Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) Operationele jaarrapportage 2020-2021

Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) - Operationele jaarrapportage 2020-2021

Auteurs

Gilles Erkens, Sanneke van Asselen, Saskia Hommes-Slag, Roel Melman, Henk Kooi, Harry van Essen, Laura Nougues Pieter Doornenbal - DELTARES, UTRECHT/DELFT

Merit van den Berg, Ralf Aben, Christian Fritz, Coline Boonman, Mandy Velthuis, Roy Belderok, Reinder Nouta (Wetterskip Fryslân/RU), Judith van der Knaap – Radboud Universiteit Nijmegen, NIJMEGEN

Rudi Hessel, Daniël van de Craats, Harry Massop, Paul Gerritsen, Jordy van ’t Hull, Gerard Velthof, Jan van den Akker, Rob Hendriks, Karel van Houwelingen (KTC Zegveld/WEnR) – Wageningen Environmental Research, WAGENINGEN

Ype van der Velde, Jim Boonman, Ron Lootens, Merit van den Berg, Corine van Huissteden - Vrije Universiteit Amsterdam, AMSTERDAM

Mariet Hefting – Universiteit Utrecht, UTRECHT

Ronald Hutjes, Bart Kruijt, Erne Blondeau, Jan Willem van Groenigen, – Wageningen Universiteit, WAGENINGEN

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

Partners

DELTARES, UTRECHT/DELFT

Radboud Universiteit Nijmegen, NIJMEGEN

Wageningen Environmental Research, WAGENINGEN

Vrije Universiteit Amsterdam, AMSTERDAM

Universiteit Utrecht, UTRECHT

Wageningen Universiteit, WAGENINGEN

Onderzoekcentrum B-WARE, NIJMEGEN

Nationaal onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) - Operationele jaarrapportage 2020-2021

Opdrachtgever	STOWA
Contactpersoon	Pui Mee Chan

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	08-11-2021
Projectnummer	11206451-002
Document ID	11206451-002-BGS-0001
Pagina's	105
Status	definitief

Inhoudsopgave

1	**Inleiding**	**7**
1.1	Context en aanleiding	7
1.2	Doelstelling NOBV	8
1.3	Opzet van het NOBV onderzoek	8
1.4	Doel van deze rapportage	9
1.5	Relatie met andere NOBV rapportages	9
1.6	Leeswijzer	11
2	**Metingen op bestaande meetlocaties**	**12**
2.1	Kamermetingen	12
2.1.1	Kamersystemen van Eosense (Aldeboarn, Rouveen en Zegveld)	12
2.1.2	Data-analyse en onzekerheden	15
2.1.3	Uitbreiding sensoren automatische kamers (RU)	15
2.1.4	Analyse van broeikasgasfluxen bepaald met automatische kamers	16
2.1.5	Het verkrijgen van inzicht in de gemeten CO_2 fluxen	17
2.2	EC metingen	17
2.2.1	Meetprincipe en methodologie	17
2.2.2	Bestaande EC stations	18
2.2.3	Nieuwe EC stations	20
2.2.4	EC-lachgasmetingen in samenwerking met TNO	22
2.2.5	Ontwikkelen van een standaard proces voor berekenen, dataprocessing en conventies voor de EC metingen	23
2.3	Vliegtuigmetingen	24
2.4	Mobiele metingen	28
2.5	Lachgas- en methaanmetingen	34
2.5.1	Ervaringen lachgasemissiemetingen Zegveld	37
2.6	Bodembewegingsmetingen	37
2.6.1	Experimentele sensoren en meetmethoden	39
2.7	Grondwaterstandmetingen	42
2.8	Bodemvochtprobes	45
2.9	Tensiometers	47
2.10	Redox en zuurstof	50
2.11	Respiratiemetingen	50
2.12	Biogeochemische metingen	54
2.12.1	Bodemchemie	54
2.12.2	Waterkwaliteit en porievocht	54
2.12.3	Aanpassingen meetprotocol (van standaard naar vraag-gestuurde monitoring)	55
2.12.4	Overige aanpassingen t.o.v. meetprotocol	55
2.13	Bodemonderzoek WEnR	56

2.14 Bodemonderzoek Deltares 69
2.15 Meteo 70
2.16 Onderhoudsactiviteiten 72
2.17 Technisch werk 75
2.18 Koolstofprofielen 76
2.19 Modelinstrumentarium 76
2.20 Monitoring 77

3 Opzet nieuwe meetlocaties 80

3.1 Inleiding 80
3.2 Zegveld Hoogwater 80
3.2.1 Opzet meetlocatie 80
3.2.2 Status 81
3.3 Lange Weide 82
3.3.1 Opzet meetlocatie 82
3.3.2 Status 83
3.4 Natuur meetlocaties 84
3.4.1 Opzet meetlocaties Weerribben en Wieden 84
3.4.2 Status 84
3.5 Ankeveen 85
3.5.1 Opzet meetlocatie 85
3.5.2 Status 85
3.6 Paludicultuur en alternatieve teelten locaties 87
3.6.1 Voorstel opzet meetlocatie Ilperveld 87
3.6.2 Voorstel opzet meetlocatie Zegveld (Olifantengras) 88
3.6.3 Voorstel opzet meetlocatie Krimpenerwaard (Amerikaanse Cranberry) 88
3.7 Vegelinsoord 90
3.7.1 Opzet meetlocatie 90
3.7.2 Status 90
3.8 Mobiele meetlocaties 91
3.8.1 Opzet meetlocatie 91
3.8.2 Status 93
3.9 Broeikasgasemissie uit open water en sloten 93
3.9.1 Pilotstudie slootemissies 93
3.9.2 Experimentele instrumentatie voor het meten van broeikasgasfluxen uit open water en sloten (RU) 93

4 Database NOBV 97

4.1 Systemen voor dataopslag 97
4.2 Typen data 98
4.3 3 niveaus van de PostGreSQL database (datatype 1) 98
4.4 Huidige stand van zaken 99

5 Praktische problemen, oplossingen en geleerde lessen 100

5.1 Kamermetingen 100
5.2 Bodemvochtmetingen 101
5.3 Airborne LiDAR metingen 101
5.4 Tensiometersensoren 102
5.5 Proces rondom opzetten nieuwe locaties 102

A Bijlage: Methoden EC data analyses 104
A.1 Quality Screening 104
A.2 Gap filling 104

1 Inleiding

1.1 Context en aanleiding

Voor u ligt de tweede jaarrapportage van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV). Dit onderzoeksprogramma is in september 2019 van start gegaan. In deze jaarrapportage wordt op hoofdlijnen verslag gedaan de periode 1 juli 2020 tot 30 juni 2021 (meetjaar 2). Het doel van deze rapportage wordt toegelicht in paragraaf 1.4.

De Nederlandse veenweidegebieden en organische gronden[1] 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 ten opzichte van 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 broeikasgasuitstoot uit de 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[2] 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 al gemeten is aan broeikasgasuitstoot in veenweidegebieden ontbrak het aan een structurele monitoring van broeikasgasemissies in deze gebieden. Door de versnipperde en kortdurende meetreeksen was het daarom niet mogelijk om een zinvolle vergelijking te maken op grond van de emissies en de onderliggende processen voor locaties waar maatregelen zijn genomen en locaties waar dit niet gedaan is. Terwijl juist lange termijn meetreeksen en structurele monitoring essentieel zijn bij het bepalen van de effectiviteit van maatregelen die genomen zullen worden om de broeikasgasuitstoot uit het veenweidegebied te verminderen. Dit geldt ook voor het monitoren, 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] 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.

[2] 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.

1.2 Doelstelling NOBV

De hierboven genoemde maatschappelijke en technische opgaven hebben geleid tot het formuleren van de volgende vier doelstellingen voor het NOBV:

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. Dit vormt de onderliggende voorwaardelijke doelstelling van het NOBV om aan de hoofddoelstellingen te voldoen.

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 dus meerwaarde, omdat op deze manier inzichtelijk gemaakt kan worden wat maatregelen opleveren voor het reduceren van broeikasgasuitstoot en bodemdaling.

1.3 Opzet van het NOBV onderzoek

Het NOBV wordt uitgevoerd door een onderzoeksconsortium bestaande uit de volgende 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, TNO en Flevo Instruments. Het NOBV wordt uitgevoerd in opdracht van de werkgroep veenweide, waarbij STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer) als gedelegeerd opdrachtgever fungeert.

In de eerste jaren (2019-2020) 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). Hiermee is er gestart met het fundamenteel onderzoek dat nodig is voor het verkrijgen van mechanistisch begrip van broeikasgasuitstoot en bodemdaling in veengebieden. Ook 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.

De komende jaren wordt voorzien in een steeds verdere uitbouw van 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.

1.4 Doel van deze rapportage

Dit document bevat de operationele jaarrapportage van het NOBV voor meetjaar 2 (periode 1 juli 2020 - 30 juni 2021). De operationele jaarrapportage bevat informatie over de activiteiten die uitgevoerd zijn binnen het NOBV. Hierbij is niet geprobeerd compleet te zijn, maar alleen die activiteiten te rapporteren die nieuw waren, of die anders liepen dan gedacht. Hiermee borduurt dit document ook voor op de jaarrapportage voor meetjaar 1 (2019-2020) waarin ook een operationeel deel is opgenomen. Dit document is daarmee te zien als een logboek van de activiteiten. Deze rapportage gaat over wat er door de partners en onderaannemers van NOBV is gedaan in meetjaar 2, of er afwijkingen zijn van de oorspronkelijke opzet, en tegen welke problemen we zijn opgelopen en wat we hiervan hebben geleerd. Het is belangrijk dit goed te documenteren met oog op het analyseren van verkregen data, en te leren van dingen die goed of minder goed zijn gegaan. Geleerde lessen worden meegenomen bij het opzetten van nieuwe meetlocaties, en bij het optimaliseren van bestaande meetopstellingen. Het is voorzien dat deze rapportage met name interessant is voor diegene die vergelijkbare activiteiten uitvoeren en zodoende gebruik kunnen maken van de beschreven ervaringen. Maar het rapport is ook een naslagwerk voor diegene die de ontwikkeling van het NOBV willen volgen. Tenslotte is deze rapportage van belang voor de onderzoekers zelf, omdat de beschrijvingen in dit rapport kunnen helpen bij het analyseren van verkregen data. Daarnaast kunnen de beschreven geleerde lessen worden meegenomen bij het opzetten van nieuwe meetlocaties, en bij het optimaliseren van bestaande meetopstellingen.

1.5 Relatie met andere NOBV rapportages

De voorliggende rapportage maakt onderdeel uit van de NOBV jaarrapportage, welke bestaat uit de volgende onderdelen (Figuur 1.1):

- Onderzoeksstrategie (*Welke strategie is gevolgd?*); dit is een jaarlijkse versie van een dynamisch document (een document dat steeds weer geactualiseerd wordt) met de beschrijving van de onderzoeksstrategie en lange termijn visie op het onderzoek. In dit document staat ook een samenvatting van de plannen voor het komend onderzoeksjaar.

