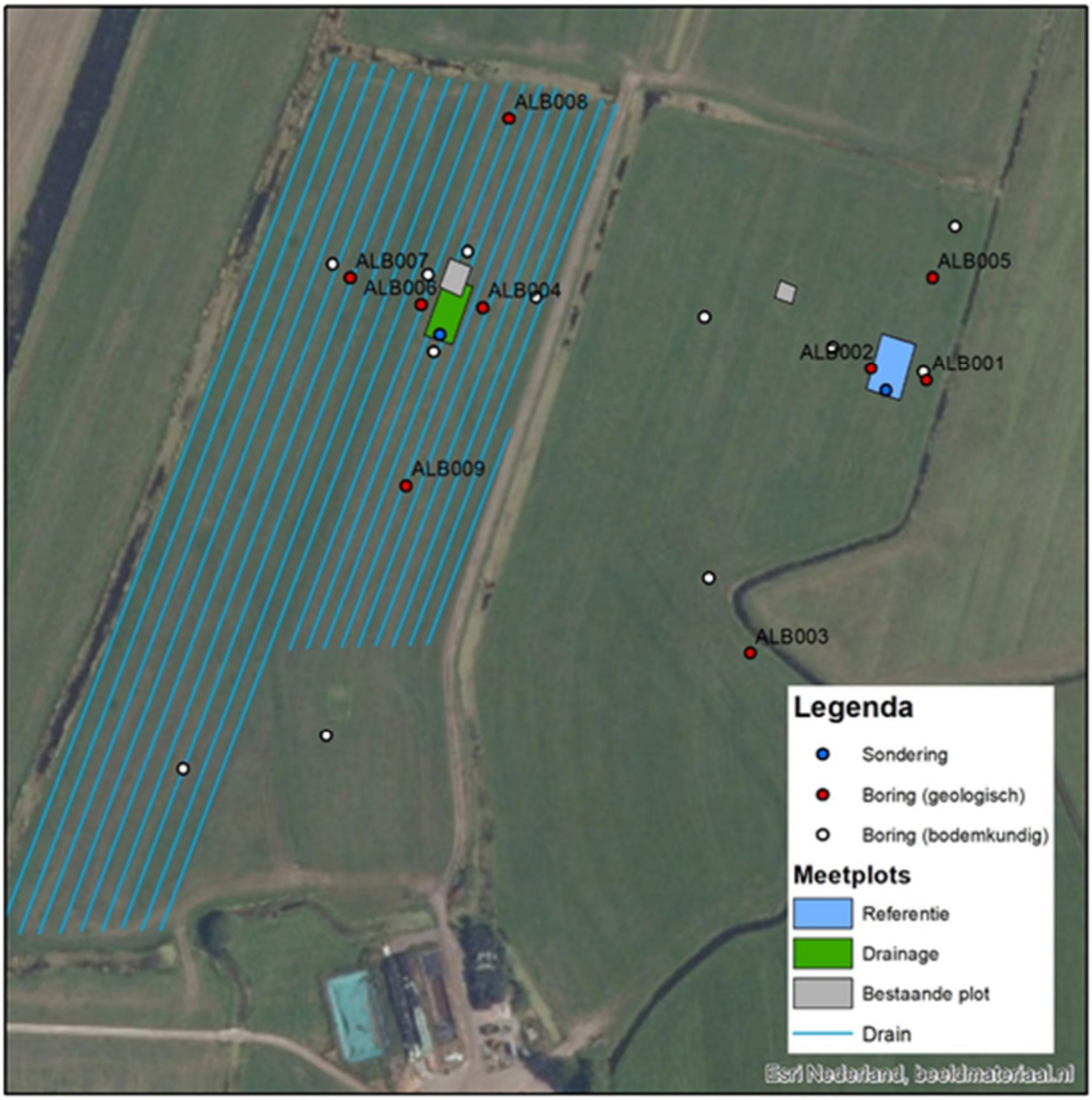
6.12.1 Geologisch onderzoek

In deze paragraaf wordt per meetlocatie de opbouw van de ondergrond beschreven op basis van handboringen en sonderingen.

Aldeboarn

In Aldeboarn zijn op 7 november 2019 negen geologische handboringen gezet (Figuur 6.46; Bijlage D). Daarnaast zijn op 23 maart twee sonderingen uitgevoerd, op de twee extensometerlocaties (Figuur 6.46; Bijlage E). De opbouw van de ondergrond wordt over het algemeen gekenmerkt door klei op veen op detritus op zand. Het kleidek varieert in dikte tussen circa 0.25 m tot maximaal 0.65 m. De klei is meestal zwak tot matig humeus en zwak tot matig siltig, en is geroerd. De klei is vaak stug (‘knippig’) en behoort tot de Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren.

Het onderliggende veenpakket (Formatie van Nieuwkoop), wat reikt tot een maximale diepte van 2.10 m-mv, bestaat hoofdzakelijk uit veenmos en wollegras, soms met een spoor van heideresten. Tot maximaal een diepte van 0.95 m-mv is het veen veraard: het is matig tot sterk amorf, donkerbruin tot zwartbruin van kleur, en vaak brokkelig. Hieronder is het veen bruin tot roodbruin van kleur, meestal zwak amorf en vezeliger (matig tot sterk vezelig). Op de overgang naar het onderliggende zand bevindt zich een 0.05 tot 0.20 m dikke, slappe en sterk amorfe, fijne detrituslaag met een zandige bijmenging. De onderliggende Pleistocene zandlaag (Formatie van Boxtel) is in de top meestal kleiig en zwak humeus. Er is sprake van lichte podzolvorming (A-horizont). In boring 003 is dieper in de zandlaag een uiterst siltige, groen-gele kleilaag aangetroffen. Ook de sonderresultaten laten zien dat de bovenste 5 à 6 m van de Pleistocene afzettingen onder het veen bestaat uit een afwisseling van zandige tot kleiige lagen. Pas op een diepte van 7 à 8 m-mv schiet de (conus)weerstand flink omhoog. In deze laag is dan ook het diepste anker van de extensometer weggedrukt.



Figuur 6.46: Locaties van geologische boringen, bodemkundige boringen en sonderingen in Aldeboarn.

Rouveen

In Rouveen zijn op 17 januari 2020 geologische boringen gezet. De locaties van de geologische boringen in Rouveen zijn aangegeven in Figuur 4.. De opbouw van de ondergrond wordt over het algemeen gekenmerkt door klei op veen op zand, waarbij de zandondergrond begint op een diepte van circa 3.0 à 3.6 m-mv (Bijlage F). Meer naar het oosten toe, maar nog op het NOBV-perceel, begint het zand ondieper, op circa 1.6 m-mv. De bovenste 0.05 – 0.15 m bestaat meestal uit matig tot sterk siltige, zwak humeuze, klei. Daaronder bevindt zich een kleilaag tot -0.30 à 0.40 m-mv welke humusarm is (grijs), vaak stevig en met roestvlekken. De klei behoort tot de Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren. Hieronder bevindt zich een sterk amorfe zeggeveenlaag tot ongeveer 0.50 m-mv, soms dieper (Formatie van Nieuwkoop). Binnen 0.80 m-mv begint een zwak tot matig amorfe mosveenlaag, meestal matig vezelig (VEZ2) en een lage treksterkte (TS1). Er kunnen sporen van zegge en hout voorkomen in de veenmoslaag. In de buurt van de meetplots varieert de ondergrens van de mosveenlaag tussen de 0.80 en 1.15 m-mv, meestal rond de 1.00 m-mv. Onder de mosveenlaag komt hoofdzakelijk mineraalarm zeggeveen voor, mogelijk met riet- en houtresten. Lokaal is er rond 2.20-2.45 m-mv een zwak kleiig veen waargenomen (boringen 101 en B0-03).

Rondom de meetplots begint het Pleistocene zand tussen de 3.24 en 3.60 m-mv. Er kunnen bovenin het zandpakket nog kleiige of lemige of venige lagen voorkomen (bijvoorbeeld: veenlaag op 3.60-3.76 m-mv in boring 102).

Assendelft

In Assendelft zijn op 31 oktober 2019 geologische boringen gezet (Figuur 6.47, Bijlage G). Op 29 januari en 24 april zijn in totaal drie sonderingen uitgevoerd (Figuur 6.47; Bijlage H).
De Holocene deklaag is op deze locatie circa 16 à 18 m dik, afgeleid uit de sonderingen en het GeoTOP 3D ondergrondmodel (www.dinoloket.nl). De deklaag bestaat over het algemeen uit circa 2 m veen op >10 m mariene afzettingen (klei en zand; Formatie van Naaldwijk; Laagpakket van Wormer) op een relatief dunne Basisveenlaag op Pleistoceen zandige afzettingen (Formatie van Boxtel met daaronder Formatie van Kreftenheye).

De bovenste circa 0.30 m bestaat over het algemeen uit sterk kleiig veen, is sterk amorf, brokkeling, veraard en geroerd. Op een locatie, boring 005, bestaat de bovengrond uit zware klei. Onder deze toplaag bevindt zich (riet)zeggeveen, welke over het algemeen naar beneden toe minder amorf wordt en matig vezelig is. In twee boringen komt een kleilaagje voor in het veenpakket, op een diepte van 1.52 – 1.54 m-mv (boring 002) en 1.40 – 1.42 m-mv (boring 004). Tussen de ongeveer 1.70 en 2.20 m-mv wordt een in dikte wisselende sterk vezelige (rietzegge)veenlaag aangetroffen.

Figuur 6.47: Locaties van geologische boringen, bodemkundige boringen en sonderingen in Assendelft.

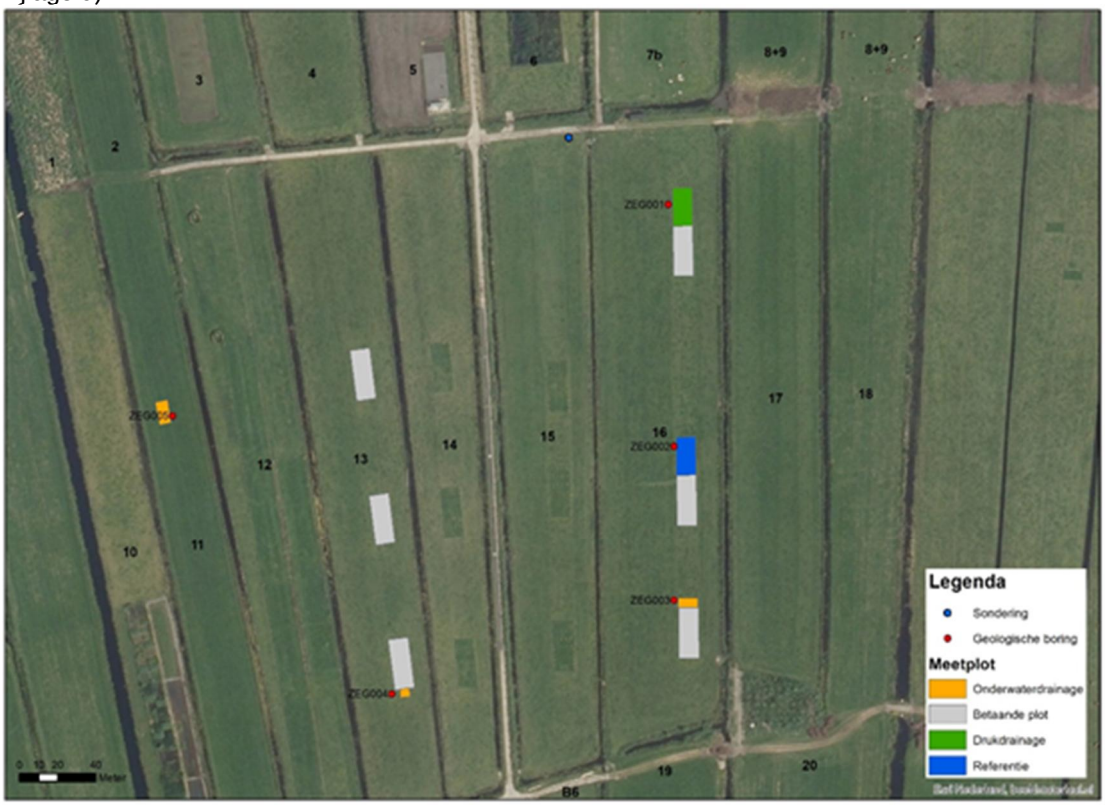
Op ongeveer 2.00 à 2.15 m-mv begint de mariene klei (zwak - sterk siltig – uiterst; Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer). Het mariene pakket 13 à 14 m dik, en bestaat uit een afwisseling van klei en zand, afgeleid uit de sonderingen en GeoTOP. Onder dit pakket komt een Basisveenlaag voor van enkele decimeters dik. Daaronder begint het Pleistocene zand (Formatie van Boxtel) op een diepte van circa 16 m-mv.

Zegveld

In Zegveld zijn geologische boringen uitgevoerd op 19 september 2020 (Figuur 6.48; Bijlage I). Op 6 januari is een sondering geplaatst (Figuur 6.48; Bijlage J).

De Holocene deklaag is vrij homogeen en heeft een dikte van circa 6.10 tot 6.35. Het bestaat vrijwel geheel uit veen op Pleistoceen dekzand (Formatie van Boxtel). In perceel 16 bestaat de bovenste 0.50 tot 0.80 m uit zwak tot sterk kleiig, sterk amorf, veen. De bovenste 0.30 m is sterk kleiig, veraard, en heeft een zandige bijmenging. Op boorlocatie 002 komt om 0.30 – 0.40 m-mv een kleilaag voor. Op perceel 13 (boring 004) en 11 (boring 005) bestaat de toplaag uit 0.30 m zwak kleiig, sterk amorf en veraard, veen. Onder de toplaag komt tot een diepte van circa 2.60 – 3.00 m-mv een mineraalarme bosveenlaag voor. Deze laag is over het algemeen zwak tot matig amorf en zwak vezelig, soms met veel (mogelijk grote stukken) hout. Onder de bosveenlaag bevindt zich een dikke laag zeggeveen tot op het zand. Net boven de zandondergrond kan nog een dunne laag bosveen voorkomen. In het zeggeveenpakket komen ook riet en/of enkele cm dikke rietveenlagen voor. Het veen is mineraalarm zwak tot matig amorf, met een wisselende vezeligheid. Op een diepte van circa 4.3 à 5.1 m-mv komt een enkele cm dik kleilaagje, en/of kleiig veen voor. Onder dit niveau komt vaak galigaan voor in het veen.

De top van de zandondergrond bestaat uit groen-grijs goed gesorteerd zeer fijn tot matig fijn dekzand, met een humeuze top (A-horizont). De sondeergrafiek laat zien dat het stevige, consistente, Pleistocene zand pas op een diepte van circa 9 m-mv begint (hoge weerstand; Bijlage J).



Figuur 6.48: Locatie van handboringen en sondering in Zegveld. Perceelnummers staan in zwart aangegeven.

Vlist

In Vlist zijn op 25 februari 2020 geologische boringen gezet (Figuur 6.49, Bijlage K). Op 17 april 2020 zijn twee sonderingen gezet (Figuur 6.49 ; Bijlage L).

De Holocene deklaag op deze locatie is circa 10 à 11 meter dik en bestaat uit een afwisseling van klei- en veenlagen, behorend tot respectievelijk de Formatie van Echteld en de Formatie van Nieuwkoop. Er kunnen ook zandige en zandige kleilagen voorkomen. De bovenste 0.35 – 0.45 m bestaat overwegend uit klei, soms met sterk kleiig veen aan het oppervlak. De klei is matig tot sterk humeus, matig tot sterk siltig en geroerd. Onder deze kleilaag bevindt zich een matig tot sterk amorfe bosveenlaag, welke soms iets kleiig kan zijn. De vezeligheid is meestal laag. Vaak begint rond de 2.0 m-mv een enkele dm dikke kleilaag. Daaronder verschilt de opbouw van plek tot plek; over het algemeen wordt een afwisseling aangetroffen van zegge-, riet- en bosveenlagen, gyttja en kleilagen met variërende humeusiteit en siltigheid.

Op een diepte van circa 10.0 m-mv komen kleiige afzettingen van de Formatie van Kreftenheye voor, de Laag van Wychen (o.b.v. GeoTOP), met daaronder zandige afzettingen van de Formatie van Kreftenheye.

Figuur 6.49: Locatie van handboringen en sondering in Vlist.

6.12.2 Bodemkundig onderzoek

WENR heeft in alle 5 de sites profielbeschrijvingen gemaakt, zie sectie 6.6 voor methode. Daarnaast heeft WENR in Zegveld, Rouveen en Aldeboarn monsters genomen voor analyse conform BRO-standaarden. Analyse van de monsters is voorzien voor jaar 2. In jaar 2 zullen ook monsters genomen worden in Vlist en Assendelft.

6.12.3 Geotechnische onderzoek

In Bijlage M is een overzicht gegeven van de afgeleide parameters van de eerste samendrukkingsproeven. Nog niet alle proeven zijn volledig verwerkt, dus dit is vooralsnog een tijdelijk overzicht. Hieruit lijkt een relatief geringe variatie in zowel de voorbelaste stijfheidsparameters a en RR als de maagdelijke stijfheidsparameters b en CR. Ook de kruipparameters c en ca vertonen een grote overeenkomst. De grensspanningen vertonen meer variatie. Bovenin zijn deze relatief hoog, wat ook verwacht kan worden op basis van een grotere invloed van veroudering door inwerking van zuurstof en weersinvloeden. Onder deze zone is er

vooralsnog geen duidelijk lijn te zien. Wellicht dat de nog te verwerken proeven hierin meer duidelijkheid geven.
De resultaten van de bepaling van het organisch stofgehalte zijn nog niet gereed. Nadere interpretatie moet inzicht geven in een eventuele relatie tussen de stijfheidsparameters en de indextesten als volumieke massa en organisch stofgehalte.
Opgemerkt moet worden dat de gepresenteerde parameters nog concept zijn. Kleine wijziging in de hoogte van sommige parameters is mogelijk.

6.13 Biogeochemie

In het kader van het NOBV zijn op vijf verschillende meetlocaties de broeikasgasemissies gemeten. Het betreft steeds een perceel waar een maatregel wordt getest (onderwater- of drukdrainage) en een referentieperceel (controle). De chemische samenstelling van de bodem en het poriewater zijn een goede indicator voor welke chemische processen er in de bodem spelen (o.a. redoxprocessen). Deze hebben een directe relatie met de beschikbaarheid van labiel koolstof en andere stoffen, welke de activiteit van microbiële afbraak en hiermee de uitstoot van broeikasgassen en de bodemdaling beïnvloeden. De relatie met bodemgesteldheid is van belang om verschillen in broeikasgasemissies te kunnen verklaren (en later mogelijk voorspellen). Het gaat daarbij zowel om verklaringen van verschillen tussen sites (effecten die zijn toe te schrijven aan verschillen in bodemtype, -opbouw, waterkwaliteit, etc.) als binnen sites (effecten van maatregelen).

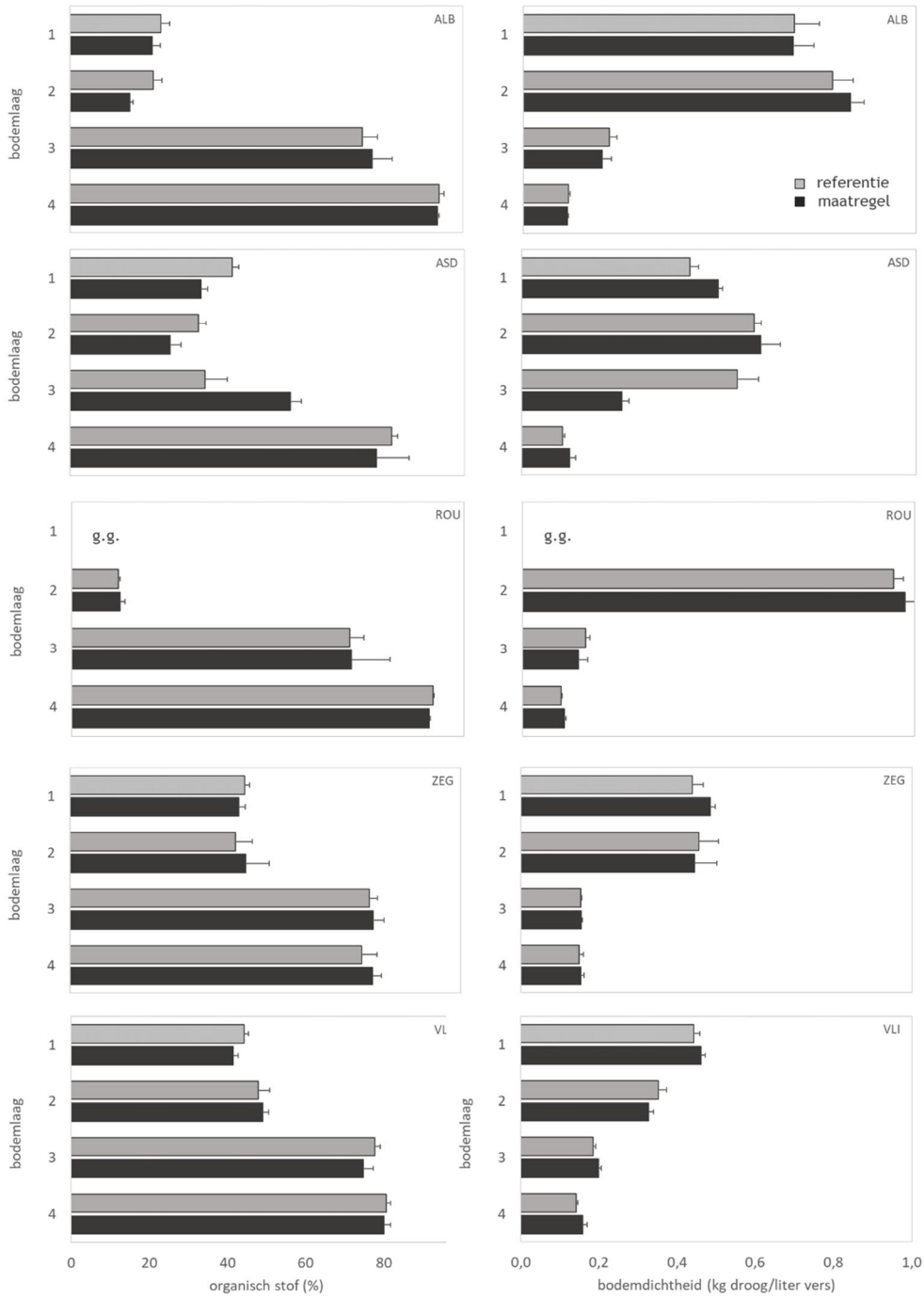
In de resultaten wordt allereerst een biogeochemische beschrijving gegeven voor de verschillende meetlocaties (sites) die in meetjaar 1 zijn bemonsterd (paragraaf 6.13.1). Vervolgens wordt per locatie een bodemchemische vergelijking gemaakt tussen referentie en treatmentperceel om na te gaan of de veldsituatie tussen beide percelen vergelijkbaar is (paragraaf 6.13.2). Tot slot volgt ter illustratie een eerste uitwerking van de verschillen in poriewaterchemie om effecten van behandelingen inzichtelijk te maken (paragraaf 6.13.3). Deze laatste uitwerking is vooralsnog alleen gedaan voor de locatie Assendelft; van de andere meetlocaties zijn vergelijkbare gegevens verzameld, maar nog niet verder uitgewerkt. Hoewel het aantal meetmomenten in meetjaar 1 nog beperkt is, kan het goed als voorbeeld dienen voor de manier waarop de biogeochemische monitoring bijdraagt aan het inzichtelijk maken van de bodemprocessen gerelateerd aan broeikasgasemissies.

6.13.1 Biogeochemische karakteristiek van de meetlocaties

Organisch stof en bodemdichtheid
Alle bemonsterde bodems zijn venig of moerig al dan niet met dunne kleilaagjes in het profiel. Op alle locaties is het organisch stofpercentage in de eerste bodemlaag (0-10cm) en de tweede bodemlaag (20-30 cm) rond 40% of lager en in diepere bodemlagen (laag 3 en 4) ligt dat veel hoger (>80% organisch stof) (Figuur 6.50, links). In Aldeboarn (ALB) zijn in de diepere veenlagen wat meer minerale bestanddelen (klei) in het profiel aanwezig. In Rouveen (ROU) zijn de bovenste bodemlagen opvallend arm aan organisch stof (op 20-30 cm diepte slechts 12%).
Dit verloop in organisch stofgehalte wordt voor een deel van de locaties verklaard door de aanwezigheid van kleilaagjes die in het verleden zijn afgezet tijdens overstromingen. Daarnaast heeft in alle percelen langdurige ontwatering van de veenbodem tot gevolg gehad dat het bovenste deel van de oorspronkelijke veenbodem sterk is geoxideerd en ingeklonken. Het koolstof is als kooldioxide verdwenen naar aan de atmosfeer. De minerale bestanddelen, zoals ijzer- en aluminiumhydroxiden en lutumdeeltjes, zijn achtergebleven en hebben zich opgehoopt in de bovenste bodemlagen.

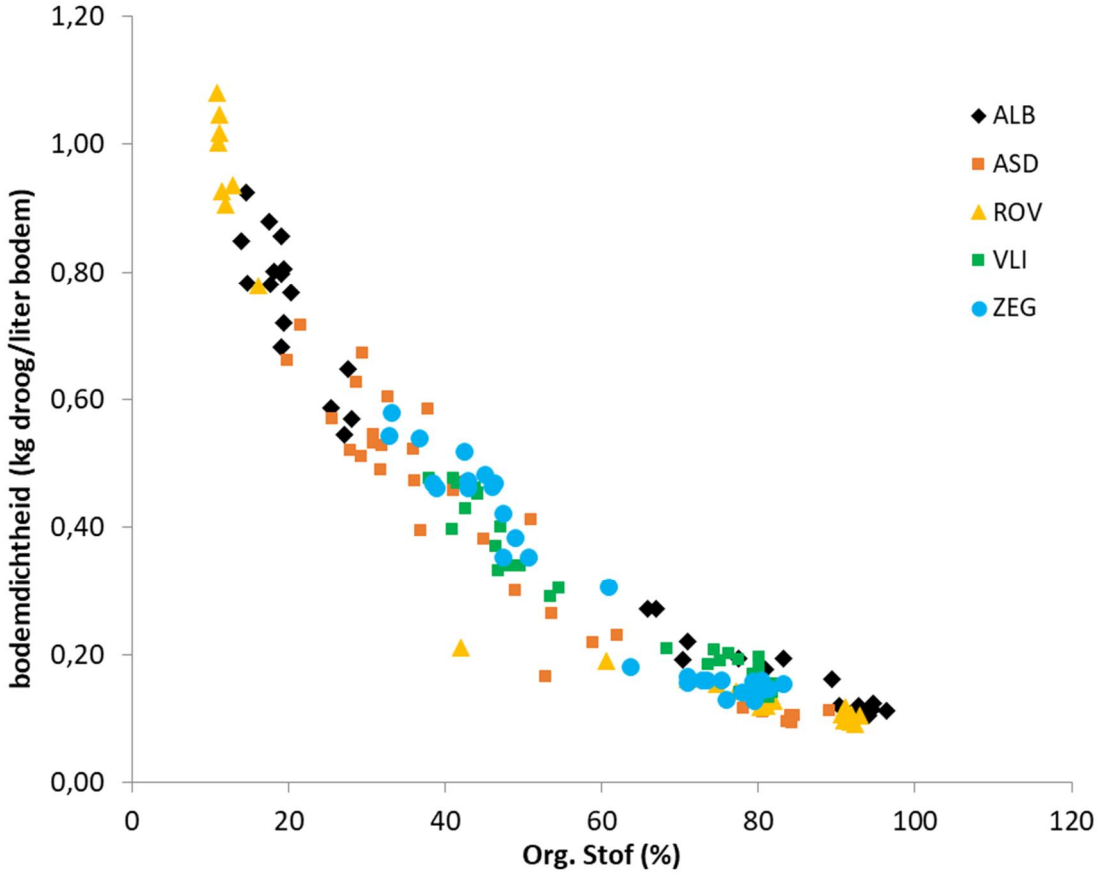
Naarmate het organische stofgehalte van de bodem afneemt, neemt de bodemdichtheid (ook wel massavolume genoemd, kilogram droge bodem per liter bodemvolume) toe (Figuur 6.51). Naarmate de veenbodem sterker is aangetast door drainage en oxidatie is de toplaag dus armer

aan organisch stof en bevat deze tevens een hogere bodemdichtheid (hoger massavolume). Dit laatste is van belang bij de interpretatie, omdat planten wortelen in een bepaald bodemvolume. Daarom is het voor de beschikbaarheid van nutriënten, de concentratie per liter bodemvolume belangrijker dan de concentratie per kg droge bodem. Bij een gelijke concentratie per kg droge bodem zal de voorraad voor een bodem met een hoger massavolume hoger zijn dan voor een bodem met een lager massa volume.



*Figuur 6.50: Analyseresultaten bodemonderzoek per meetlocatie. Gemiddelde **organisch stofgehalte** (+ S.E.) (links) en de **bodemdichtheid** (rechts) (n=4). De resultaten zijn weergegeven per bodemlaag, waarbij 1 = 0-10 cm -mv, 2 = bouwvoor 20-30 cm – mv, 3 = wisselvochtige laag, ~50-80 cm – mv en 4 = permanent waterverzadigde laag, > 125 cm – mv. g.g.= geen gegevens.*

De dichtheid van de bodem laat een duidelijk patroon zien met het gehalte organisch stof: de geoxideerde, bovenste bodemlagen en de locaties met inmenging van klei of andere minerale bestanddelen hebben de grootste dichtheid (Figuur 6.50, rechts). De locaties Zegveld en Vlist hebben de meest venige bodem, terwijl Rouveen, Aldeboarn en Assendelft het minste organisch stof bevatten (Figuur 6.51; punten helemaal links boven). Het is interessant om dit op een later moment te vergelijken met de drooglegging en grondwaterstanden, omdat deze verschillen mede ontstaan door de mate waarin de percelen zijn aangetast door ontwatering en oxidatie.



*Figuur 6.51: De relatie tussen **organisch stof** (%) en de **dichtheid van de bodem**. De meetpunten betreffen alle bodemmonsters verzameld op de vijf meetlocaties. ALB = Aldeboarn, ASD = Assendelft, ROV = Rouveen, VLI = Vlist, ZEG = Zegveld.*

Uitwisselbaar ammonium en nitraat (stikstof)

Bij de afbraak van organisch stof komt door mineralisatie ammonium vrij. Onder aerobe condities wordt dit ammonium omgezet in nitraat (nitrificatie). Daardoor zijn in de bovenste bodemlagen ammoniumconcentraties relatief laag en de nitraatconcentraties vaak hoog (Figuur 6.52). Op alle locaties (behalve in Rouveen) zijn de nitraatconcentraties in de bovenste bodemlagen hoog (1.000 tot meer dan 2.000 µmol NO_3/kg droge bodem). In Rouveen bevat bodemlaag 2 opvallend weinig mineraal stikstof, <100 µmol NO_3/kg en ~400 µmol NH_4/kg, wat mogelijk het gevolg is van de lage afbraaksnelheden in de winter (de bemonstering was in de tweede helft januari, terwijl de andere locaties in maart, april en mei zijn bemonsterd).

In de wisselvochtige laag (bodemlaag 3) en vooral in de permanent waterverzadigde laag (bodemlaag 4) speelt nitrificatie geen rol, daardoor accumuleert ammonium dat vrijkomt bij anaerobe afbraakprocessen en worden hoge concentraties gemeten. In Assendelft zijn zeer hoge ammoniumconcentraties gemeten van 12 mmol/kg droge bodem.

Plantbeschikbaar fosfor (Olsen-P), totaal fosfor en totaal ijzer

De chemische analysen geven aan dat bijna alle locaties zeer rijk zijn aan fosfor. In Aldeboarn, Assendelft, Zegveld en Vlist varieert de totale fosforconcentratie in de toplaag tussen 52 en 74 mmol P-tot/kg droge bodem (~30-50 mmol P-tot/liter) (Figuur 6.53, rechts). De plantbeschikbare hoeveelheid fosfor is zeer hoog in de toplaag van de percelen van Aldeboarn en Assendelft (2.200 – 3.100 µmol Olsen-P/liter bodem; Figuur 6.53, links). In Zegveld en Vlist zijn bodems eveneens rijk aan plantbeschikbaar fosfor, maar de concentraties zijn wel lager (1.400 – 1.600 µmol Olsen-P/liter bodem). Helaas zijn van de toplaag (0-10 cm) in Rouveen geen meetgegevens beschikbaar, maar op 20-30 cm diepte is de bodem opvallend veel armer aan totaal-fosfor (12 mmol P/kg droge bodem; idem 12 mmol P/liter bodem) dan dezelfde bodemlaag op de andere locaties.

In alle profielen is de toplaag duidelijk het meest rijk aan fosfor; met toenemende diepte is een duidelijk afname van de totale en de plantbeschikbare hoeveelheid fosfor waarneembaar (Figuur 6.53). Dit komt omdat door oxidatie van het veen ijzer in geoxideerde vorm accumuleert. Alle locaties zijn in de bovenste bodemlagen rijk aan ijzer (300, vaak 400 mmol Fe-tot/kg droge bodem) en de concentraties nemen af naar ~50-200 mmol Fe-tot/kg in de diepe veenlagen (Figuur 6.54, links). Fosfor, dat vrijkomt bij de veenafbraak of is toegediend tijdens bemesting en niet door planten is opgenomen, bindt goed aan dit geoxideerde ijzer, waardoor fosfor in de toplaag accumuleert. Een groot deel van het ijzer dat in de diepere bodemlagen aanwezig is in hier aanwezig in de gereduceerde vorm (vaak gebonden aan gereduceerd zwavel, sulfide), waardoor dit diepere ijzer veel minder goed in staat is om fosfor te binden. De diepe veenlagen die permanent waterverzadigd zijn hebben een lage P-beschikbaarheid (50-100 µmol Olsen-P/liter). Er is enige variatie in totaalfosfor te zien van 5 – 12 mmol P-tot/kg droge bodem, wat mogelijk veroorzaakt wordt doordat het verschillende veentypen zijn.