- Meetprotocol (*Hoe wordt er gemeten?*); dit protocol beschrijft de stappen voor het doelmatig meten van broeikasgassenuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied met een uitwerking voor twee doelstellingen (lokaal/mechanistisch en landelijk/structureel). Het is een dynamisch document dat jaarlijks geactualiseerd wordt.

- Operationele rapportage (*Wat is er in de praktijk gedaan?*); Een jaarlijkse rapportage over de ervaringen en operationele beslissingen bij het uitvoeren van het lopende onderzoek en het inrichten van nieuwe meetlocaties, in de vorm van een logboek.

- Data-analyse rapportage (*Wat zijn de resultaten van de metingen?*); Een jaarlijkse rapportage met een overzicht en analyse van de verkregen data. Hierin wordt analyse van de effecten van maatregelen op de verschillende locaties beschreven. Daarnaast worden verder inzichten en data beschreven, die gebruikt worden voor de analyse van effecten. En ook de modelresultaten komen hier aan bod (deze rapportage).

- Hypothese/kernvragen document (*Hoe worden de uitkomsten geduid?*); dit is een dynamisch document waarin de voortgang gemaakt met betrekking tot de hoofddoelstellingen van dit onderzoeksprogramma (effectiviteit van de maatregelen; landsdekkende monitoring) en beleidsrelevante informatie (kengetallen, etc.) worden gerapporteerd. Dit document bevat vragen waar het onderzoeksconsortium van het NOBV elk jaar opnieuw, naar beste inschatting, een antwoord op formuleert. Bij elke vraag hoort ook een probleemstelling (waarom is het belangrijk? Wat gaat er niet goed als we dit niet weten?) en een hypothese (wat denken dat het antwoord is en op basis waarvan? De hypothese moet toetsbaar zijn). De vragen in dit document zijn met name voor een grotere groep van belang en kunnen in beleidsmatige en bestuurlijke context gebruikt worden. Dat houdt in dat het hier vooral om 'grotere' vragen gaat.

Figuur 1.1 Samenhang NOBV jaarrapportage onderdelen.

1.6 Leeswijzer

Dit rapport bevat de volgende onderdelen:

- De ervaringen en activiteiten op de meetlocaties uit meetjaar 1; Aldeboarn-FR, Rouveen-OV, Assendelft-NH, Zegveld-UT en Vlist-ZH (hoofdstuk 2).
- Activiteiten die aanvullend zijn uitgevoerd op deze locaties, zoals installatie van nieuwe meetmasten, het uitvoeren van de vliegtuigmetingen, of experimentele metingen (hoofdstuk 2)
- Ervaringen met de lachgasmetingen door NOBV (hoofdstuk 2)
- Nieuwe methode ontwikkelingen op bestaande meetlocaties, bijvoorbeeld bij bodemmonstername en ervaringen met het inzetten van mobiele kamersystemen (hoofdstuk 2)
- Verslaglegging werk aan het modelinstrumentarium en monitoring (hoofdstuk 2)
- Het ontwerp en opzet van nieuwe meetlocaties, inclusief de mobiele meetlocaties (hoofdstuk 3)
- De opzet en uitwerking van de database van het NOBV (hoofdstuk 4)
- Geleerde lessen voor allerlei aspecten van het NOBV (hoofdstuk 5)

2 Metingen op bestaande meetlocaties

2.1 Kamermetingen

Auteurs: Ralf Aben (RU), Christian Fritz (RU), Ype van der Velde (VU), Merit van den Berg (VU/RU), Daniël van de Craats (WEnR), Jim Boonman (VU)

2.1.1 Kamersystemen van Eosense (Aldeboarn, Rouveen en Zegveld)

Sinds de start van de metingen met de Eosense kamersystemen ten behoeve van het meten van de CO_2-fluxen zijn er aanzienlijke problemen geweest. In de afgelopen 1.5 jaar zijn we (WEnR en in het bijzonder RU) veel tijd en middelen kwijt geweest aan het oplossen van de vele kinderziektes die met de systemen gepaard gingen. Vanaf juli 2021 functioneren de systemen voldoende goed om bruikbare data op te leveren met slechts weinig uitval, al zijn er nog wel verbeteringen in de betrouwbaarheid en het gebruiksgemak noodzakelijk.
Een samenvatting van de belangrijkste problemen met de Eosense kamersystemen in het afgelopen jaar:

- Kamers die niet openen of sluiten
- Kamers die slechts gedeeltelijk sluiten
- Kamers die gelijktijdig sluiten
- Kamers die niet gedetecteerd worden door de multiplexer
- Systemen die geheel in bevroren toestand terecht kwamen
- Kapotte multiplexers (opgestuurd naar Canada voor reparatie)
- Poorten op de multiplexer die niet naar behoren functioneren
- Schade aan connectoren door het onvoorzien vaak aan- en afkoppelen van kabels
- Mechanische schade aan kamers door losraken van splitpen
- Softwareproblemen waardoor geen communicatie met de multiplexer kon worden gekregen
- Trage dataverbinding, waardoor downloaden van data in het veld tijdrovend is

Voor het oplossen van de problemen is eerst een half jaar via mail en op individuele basis overleg geweest met de fabrikant en de verschillende NOBV partners. In het najaar van 2020 is besloten om meer druk bij de fabrikant te leggen en tot snellere oplossingen te komen. Hieruit is een wekelijks overleg voortgekomen waarbij de relevante partijen allen aanwezig zijn, wat heeft bijgedragen tot snellere (tijdelijke) oplossingen. Door de reisrestricties (i.v.m. COVID-19) was het helaas niet mogelijk om medewerkers van de (Canadese) fabrikant naar Nederland te laten komen voor nog efficiëntere probleemoplossingen.

Er zijn gedurende het meetjaar aanzienlijke verbeteringen doorgevoerd aan de systemen, mede dankzij uitvoerige testen in het kassencomplex van de RU. Hier is eind 2020 een systeem opgezet waar ook Eosense op afstand kon meekijken om het functioneren van updates te volgen. De belangrijkste veranderingen aan het systeem zijn:

- Verscheidene firmware updates van de kamers en multiplexers
- Software updates
- Vervangen van (niet goed functionerende) ‘brainboxes’ die de kamers aansturen
- Vervangen van de actuators (motoren welke de kamerklep bedienen) met een ander type
- Toevoegen van een ‘water trap’ tussen de multiplexer en CO_2 analyzer
- Directe koppeling tussen online database en CO_2 analyzer
- Toevoegen klepdetectie (ter confirmatie van sluiten van de kamer)
- Toevoegen ‘power switch’ om op afstand multiplexers te kunnen resetten

Met name het vervangen van de actuators heeft bijgedragen aan het oplossen van de meeste problemen. Met de laatste drie toevoegingen is het nu tevens gemakkelijker om problemen op

afstand te herkennen, en daar zo nodig op te reageren. Er wordt nu iedere dag een reset van het systeem uitgevoerd, zodat er in het geval van een niet goed functionerende kamer slechts een (deel van) een dag aan data verloren gaat.

Naast uitval van metingen door problemen met de kamersystemen, is er ook uitval van metingen geweest als gevolg van weersomstandigheden. In Aldeboarn is op 12 maart rond 21:30 de bliksem ingeslagen waardoor het dorp de hele nacht zonder stroom zat. Deze blikseminslag heeft een voeding en de elektronica en actuator van 2 kamers beschadigd, waardoor ze geen metingen konden verrichten totdat ze van nieuwe elektronica waren voorzien. Daarnaast hebben we te maken gehad met vochtschade aan de CO_2 analyzer als gevolg van hevige regen, welke via de gasslangen in de meetkamers in de analyzer terecht is gekomen. De analyzer is ter reparatie naar de fabrikant gestuurd en kamersystemen zijn sindsdien uitgerust met vochtafscheiders (FESTO LF-1/8-D-MINI). Daarnaast zijn er vier CO_2 analyzers (na een software upgrade) van de fabrikant teruggekomen met een onjuiste kalibratie, waardoor deze analyzers opnieuw naar de fabrikant moesten worden gestuurd. Ook bleken er van twee CO_2 analyzers de spanningsregelaars niet in orde en was reparatie noodzakelijk. Voor een deel is deze uitval van instrumentatie opgevangen door tijdelijk een leentoestel (leverancier) en de reserve CO_2 analyzer van de VU in te zetten. In Zegveld is in mei schade ontstaan aan een CO_2 analyzer als gevolg van indringend regenwater tijdens een storm, waardoor ook deze analyzer naar de fabrikant moest voor reparatie.

Tot slot is er ook uitval van meetdata geweest als gevolg van fouten die door medewerkers zijn gemaakt, zoals maaischade aan datakabels, gasslangen en datakabels die niet of niet goed waren aangesloten, en het vergeten te plaatsen van de vochtafscheider bij een systeem. Daarnaast zijn systemen na groot onderhoud en probleemoplossing in het RU kassencomplex (eind 2020—begin 2021) te snel weer terug in het veld geplaatst, terwijl dit eigenlijk pas mocht gebeuren als ze een week lang probleemloos hadden gefunctioneerd. De oorzaak van deze fouten is veelal het gevolg van onervarenheid en onoplettendheid van de medewerkers. De onervarenheid komt deels doordat onze (veld)medewerkers geen technici zijn en een toegewijd technicus niet beschikbaar was. Daarnaast hebben we de probleemoplossing verschillende keren aan nieuwe (veld)medewerkers moeten overdragen, waardoor er opnieuw ervaring en affiniteit met de systemen moest worden opgebouwd. Fouten door onoplettendheid worden vooral veroorzaakt doordat het onvoorziene werk aan de kamersystemen naast het andere (veld)werk gedaan moet worden en daardoor vaak in een haastklus resulteert. Onze medewerkers hebben hun uiterste best gedaan om zelf de kamersystemen zo goed als het kan draaiende te houden. We hebben hierbij veel van ze gevraagd, waaronder extra veldbezoeken, het ter plekke realiseren van ad-hoc oplossingen en lange velddagen. Voor de komende onderzoeksjaren is er geld voor een ondersteunend technicus begroot. Reeds werken we aan de werving van een geschikte persoon.

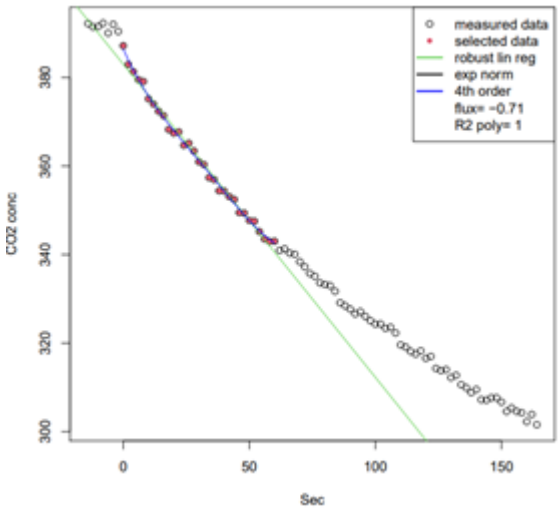
Geleerde lessen

Uit onze ervaringen kunnen we een aantal lessen trekken. Er is onvoorzien veel tijd gaan zitten in het functioneel krijgen van de systemen, het identificeren en oplossen van problemen, maar ook de trage dataoverdracht van de multiplexer en de wekelijkse gesprekken met de fabrikant zijn tijdrovend. Daar dit grotendeels op het bord is gekomen van onderzoekers en veldmedewerkers, is dit ten koste gegaan van data-analyse en andere onderzoeksactiviteiten. Het is dus essentieel dat er geschikte mensen beschikbaar zijn of komen voor structureel onderhoud en probleemoplossing om nieuwe uitval van metingen te beperken. Daarnaast bleek het paraat hebben van reserve onderdelen belangrijk. Daarom zijn er twee reserve CO_2 analyzers en multiplexers aangeschaft om toekomstige uitval van metingen zoveel mogelijk te beperken.

Gevolgen van uitval van metingen
De uitval van metingen heeft erin geresulteerd dat er onvoldoende data is om jaarbudgetten van maatregel- en referentieplots te kunnen berekenen voor locaties Aldeboarn, Rouveen en Zegveld. Wel kan met de beschikbare data voor de locatie Aldeboarn en Rouveen een jaarbudget worden opgesteld waarbij geen onderscheidt wordt gemaakt tussen maatregel- en referentieplot (zie datarapportage paragraaf 2.1.1 en 2.3.3). Daarnaast kan de beschikbare data gebruikt worden voor het begrijpen van processen die de CO_2 fluxen sturen (in combinatie met andere data), het vergelijken van CO_2 fluxen met die van andere locaties (zie data rapportage paragraaf 3.21) en voor het beoordelen van het effect van de maatregel (zij het niet via jaarbudgetten).

Kamersystemen van VU (Assendelft en Vlist)
Vanaf de lente in 2020 worden CO_2-fluxen gemeten met de automatische transparante fluxkamers van de VU op de meetlocaties Assendelft en Vlist. Defecten aan de systemen kunnen meestal snel worden verholpen waardoor de kamers een consistente datastroom leveren. De kamers worden tweewekelijks verplaatst en jaarlijks gekalibreerd. De kamers vervullen een belangrijke rol bij het bepalen van broeikasgasfluxen uit veenafbraak, omdat de temporale resolutie en dekking gegarandeerd hoog is.

Een voorbeeld van een fluxmeting is gegeven in Figuur 2.1. Hier wordt een lineaire relatie gefit op het verloop in CO_2 concentratie. De flux wordt uiteindelijk gecorrigeerd voor het kamervolume (met de handgemeten kamerhoogte) en door selectieprocedures wordt de kwaliteit van de metingen gewaarborgd. De methode om de fluxen te berekenen is flink verbeterd ten opzichte van vorig jaar. Zo wordt er inmiddels gecorrigeerd voor waterdamp, wordt er rekening gehouden met het verloop in de gas-analyzer en wordt de betrouwbaarheid van de fluxmetingen beter ingeschat. Daarnaast wordt de ruwe data van de kamersystemen nu ook automatisch opgeslagen en gecontroleerd in de database.



Figuur 2.1. Gemeten CO_2 kamerconcentratie (doorzichtige cirkels) over tijd vanaf het moment dat een kamer sluit. De rood gekleurde punten zijn geselecteerd voor de fluxbepaling met een robuust lineair regressiemodel (groene lijn)

Begin 2021 produceert de VU extra kamersystemen voor de onderzoeklocaties waar kamersystemen van andere producenten onvoldoende functioneerden. De kamers hebben een groter oppervlak en de fluxresultaten komen overeen met de resultaten van de eerder geplaatste kleinere kamers.

2.1.2 Data-analyse en onzekerheden

De analyse van de data is in meetjaar 2 minder uitgebreid dan gewenst, enerzijds door het gebrek aan beschikbare data, anderzijds door het gebrek aan tijd hiervoor. Met het beter worden van de betrouwbaarheid van de Eosense systemen blijft er komend meetjaar meer tijd over voor data-analyse en verbeteringen. In jaar 1 is er bewust voor gekozen om twee verschillende typen kamersystemen binnen NOBV te gebruiken, zodat we een in-huis ontwerp (VU kamersysteem) kunnen vergelijken tegen een commercieel alternatief (Eosense kamersysteem) en hiervan te leren. De verschillen tussen de twee systemen zitten voornamelijk in de vorm, afmetingen en connectie met de bodem (wel of geen frames) (Figuur 2.2).

Figuur 2.2. Voorbeeld van een VU kamer (links) en een Eosense kamer (rechts).

Daarnaast zijn er ook nog andere kennislacunes die aandacht verdienen. Een aantal punten waar we specifiek naar willen kijken:

- Vergelijken van metingen door verschillende typen kamersystemen
- Vergelijken van kamersystemen met andere (flux)metingen
- Inschatten van de impact van de meetmethode op de gemeten fluxen. Denk hierbij aan het beïnvloeden van bijvoorbeeld bodemvocht, temperatuur en grasgroei door de kamers.
- Kwantificeren van onzekerheden door meetmethoden
- Kwantificeren van onzekerheden door data analyse technieken

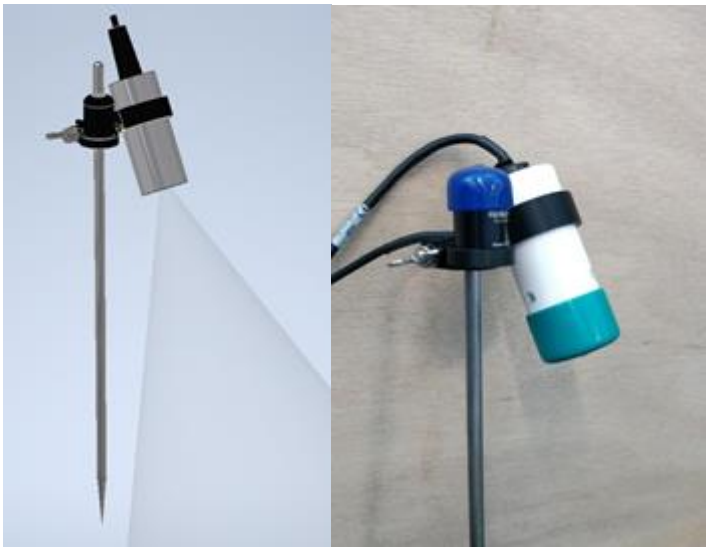
De Eosense kamers in Aldeboarn en Rouveen zullen binnen enkele maanden voorzien worden van extra temperatuur-, stralings- en vochtsensoren binnen en buiten de kamer (zie ook hoofdstuk 2.1.4), wat een aftrap vormt voor het kunnen invullen van bovengenoemde kennislacunes.

2.1.3 Uitbreiding sensoren automatische kamers (RU)

Vanuit het budget voor aanvullende investeringen in bestaande plots zijn quantumsensoren (Apogee SQ-110), bodemtemperatuursensoren (type P107), infraroodsensoren ter bepaling van bladtemperatuur (Apogee SI-111 IR), bodemvochtsensoren (Campbell CS655-DS) en multiplexers voor de dataloggers (Campbell AM16/32B) aangeschaft welke in en buiten de automatische meetkamers geïnstalleerd gaan worden. Het doel van deze sensoruitbreiding is tweeledig: (1) testen in hoeverre de omstandigheden binnen meetkamers anders zijn dan daarbuiten (in hoeverre creëren we met de kamers een kunstmatige omgeving die niet representatief is voor het omringende land), en (2) het verbeteren van modellering door broeikasgasfluxen te kunnen koppelen aan milieuvariabelen die op dezelfde plek gemeten zijn.

De problematiek rondom de Eosense meetkamers (zie hoofdstuk 2.1.1) en de keuze om het operationeel krijgen van de kamersystemen tot prioriteit te stellen heeft ervoor gezorgd dat de uitbreiding van de sensoren geparkeerd is tot een later moment. Echter hebben Ron Lootens (Flevo Instruments) en medewerkers van de Radboud Universiteit al een groot deel van het voorbereidend werk verricht, zoals het schrijven van de programmatuur van de datalogger, het maken van schetsen en technische tekeningen, het bouwen van verbindingskastjes, de

meetkamers voorzien van wartels voor doorvoeren van sensorkabels, en het ontwerpen en bouwen van een statief met houder voor de quantumsensor en infraroodsensor (Figuur 2.3).



Figuur 2.3. 3D-ontwerp (links) en realisatie (rechts) van het statief voor de PAR en infraroodsensoren t.b.v. de CO_2-fluxkamers.

Bij het ontwerp van het statief voor de sensoren is rekening gehouden met gebruiksgemak en uniformiteit. Er is gekozen voor een stalen pin van 35 cm die zelfs onder droge omstandigheden in de bodem te plaatsen is (kamers inclusief sensoren worden elke 2 weken verplaatst). Op de pin is een inkeping gemaakt zodat de hoogte van iedere pin t.o.v. het maaiveld gelijk is mits de pin recht staat. De sensoren zijn met 3D geprinte onderdelen in een vaste hoek gemonteerd zodat ook het meetoppervlak van de IR-sensor uniform is bij gelijke grashoogte. De bekabeling is dusdanig dat het geen schaduw vormt op de PAR sensor en door het statief naar het zuiden te richten is er geen schaduwvorming binnen het bereik van de IR-sensor. De IR sensor past binnen de koepel van de Eosense kamers en heeft door de hoek van monteren een ovaal meetoppervlak met een maximale diameter van 22 cm dat ruim binnen de kamer met een diameter van 52 cm past. De hoogte en oriëntatie van statief en houder voor de IR sensor is zo gekozen dat ook bij hogere graslengtes voldoende meetoppervlak beschikbaar blijft.

2.1.4 Analyse van broeikasgasfluxen bepaald met automatische kamers

Het meten van broeikasgasfluxen met—in het bijzonder, donkere—meetkamers is een beproefde methode die al lange tijd wordt gebruikt. Metingen met automatische, transparante kamers zijn pas vrij recent mogelijk, waardoor er nog weinig onderzoek beschikbaar is over de robuustheid van deze methodiek. Zo leidt de langdurige aanwezigheid van kamers tot verminderde regenval en—afhankelijk van de hoogte van de wanden van de kamer—mogelijk ook tot buffering van wind en hogere temperaturen. Deze effecten kunnen per kamersysteem verschillen (zie hoofdstuk 2.1.2). Daarnaast wordt de relatieve luchtvochtigheid en temperatuur (veel) hoger en instraling van zonlicht kleiner in een gesloten kamer. De andere vorm van bemesting binnen en buiten de meetplots en afwezigheid van beweiding kan de representativiteit van gemeten CO2fluxen verder beïnvloeden.

Vooralsnog is er nog veel onbekend over de korte- en langetermijneffecten van het bedekken van gras en bodem door de meetkamers. Ook is nog onduidelijk hoe zaken als condensatie van glas en oplopende temperaturen en luchtvochtigheid van invloed zijn op zowel de daadwerkelijke als berekende fluxen. Als aftrap voor een diepte-analyse zullen, zoals eerder vermeld, de Eosense kamers in Aldeboarn en Rouveen binnenkort voorzien worden van extra temperatuur-, stralings- en vochtsensoren binnen en buiten de kamer (zie ook hoofdstuk 2.1.4).