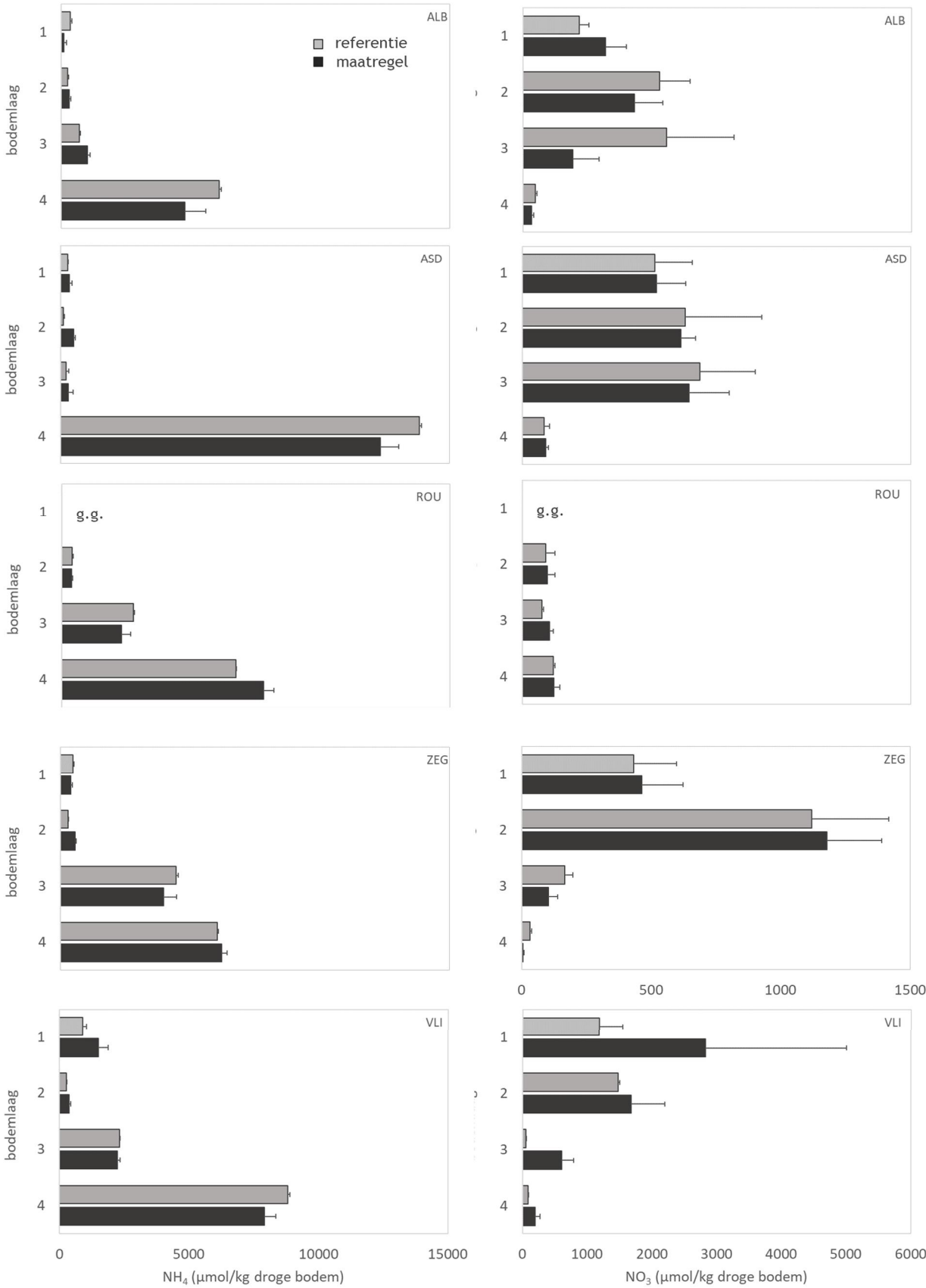
Calcium

De variatie in totaal-calcium concentraties in de bovenste bodemlagen is op alle meetlocaties vrij beperkt (~100-200 mmol Ca-tot/kg droge bodem) (Figuur 6.54, rechts). In de diepere bodemlagen zijn de verschillen veel groter: Zegveld en Vlist, en in iets mindere mate ook Rouveen, zijn alle drie rijk aan calcium (500-650 mmol Ca-to/kg droge bodem). Assendelft is matig kalkrijk met 300 mmol Ca-tot/kg droge bodem en de diepe bodemlagen in Aldeboarn bevatten relatief weinig calcium (150-180 mmol Ca-tot/kg droge bodem).

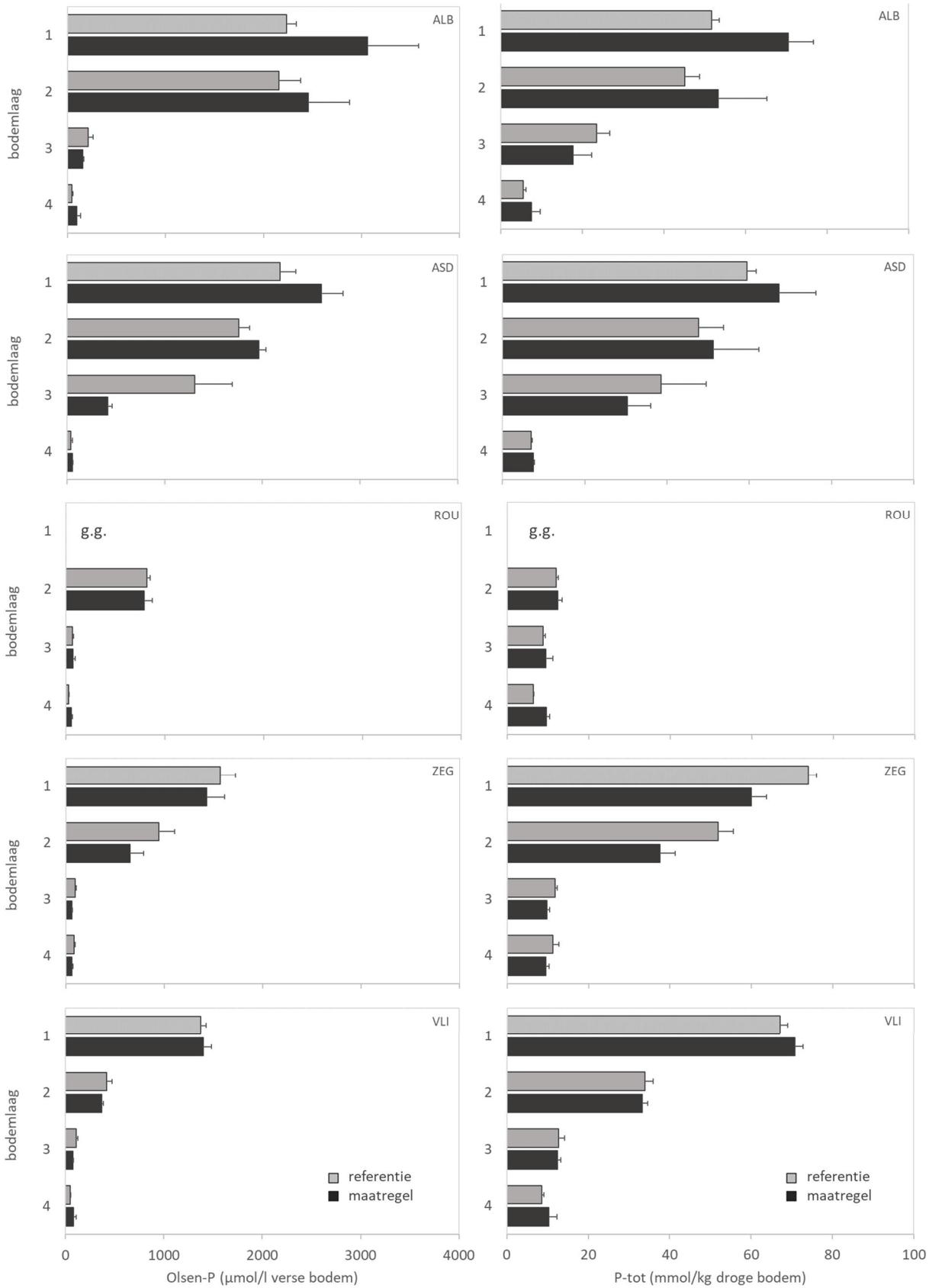
Zwavel en chloride

De grootste verschillen in bodemchemie zijn gemeten in de zwavel- en chlorideconcentraties (Figuur 6.55). Uit de metingen komt duidelijk naar voren dat het veen op de locatie Assendelft sterk onder invloed staat van brak grondwater. De totale zwavel- en chlorideconcentratie in de permanent verzadigde zone (bodemlaag 4) zijn hoog met 1.500-1.700 mmol S-tot/kg droge bodem, respectievelijk 240 mmol Cl-tot/kg droge bodem. Dit staat in sterk contrast met de metingen in de diepe veenlagen in Aldeboarn (350 mmol S-tot/kg droge bodem, 40 mmol Cl-tot/kg droge bodem). Zegveld en Vlist hebben vergelijkbare, lage concentraties chloride in de gereduceerde bodemlaag (40-50 mmol Cl-tot/kg droge bodem); de zwavelconcentraties zijn op beide plekken wel weer hoger dan in Aldeboarn hoog (700-800 mmol S-tot/kg droge bodem). Rouveen heeft een relatief lage concentratie totaal zwavel in de diepste bodemlaag (300 µmol S-tot/kg droge bodem), maar in de daar boven liggende wisselvochtige laag is de concentratie opmerkelijk hoger (800-1.000 mmol S-tot/kg droge bodem).

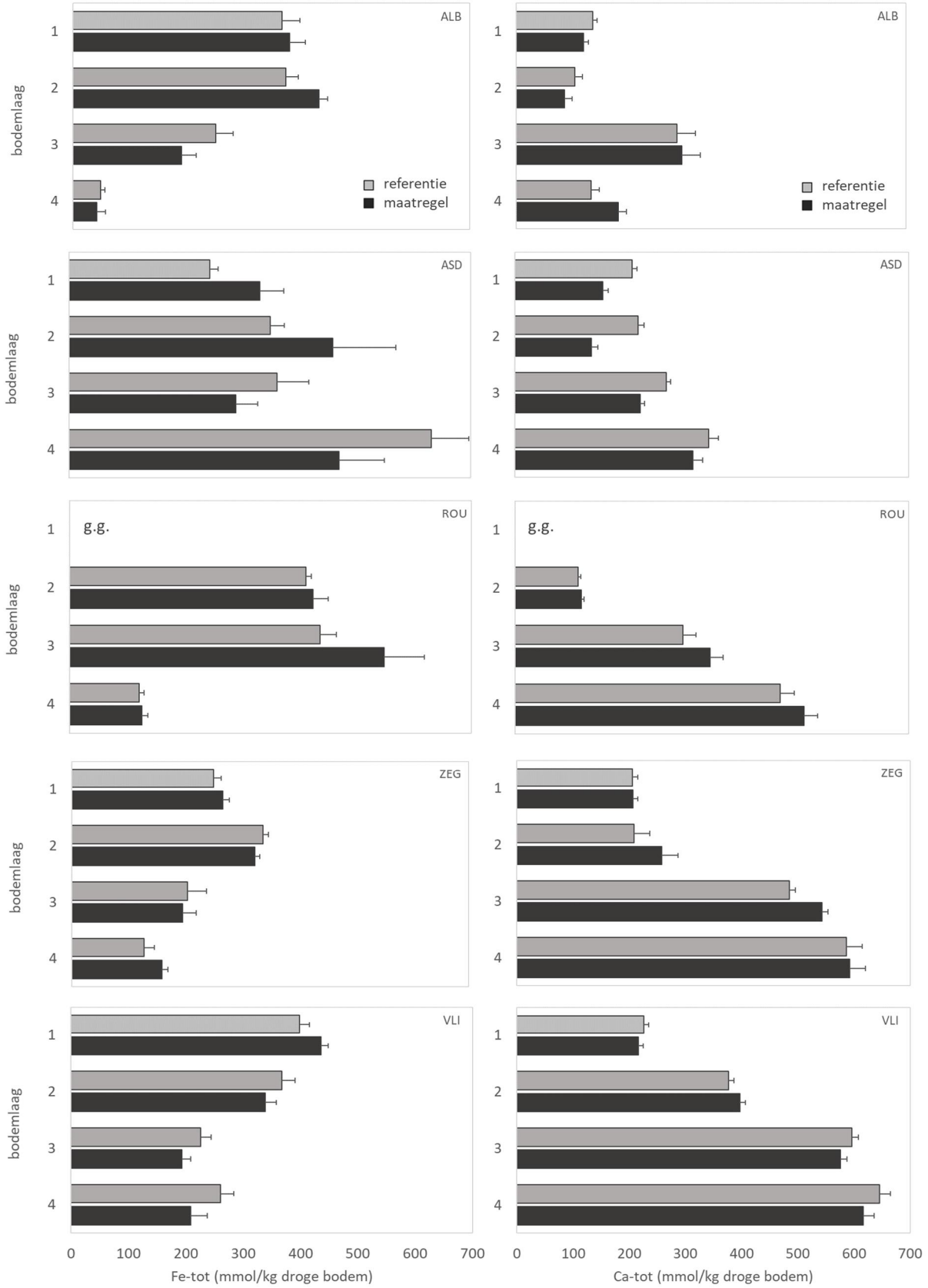
In alle profielen is de zwavelconcentratie in de bovenste bodemlagen duidelijk lager dan in de diepere ondergrond. Dit is een gevolg van oxidatieve processen waarbij gereduceerd zwavel wordt omgezet naar sulfaat, wat gemakkelijk uitspoelt naar het oppervlaktewater (of door het gras wordt opgenomen).



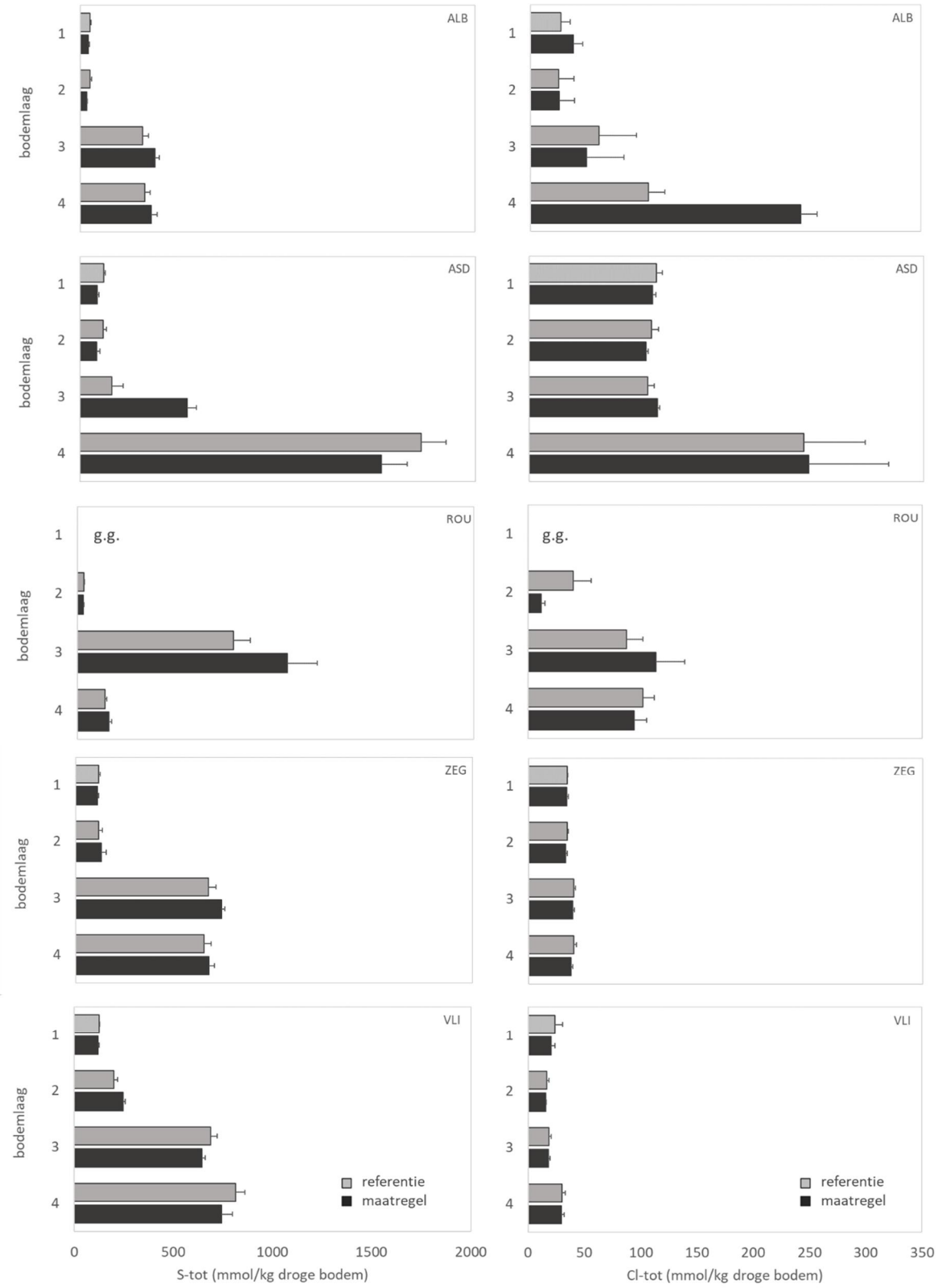
Figuur 6.52: Analyseresultaten bodemchemie per meetlocatie. Gemiddelde concentratie (+ S.E.) ***ammonium*** *(links) en* ***nitraat*** *(rechts) (n=4). De resultaten zijn weergegeven per bodemlaag, waarbij 1 = 0-10 cm -mv, 2 = bouwvoor 20-30 cm – mv, 3 = wisselvochtige laag, ~50-80 cm – mv en 4 = permanent waterverzadigde laag, > 125 cm – mv. Let op dat voor Vlist de X-as voor NO_3 afwijkt van de andere locaties. g.g.= geen gegevens.*



Figuur 6.53: Analyseresultaten bodemchemie per meetlocatie. Gemiddelde concentratie (+ S.E.) van **plantbeschikbaar fosfor** (Olsen-P)(links) en **totaal-fosfor** (rechts) (n=4). De resultaten zijn weergegeven per bodemlaag, waarbij 1 = 0-10 cm -mv, 2 = bouwvoor 20-30 cm – mv, 3 = wisselvochtige laag (~50-80 cm – mv en 4 = permanent waterverzadigde laag, > 125 cm – mv. g.g. = geen gegevens.



*Figuur 6.54: Analyseresultaten bodemchemie per meetlocatie. Gemiddelde concentratie (+ S.E.) van **totale ijzerconcentratie** (links) en de **totale calciumconcentratie** (rechts) (n=4). De resultaten zijn weergegeven per bodemlaag, waarbij 1 = 0-10 cm -mv, 2 = bouwvoor 20-30 cm – mv, 3 = wisselvochtige laag (~50-80 cm – mv en 4 = permanent waterverzadigde laag, > 125 cm – mv. g.g. = geen gegevens.*



Figuur 6.55: Analyseresultaten bodemchemie per meetlocatie. Gemiddelde concentratie (+ S.E.) van **de totale zwavelconcentratie** (links) en de **totale chlorideconcentratie** (rechts) (n=4). De resultaten zijn weergegeven per bodemlaag, waarbij 1 = 0-10 cm -mv, 2 = bouwvoor 20-30 cm – mv, 3 = wisselvochtige laag (~50-80 cm – mv en 4 = permanent waterverzadigde laag, > 125 cm – mv. g.g. = geen gegevens.

6.13.2 Biogeochemie: vergelijkbaarheid van maatregel- en referentieperceel

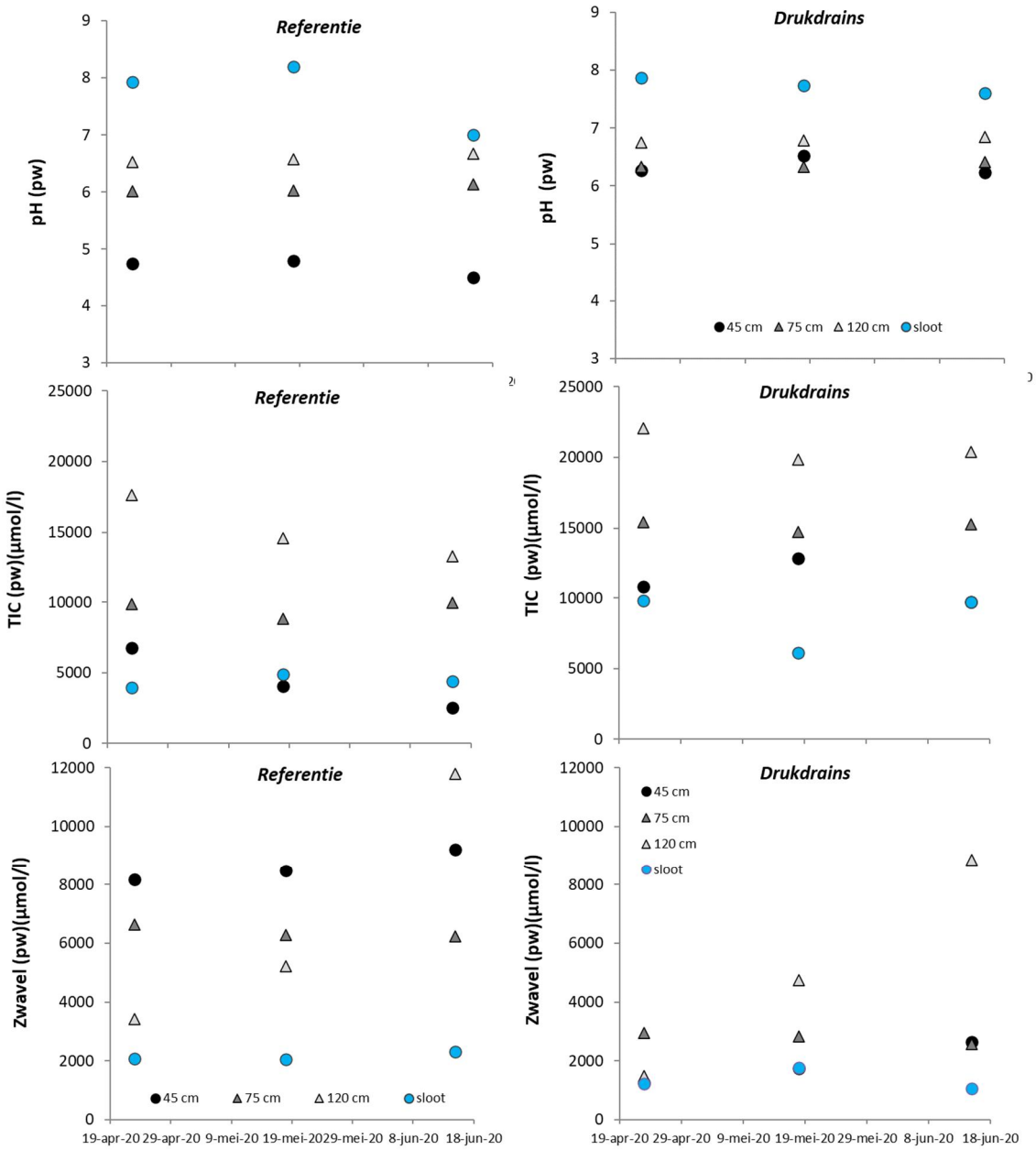
De methode om de bijdrage van onderwaterdrainage en drukdrainage aan het verminderen van de broeikasgasemissies te onderzoeken is gebaseerd op een vergelijking van een maatregel-perceel met een nabijgelegen controle. Het is daarbij van belang dat de uitgangssituatie op beide percelen zoveel als mogelijk op veldschaal vergelijkbaar is. Op basis van het bodemchemisch onderzoek is per meetlocatie nagegaan of sprake is van grote verschillen tussen referentie- en maatregelperceel (Figuur 6.50 tot en met Figuur 6.55).
De variatie tussen beide percelen binnen een meetlocatie (referentieperceel en maatregelperceel) zijn vele malen kleiner dan de variatie tussen de vijf meetlocaties. Toch zijn er enkele verschillen aangetroffen tussen maatregelpercelen en referentiepercelen die we willen benoemen:

- In Assendelft is een behoorlijke ruimtelijke variatie in klei- en veenlagen geconstateerd, waardoor de bodemdichtheid en het organisch stofpercentage van een bodemlaag in het ene perceel kunnen afwijken van dezelfde laag in het andere perceel. Die verschillen zijn soms ook terug te zien in elementconcentraties.
- In Aldeboarn is het perceel met onderwaterdrainage in de bovenste bodemlagen gemiddeld rijker aan plantbeschikbaar fosfor en totaal-fosfor in vergelijking met het referentieperceel (maar ook de variatie is groter tussen replica's).
- In Aldeboarn is het perceel met onderwaterdrainage in de diepte veel rijker aan chloride.

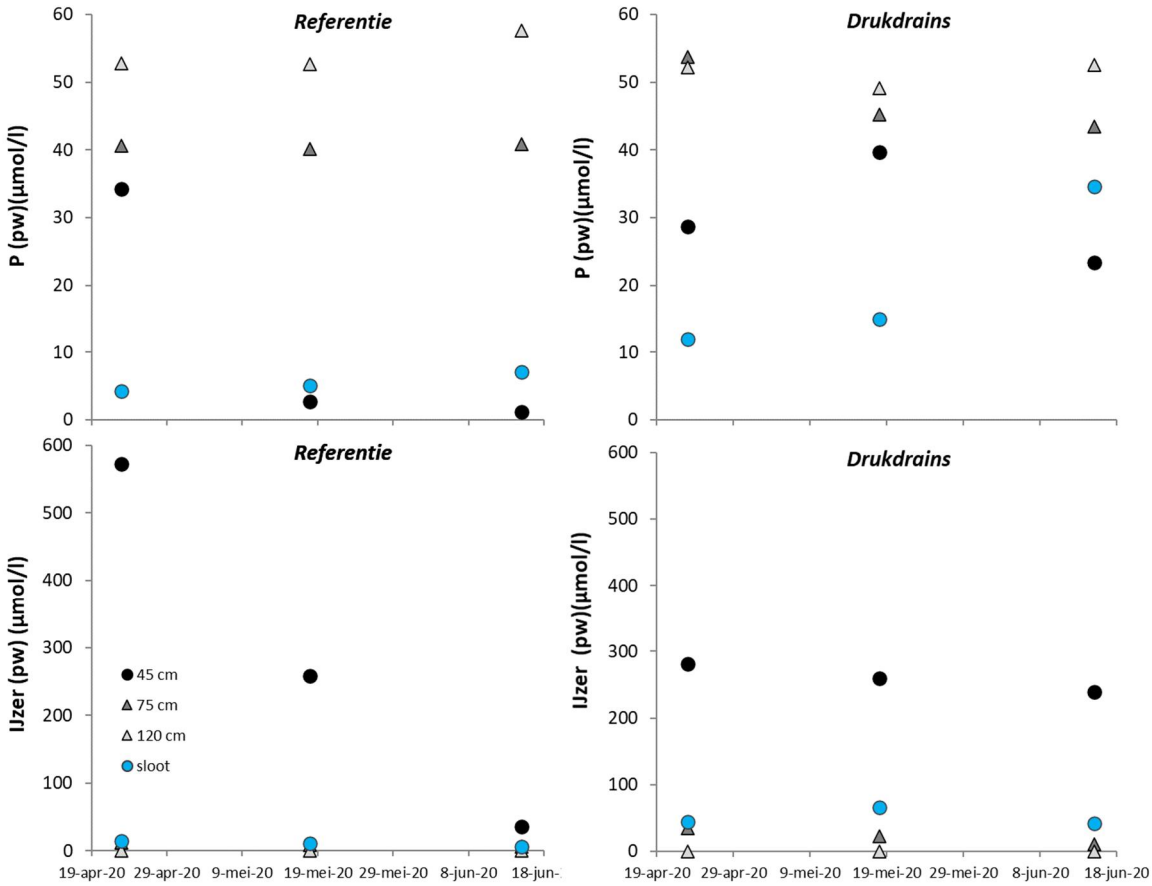
6.13.3 Effecten van drukdrainage op poriewaterchemie

Poriewaterchemie locatie Assendelft: vergelijking van referentie- en drukdrainageperceel
Voor de locatie Assendelft vergelijken we de poriewaterchemie op verschillen diepten tussen het perceel met drukdrainage en het referentieperceel. We zien dat in 2020 (april tot juni) het poriewater in het referentieperceel op een diepte van 45 cm veel zuurder (pH 4,8) was dan voor het drukdrain perceel (Figuur 6.56, boven). Bij uitzakkende grondwaterstanden dringt zuurstof door in de bodem. Dit zuurstof reageert met gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem, waarbij zuur wordt geproduceerd. Naast H^+-ionen wordt onder de zuurstofrijke condities sulfaat geproduceerd, waardoor de zwavelconcentraties in het referentieperceel veel hoger zijn dan in het drukdrainageperceel (8.000-9.000 µmol S/l in referentie, versus 2.000 – 3.000 µmol S/l in drukdrainageperceel) (Figuur 6.56, onder). Daarnaast wordt onder drogere bodemcondities veel minder sulfaat gereduceerd tot sulfide, dat zorgt dat zwavel wordt vastgelegd in pyriet (FeS).
Het geproduceerde zuur reageert met bicarbonaat, waardoor de buffering van het poriewater afneemt en de pH uiteindelijk daalt (HCO_3^- + H+ > H_2O + CO_2). Dat verklaart waarom de HCO_3-concentratie (en daarmee de TIC) in de geoxideerde bodemlaag in vergelijking met het perceel met drukdrainage relatief laag is (Figuur 6.56, midden).

Verder hebben we gezien dat de toplaag van veenbodems erg rijk zijn aan geoxideerd ijzer (Figuur 6.53), waardoor onder natte omstandigheden ijzerreductie plaatsvindt. Fosfor dat aan deze ijzer(hydr)oxides is gebonden gaat ook in oplossing, waardoor het poriewater zowel ijzer als fosfaat bevat. In de zomer nemen in de geoxideerde laag de ijzerconcentraties in het poriewater van het referentieperceel af van bijna 600 µmol Fe/l naar circa 50 µmol Fe/l (Figuur 6.57, onder), omdat het gereduceerd ijzer dan weer wordt geoxideerd tot ijzeroxide. De binding van fosfor aan ijzer(hydr)oxides neemt hierdoor toe, waardoor ook de fosfaatconcentratie in het poriewater gedurende het voorjaar daalt van 35 µmol P/l naar < 5 µmol P/l (Figuur 6.57, boven).
De concentratie opgelost ijzer in het drukdrainageperceel is met 300 µmol Fe/l in het vroege voorjaar lager dan in het referentieperceel (mogelijk wordt dit veroorzaakt door een iets lagere grondwaterstand als gevolg van de drainerende werking van de drukdrains). De ijzerconcentratie in het poriewater blijft gedurende het hele voorjaar ongeveer gelijk in het drukdrainageperceel en ook de fosforconcentraties blijven relatief hoog, tussen 30-40 µmol P/l (Figuur 6.57, rechts).

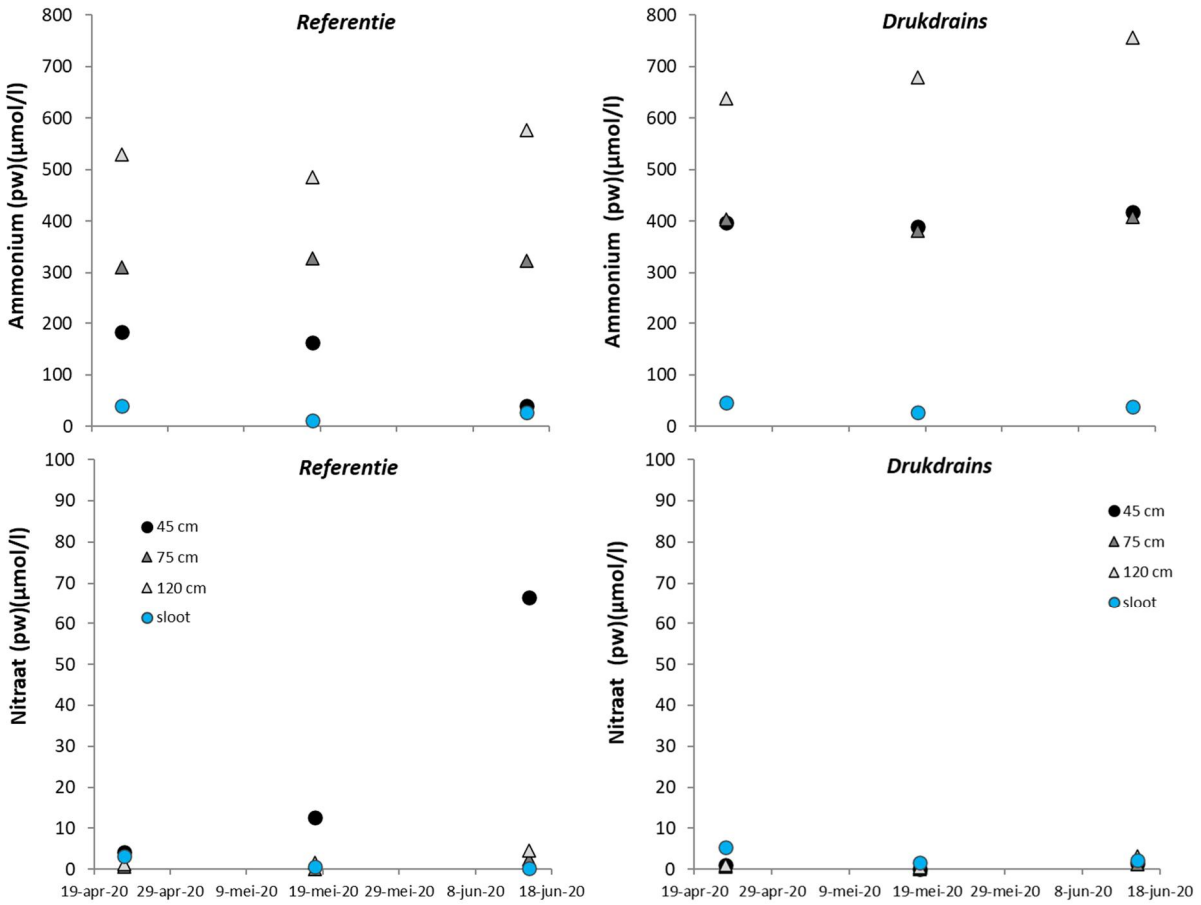


Figuur 6.56: Slootwater- en poriewaterchemie op drie verschillende diepten gemeten in het referentieperceel en het maatregelperceel (rechts) in Assendelft. In de grafieken zijn 3 meetronden weergegeven tot eind juni 2020. Het betreft de pH (boven), totaal anorganisch koolstof (TIC)(midden) en zwavel (onder). De blauwe symbolen zijn slootwatermonsters verzameld naast het referentie-, respectievelijk drukdrainageperceel.



Figuur 6.57: Slootwater- en poriewaterchemie op drie verschillende diepten gemeten in het referentieperceel en het maatregelperceel (rechts) in Assendelft. In de grafieken zijn 3 meetronden weergegeven tot eind juni 2020. Het betreft de fosfor (P) (boven) en ijzer (onder). De blauwe symbolen zijn slootwatermonsters verzameld naast het referentie-, respectievelijk drukdrainageperceel.

Ook zien we dat in de zomer in de toplaag van het referentieperceel de ammoniumconcentratie in het poriewater afneemt van circa 200 µmol NH_4/l naar minder dan 50 µmol/l, omdat ammonium wordt geoxideerd tot nitraat (Figuur 6.58). Naarmate de bodem verder uitdroogt, neemt de nitraatconcentratie toe tot 70 µmol NO_3/l. Dieper in de bodem zijn de verschillen tussen het drukdrainperceel en het referentieperceel veel minder groot. Dit komt omdat deze delen van de bodem bijna altijd waterverzadigd zijn. Fosfor en ammonium zijn hier altijd hoog en ijzer laag. Dit komt omdat de diepere delen weinig ijzer(hydr)oxide bevatten en als gevolg van sulfaatreductie alle ijzer wordt gebonden als FeS.



Figuur 6.58: Slootwater- en poriewaterchemie op drie verschillende diepten gemeten in het referentieperceel en het maatregelperceel (rechts) in Assendelft. In de grafieken zijn 3 meetronden weergegeven tot eind juni 2020. Het betreft de ammonium (NH_4) (boven) en nitraat (NO_3) (onder). De blauwe symbolen zijn slootwatermonsters verzameld naast het referentie-, respectievelijk drukdrainageperceel.

BOX: kort overzicht van relevante oxidatie- en reductieprocessen in veenweidebodems

Voor de locatie Assendelft vergelijken we de poriewaterchemie op verschillen diepten tussen het perceel met drukdrainage en het referentieperceel. In het referentieperceel zakken de grondwaterstanden dieper uit in de zomer, waardoor zuurstof verder in de bodem kan dringen in vergelijking met het drukdrainperceel.

Wanneer er zuurstof doordringt in de bodem zal de afbraak van organisch materiaal plaatsvinden onder invloed van zuurstof (aeroob). Hierbij treedt zuurstof als elektronenacceptor op. We zien hierbij dat bij benadering netto geen zuur wordt geproduceerd of geconsumeerd. Omdat het geproduceerde kooldioxide gemakkelijk kan uitgassen uit de relatief droge bodem accumuleert er maar weinig anorganisch koolstof (TIC, bicarbonaat) in het poriewater.