Voor de resultaten van dit jaar is gebruik gemaakt van lineaire regressie om CO_2 fluxen uit ruwe data te berekenen, omdat dit een simpele en veelgebruikte methode is, waarbij relatief weinig kwaliteitscontrole nodig is. Echter, er zijn meer rekenmethodes mogelijk en het is bekend dat fluxberekening via lineaire regressie tot een (grote) onderschatting van fluxen kan leiden, met name bij metingen overdag. We zullen daarom komende maanden andere rekenmethodes gaan toepassen en evalueren, waardoor de grootte van CO_2 emissies—genoemd in de datarapportage—waarschijnlijk op een later tijdstip herzien gaat worden. Onderdeel van deze evaluatie is het vergelijken van kamerfluxen met fluxen berekend uit eddy covariance metingen. Binnen NOBV is er een kamerwerkgroep waar ervaringen worden gedeeld, kennislacunes worden besproken (en hoe deze ingevuld kunnen worden) en waar gezamenlijk gewerkt wordt aan een meet- en analyseprotocol.

2.1.5 Het verkrijgen van inzicht in de gemeten CO_2 fluxen

De CO_2 fluxen die met kamers en eddy covariance binnen NOBV gemeten worden zijn een mix van verschillende bronnen, zoals respiratie en fotosynthese van de bovengrondse vegetatie, respiratie van wortels en wortelexudaten, dode plantenresten en veenoxidatie. De beschikbaarheid van deze bronnen varieert door het seizoen (e.g. explosieve opbouw van koolstof door groei bladeren en wortels in de lente). Daarnaast verschilt ook de snelheid waarin deze bronnen CO_2 produceren/opnemen. Om meer inzicht in het relatieve aandeel van verschillende bronnen op de totale CO_2 flux te krijgen heeft de RU daarom in Aldeboarn en Rouveen een experiment ingezet waarbij studenten tijdens veldcampagnes CO_2 fluxen met donkere kamers meten in 4 behandelingen:

1. Een referentie met een intacte graszode
2. Een behandeling waarbij het bovengrondse gras verwijderd is
3. Een behandeling waarbij de zode 10 cm is afgeplagd
4. Een behandeling waarbij de zode 15 cm is afgeplagd

Momenteel wordt er gewerkt aan het uitwerken van de resultaten van dit groeiseizoen. Na evaluatie hiervan zal besloten worden of dit experiment wordt voortgezet in het nieuwe meetjaar.

2.2 EC metingen

Auteurs: Bart Kruijt (WU), Ype van der Velde (VU), Merit van den Berg (VU/RU)

2.2.1 Meetprincipe en methodologie

Eddy Covariance (EC) werkt met het principe dat het transport van gassen (H_2O, CO_2, CH_4, N_2O, etc) direct gemeten wordt op een punt wind-afwaarts van het stuk landoppervlak van studie. Dit gebeurt door zeer frequent (10-20 Hz) de verticale luchtbeweging en de bijbehorende gasconcentratie te meten, waarmee de optelsom over de tijd automatisch het transport (de *flux*) is. Hier is snelle en nauwkeurige apparatuur nodig die in de vrije lucht op een mast staat. De hoogte van deze mast bepaalt de grootte van het bemeten oppervlak (typisch vanaf 50 x 50 m), en de windrichting bepaald WELK oppervlak bemeten wordt.

De noodzakelijke berekeningen en dataprocessing volgt bij alle opstellingen ongeveer dezelfde stappen. Binnen NOBV wordt gewerkt aan een standaard processing volgens een ‘pijplijn’ van scripts en protocollen. Over dit proces kan hieronder een beschrijving gevonden worden. De data zullen, als alles goed op de rails staat, direct opgeslagen worden op de NOBV database, zowel in ruwe als in bewerkte vorm.

Binnen NOBV is een subgroep gevormd voor praktisch en strategisch overleg over de EC metingen, die een keer per 2 weken vergadert.

2.2.2 Bestaande EC stations

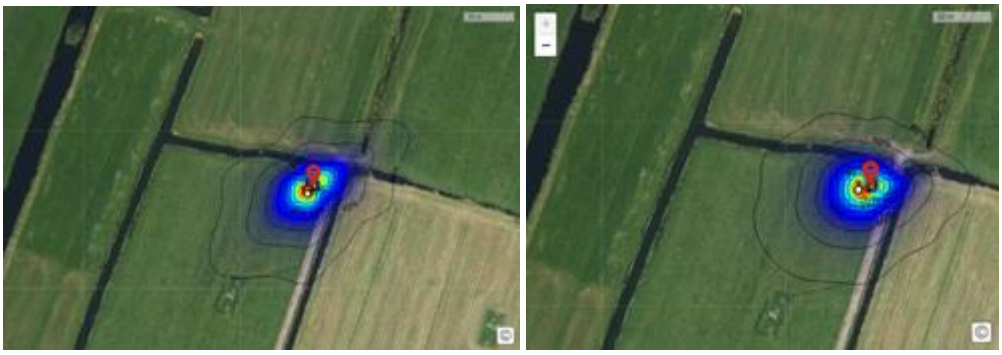
Binnen NOBV zijn er twee EC stations die al langer draaien: op de locaties Aldeboarn (ALB, zowel op MS als op RF perceel; Figuur 2.4), beide sinds eind 2018, en Zegveld-Lisdodde (ZEG-**), sinds 2019.

Aldeboarn

De metingen op ALB worden tot nu toe gedaan met iets oudere, bestaande apparatuur, maar zullen nog dit jaar worden geüpgraded naar de 'Smartflux' standaard die elders in NOBV ook gebruikt wordt. Op Aldeboarn worden allen CO2 fluxen, geen methaan, gemeten. Desalniettemin hebben deze locaties over de tijd zeer consistent en storingsvrij data geproduceerd. Problemen ontstonden op enkele momenten, wanneer de netspanning wegviel als gevolg van overbelasting elders in de plots, of bij onweer. Hierdoor is er kleine data-uitval geweest. Daarnaast functioneren deze EC metingen minder goed tijdens regen, mist of dauwvorming, en is de relevantie van de data afhankelijk van de windrichting. Een overzicht van de beschikbare metingen en een eerste interpretatie van de koolstofbudgetten tot nu toe wordt gegeven in de wetenschappelijke rapportage behorend bij dit rapport.

Figuur 2.4. Het EC mastje op Aldeboarn RF (referentieperceel) met op de voorgrond de energievoorziening.

Een interessant aspect van de EC metingen is het schatten van de ' footprint' – en in hoeverre die overlapt met het te bestuderen oppervlak. Met de software tool TOVI (Licor) zijn voor de diverse seizoenen, voor het MS station in Aldeboarn kaartjes gemaakt van deze footprint (Figuur 2.5). Wat opvalt is dat de footprint klein lijkt, maar ook sterk niet-lineair: voor dit specifieke geval met een meethoogte van 1.5 m, heeft 50% van de flux betrekking op de eerste tientallen meters van de mast vandaan, maar de tweede helft van de flux komt van veel verder, tot over de 100 m van de masten vandaan. Dit betekent dat we meer rekening moeten houden met wat dicht bij de mast staat. Als geleerde les, in de toekomst kunnen de EC en meetplots wellicht wat dichter bij elkaar gezet worden en/of kunnen EC masten wat hoger.



Figuur 2.5. Een impressie van de geïntegreerde footprints van de EC op Aldeboarn – Maatregel (MS). De mast staat bij de marker. Het grijze balkje bovenin laat de schaal zien, en vertegenwoordigt 30 m. het kaartje links geldt voor de zomer van 2020, overdag, en het kaartje rechts voord e bijbehorende nachten. De contourlijnen gevend e percentages van de flux waar het gebied binnen de contouren representatief voor is. De buitenste zichtbare lijn is de 80% contour. Zoals te zien is raakt die net de NOBV plot. Het is duidelijk dat bij NO wind de flux niet erg representatief is voor het MS perceel.

Figuur 2.6. EC opstelling in Zegveld omringt door lisdodde

Zegveld Lisdodde

De Eddy Covariance opstelling in Zegveld staat in het lisdodde veld (Figuur 2.6 en Figuur 2.7). De voornaamste doelstelling is het in kaart brengen van het effect van lisdodde op veen emissies. Doordat de lisdodde een natte teelt is met een waterstand boven het maaiveld, verwachten we een reductie in veenoxidatie en daardoor een verlaging van de CO_2-emissies ten opzichte van het omliggende grasland met een diepere grondwaterstand. De natte condities kunnen echter juist ook zorgen voor verhoogde methaanemissies. Methaan is een veel sterker broeikasgas dan CO_2 en daardoor kan vernatting dus potentieel juist tot een verhoging van de broeikasgas uitstoot leiden.

Voor het jaarverslag zijn metingen beschikbaar van mei 2020 tot juli 2021. Dit betekent dat we een jaarbalans kunnen opstellen en een indruk krijgen van de veenafbraak. Dit eerste jaar stond voornamelijk in het teken van de juiste opstelling neerzetten, configuratie en dataverwerking. Er zijn echter ook mooie resultaten uit gekomen en we willen ook graag een eerste presentatie van de jaarbalans laten zien (zie data-analyse rapportage 2020-2021).

Figuur 2.7. Footprint van de EC toren ten opzichte van het lisdodde perceel te Zegveld.

Dataverwerking
De postprocessing bestaat uit enkele steppen: Het filteren van slechte data en kwaliteitscontrole, het splitsen van respiratie en fotosynthese, het berekenen van de flux footprint en het opvullen van de missende data. Al deze stappen zijn uitgevoerd in python, gebaseerd op bestaande literatuur en richtlijnen. Belangrijk hierbij is het berekenen van een ‘footprint’, het totale gebied dat gemeten wordt voor een gegeven tijdsduur (Figuur 2.7).

2.2.3 Nieuwe EC stations

Apparatuur
De aanschaf van de benodigde EC apparatuur is binnen de overleggroep zo veel mogelijk afgestemd en de offertes zijn in gezamenlijkheid aangevraagd. Gekozen is voor de apparatuur van Licor voor CO_2 (Li-7500 en Li-7200) en CH_4 (Li-7700), alsmede voor de control modules (Smartflux 3 en 2). Daarbij is gekozen voor eenvoudige, bijbehorende sonische windmeter van Gill (de ‘ Windmaster’). De assemblage is vervolgens in twee groepen gedaan: door de VU, i.s.m. de RU, en door de WU. De opbouw is in grote lijnen hetzelfde, maar verschilt in details wat betreft bedrading en montage op masten. In de meeste gevallen is voor de mast gekozen voor een telescopische ‘Clark’ mast (zie Figuur 2.8). Voor het ICOS station zal een afwijkende keuze gemaakt worden.

Figuur 2.8. De twee mobiele EC masten (midden op 5.5 m en rechts op 1.8 m) op Langeweide, een mobiel meteostation (links bij persoon met gele bloes) en de zonnepanelen op de achtergrond (Augustus 2021).

De apparatuur is gefaseerd geleverd door zowel vertraagde bestellingen als leveringen. De eerste EC torens waren voor de WU, daarna voor de RU en vlak voor de zomer voor de VU. In deze volgorde worden ze ook min of meer geïnstalleerd.