Het zuurstof reageert ook met gereduceerde verbindingen in de bodem waarbij zuur wordt geproduceerd. Eén van de belangrijke zuurvormende processen in deze bodems is de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen (vooral ijzersulfide, pyriet). Deze kan volledig of onvolledig verlopen. Wanneer de oxidatie onvolledig verloopt komt er behalve sulfaat ook gereduceerd ijzer vrij (reactie 1); bij een volledige oxidatie wordt ook het gereduceerde ijzer geoxideerd tot ijzer(III)hydroxides (reactie 1 en 2 samen).

(1) $2\ FeS_2 + 7\ O_2 + 2\ H_2O\ >\ 2\ Fe^{2+} + 4\ SO_4^{2-} + 4\ H^+$ (onvolledige oxidatie)

(2) $4\ Fe^{2+} +\ O_2 + 10\ H_2O\ >\ 4\ Fe(OH)_3 + 8\ H^+$ (samen met (2) volledige oxidatie)

Naast H^+-ionen wordt onder de zuurstofrijke condities sulfaat geproduceerd (reactie 1). Dit komt omdat er onder invloed van zuurstof meer gereduceerd zwavel wordt geoxideerd en er veel minder sulfaat wordt gereduceerd tot sulfide. Een belangrijke bron van de hoge sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater van het veenweidegebied, die indirect leiden tot een slecht waterkwaliteit, is dan ook de oxidatie van de veenbodems.

Bij hogere waterstanden, zoals het geval is in de percelen met drukdrainage, dringt er veel minder zuurstof door in de bodems. Hierdoor vindt de afbraak van organisch materiaal anaeroob plaats, waarbij in plaats van zuurstof met name driewaardig ijzer (Fe^{3+}) en sulfaat (SO_4^{2-}) optreden als zogenaamde alternatieve elektronenacceptor. We zien dat er bij deze reactie netto protonen worden geconsumeerd. Hierdoor wordt een deel van het CO_2 dat vrijkomt omgezet in HCO_3^- (bicarbonaat):

$CO_2 + H_2O \longleftrightarrow H_2CO_3 \longleftrightarrow HCO_3^- + H^+$

(wanneer protonen worden onttrokken verschuift het evenwicht naar rechts)

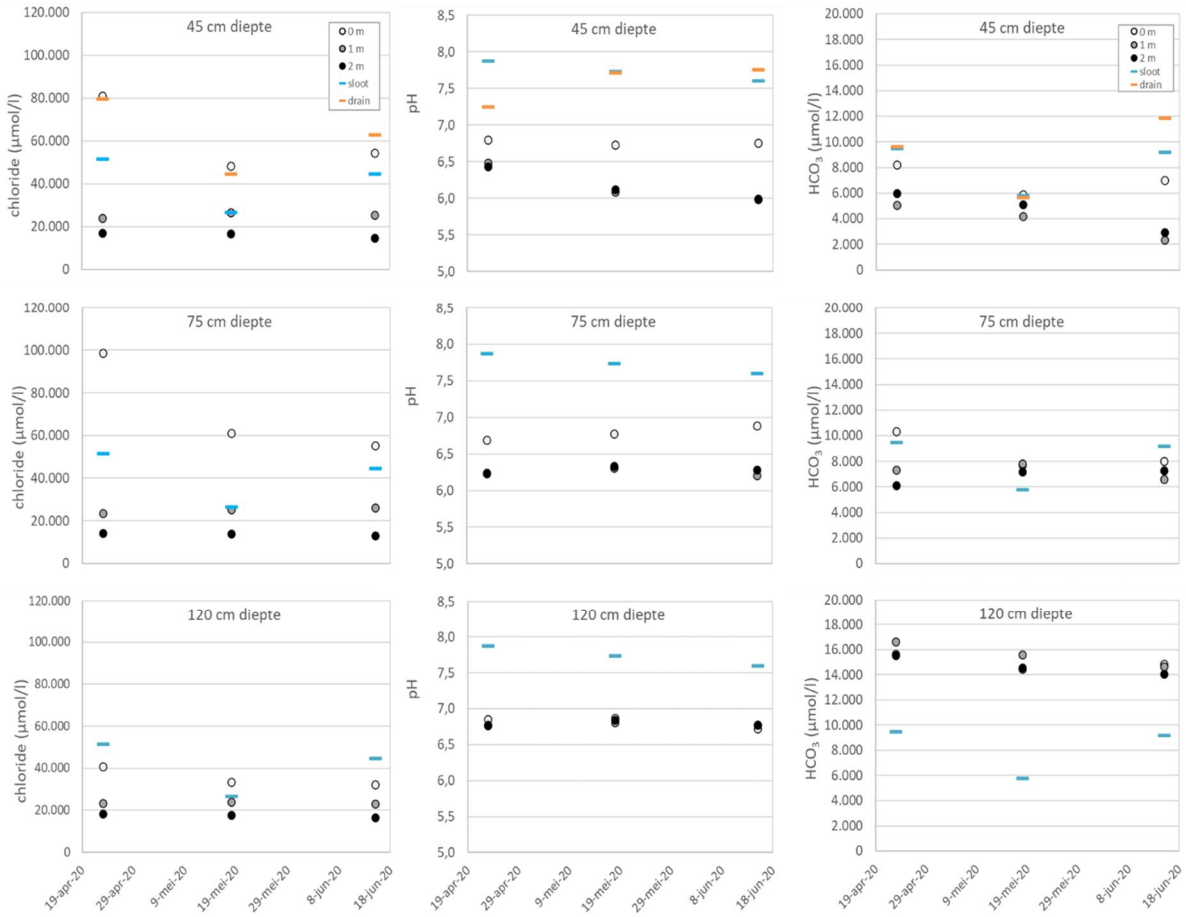
Tevens wordt er gereduceerd ijzer gevormd en/of sulfide. IJzer en sulfide kunnen neerslaan als FeS. In waterverzadigde bodems kan het gevormde anorganische koolstof accumuleren, omdat kooldioxide minder gemakkelijk kan uitgassen naar de atmosfeer. Dit leidt tot hogere TIC-concentraties in het poriewater, maar dit wil dus niet zeggen dat er ook meer afbraak plaatsvindt in de anaerobe bodems.

Dit laatste proces heeft mogelijk een belangrijke implicatie, namelijk dat anaerobe bodems netto minder gasvormig CO_2 uitstoten, omdat mogelijk een deel van het vrijgekomen koolstof (CO_2) chemisch wordt omgezet naar bicarbonaat (HCO_3). Het aandeel hiervan in de koolstofkringloop moeten verder worden uitgezocht en vraagt mogelijk een experimentele benadering. Het is hierbij van belang dat ook de aan- en afvoer van koolstof van en naar het oppervlaktewater hierbij meegenomen wordt.

Poriewaterchemie locatie Assendelft: gradiëntmetingen loodrecht op de drainbuis

De eerste resultaten van poriënwateranalyses in een diepteprofiel op een transect met verschillende afstanden tot de drain duiden op duidelijke effecten van het oppervlaktewater via de maatregel drukdrainage op de chemische samenstelling van het poriewater. De chlorideconcentratie kan hiervoor, zeker op de locatie Assendelft, als tracer gebruikt worden voor de invloed van oppervlaktewater dat via de drainbuis de veenbodem indringt. In Figuur 6.59 is dan ook te zien dat de chlorideconcentraties in het poriewater het hoogst zijn direct naast de drainbuis en dat deze afnemen op grotere diepte en groter afstand vanaf de drain. De chlorideconcentraties in de drainbuis liggen in dezelfde range als de concentraties in het poriewater nabij de drains. Wel is de chlorideconcentratie in de drains, en het poriewater op 45 en 75 cm diepte hoger ten

opzichte van het oppervlaktewater. De chlorideconcentratie, zeker die in het oppervlaktewater, kan echter sterk door neerslag beïnvloed worden. Het is bij de interpretatie van deze gegevens hierom van belang hier ook meer gegevens bij te kunnen betrekken van de herfst- en wintersituatie.



Figuur 6.59: Chemische samenstelling van het poriewater op verschillende afstand van de drainbuis (bij de drain (wit), 1 meter (grijs) en 2 meter afstand van de drain (zwart). De drainbuizen liggen op 50-55 cm – mv en 4 meter uit elkaar. Metingen zijn verricht in april, mei en juni. In blauw de concentratie gemeten in het oppervlaktewater van de naast gelegen sloot die de drukdrains voedt, in oranje de concentratie gemeten in de drainbuis.

De pH van het poriewater blijkt nabij de drain 0,5 tot 1 eenheid hoger te zijn als op grotere afstand van de drain (≈ pH 6,75 t.o.v. pH 6,25), terwijl het oppervlaktewater en het water in de drain nog weer een eenheid hoger is (~ pH 7,75). Ook de bicarbonaatconcentratie blijkt op 45cm diepte verhoogd nabij de drainbuizen door directe invloed van het oppervlaktewater en mogelijk de bicarbonaat productie als gevolg van de verhoogde oppervlaktewaterinvloed. Op grotere diepte en afstand van de drain is dit effect niet meer zichtbaar.

Leerpunten

- De emissie van broeigaskassen vanuit de percelen (CO_2, CH_4 en N_2O) en op langere termijn bodemdaling, wordt naar alle waarschijnlijkheid in grote mate gestuurd door beschikbaarheid van substraten voor microbiële afbraak zoals o.a. koolstof, stikstof, fosfor en sulfaat. De koppeling tussen de chemische samentelling van de bodem, biogeochemische en microbiële processen kunnen hiermee veel inzichten opleveren over de effecten van de onderzochte maatregelen en de sturende processen achter veenafbraak, broeikasgasemissies en bodemdaling.
- Dit jaar is de bodembemonstering op verschillende momenten in het jaar verricht wat de onderlinge vergelijking tussen locaties complex maakt (o.a. voor ammonium en nitraat). Het is dan ook aan te raden komend jaar aanvullende bodemmonsters te verzamelen gedurende een korte periode in het groeiseizoen en nabij de locaties waar bodemporiewater bemonsterd wordt.
- Het merendeel van de onderzochte locaties blijken grotendeels uit veenbodem te bestaan. De locaties Rouveen is hier echter een uitzondering op en bevat een relatief dikke minerale laag bovenop het veen, tevens wijkt deze locaties op enkele vlakken ook af op biogeochemische samenstelling. Dit heeft de nodige consequenties voor de vergelijkbaarheid met andere locaties en de representativiteit voor andere Nederlandse veenweidepercelen.
- Voor toekomstig onderzoek kan het waardevol zijn te zoeken welke bodemchemische parameters indicatief kunnen zijn voor broeikasgasemissies en bodemdaling. Hiermee zou mogelijk met behulp van uit eerdere studies beschikbare bodemchemische gegevens een inschatting kunnen worden gemaakt van de potentiële broeikasgasemissies, bodemdaling en de urgentie op te nemen maatregelen.
- Met de huidige gegevens van actuele concentraties van verschillende koolstoffracties in de bodem, het bodemporiewater, het oppervlaktewater en het drainwater wordt inzicht verkregen in de koolstofcyclus. Om de effecten van onderwater- en drukdrainage op de koolstofcyclus en broeikasgasemissies aan te tonen voldoen deze gegevens nog niet om de gehele cyclus in kaart te brengen. Hiervoor zijn aanvullende gegevens nodig over water- en stofstromen. Ook zal hier de complexe interactie tussen oxidatie, zuurproductie en – consumptie en het pH afhankelijke CO_2 – HCO_3 evenwicht in meegenomen moeten worden. De bijdrage van deze verschillende processen aan de koolstofkringloop in het perceel zelf én in het aangrenzende oppervlaktewater moeten verder worden uitgezocht en vraagt mogelijk een experimentele benadering.
- Enkele metingen duiden erop dat maatregelen als onderwaterdrainage en drukdrainage het contact van de veenbodem in de percelen met het oppervlaktewater in de sloot vergoten. Een van de neveneffecten hiervan kan een verhoogde belasting van sulfaat en nutriënten in het oppervlaktewater van het veenweidegebied zijn door oxidatie van de veenbodem, die (indirect) leiden tot een slechte waterkwaliteit.

Samenvatting

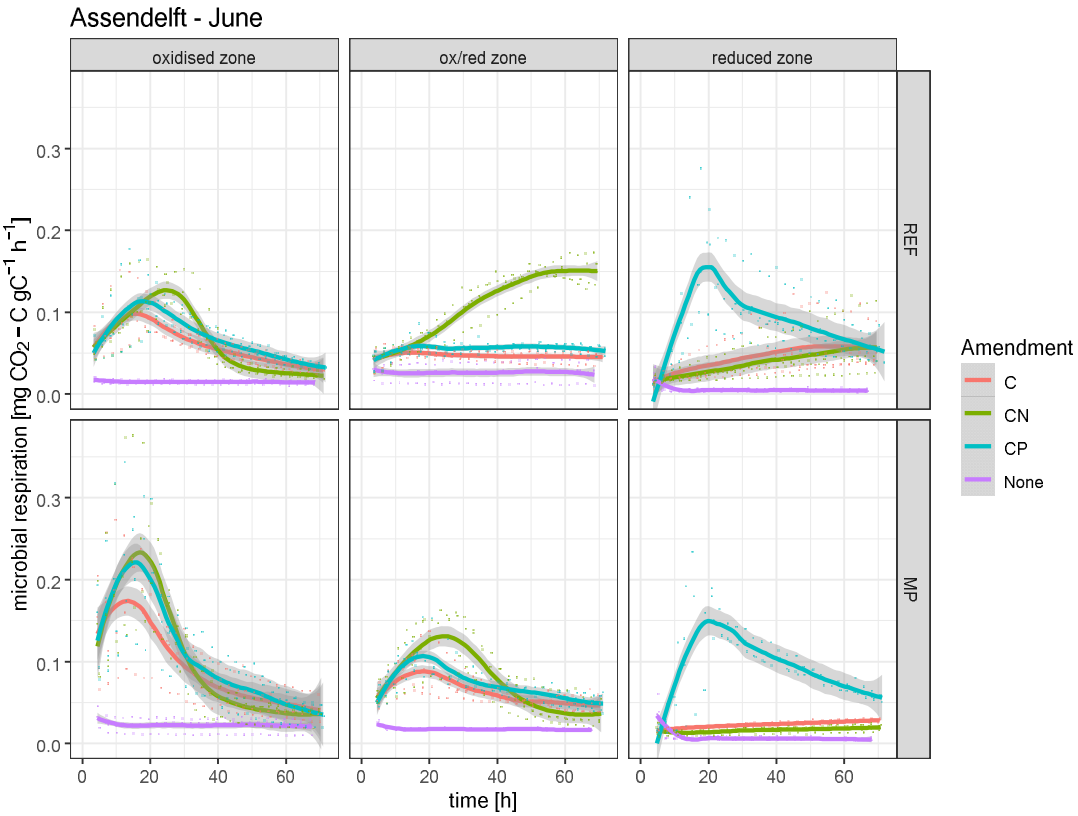
- De bodemchemische samenstelling is op alle locaties en percelen in diepte profielen in replica's bemonsterd en geanalyseerd. Tevens zijn er bodemporiewatermonsters verzameld op alle percelen op meerdere momenten in de tijd in diepteprofielen langs een transect op verschillen afstanden van de drainbuizen.
- De chemische en fysische samenstelling van de bodem verschilt tussen de vijf onderzochte locaties, deze vertoont duidelijke gradiënten in een diepteprofiel van toplaag, aerobe toplaag, wisselvochtige laag tot de anaerobe diepere veenlaag. De chemische en fysische samenstelling blijkt over het algemeen tot op heden niet (of beperkt) te verschillen tussen de controle- en maatregelpercelen binnen de locaties.
- Het organisch stofgehalte en de dichtheid van de bodem varieert sterk in de bodemprofielen en tussen de locaties en wordt in hoge mate beïnvloedt door de aanwezigheid van kleilagen in de veenbodem en vooral de door ontwatering en oxidatie veroorzaakte afbraak.

- De bodem is op alle locaties relatief rijk aan nutriënten. De bodem is over het algemeen relatief rijk aan beschikbaar stikstof, bovenin het profiel in de vorm van nitraat en dieper in de bodem onder zuurstofarmere condities in de vorm van ammonium. De bodem is ook rijk aan fosfor. De totale en plantbeschikbare fosforconcentratie verschilt per locatie. Op alle locaties is met een toenemende diepte er sprake van een duidelijk afname van de totale en de plantbeschikbare hoeveelheid fosfor waarneembaar (dit is te verklaren door ophoping in de toplaag en de aanwezigheid van ijzer en de mate waarin fosfor hieraan kan binden).
- De ontstaansgeschiedenis heeft een grote invloed gehad om de huidige chemische samenstelling van de bodem op de verschillende locaties. Hierbij moet gedacht worden aan grondwaterinvloed (bijvoorbeeld locatie Rouveen) ofwel brakwaterinvloed met verhoogde sulfaat- en chlorideconcentraties (bijvoorbeeld locatie Assendelft). Dit kan grote consequenties hebben voor de beschikbaarheid van elektronenacceptoren, redoxprocessen en de snelheid van veenafbraak.
- Voor enkele parameters blijkt de chemische samenstelling van het bodemporiënwater sterk te verschillen in de diepte en op verschillende afstanden van de drain. Voor enkele parameters zijn ook duidelijke effecten zichtbaar van de behandelingen.
- In de huidige rapportage is dit voor locatie Assendelft in meer detail uitgewerkt. Hier bleek dat het bodemporiewater in het maatregelperceel met drukdrainage een beduidend hogere pH heeft en lagere sulfaatconcentraties in vergelijking met het referentieperceel, doordat de bodem in het maatregelperceel in mindere mate oxideert in het groeiseizoen. De mate van oxidatie van de bodem heeft ook een grote invloed op de vorm waarin ijzer beschikbaar is hiermee op de beschikbaarheid van fosfor. Door versnelde oxidatie van de bodem in het referentieperceel daalt hier de beschikbare fosforconcentratie in het drogere seizoen, terwijl dit in het minder geoxideerde maatregelperceel in veel mindere mate daalt. Een vergelijkbaar effect is te zien voor stikstof, waarbij de concentratie aan ammonium in het referentieperceel afneemt door oxidatie en nitrificatie, terwijl de ammoniumconcentratie in het maatregelperceel stabiel hoog blijft
- Het effect van de drukdrainage is ook duidelijk zichtbaar op de chemische samenstelling van het bodemporiewater op verschillende afstand van de drainbuis. De chlorideconcentratie kan hiervoor als tracer gebruikt worden voor de invloed van oppervlaktewater via de drainbuis. De chlorideconcentraties in het poriewater zijn het hoogst direct naast de drainbuis en nemen af op grotere diepte en groter afstand vanaf de drain.