Vaste stations

Assendelft
In Assendelft is in augustus 2021 een Eddy Covariance (EC) toren geplaatst. We hebben eerst voor Assendelft gekozen omdat voor deze locatie in zuidwestelijke richting een groot open agrarisch veengebied ligt. We willen hier op termijn op grotere hoogte meten zodat we een grote footprint kunnen pakken. Hiermee kunnen we dus de methaan en CO_2 flux van een veel groter gebied vergelijken met de CO_2 flux uit de kamers. Hoewel de toren eind augustus geplaatst is, zijn er nog problemen met de telefonie-verbinding, en is de verzamelde data nog niet bekeken.

Weerribben en Wieden
Half augustus 2021 is de Eddy Covariance toren in de Weerribben geplaats. In de Wieden staat de Eddy Covariance toren er nog niet maar is het doel om deze toren voor het volgende groeiseizoen te hebben staan. Voor meer informatie over deze meetlocaties wordt verwezen naar hoofdstuk 3.4.

Lange weide/ICOS
De locatie Lange Weide is uitgekozen om een EC station volgens ICOS standaarden neer te zetten. ICOS (www.icos-cp.eu) is een netwerk van Europese meetstations, zowel EC als andere observaties, met als doel een zo betrouwbaar mogelijke database op te bouwen van de Europese broeikasgasbalans. Daarom stelt dit netwerk zeer strikte eisen aan de deelnemende dataproviders t.a.v. de standaardisatie van de metingen, die ook nog eens van hoge en constante kwaliteit moeten zijn. Om deze reden zijn de EC opstellingen binnen ICOS een klasse duurder en nauwkeuriger dan de klasse die wij binnen NOBV hebben geselecteerd.

Lange Weide is hiervoor geselecteerd omdat het een locatie betreft waar de hele polder aan de onderwaterdrainage-maatregel is onderworpen. Het dus een homogene locatie. Daarnaast is het een zeer typisch voorbeeld van een Nederlands veenweidegebied op puur veen, met vele sloten en vaarten.

Alle apparatuur voor deze locatie is aangeschaft en gedeeltelijk geassembleerd. Er moet nog een definitieve mast worden uitgezocht, maar daarvoor willen we eerst met tijdelijke masten de beste meethoogte bepalen. De definitieve site zal, tegelijk met het bijbehorende ‘ICOS’ weerstation (zie hoofdstuk 2.15 Meteo), dit najaar worden geïnstalleerd.

Om wel alvast een datareeks te beginnen, is op de Lange Weide locatie al in juni 2021 een van de mobiele meetmasten neergezet, en in augustus is daar de tweede mobiele mast aan toegevoegd, waardoor er vanaf die tijd op twee hoogtes (resp. 6 en 1.5 meter) CO_2 en CH_4 fluxen gemeten zijn. Deze strategie stelt ons in staat om ten eerste de broeikasgasbalans al vanaf medio 2021 te volgen, en om het effect van meethoogte, d.w.z., footprint -grootte, in te schatten.

Ankeveen en Ilperveld
Activiteiten rondom de nieuwe EC torens in Ankeveen en Ilperveld worden beschreven in hoofdstukk **Error! Reference source not found.**.

Aldeboarn upgrade
De bestaande EC installaties in Aldeboarn (ALD_EC1 en ALD_EC2) zijn voor het begin van NOBV geïnstalleerd en werken nog via dataloggers in plaats van via smartflux. Daardoor wijken management en datastructuur af van de andere EC stations. Ook kunnen de data op deze manier niet rechtstreeks in de NOBV database worden ingevoerd. Daarom is er een upgrade aangeschaft, in de vorm van een smartflux interface en nieuwe modems. De interface-kasten zijn al samengesteld, maar de daadwerkelijke installatie in het veld moet nog plaatsvinden. Omdat hier

de data tot in september goed doorlopen zonder noemenswaardig onderhoud, is aan deze actie vooraleerst lage prioriteit gegeven. De planning is najaar 2021.

Mobiele stations

Principe
Meestal worden EC metingen uitgevoerd vanaf een vast meetstation, om de volle jaarlijkse dynamiek van de GHG balansen te kunnen volgen. Dit maakt EC een relatief dure methode. een mogelijk alternatief is om in plaats van continue metingen op een locatie, kortere 'momentopnames' te maken op een groter aantal locaties, van een tot enkele weken. Er kan, naar statistisch en wetenschappelijk inzicht, geroteerd worden tussen een beperkt aantal sites, of zelfs op vele sites slechts een of enkele momentopnamen gemaakt worden. De metingen worden dan gebruikt om simpele modellen te ijken/parameteriseren, die dan gebruikt kunnen worden om de fluxen in tussenliggende periodes te interpoleren, of zelfs om een momentopname te extrapoleren naar hele seizoenen of jaren.

Hiertoe is een tweetal 'mobiele' EC masten opgesteld. De instrumentatie en mast is zo veel mogelijk gelijk aan de andere NOBV EC masten, echter de mast en bekabeling is zo ontworpen dat het geheel relatie eenvoudig kan worden ingepakt, verplaatst en weer opgezet. De stroomvoorziening is in dit geval volledig gebaseerd op zonnepanelen en accu's.

De opzet is in principe om elke mobiele mast op een aanhanger te monteren, samen met de energievoorziening. Echter, gaandeweg realiseerden we ons dat dat niet altijd handig is, vanwege soms slechte toegankelijkheid van natte percelen. Daarom mikken we nu op aanhangers waar wel de zonnepanelen en accu's op staan, maar waar het mastje slechts vervoerd wordt. Hier zullen we nog nader ervaring mee moeten opdoen.

Implementatie en lokalisering
De twee masten zijn in juni 2021 geassembleerd en opgeleverd. De stap die nog genomen moet worden (najaar 2021) is het opstellen van een meet- en verplaats strategie. Hiervoor zal de PhD van Tobias Schoen bij de WU, die werkt aan opschaling van EC metingen, als leidraad genomen worden, in nauw overleg met de NOBV consortiumraad om te zorgen dat deze masten de behoeften in het meetnetwerk op optimale wijze bedienen.

De masten zijn wel direct ingezet in het veld, in eerste instantie in Zegveld (voor de samenwerking met TNO, zie onder) en op Lange Weide (zie boven). Na de beëindiging van het meetproject met TNO is de tweede mobiele mast ook op Lange Weide gezet, om op twee hoogtes te kunnen meten (Figuur 2.8).

Gekoppeld aan de mobiele EC stations zijn er ook twee mobiele meteostations gebouwd, in samenstelling en datastructuur sterk vergelijkbaar met de vaste NOBV meteostations. Deze stations reizen mee met de EC stations, zijn er via WiFi aan gekoppeld, maar kunnen indien wenselijk ook onafhankelijk, elders worden ingezet.

2.2.4 EC-lachgasmetingen in samenwerking met TNO

Auteurs : Ronald Hutjes (WU), Arnoud Frumau (TNO), Bart Kruijt (WU), Arjan Hensen (TNO)

In het contractjaar 2020-2021 hebben we in samenwerking met TNO succesvol bijna drie maanden continue N_2O fluxen (en fluxen van andere sporegassen) gemeten met de eddycorrelatie methode in Zegveld. Doel was de technische en operationele haalbaarheid van dergelijke metingen aan te tonen. Daartoe heeft TNO een meetopstelling, expertise en ondersteuning geleverd die van 7 mei tot en met 3 augustus heeft gedraaid. Deze meetopstelling is gebouwd rondom een '*closed path* gas analyzer' (MIRO MGA[9] voor CO_2, H_2O, CH_4, N_2O, NH_3

en O_3, allemaal op 5Hz bemonsterd, Figuur 2.9) gecombineerd met een sonisch windmeter. Ter vergelijking was gedurende dezelfde periode ook een standaard eddycorrelatie systeem van de WU erbij geplaatst, gebouwd rondom twee '*open path* gas analysers' (Licor 7500 voor CO_2 en H_2O en Licor 7700 voor CH_4, allemaal op 20Hz) gecombineerd met een 2e sonisch windmeter. Beide opstellingen hebben gedurende de gehele periode vrijwel continue gemeten (kort onderbroken door een stroomstoring veroorzaakt doordat de stroomkabel door gemaaid werd), zie Figuur 2.10. Eerste analyses richten zich op onderling vergelijk en verbetering van data processing (zie data-analyse rapportage meetjaar 2019-2020).

Figuur 2.9. Overzicht airconditioned aanhanger van TNO, met boven de pomp in het rek het centrale instrument de MIRO MGA9 en op het scherm de absorptie spectra van CO_2 en N_2O.

Figuur 2.10. Beide EC mastjes met Sonic en Licor 7500 te Zegveld, waarbij links TNO, met kleine luchtinlaat voor MIRO, en rechts WU met de open pad Licor 7700

2.2.5 Ontwikkelen van een standaard proces voor berekenen, dataprocessing en conventies voor de EC metingen

Doel

De NOBV EC data worden op een flink aantal verschillende locaties verzameld door drie verschillende groepen binnen NOBV. Daarom is het belangrijk om de automatisering van het berekenen en processing, filteren, opvullen van gaten en interpreteren te standaardiseren en harmoniseren. Hier is het afgelopen jaar hard aan gewerkt door een groepje onderzoekers en

onderzoeksassistenten van WU, VU en RU. Dit proces en de discussies zijn nog in volle gang. De bedoeling is om een serie scripts in R op te stellen waar de fluxmetingen routinematig aan onderworpen worden. Er zijn diverse methoden beschikbaar en beschreven, zoals EddyPro (Licor), TOVI (Licor), Reddyproc (Wutzler et al., 2018), en de ONEFlux pipeline (Patorello et al., 2020; zie ook Bijlage A). Het plan is nu om een 'pijplijn' van scripts te ontwikkelen waarin diverse van de beschikbare methoden in verwerkt worden. In het document 'meetprotocol' wordt een overzicht gegeven van de verschillende elementen van de analyse en processing en de mogelijke keuzes hierin.

Vooruitblik
Het automatiseren en standaardiseren van de dataprocessing moet uiteindelijk leiden tot een robuuuste en goed vergelijkbare dataset en jaarbalansen over meerdere sites. Om dit doel te bereiken zullen we de beschreven processing stappen verder ontwikkelen en implementeren. Vooral de methoden voor de kwaliteits-filtering en gap filling vereisen verdere discussie over de beste methoden. Verdere stappen zoals het in kaart brengen en evalueren van de footprints, zullen ook worden opgenomen in de 'pijplijn'. Extra aandacht zal worden geschonken aan het ontwikkelen van processing van methaanfluxen, aangezien die nog veel minder ver ontwikkeld zijn dan die voor CO_2-fluxen. Tenslotte zal ook gewerkt worden aan een optimale en consistente visualisatie van de fluxen, in samenhang met de NOBV database.

Literatuur (EC metingen)

Pastorello, G., Trotta, C., Canfora, E., Chu, H., Christianson, D., Cheah, Y. W., Poindexter, C., Chen, J., Elbashandy, A., Humphrey, M., Isaac, P., Polidori, D., Ribeca, A., van Ingen, C., Zhang, L., Amiro, B., Ammann, C., Arain, M. A., Ardö, J., ... Papale, D. (2020). The FLUXNET2015 dataset and the ONEFlux processing pipeline for eddy covariance data. *Scientific Data*, *7*(1), [225]. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0534-3.

Wutzler, T., Lucas-Moffat, A., Migliavacca, M., Knauer, J., Sickel, K., Šigut, L., Menzer, O., and Reichstein, M.: Basic and extensible post-processing of eddy covariance flux data with REddyProc, Biogeosciences, 15, 5015–5030, https://doi.org/10.5194/bg-15-5015-2018, 2018.

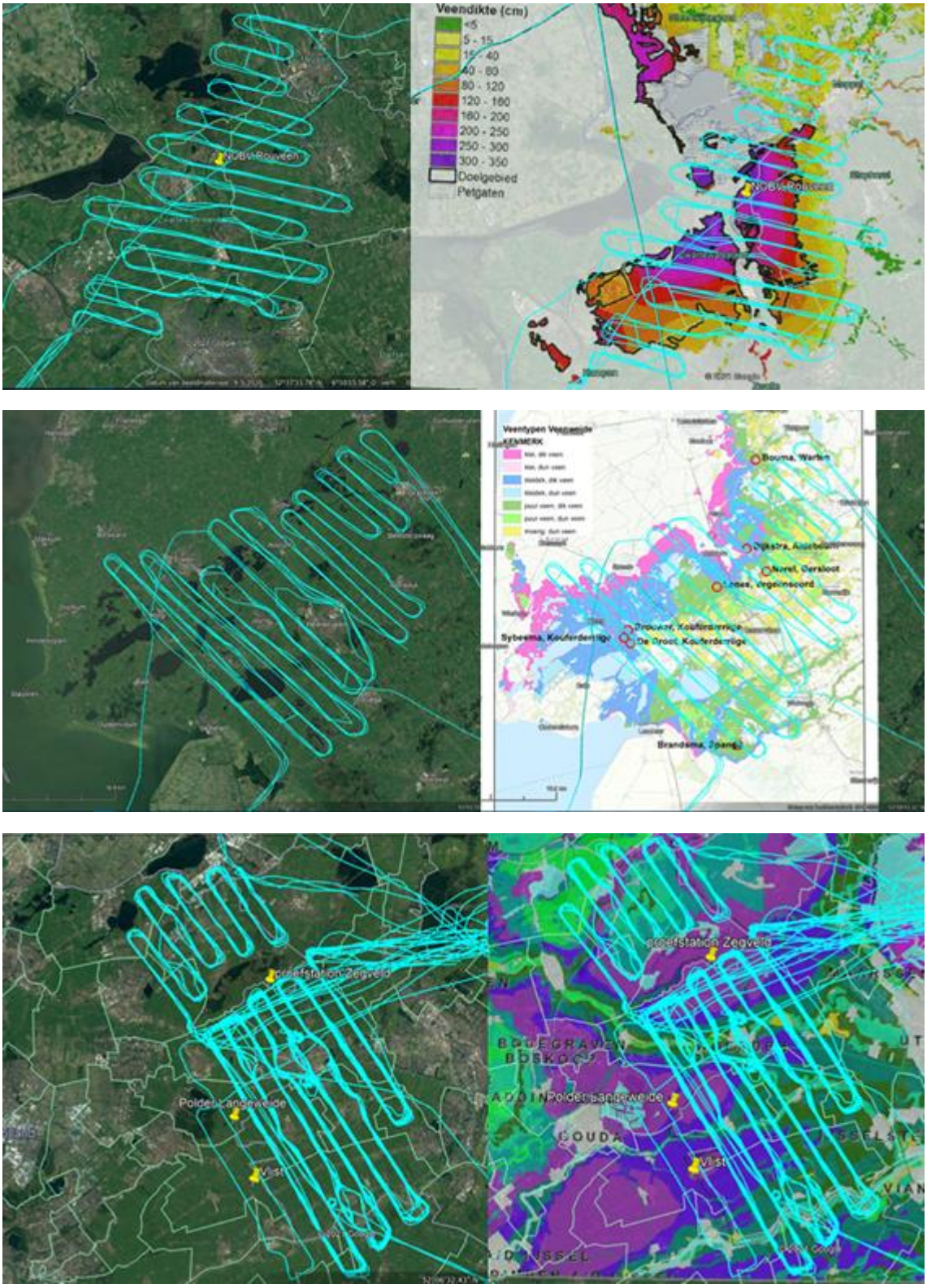
2.3 Vliegtuigmetingen

Auteur: Ronald Hutjes (WU)

Over het jaar 2020-2021 hebben we succesvol vele meetvluchten boven de drie veenweidegebieden Het Groene Hart, De kop van Overijssel en ZW-Friesland kunnen doen. Tabel 2.1 geeft een overzicht van alle uitgevoerde vluchten sinds november 2019. De vliegfrequentie is in 2021 opgevoerd naar 2x per week (in 2020 nog 1x per week), zodat elk van de drie gebieden in principe minimaal elke 2 weken bemeten wordt. Door weersomstandigheden wordt dit niet altijd gehaald: het vliegen op slechts 60m hoogte vereist redelijk stabiel weer met niet meer dan 5 Bft wind.

Door een erg trage afhandeling van de vergunningverlening om ook boven Natura2000 terreinen te mogen vliegen, zijn boven Friesland de metingen pas juli 2021 gestart en zijn er dus ook minder metingen gedaan tot dusver. De Friesland 'achterstand' denken we komend na- en voorjaar in te kunnen halen.

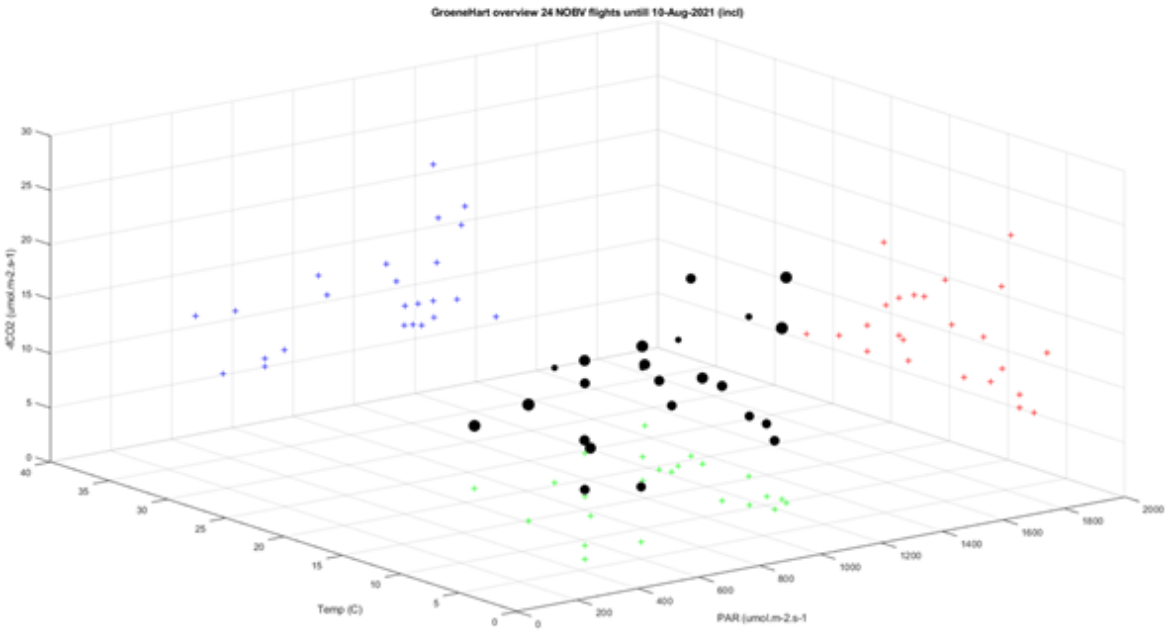
De drie kaarten in Figuur 2.11 tonen meerdere vluchtroutes, links geplot in GoogleEarth, rechts geplot over een bodem-, dan wel veentype-/diktekaart. Duidelijk is te zien dat de routes zo zijn ontworpen dat de volledige gradiënt in veentypen/diktes wordt bemeten. De afstand tussen de successievelijke transecten is bij benadering gelijk aan een gemiddelde footprint grootte.



Figuur 2.11. Vliegroutes in De kop van Overijssel (boven), ZW-Friesland (midden) en Het Groene Hart (onder).

In het Groene Hart en de Kop van Overijssel zijn van meet af aan dezelfde routes gevlogen. In Friesland zien de routes in het broedseizoen (15 maart - 15 juli) er iets anders uit dan daarbuiten,

omdat in het broedseizoen een aantal vogelbroedgebieden vermeden dienen te worden. Toch denken we dat in alle gevallen >90% van het gebied in de meet-footprint valt van het vliegtuig. Figuur 2.12 poogt in één oogopslag de spreiding in meteorologische condities tijdens de vluchten te laten zien. Elke zwarte stip is het gemiddelde over een van de 24 reeds uitgevoerde vluchten. De grootte ervan is een maat voor het aantal waarnemingen. In dit geval (voor de metingen van het Groene Hart) verschillen die in grootte naar gelang alleen het deel ten noorden van de Nieuwkoopse Plassen, het deel ten zuiden daarvan, of beiden (zie kaart Groene Hart in Figuur 2.11) op één dag zijn gevlogen. Op de verticale as staat de CO_2 flux, wat op dit schaalniveau altijd een netto opname betreft, omdat door fotosynthese meer CO_2 wordt opgenomen dan door veenafbraak wordt uitgestoten. Op de horizontale assen staan de belangrijkste verklarende meteorologische variabelen; respectievelijk zonnestraling en temperatuur. Hieruit blijkt al een flinke spreiding in meetcondities, wat belangrijk is om later relaties tussen CO_2 opname en afgifte te kunnen vaststellen voor de verschillende landschapselementen (combinaties vegetatie versus bodem/veen).



Figuur 2.12. Spreiding meteorologische condities tijdens de vluchten in het Groene Hart. Voor toelichting zie hoofdtekst.

Tabel 2.1. Overzicht en meteorologische karakterisering van uitgevoerde NOBV meetvluchten PH-WU ; 7-nov-2019 tot en met 14-sept-2021. CO_2-flux = netto CO_2 uitwisselen (NEE), Qnet = netto straling, PARi = inkomende fotosynthetisch actieve straling, Wspd = windsnelheid, Wdir = windrichting, Temp = luchttemperatuur, RH = relatieve luchtvochtigheid.