6.14 Bodemincubatie

6.14.1 Inleiding

Bij respiratie-incubatie metingen wordt een kleine hoeveelheid van ~20g veen onder standaard omstandigheden gebracht en de CO_2 uitstoot in de tijd gevolgd. Hierdoor worden inherente verschillen in afbraaksnelheid tussen veenlagen zichtbaar, maar kan ook in kaart worden gebracht wat de wisselwerking tussen afbraak en omstandigheden zoals vochthuishouding en nutriënten-beschikbaarheid is. Naast lange-termijn effecten zoals de samenstelling en het degradatiestadium van het veen, kan juist de korte-termijn respons iets zeggen of maatregelen leiden tot functionele verschillen in het microbioom (gemeenschap van bodemleven) dat verantwoordelijk is voor de afbraak van veen.



Figuur 6.60: Respiratie-incubatie van veenmonsters genomen uit verschillende veenlagen in de controle (REF) en maatregelen (MF)-plots op de locatie Assendelft (ASD). De respiratiesnelheden zijn gemeten met voldoende zuurstof en met of zonder toevoegingen (C=glucose, CN=glucose + stikstof, CP=glucose + fosfaat, None=geen toevoegingen)

6.14.2 Bevindingen

Figuur 6.60 geeft een voorbeeld van respiratie-incubatiemetingen van veen uit verschillende lagen van het referentie- en maatregelplot in Assendelft[13]. De bovenste panels tonen de metingen van de referentie-plots, terwijl de onderste drie panels de gegevens van de maatregelen-plots laten zien. Iedere kolom is een laag van ondiep (geoxideerde zone) naar diep (gereduceerde zone). Voor iedere combinatie van behandeling en diepte is te zien wat de basisrespiratie is (afbraaksnelheid onder optimale omstandigheden maar zonder toevoeging), en wat de respons is bij het toevoegen van voedingsstoffen (stikstof, fosfaat) met glucose om de groei van bacteriën te stimuleren.

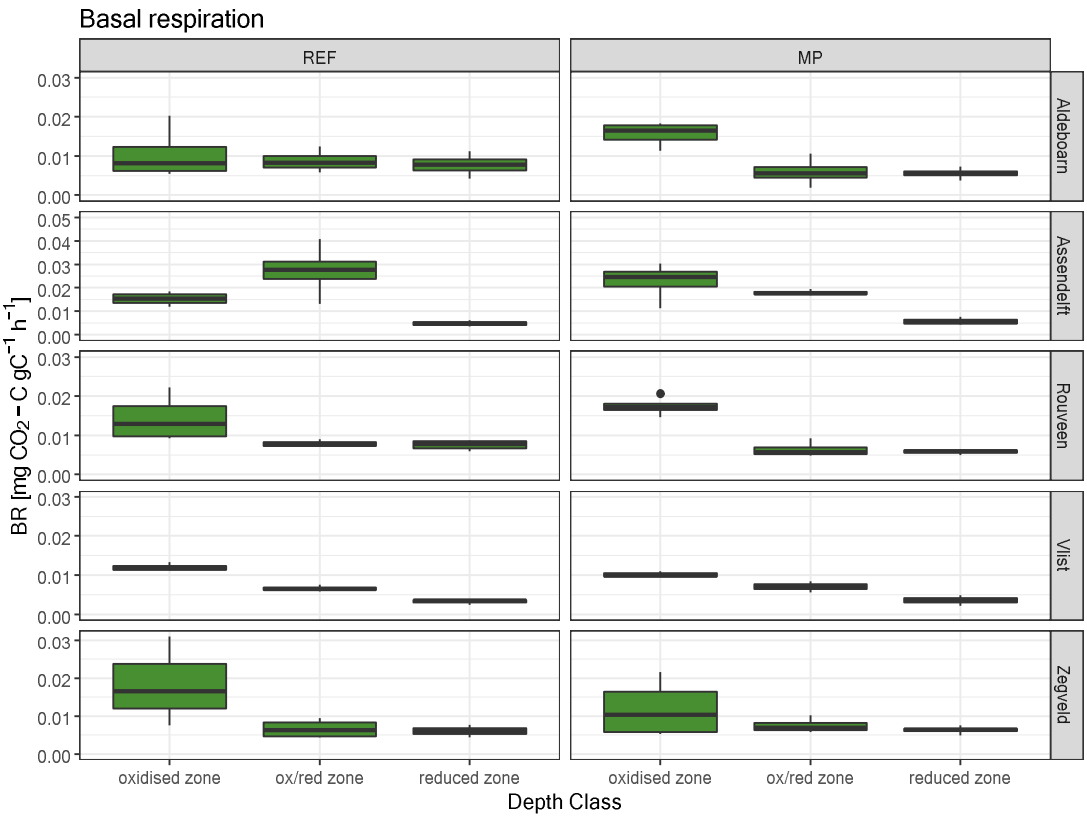
In deze meting is de basisrespiratie (paarse lijn) relatief hoog in de overgangs-laag tussen het geoxideerde en gereduceerde veen waar de condities in tijd sterk kunnen variëren, terwijl de maatregel geen verschil maakt voor de basisrespiratie. Bij het toevoegen van nutriënten blijkt dat fosfaat limiterend is in de diepere, gereduceerde, laag: de microbiële ademhaling gaat bij het toevoegen van fosfaat en glucose (blauwe lijn) zeer sterk omhoog terwijl dit niet het geval is bij het toevoegen van stikstof en glucose (groene lijn) of glucose alleen (rode lijn). In de overgangslaag daarentegen is vooral stikstof limiterend: toediening van stikstof en glucose leidt vooral bij de referentiesite tot langdurig verhoogde respiratie.

De ontstane respiratiepieken worden vooral veroorzaakt door microbiële groei, waardoor de respiratiecapaciteit toeneemt. Omdat er zonder toevoeging van een energiebron geen groei

[13] Zie voor resultaten van de overige vier locaties Bijlage N

optreedt leidt toediening van stikstof (zonder glucose) niet tot een noemenswaardige verhoging van de basisrespiratie (gegevens hier niet getoond)

Om de respiratie-snelheden en nutriënt-limitaties goed te kunnen vergelijken tussen de verschillende veengebieden is een en ander is samengevat in Figuur 6.61 (basisrespiraties) en Tabel 6.6 (nutriënt-limitaties).



Figuur 6.61: Afbraaksnelheid onder standaard omstandigheden (basisrespiratie) van verschillende lagen in referentie (REF) en maatregelen (MF) plots van de pilotlocaties NOBV. De locaties Assendelft en Rouveen hebben een afwijkende schaal omdat de basale respiratie daar relatief hoog was.

De basisrespiratie vergeleken tussen de meetlocaties.
Tussen locaties verschilt de basisrespiratie substantieel: deze is in Assendelft duidelijk hoger dan in de andere sites. Hier breekt het veen dus relatief makkelijker af dan in andere locaties. Deze locatie is ook wat betreft chemische samenstelling afwijkend ten opzichte van de andere drie locaties (zie paragraaf 6.13). Dit is naar alle waarschijnlijkheid te verklaren door een wat andere ontstaansgeschiedenis en hieruit voortkomende andere chemische bodemsamenstelling. Bij de locatie Assendelft is het hier aanwezige veen in het verleden enkele malen beïnvloed geweest door overstromingen met brak water én is hier het oppervlaktewater in de omliggende sloten altijd nog licht brak. Hierdoor zijn o.a. sulfaat- en chlorideconcentratie hier beduidend hoger.

De basisrespiratie vergeleken tussen de referentie en maatregelen plot
Alleen in Zegveld is een significant verschil aangetroffen in de basisrespiratie van de bodem tussen het referentieplot (RF) en het maatregelplot (MP). In Aldeboarn heeft de bovenste laag in de maatregelplot een hogere respiratie dan in de referentieplot. Of de verschillen in basisrespiratie veroorzaakt worden door (de duur sinds) de genomen maatregel of mogelijk ook verschillen in de bodemopbouw (dikte kleilaag, type veen) hier een rol in spelen moet nog nader worden uitgezocht. We kunnen op basis van deze potentiële oxidatie snelheden (oxidatiegevoeligheid

van het veen) concluderen dat deze basisrespiratie over het algemeen niet wordt beïnvloed door de genomen maatregelen.

De basisrespiratie vergeleken over de verschillende bodemlagen
De basisrespiratie-metingen laten een redelijk uniform beeld zien van hogere respiratiesnelheden in de bovenste oxidatie laag met uitzondering van de locatie Assendelft waar met name de ox-red zone een verhoogde basisrespiratie laat zien bij het referentieplot. Mogelijk is dit het gevolg van de hoeveelheid sulfaat in deze bodem waardoor de afbraak van organisch materiaal kan plaatsvinden onder anaerobe én aerobe omstandigheden. De wisselende omstandigheden in deze intermediaire laag zorgen mogelijk voor de afbraak van fenolen waarna de anaerobe afbraak met alternatieve elektronenacceptor sulfaat beter kan plaatsvinden (zie ook uitleg enzymic latch hieronder).

6.14.3 Aanwijzingen voor een Enzymic latch?

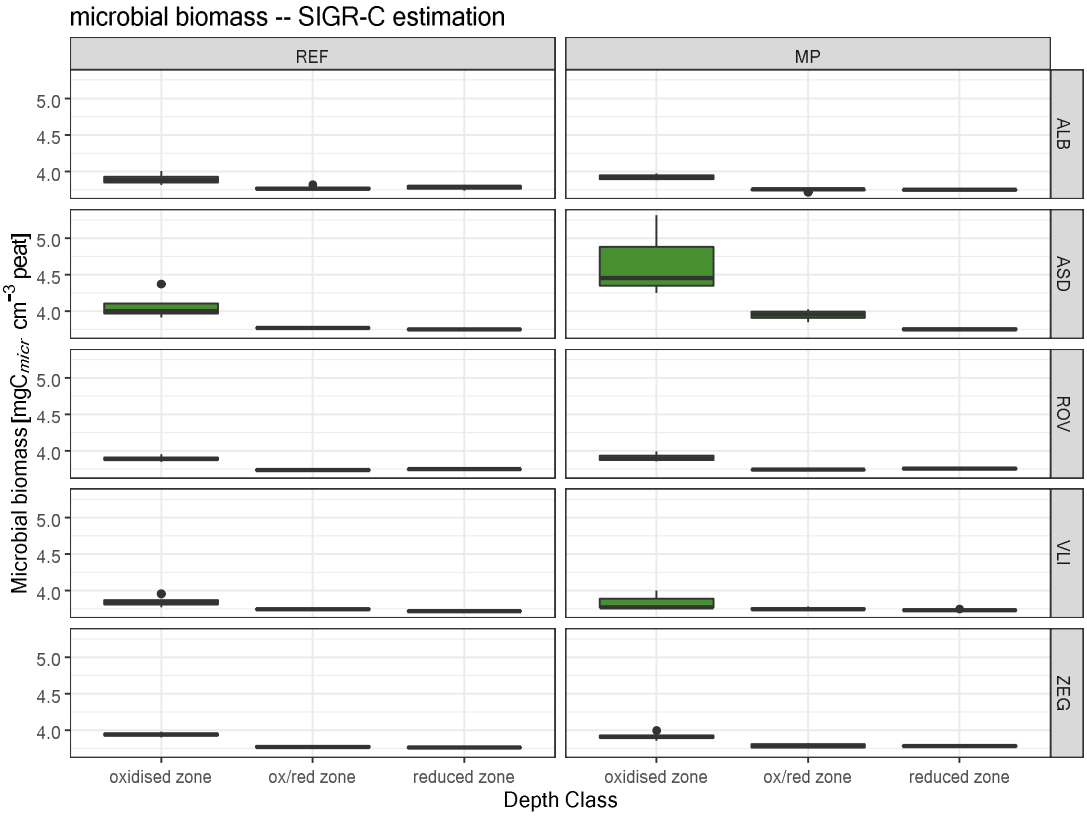
De *enzymic latch* hypothese stelt dat door zuurstoflimitatie in veenbodems fenolen niet kunnen worden afgebroken en dat de aanwezigheid van deze fenolen werkt als een slot op de hydrolase-activiteit (hydrolase-enzymen zijn verantwoordelijk zijn voor de veenafbraak). Bij zuurstofindringing worden de fenolen afgebroken en valt deze bescherming weg. We verwachten hierdoor dat de veenmonsters uit de permanent gereduceerde zone na een zuurstofrijke pre-incubatie mogelijk een hogere afbraaksnelheid zouden vertonen in vergelijking met de bovenliggende aerobe zones. De meetresultaten van de basisrespiratie laten echter geen afwijkend beeld zien voor de anaerobe laag ten opzichte van de aerobe lagen. Onduidelijk is nog of de oxidatie voldoende lang was om fenolen af te breken, of dat het opheffen van de latch niet voor significante toename van respiratie zorgt in deze bodems. Een niet-toenemende afbraak door het wegvallen van de enzymic latch zou kunnen liggen in de lage microbiële biomassa in de gereduceerde zones (Figuur 6.62).

Tabel 6.6: Nutriënt-limitaties van de microbiële gemeenschap in de referentie (REF) en maatregelen (MF) plots uit de vijf meetlocaties van de NOBV pilot. Waar maatregelen mogelijk tot een verschuiving in voedings-beperking heeft geleid zijn deze blauw gemaakt.

	Treatment	oxidised zone	ox/red zone	reduced zone
ALB	REF	N	N	P
	MP	N	N	N
ASD	REF	P	N	P
	MP	N	N	P
ROV	REF	P	P	P
	MP	P	N	P
VLI	REF	P	N	P
	MP	N	N	P
ZEG	REF	P	P	P
	MP	P	P	P

Wanneer we kijken naar de nutriënten-limitaties voor microbiële groei is er een opvallend patroon van een voor groei zeer sterke P-limitatie in de diepere, permanent gereduceerde lagen. Dit komt goed overeen met de biogeochemische resultaten waaruit duidelijk naar voren komt dat de beschikbare P-concentratie (Olsen-P) in de permanent gereduceerde lagen beduidend lager is i.v.m. de bovenliggende aerobe zones, terwijl de beschikbare N-concentratie (NH_4) juist beduidend hoger is in de permanent gereduceerde in vergelijking met de bovenliggende aerobe zones (zie paragraaf 6.13). De P-limitatie wordt in een aantal gevallen opgeheven in de maatregelen plot. Uit een eerste grove vergelijking met de bodemchemische analyses komt dan

ook naar voren dat op enkele locaties zoals ALB, ASD en ROV een trend zichtbaar is met een verhoogde beschikbare P-concentratie (Olsen-P) in de maatregelen plot. Voor de locatie VLI, waar de P-limitatie ook wordt opgeheven (Tabel 6.6) is deze trend niet waargenomen.

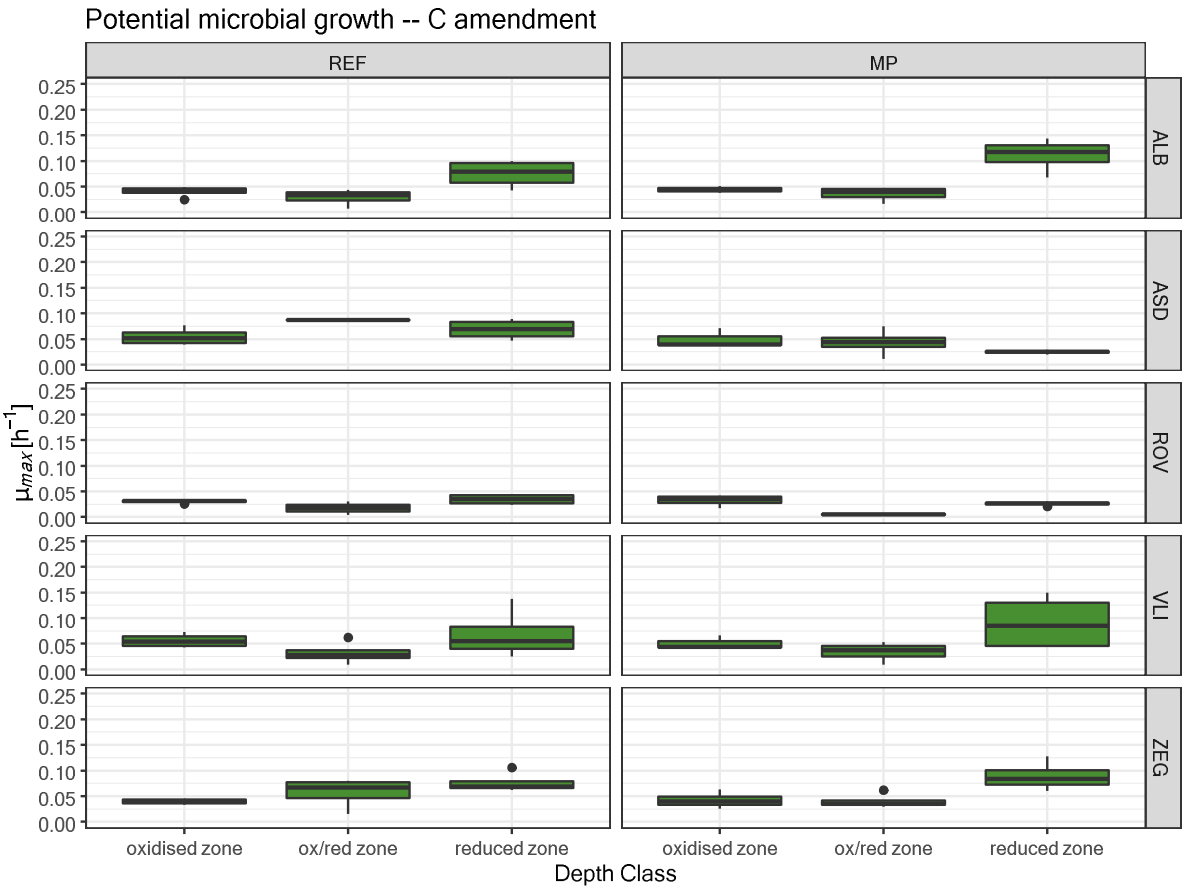


Figuur 6.62: Microbiële biomassa bepaald op basis van de Substrate Induced Respiration.