Date	**CO_2 Flux** [umol m^{-2} s^{-1}]	**Latente warmte stroom** [W m^{-2}]	**Qnet** [W m^{-2}]	**PARi** [umol m^{-2} s^{-1}]	**Wspd** [m s^{-1}]	**Wdir** [graden oost]	**Temp** [graden celsius]	**RH** [%]	**Data Points**
Kop van Overijssel									
03-03-21	-6.2	22	56	263	4.3	-67	5.5	87	37
17-03-21	-8.4	83	154	578	8.2	-9	5.3	80	2
19-03-21	-6.8	99	220	781	6.4	27	8.6	49	84
26-03-21	-8.5	126	220	804	10.7	-156	13.8	49	82
31-03-21	-2.8	163	361	1249	0.9	53	20.4	39	83
14-04-21	-10.0	113	228	792	6.0	-6	6.5	67	80
21-04-21	-17.7	102	277	877	7.8	9	10.8	69	82
28-04-21	-17.3	178	266	1320	5.8	72	15.0	38	83
07-05-21	-14.1	156	323	1051	8.1	-77	9.3	63	56
28-05-21	-22.3	223	482	1460	1.7	-18	15.5	60	83
02-06-21	-5.3	151	510	1601	2.7	110	24.4	40	83
09-06-21	-9.4	221	418	1330	3.8	-96	23.6	47	81
09-07-21	-15.5	244	508	1575	3.4	-85	20.7	54	86
09-01-21	tbp*								
09-02-21	tbp								
Groene Hart									
26-03-20	-6.3	133	359	1193	7.0	68	9.0	29	89
27-03-20	-8.2	125	355	1168	7.3	36	10.5	48	82
02-04-20	-5.1	82	161	570	6.5	-109	9.0	63	88
08-05-20	-7.9	164	398	1339	1.3	65	19.0	43	122
15-05-20	-6.7	109	406	1263	48.5	-11	11.5	68	81
09-06-20	-6.3	104	221	770	3.7	3	13.8	54	117
25-06-20	-5.6	249	458	1467	6.8	115	27.3	33	115
02-09-20	-6.1	170	364	1223	1.0	13	18.6	47	87
14-09-20	-6.4	162	343	1164	3.7	106	24.5	51	93
01-05-21	-5.1	46	137	708	3.6	97	7.8	74	84
24-05-21	-10.6	116	322	1139	6.5	-140	12.1	59	101
02-04-21	-10.9	81	135	480	31.1	-1	6.7	73	102
16-04-21	-15.7	141	393	1277	5.9	22	10.5	48	142
23-04-21	-20.7	122	395	1261	3.0	9	9.8	65	133
12-05-21	-14.7	180	413	1354	3.7	-41	15.4	53	42
20-05-21	-10.7	130	159	608	7.2	-157	14.8	56	145
04-06-21	-8.2	123	362	1259	1.4	5	22.1	62	28
11-06-21	-8.2	139	404	1211	4.9	-114	19.3	73	98

03-07-21	-5.8	132	206	708	4.7	128	22.1	55	133
Mobi11-07-21	-10.6	149	278	910	2.4	-65	20.5	68	36
16-07-21	-12.4	158	349	1106	5.4	-15	18.1	67	133
02-08-21	-12.5	130	272	883	3.2	-52	17.2	56	119
05-08-21	-11.6	144	384	1273	1.4	16	19.3	62	35
10-08-21	-16.3	227	417	1365	6.2	-95	20.6	53	94
27-08-21	tbp								
13-09-21	tbp								
Fryslan									
07-11-19	-2.0	34	47	429	4.9	-84	8.5	69	92
20-11-19	-3.5	121	234	923	6.9	87	11.1	21	111
07-07-21	-9.8	166	389	1237	7.8	-145	20.1	57	179
17-07-21	-12.2	231	518	1569	6.9	4	21.4	68	116
20-07-21	-6.9	127	348	1117	1.5	33	20.3	48	180
23-07-21	-6.5	86	194	651	1.7	-4	18.3	61	193
03-08-21	-12.4	164	301	988	2.0	7	17.3	56	189
03-09-21	tbp								
07-09-21	tpb								

*tbp (to be processed): ruwe 50Hz metingen nog te verwerken tot fluxen.

2.4 Mobiele metingen

Auteurs: Reinder Nouta (Wetterskip Fryslân), Mandy Velthuis (RU), Christian Fritz (RU). Voor een volledig verslag zie Nouta e.a. (2021).

Activiteiten ruimtelijk intensief en mobiel meten

Waar 2020 in het teken stond van het inrichten van 12 nieuwe meetlocaties (totaal 16 meetlocaties) en het opleiden als ook instrueren van de veldwerkers om met de mobiele fluxkamersystemen te werken, stond 2021 in het teken van het optimaliseren van de roulatie tussen meetlocaties en het optimaal benutten van de fluxkamersystemen. Daarnaast werd erop ingezet om de twee bestaande fluxkamersystemen te vervangen door 4 verbeterde fluxkamersystemen. Door het vervangen en verdubbelen van de fluxkamersystemen zou er frequenter gemeten kunnen worden op de meetlocaties of langere meetreeksen gemeten kunnen worden. In 2020 en 2021 zijn meer dan 10’000 fluxmetingen op 16 percelen succesvol uitgevoerd. In totaal zijn CO_2-emissies van 3 maatregelen, 3 beheerintensiteiten en 3 bodemtypes met elkaar vergeleken (zie Nouta e.a. 2021).

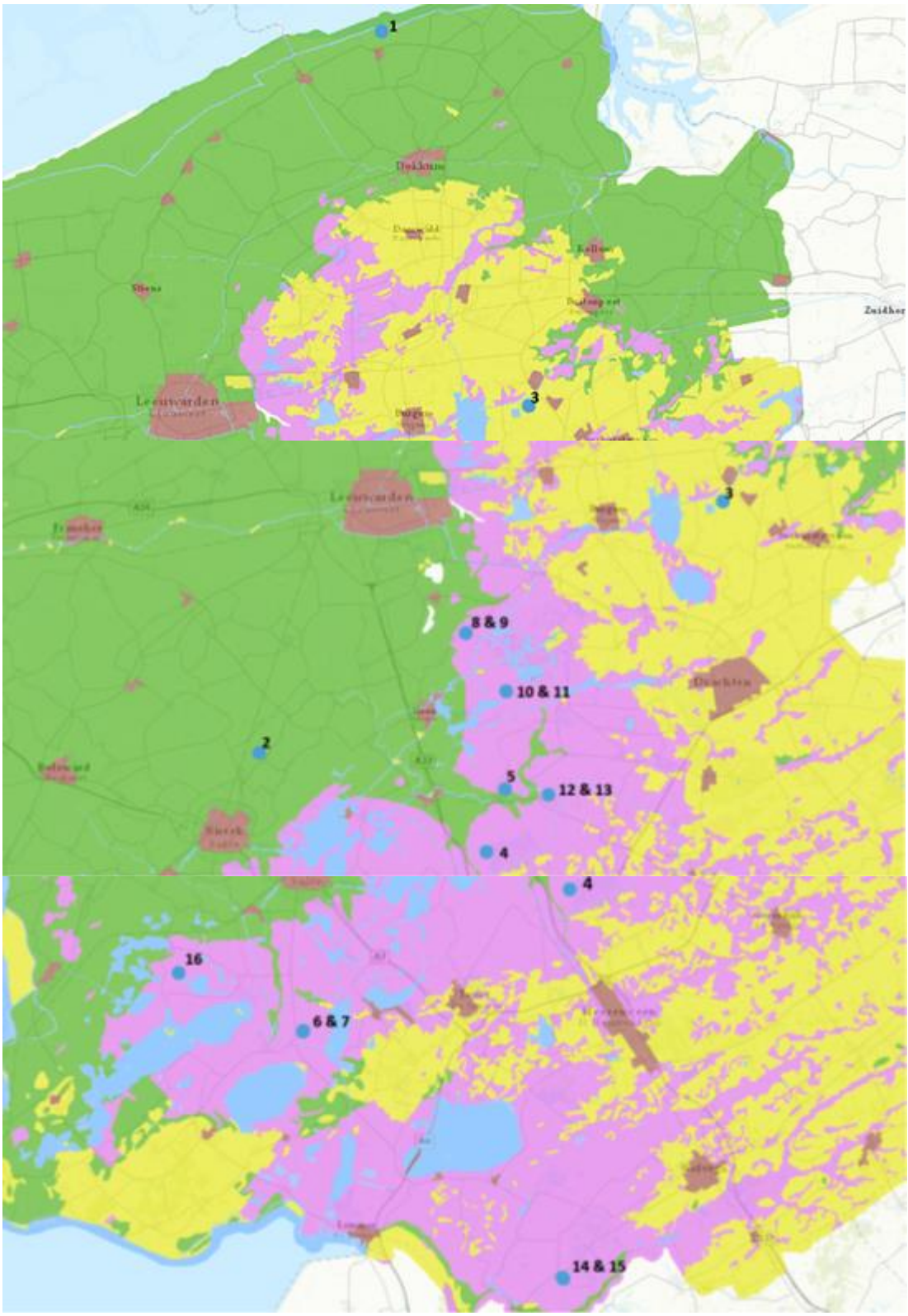
De ontwikkeling van de verbeterde fluxkamersystemen heeft door omstandigheden (covid-19 maatregelen, kinderziektes, leveringsproblemen, miscommunicatie in eisen, uitval technici) vertraging gehad, vanaf augustus 2021 is er overgeschakeld op de verbeterde fluxkamersystemen. De eerste resultaten zijn positief in de zin dat er substantieel hoger percentage betrouwbare fluxen opgeleverd worden, dit komt doordat de verbeterde fluxkamersystemen robuuster zijn en minder gevoelig voor wind dan de bestaande fluxkamersystemen. Daarnaast wordt de verbeterde fluxkamersysteem completer, doordat de kamer 3 temperatuursensoren (lucht, bodem en gras) en 1 bodemvochtsensor bevat (plus PAR-

sensor). Deze parameters (inclusief de parameters van de gas-analyzer) worden gelogd op een Campbell datalogger die door middel van een modem verbonden is met een server. Dit geeft de mogelijkheid om op een mobiele meetlocatie een Campbell datalogger te hebben die een aantal vaste parameters (bodem en water) continue meet en wanneer een fluxkamersysteem ter plekke is ook de data van het fluxkamersysteem logt.

Op dit moment zijn 2 fluxkamersystemen operationeel en niet de beoogde vier fluxkamersystemen. Dit als gevolg dat de veldwerkersgroep (3 personen) naast de mobiel fluxkamersystemen sinds juli 2021 ook de mobiele EC verplaatst en onderhoud. Met de aanstelling van een extra veldwerker in 2022 kunnen alle fluxkamersystemen optimaal gebruikt worden en gestreefd worden naar maximale inzet van alle systemen.

In 2021 zijn tot augustus 128 campagnes uitgevoerd, met een campagne wordt een meetreeks op een meetlocatie van gemiddeld 2,5 dag bedoeld, over 16 meetlocaties. Tabel 2.3 geeft een overzicht weer waarbij een ‘1’ een campagne voorstelt op de locatie (rijen) in een bepaalde week (kolommen). Week 6 en 7 bevatten ‘x’-en, omdat twee weken in februari waren dat er een vorstperiode plaatsvond. Ondanks de natte voorjaar en zomer, wat het veldwerk niet makkelijk maakt, zijn er toch veel campagnes gemaakt met vele dicht op elkaar volgende metingen per locatie.