Microbiële biomassa en groeisnelheid

De respiratie-incubatie metingen laten zien dat de grootste microbiële biomassa aanwezig is in de bovenste, oxische, bodemlagen waarvan te verwachten is dat deze het hoogste externe inputs van nutriënten en gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal ontvangen. De hoogste biomassas worden aangetroffen in de maatregelplot van de veenlaag in Assendelft. Dit zou een effect van de maatregelen kunnen zijn maar kan ook een artefact: als je genoeg vergelijkingen maakt treden er binnen individuele vergelijkingen altijd wel een paar significante vergelijkingen op.

Microbiële gemeenschappen kunnen worden onderscheiden in opportunistisch-gedreven gemeenschappen (r-strategen) of weerstands-gedreven gemeenschappen (K-strategen). Doordat meer opportunistische gemeenschappen minder investeren in veen-afbrekende exo-enzymen kan worden verondersteld dat deze het veen minder snel aantasten. Verschuivingen in strategie kunnen o.a. zichtbaar worden gemaakt door te kijken naar de snelheid waarmee het bodemleven groeit als er een energiebron vrijkomt (Substrate Induced Growth Respiration SIGR): Hoe groter deze snelheid, hoe meer opportunistisch de gemeenschap.



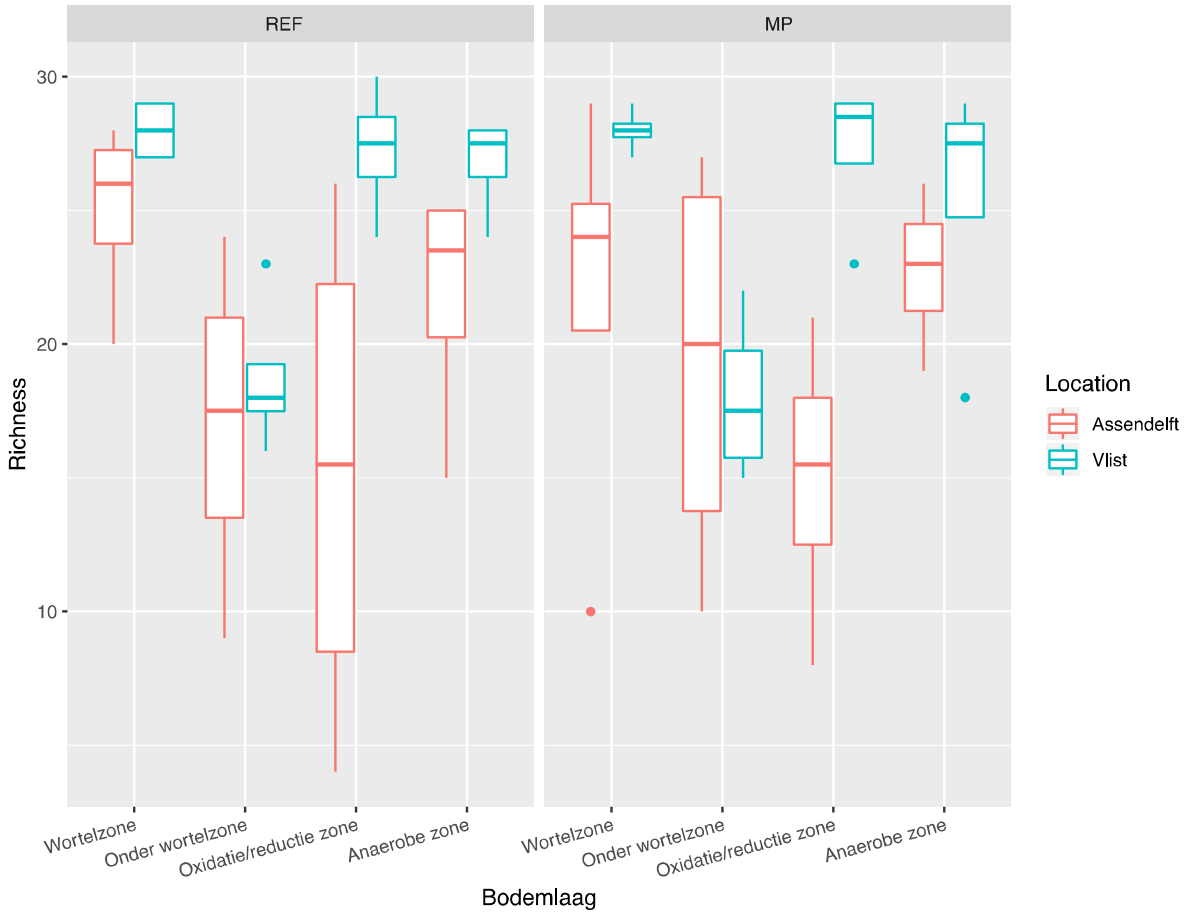
Figuur 6.63: Microbiële groei (μmax) na substraat toediening.

In Figuur 6.63 zien we dat de microbiële groei van in de verschillende lagen met name hoog is in de gereduceerde lagen. Dit is een transitieverschijnsel (overgangseffect) en toont een sterke groei van opportunistische aerobe microbiële micro-organismen op glucose tijdens de incubatie. Deze transitie heeft een sterker effect op de groei van micro-organismen in deze diepere veenlaag door de grote verandering in condities en vanwege een zeer beperkte competitie door de kleine autochtone microbiële gemeenschap (Figuur 6.62).

De condities in de aerobe incubatie wijken zeer sterk af van de condities van de diepste veenlagen in het veld, waardoor de resultaten vooral overgangseffecten zouden kunnen laten zien. Omwille van de vergelijkbaarheid met andere veenlagen hebben we er toch voor gekozen om ook deze diepste lagen aeroob te incuberen. Wanneer we de μmax vergelijken voor tussen de behandelingen kunnen we concluderen dat er op basis van deze metingen geen aanwijzingen zijn voor een veranderende microbiële gemeenschap door de toegepaste maatregel. Komend jaar zal de meting aan de oxidatie-reductie zone en de gereduceerde laag anaeroob worden uitgevoerd met bijpassend substraat zoals acetaat. Dit levert meetgegevens op die dichter liggen bij de microbiële respons en veenafbraak zoals die in het veld te verwachten is.

6.14.4 Resultaten van de BIOLOG Ecoplate metingen

Zoals in de materiaal en methoden is aangegeven hebben we alleen een eerste grove richness analyse gebruikt voor de locaties Assendelft en Vlist om verschillen in het substraatgebruik te onderzoeken.



Figuur 6.64: Diversiteit van substraatgebruik na 96 uur incubatie voor de verschillende veenlagen.

Deze resultaten laten zien dat de veenlagen duidelijk verschillen in de diversiteit van substraten die door het microbioom kunnen worden afgebroken. De wortelzone en de gereduceerde veenlaag hebben in Assendelft en Vlist een hogere diversiteit in substraat gebruik in vergelijking tot de aerobe laag onder de wortelzone (en in Assendelft ook in vergelijking met de oxidatie-reductie zone). We verwachtten in de wortelzone vooral de opportunistisch gedreven microbiële gemeenschap aan te treffen met een beperkt substraatgebruik dan de monsters uit de oxidatie-reductie zone. Nu lijken de opportunistisch gedreven gemeenschappen in staat om een breder pallet van substraten af te breken dan de gemeenschappen in de diepere lagen. De eveneens grote diversiteit in substraatgebruik in de gereduceerde lagen komt weer overeen met het eerder beschreven transitie-effect in deze laag. Deze resultaten laten een beeld zien wat in eerste instantie lijkt af te wijken van onze verwachtingen. Door een uitgebreidere, substraat specifieke, analyse van deze Ecoplate gegevens hopen deze we gegevens beter te kunnen duiden en een completer beeld te krijgen van de metabolische vingerafdruk van de verschillende gemeenschappen. Belangrijkste algemene conclusie die we uit deze analyse kunnen trekken is dat de patronen tussen de referentie- (RF) en de maatregelplot (MP) niet noemenswaardig van elkaar verschillen. Hiermee is er dus geen reden om aan te nemen dat de genomen maateregel de microbiële gemeenschap heeft beïnvloed.

6.14.5 Leerpunten

Uit deze pilot zijn specifiek voor de microbiële metingen een aantal belangrijke leerpunten naar voren gekomen:

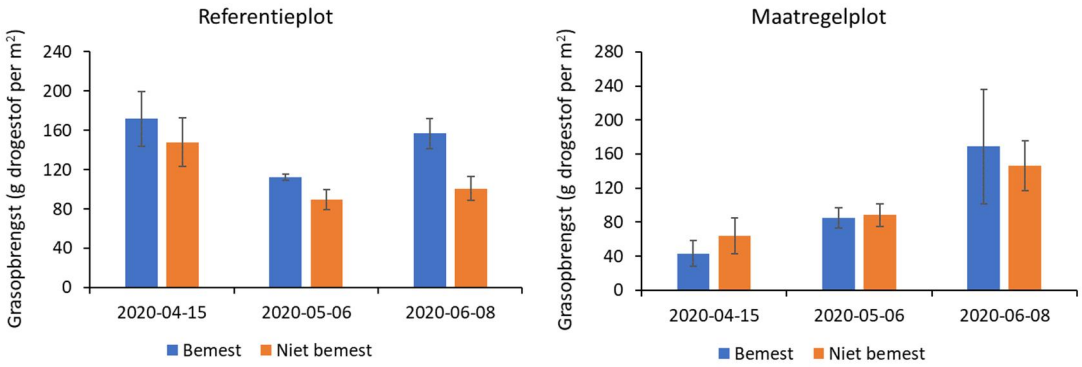
- Als leerpunt uit deze metingen komt naar voren dat het verstandig is om ook de eerste verstoringseffecten direct na monstername op de respirometer te meten omdat deze verstoringseffecten ook informatie opleveren over de microbiële biomassa en de reactie van de autochtone microbiële gemeenschap op conditie veranderingen.
- Deze pilotmetingen hebben het belang van anaerobe metingen bevestigd. Zoals hierboven al beschreven zal komend jaar een deel van de respirometer metingen de aan de oxidatie-reductie zone en de gereduceerde laag anaeroob worden uitgevoerd met bijpassend substraat zoals acetaat. Dit levert meetgegevens op die dichter liggen bij de microbiële respons en veenafbraak zoals die in het veld te verwachten is.
- Daarnaast is gezien dat het naast de berekening van de microbiële biomassa met de respirometer ook belangrijk is om een fumigatie-extractie metingen uit te voeren. Deze meting is al opgenomen in de begroting van jaar 2
- De resultaten van de verschillende locaties laten zich op dit moment moeilijk statistisch vergelijken door de enorm grote verschillen. De variantie is voor veel metingen niet homogeen verdeeld en transformatie van data levert ook niet de gewenste normaliteit op. Dit heeft voor een deel te maken met het beperkt aantal locaties. We moeten ons voor nu dus vooral richten op de vergelijkingen binnen een locatie tussen de veenlagen en tussen de meetplots (RF en MP).
- Omdat de microbiële en biogeochemische metingen niet een enorme infrastructuur vereist zoals het geval is met de bodemdaling en emissie metingen stellen we voor om naast de NOBV-meetlocaties een bredere range van gebieden te gaan bemeten om te komen tot een basislijn voor het Nederlandse veenweidegebied van ongestoorde natuurgebieden tot zeer sterk geoxideerde moerige gronden. De metingen kunnen dan eenvoudig gekoppeld worden aan de vaste meetplots en aan de locaties waar ook met de mobiele meetopstelling gemeten gaat worden.

Samenvatting

- De microbiologische en bodem-chemische metingen in deze NOBV-pilot laten zien dat momenteel de verschillen tussen de locaties veel sprekender zijn dan de effecten van de maatregelen.
- De grote diversiteit in de locaties roept vragen op over de representativiteit van de verschillende meetlocaties voor het Nederlandse veenweidegebied. Een bredere screening van Nederlandse veenweidegebieden met flexibele meetmethoden als de incubaties en bodem-chemische parameters kan de belangrijk bijdragen aan de opschaling van de NOBV-meetgegevens.

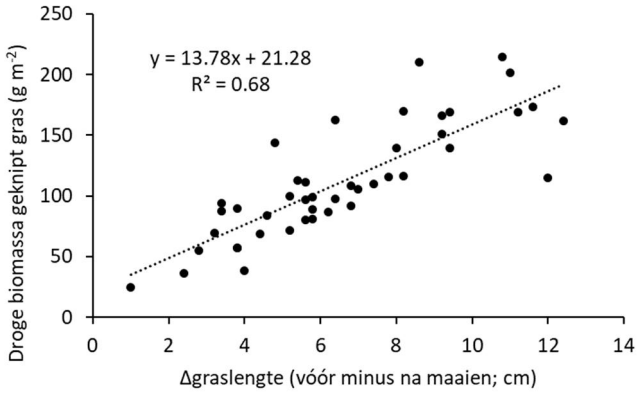
6.15 Grasopbrengst

Hoewel nog niet alle analyses verricht zijn kan er van de grasopbrengst in Aldeboarn voorlopige resultaten getoond worden. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**65 zijn de grasopbrengsten van de gewasopbrengstplotjes in Aldeboarn te zien. Het valt op dat de opbrengst in april veel hoger is in het referentieplot dan in het maatregelplot. Verder in het seizoen wordt dit verschil tussen plots kleiner. Verder is te zien dat er meestal geen verschil is tussen de grasopbrengst van de bemeste en de onbemeste subplots. Alleen in mei en met name in juni is er een hogere opbrengst in het bemeste t.o.v. het onbemeste subplot, maar alleen in het referentieplot.



Figuur 6.65: Grasopbrengst meetplots Aldeboarn. Errors bars geven 1 standaarddeviatie weer.

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is de relatie tussen de lengte en biomassa van geknipt gras te zien (onvolledige dataset). Met behulp van deze relatie en de tweewekelijkse grashoogtemetingen kan door het seizoen heen een schatting van de staande grasbiomassa worden gemaakt.



Figuur 6.66: De relatie tussen graslengte en biomassa (locatie Aldeboarn)

6.16 Opzet database

Voor dataopslag, beschikbaarheid en bereikbaarheid wordt gebruik gemaakt van drie hoofdsystemen: Research drive, PostGreSQL database en Grafana.

6.16.1 Research drive

Cloudopslag platform dat speciaal is ontwikkeld om onderzoekssamenwerking tussen universiteiten, instituten en bedrijfsleven binnen Nederland te stimuleren (https://www.surf.nl/research-drive-onderzoeksdata-veilig-en-eenvoudig-opslaan-en-delen). Researchdrive ziet eruit als een online-folderstructuur waar datafiles naartoe kunnen worden gekopieerd en vanaf kunnen worden gedownload. Ook kan ermee gezamenlijk aan een tekst worden geschreven. Het is een opslagplatform en geen database omdat aan researchdrive geen zoekopdrachten kunnen worden gegeven zoals: “wat zijn de zuurstofwaarnemingen in Assendelft tussen 8 mei en 10 juli 2020? “. Toegang tot de researchdrive moet worden aangevraagd bij de NOBV-consortiumraad en is beperkt tot NOBV-leden.

6.16.2 PostGreSQL database

Relationele database waarin gezocht kan worden naar gewenste data. Via zoekopdrachten kan je de data van specifieke sensoren, periodes, diepten en locaties opvragen zoals in het voorbeeld

hierboven. Directe toegang tot deze database vereist specifieke IT/software kennis en is daarom slechts voor enkelen interessant. Toegang gaat via een inlognaam en password en kan na goedkeuring door de NOBV-consortiumraad worden aangevraagd bij de IT-projectondersteuning van de VU. Indirecte toegang via Grafana zal voor de meeste gebruikers interessanter zijn.

3 niveaus van de PostGreSQL database (datatype 1)

- Voordat de gemeten data beschikbaar is voor gebruik zijn enkele voorbewerkingstappen en keuzes noodzakelijk. Hiertoe hebben we de PostGreSQL database in 3 niveaus opgedeeld:
- Level0: De data zoals het binnenkomt bij de VU. Hierin zit de data per bron gegroepeerd. Sommige sensoren zoals de waterstandrecorders, de EC-torens en de extensometers hebben een eigen platform waar de data eerst verzameld wordt. Vandaar uit wordt de data doorgestuurd naar Researchdrive (ellitrack/grondwater) van waar het automatisch wordt geüpload in de PostgreSQL database Dit is dus allemaal ruwe data.
- Level1: Alle metingen uit Level0 krijgen een eenduidige naamgeving en tijdzone (Helaas slaan sensoren hun data op in verschillende tijdzones i.e. zomer of /winter tijd, Centraal Europese tijd of Universal Time Coordinate). De metingen zijn niet meer gegroepeerd per bron, maar per variabele en tijdstip. In de naamgeving van de variabele zitten locatie, maatregel, positie binnen locatie, diepte of hoogte en de variabele zelf verwerkt. Een redox sensor (REDX) uit de groep sensoren die bodemchemie (SCG) meten in Aldeboarn (ALB) op het referentie perceel (RF) op positie 1, 40cm diepte (D) heet: ALB_RF_SCG_REDX_1_D_040. Bovendien vindt in de bewerking van Level0 naar Level1 een eerste check plaats op de uniformiteit van de data. Deze bewerkingen zijn zo opgezet dat de Level1 database altijd opnieuw kan worden opgebouwd uit de Level0 database.
- Level2: De ruwe data zoals opgeslagen in de Level1 database is vaak niet geschikt voor direct gebruik, interpretatie of rapportage. Vaak zullen datasets gecombineerd of bewerkt moeten worden om er conclusies aan te kunnen verbinden. Als voorbeeld de CO_2-fluxen: we meten CO_2 concentraties in de kamers. Die staan in de Level1 database. Uit concentratie veranderingen berekenen we CO_2 fluxen, die we vervolgens combineren met handmetingen van koolstofgehalten in het gemaaide gras om de jaarlijkse koolstofbalans op te stellen. Pas dan kunnen we bepalen hoeveel CO_2 uit de veenbodem is vrijgekomen. Deze berekende fluxen, de totale koolstofbalans en de veenbodemflux slaan we op in een Level2 database. Level2 data is daarom fundamenteel anders dan Level1 data. Level1 data heeft maar 1 versie: de ruwe gemeten data. Data in level2 kan vele versies hebben afhankelijk van de methodiek, aggregatie tijd- en ruimteschaal of opsteller. Hierbij is versiebeheer dus van groot belang. In ieder geval zullen in de Level2 database alle gerapporteerde datasets beschikbaar worden.

6.16.3 Grafana

Grafische software waarmee je de data in de PostGreSQL database kan visualiseren (Figuur 6.67 en Figuur 6.68) en downloaden voor verdere bewerkingen. Hiervan zullen we verschillende versies opzetten, elk geschikt gemaakt voor specifieke doelgroepen (NOBV-kernonderzoekers, mensen behorende tot een NOBV-samenwerkingsverband en externen). Toegang gaat via inlognaam en password die kunnen worden aangevraagd bij de NOBV-consortiumraad.

Onze data kunnen voorlopig worden opgedeeld in twee typen:

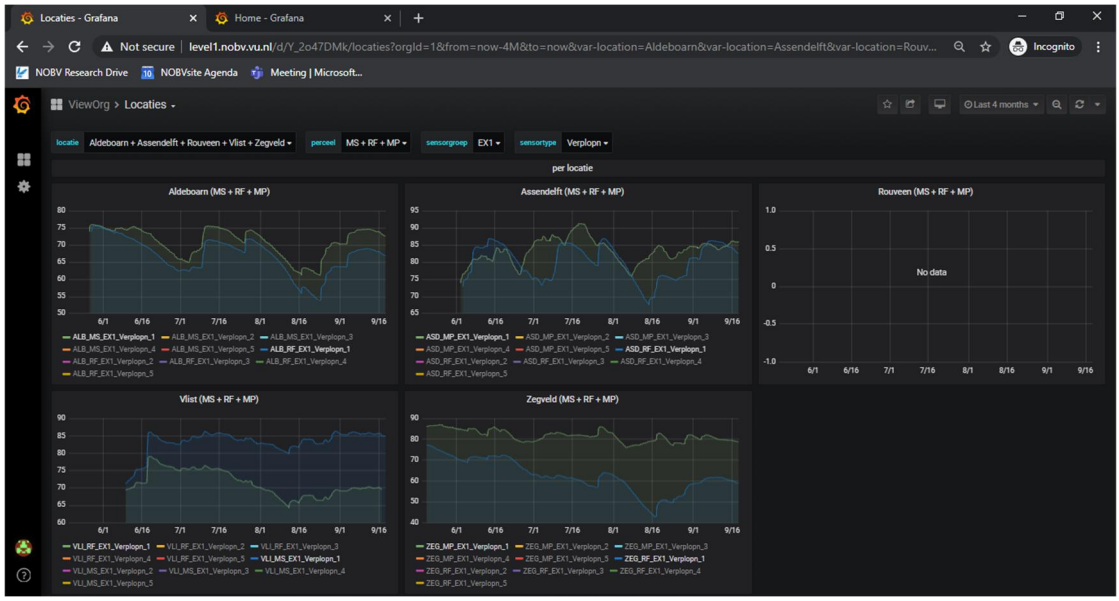
1) Sensoren die waarnemingen doen en deze via het mobiele telefoonnetwerk doorsturen.
   Al deze sensoren sturen hun data direct of via een tussenstap door naar de PostGreSQL database. Momenteel zijn dit meer dan 3000 sensoren die meestal elke 15 minuten en sommige (gasfluxmetingen) elke 2 seconden een waarneming doen. De computers/servers die deze PostGreSQL database runnen maken deel uit van ICT-infrastructuur van de VU-Universiteit, waarmee ook de backup van de data is gewaarborgd.

2) Handmatige metingen, sensoren die niet zijn aangesloten op het mobiele telefoonnetwerk en metadata over de sensoren, veldsites en installatie
   Dit type metingen en informatie wordt voorlopig door de verzamelaar of sitemanager opgeslagen op de researchdrive op een logische locatie. De precieze folderstructuur hiervoor is nog in ontwikkeling (zie Figuur 6.67)

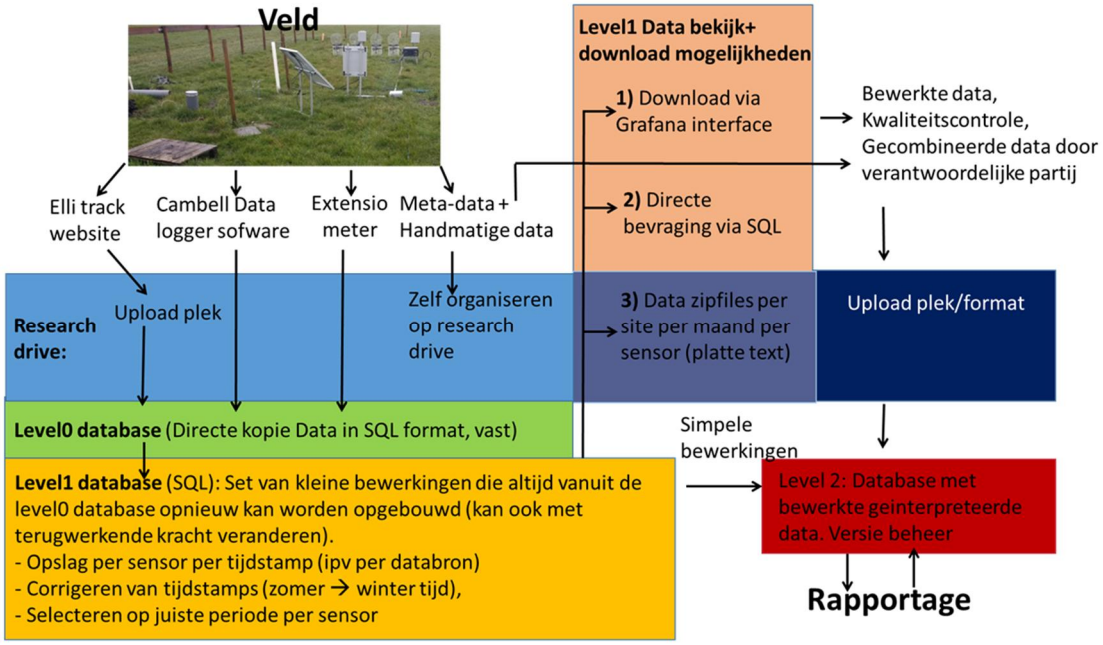
6.16.4 Huidige stand van zaken

Momenteel zijn we nog druk met het opbouwen van de Level1 database uit alle sensoren die online beschikbaar komen. Vooral aan de grondwaterstandsmetingen en metadata van de sensoren moet nog veel gedaan worden. We denken na over de structuur en ontwerp van de Level2 database. De eerste datasets voor Level2 komen met deze rapportage beschikbaar. Met Grafana kunnen we nu de Level1 database bekijken en bevragen. Hier volgen enkele voorbeelden:

Figuur 6.657: Voorbeeld van de Grafana interface: netto langgolvige en kortgolvige staling voor de 5 locaties van de afgelopen 2 dagen.



Figuur 6.668: Voorbeeld van de Grafana interface: Maaiveld bewegingen (in mm) op de referentie en maatregel plots voor 4 locaties gedurende de afgelopen 4 maanden.



Figuur 6.679: Structuur van datastromen en dataopslag

7 Vooruitblik meetjaar 2: 2020 – 2021

7.1 Focus op doelstellingen

Zoals beschreven in Hoofdstuk 1 wordt binnen het NOBV gewerkt aan de volgende doelstellingen:

i. het bepalen van de effecten van maatregelen in het veenweidegebied op broeikasgasuitstoot en bodemdaling,
ii. het opstellen van een meetprotocol voor het meten van broeikasgasuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied,
iii. het actualiseren en optimaliseren van het modelinstrumentarium voor het voorspellen van broeikasgasuitstoot en bodemdaling, en
iv. het opbouwen van een landelijk dekkend meetnetwerk dat gebruikt kan worden voor langjarige monitoring van de broeikasgasuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied.

In het eerste meetjaar (2019-2020) lag de focus van NOBV met name op het opbouwen van het meetnetwerk voor het bepalen van de effecten van maatregelen in het veenweidegebied. Daarnaast is een start gemaakt met het fundamenteel onderzoek dat nodig is voor het verkrijgen van mechanistisch begrip en het monitoren van de broeikasgasuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied. In de komende jaren wordt een verschuiving voorzien van het opbouwen van het gedetailleerd meetsysteem voor doelstelling i) (jaren 2019,2020, 2021) naar steeds meer investeringen in het mechanistisch begrip, het bepalen van de effecten van maatregelen (jaren 2020, 2021 en verder), en het ontwikkelen van numerieke modellen en uitrollen van een landelijk geoptimaliseerd monitoringssysteem (jaren 2020, 2021 en verder).

Voor meetjaar 2 (2020-2021) heeft STOWA het NOBV onderzoeksconsortium gevraagd zorg te dragen voor de onderzoekselementen in de volgende programmalijnen:

- kennis over effectiviteit van maatregelen
- aanleg van nieuwe meetsites
- monitoring van de broeikasgasuitstoot

7.2 Programmalijn: Kennis over effectiviteit van maatregelen

De activiteiten binnen deze programmalijn sluiten direct aan op de werkzaamheden die in het eerste meetjaar zijn uitgevoerd. De activiteiten zorgen voor borging en continuering van het huidige meetsysteem en functioneren van het onderzoeksconsortium. Daarnaast wordt er verder geïnvesteerd in onderzoekers (capaciteit) die werken aan het mechanistisch begrip van broeikasgasuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied en aan data-analyse capaciteit. Ook worden een aantal zaken die vorig jaar zijn blijven liggen vanwege budgettaire redenen of tijdsgebrek dit tweede meetjaar opgepakt.
Concreet gaat het om de volgende activiteiten:

- Voorzetten huidige metingen op huidige locaties
- Overnemen metingen die nu nog door lokale projecten worden gedaan
- Lachgas- en methaan metingen op aanvullende locaties
- Uitproberen experimentele sensoren en meetmethoden
- Uitbreiden van fundamenteel en mechanistisch onderzoek
- Upgraden modelinstrumentarium
- Opschaling: opbouw eddy covariance netwerk en airborne metingen
- Broeikasgasmetingen in open water en sloten

7.3 Programmalijn: Aanleg van nieuwe meetsites op aanvullende pilots

In het eerste meetjaar zijn vijf meetlocaties opgebouwd bestaande uit steeds twee meetplots (1x maatregelenmeetplot, 1x referentiemeetplot). De maatregelen waar aan gemeten wordt zijn onderwaterdrainage en drukdrainage en in beperkte mate hoger slootpeil en natte teelten. Er is daarom een behoefte om het pakket aan maatregelen waaraan wordt gemeten uit te breiden. Tegelijkertijd zijn er typen veenlandschappen die nu niet worden gemeten, waardoor er geen compleet is van de broeikasgasuitstoot in de organische gronden in Nederland, dit zijn landschapsreferentielocaties.

Deze aanvullende maatregelen/landschappen die in het tweede meetjaar ingericht worden zijn:

- twee meetplots in kernmoerassen (klassieke veennatuurgebieden) - landschapsreferentie,
- twee meetplots in natte teelten – voorgesteld lisdodde en veenmos – extra maatregel,
- twee meetplots bij een melkveehouderij waar met behulp van onderwaterdrainage/drukdrainage de grondwaterstand op -20 en -40 cm maaiveld wordt gehouden (“geregeld hoog”) – extra maatregel,
- twee meetplots bij een melkveehouderij waar een drooglegging van -20 cm maaiveld geldt (“ongeregeld hoog”) – extra maatregel.
- Een extra meetplot op een locatie met melkveehouderij op moerige grond – landschapsreferentie.

In overleg met STOWA en andere relevante gremia wordende definitieve locaties bepaald. De inrichting van de meetplots is gebaseerd op de inrichting van de meetlocaties in meetjaar 1, waarbij een paar wijzigingen zijn aangebracht als de omstandigheden op een locatie daarom vroegen, met name bij de sites met natte teelten en de natuurlocaties. De definitieve inrichting kan pas worden opgesteld na een locatiebezoek en vooronderzoek.

7.4 Programmalijn: Monitoring

In de vierde doelstelling van het NOBV staat het ontwerp en implementatie van een meetsysteem waarmee landsdekkend de uitstoot van broeikasgassen en de bodemdaling in het veenweidegebied gevolgd kan worden centraal. Een dergelijk meetsysteem kan ook bijdragen aan de monitoring van de voortgang met betrekking tot de reductiedoelstellingen en of er bijgestuurd moet worden.

In deze programmalijn wordt aansluiting gezocht bij de rapportage van broeikasgasuitstoot binnen de LULUCF-sector ten behoeve van de internationale klimaatverdragen. Ook kijken we hoe we kunnen aansluiten bij (inter)nationale standaarden van kwaliteitsborging van monitoring. Zo kan bijvoorbeeld goede afstemming van de NOBV inspanningen met ICOS voorzien in een meer internationaal geaccepteerde kwaliteitsborging van de metingen en faciliteert uitwisseling van gegevens met EU partners die vergelijkbaar landgebruik en bodemtypes meten. Gestreefd wordt één NOBV site op te waarderen naar op zijn minst “ICOS associated” status en op termijn wellicht naar “ICOS level-2”.

Er zal een balans gezocht moeten worden tussen de vereiste apparatuur, te volgen onderhouds- en meetprotocollen en te betalen “ICOS-bench fees” (tezamen een substantiële financiële inspanning) en de toegevoegde waarde van ICOS conformiteit. Ten behoeve van de monitoring van emissies is daarom belangrijk om te gaan werken aan het testen van bijvoorbeeld een lichter meetsysteem dat de vlakdekkende metingen kan gaan ondersteunen.

8 Referenties

Anderson, J. P. E., & Domsch, K. H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil biology and biochemistry, 10(3), 215-221.

Aubinet, M., Vesala, T., & Papale, D. (Eds.). (2012). Eddy covariance: a practical guide to measurement and data analysis. Springer Science & Business Media.

Bakker, H. D., & Schelling, J. (1989). Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. Staring Centrum Wageningen.

Bosch, J. H. A., & Directie, T. N. (2000). Standaard boor beschrijvingsmethode. Netherlands Institute of Applied Geosciences TNO, Report NITG 00-141-A.

De Vries, F., Brouwer, F., & Walvoort, D. (2018). Basisregistratie Ondergrond (BRO) actualisatie bodemkaart: Herkatering westelijk veengebied Waterschap Drents Overijsselse Delta (No. 2887). Wageningen Environmental Research.

Erkens, G., de Vries, S., Zwanenburg, C., van der Kolk, B., de Bruin, H., (2013). Dijken op Veen II. Deltares rapport 1208254-013, 47 p.

Erkens, G., Van der Meulen, M.J., Middelkoop, H., (2016). Double trouble: Subsidence and CO_2 respiration due to 1,000 years of Dutch coastal peatland cultivation,Hydrogeology Journal 24 (3) 551-568

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter, A. van den Toorn (2013): Pilot onderwaterdrains Utrecht. Alterra Rapport 2479, Wageningen.

Keuskamp, J.A., Schmitt, H., Laanbroek, H.J., Verhoeven, J.T.A., Hefting, M.M. (2013), Nutrient amendment does not increase mineralisation of sequestered carbon during incubation of a nitrogen limited mangrove soil, Soil Biology and Biochemistry, 57, pp. 822-829.

Nijp, J. J., Metselaar, K., Limpens, J., Bartholomeus, H. M., Nilsson, M. B., Berendse, F., & van der Zee, S. E. (2019). High-resolution peat volume change in a northern peatland: Spatial variability, main drivers, and impact on ecohydrology. Ecohydrology, 12(6), e2114.

Schothorst, C. J. (1977). Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands. (Technical bulletin / Institute for Land and Water Management Research; No. no. 102). Institute for Land and Water Management Research.

Ten Cate, J. A. M., Van Holst, A. F., Kleijer, H., & Stolp, J. (1995). Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel A: bodem.

Van Asselen, S., Erkens, G., Stouthamer, E., Woolderink, H.A.G., Geeraert, R.E.E., Hefting, M.M., (2018) The relative contribution of peat compaction and oxidation to subsidence in built-up areas in the Rhine-Meuse delta, The Netherlands,Science of the Total Environment 636 177-191

Van Asselen, S. (2020). Pilot onderwaterdrainage: effecten op bodemdaling in het peilgebied Kostverloren- en Kloosterzijl (Overijssel). Deltares rapport 11202992-003-BGS-0001, 6 februari 2020, 58 pp.

Zwanenburg, C. (2017). The Development of a Large Diameter Sampler. Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

9 Bijlagenlijst

A. Bijlage: Methodiek LiDAR
B. Bijlage: Plattegrond plots Rouveen
C. Bijlage: Extensometer resultaten
D. Bijlage: Handboringen Aldeboarn
E. Bijlage: Sonderingen Aldeboarn
F. Bijlage: Handboringen Rouveen
G. Bijlage: Handboringen Assendelft
H. Bijlage: Sonderingen Assendelft
I. Bijlage: Handboringen Zegveld
J. Bijlage: Sondering Zegveld
K. Bijlage: Handboringen Vlist
L. Bijlage: Sonderingen Vlist
M. Bijlage: Overzicht eerste resultaten samendrukkingsproeven
N. Bijlage: resultaten bodemincubatie