Naast CO_2 worden er op iedere meetlocatie ook bodem- en waterparameters continu gemeten (zie Nouta e.a. (2021) voor een uitgebreide beschrijving), deze sensoren en dataloggers hebben in 2021 weinig onderhoud gevraagd. De Ellitrack waterstandloggers functioneerden naar behoren, een aantal loggers zijn teruggestuurd voor reparaties (door ouderdom kapot geraakt, tijdelijk vervangen door andere loggers) en een aantal loggers hebben een nieuwe batterij gekregen. De HOBO U30-NRC dataloggers functioneerden grotendeels ook naar behoren, de meest voorkomende problemen bij de HOBO dataloggers waren (1) lege batterijen (opgelost door bijbehorende zonnepanelen te installeren en te diep ontlaadde batterijen te vervangen) en (2) storingen van sensoren. Met namen de PAR-sensor vertoonde hardnekkige kuren bij meerdere meetlocaties, dat wil zeggen dat de sensor na een onregelmatige tijd plotseling een vaste negatieve waarde aangaf (waarde die gerelateerd is aan een niet aangesloten sensor). Hierdoor zijn er voor een aantal locaties continue, onafgebroken PAR reeksen en voor meer locaties waarbij de PAR reeksen gaten bevatten. De oorzaak van deze storing is nog niet achterhaald. De storing van de PAR-sensor doet zich niet voor bij de bodemsensoren (bodemtemperatuur en bodemvocht), deze sensoren hebben op alle locaties (uitgezonderd uitval door lege batterij) altijd gewerkt. De kalibratie van de bodemvochtsensor zal in de toekomst wel aandacht vragen, dit doordat de verschillen in waarde van verzadiging (in de wintermaanden) verschillen per locatie. Een nadeel van de HOBO U30-NRC is dat hij alle aangesloten sensoren met dezelfde frequentie meet, aangezien PAR snel kan variëren is een hoge meetfrequentie nodig (hier op 1 minuut). Hierdoor worden de andere sensoren ook op een hoge frequentie gemeten, dit resulteert in veel data en vaak uitlezen (om verlies van data te voorkomen).



Figuur 2.13. overzicht van de meetlocaties in het Friese veenweidegebied. Nummering correspondeert met de nummering in Tabel 2.2.

Locaties

Er wordt CO_2 gemeten bij de beheermaatregelen HAKLAM ("Hoog Als het Kan, Laag Als het Moet"), greppel-infiltratie en onderwaterdrainage op acht locaties in het Friese veenweidegebied (Figuur 2.13). Op locaties bij Warten en Hegewarren zijn een HAKLAM perceel en een controleperceel ingericht. Op dezelfde manier wordt CO_2 gemeten bij onderwaterdrainage op drie locaties: in Koufurderrige, Spanga en Aldeboarn. De effecten van greppel-infiltratie worden gemeten op locaties Lytse Deelen, Idzega en Haskerdijken, waarbij op locatie Lytse Deelen ook een controleperceel is ingericht. Naast deze locaties met beheermaatregelen, wordt er op drie locaties op minerale bodem gemeten, te weten bij Drogeham (zandbodem) en Ternaard en Scharnegoutum (kleibodem). Door op minerale bodem te meten is het mogelijk meer inzicht in de CO_2 uitstoot (en opname) van de levende biomassa en diens relaties met factoren zoals bodemvocht, bodemtemperatuur, luchttemperatuur te verkrijgen. De onderzoekslocaties worden hieronder verder toegelicht.

Tabel 2.2. Nummering en codering locaties - ruimtelijk CO_2 meten met automatische kamers in Friesland

nr	code	verklaring	locatie+behandeling
1	TER	Ternaard	Ternaard kleibodem extensief
2	SCH	Scharnegoutum	Scharnegoutum kleibodem hoog-productief
3	DRO	Drogeham	Drogeham zandbodem hoog-productief
5	ALD	Aldeboarn	Aldeboarn OWD en vergelijking NOBV
4	HAS	Haskerdijken	Haskerdijken buffergebied greppel-infiltratie
16	IDS	Idzega	Idzega greppel-infiltratie
6	KOM	Koufurderrige maatregel	Koufurderrige OWD 60 cm-mv
7	KOC	Koufurderrige controle	Koufurderrige controle perceel
8	WAH	Warten HAKLAM	Warten HAKLAM
9	WAC	Warten controle	Warten controle/diepontwatering
14	SPM	Spanga maatregel	Spanga OWD 40 cm-mv
15	SPC	Spanga controle	Spange controle perceel
12	LDH	Lytse Deelen Hoogwater	Lytse Deelen greppel-infiltratie
13	LDC	Lytse Deelen controle	Lytse Deelen controle perceel
10	HWH	Hegewarren HAKLAM	Hegewarren HAKLAM
11	HWC	Hegewarren controle	Hegewarren controle perceel

*Tabel 2.3. Overzicht van meetfrequentie en -diepte van de verschillende parameters op het perceel. CO_2 fluxen staan niet in deze tabel, deze parameter wordt hieronder beschreven. *De diepe bodemvochtsensor is op 30 cm geplaatst, maar op de locaties waar de overgang van klei naar veen op 30 cm zat is de bodemvochtsensor op 40 cm geplaatst.*

Parameter	**Diepte van de metingen (cm-mv)**	**meetfrequentie**
bodemvocht	10 en 30/40*	1 min
bodemtemperatuur	2, 5, 10, 20, 60	1 min (20,60); 15 min (2, 5, 10)
PAR	-125 (125 cm boven de grond)	1 min
grondwaterstand/slootpeil	-	1 uur
luchttemperatuur in de kamer	-	10 sec
lichtintensiteit in de kamer	-	10 sec

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
TER		1				x	x		1				1			1			1				1			1		1		
SCH		1				x	x		1				1			1			1				1			1		1		
DRO		1				x	x		1				1			1			1				1			1		1		
HAS					1	x	x		1					1		1		1				1				1			1	
IDS		1				x	x				1	1			1			1	1				1				1			1
LDC				1		x	x				1				1			1			1				1			1		
LDH				1		x	x					1			1			1			1			1			1			
WAC			1			x	x			1				1			1				1				1		1		1	
WAH			1			x	x				1			1			1				1			1			1		1	
ALD						x	x								1			1				1			1					1
HWH			1			x	x				1				1			1				1		1			1			1
HWC			1			x	x			1				1			1					1		1			1			1
KOM	1					x	x	1				1			1		1			1			1			1			1	
KOC		1				x	x	1					1		1		1			1			1			1			1	
SPM	1					x	x	1					1				1		1			1			1			1		1
SPC	1					x	x	1					1			1			1			1			1			1		1

Figuur 2.14. Schema meetcampagnes in 2020/2021. Uitleg locaties in tabel 2.2.

Knelpunten en oplossingen (Geleerde lessen uit veldonderzoek en data analyse)
In deze paragraaf wordt in tabelvorm een overzicht gegeven van alle zaken waar aandacht aan is besteed om het onderzoek en de nieuwe methode te optimaliseren/zo vlekkeloos mogelijk te gebruiken.

probleem	oplossing
vervoer	
‘s winters perceel onbegaanbaar met auto	veldkar gebruiken
zware arbeid met veldkar (m.n. accu’s); 1 veldwerker zelfs korte tijd uit dienst	opties verkent tot verlichting werk: (1)vaker lopen met minder gewicht in veldkar, (2) lichtere materiaal/accu’s bijv. lithium (3) gebruik van quad , (4) 2 ipv 3 keer verplaatsen in week
veelbelovende lithium accu’s hebben leveren minder stroom bij lage temperaturen	niet de oplossing voor winter metingen
vaker lopen met minder gewicht in veldkar	alsnog intensief, niet voor iedereen weggelegd
Bij harde wind (boven windkracht 6) rollen de deksel af, metingen onbruikbaar. Soms waaien kamers zelfs van frame af	met huidig systeem systemen in opslag zetten bij storm. Geen nut om arbeid te verrichten voor onbruikbare metingen
defecten (terugkerende en incidentele)	
ventilator defect (terugkerend)	reserve onderdelen inkopen en reparatie-instructies maken
touwtje van spoel om as gedraaid (terugkerend)	met huidig systeem onoverkoombaar, op letten en voorzichtig afrollen
kortsluiting in koffer (incidenteel)	goed aansluiten accu’s, direct componenten inspecteren met reserve-onderdelen
acculader/kabels doorgebrand	kabels goed aansluiten (min op min en plus op plus)
analyse	
quality check fluxen	automatisering onbetrouwbaar, handmatig nakijken betrouwbaarst
tijd flux en PAR -data niet altijd synchroon	met huidig systeem checken wanneer kamer CO2-meting begint en PAR-kamer daalt. Nieuw systeem wordt PAR en CO2 synchroon opgeslagen
checklist kamersysteem goed bijhouden, soms mis gegaan	Werkt: ventilator, druksensor, sluitsysteem, katrol-motor. Zit band van deksel goed. gas-analyzer goed aangesloten, PAR-sensor recht overeind. code locatie goed opgeschreven. synchronisatie goed verlopen. kamer 1 op frame 1 met slang 1

Voorlopige conclusies inzetbaarheid mobiele kamers voor CO_2 monitoring
Begin 2020 is dit project gestart waarbij er met behulp van een nieuwe methode inzicht wordt gekregen in de CO_2 uitstoot op een breed scala aan locaties in het Friese veenweidegebied. Door geautomatiseerde fluxkamers kan er gemeten worden op een locatie of meerdere locaties. In combinatie met een geoptimaliseerd rouleerschema met een goed ingewerkt veldteam wordt er momenteel maximaal gemeten op 16 locaties verspreid over Friesland.

Het doel van het eerste jaar was om deze nieuwe methode uit te werken en ervaringen op te doen. Daarnaast kan er aan de hand van de eerste metingen al een globaal beeld verkregen worden over het effect van een maatregel. Het uitwerken van de methode bestond in grote lijnen uit het opleiden van een veldteam, het organiseren van onderhoudswerk (zowel voor de kamersystemen als meetplots) en datavergaring en het structureren van de dataverwerking.

In een ideale wereld werken de kamersystemen altijd optimaal en vertonen geen van de sensoren defecten. De ervaringen van het eerste jaar hebben ons geleerd dat dit niet het geval is, maar dat geen van de problemen onoplosbaar is of tot een herziening van de methode. Defecten aan de kamersystemen kunnen met behulp van huis-tuin-en keukengereedschap gerepareerd worden en de oorzaken zijn in het leeuwendeel van de tijd te herleiden en te voorkomen.

Literatuur (mobiele metingen)

Hoving, I. E., André, G., van den Akker, J. J. H., & Pleijter, M. (2008). Hydrologische en landbouwkundige effecten van gebruik'onderwaterdrains' op veengrond. Rapport 102. WUR, Animal Sciences Group.

Hoving, I. E., Holshof, G., & Hendriks, R. F. A. (2020). Effecten vernattingsmaatregelen op veenweidebedrijven in Noord-Holland: Technische en economische consequenties en effecten op bodemdaling en broeikasgasemissie (No. 1274). Wageningen Livestock Research.

Nouta, R., Fritz, C., Heuts, T., Velthuis, M. (2021) Praktijkervaring mobiel CO_2 meten in het Friese veenweidegebied – Ontwikkeling en toepassen van een CO_2 monitoring meetsysteem voor het ruimtelijk monitoren van het effect van grondwaterbeheer op CO_2 uitstoot (op te vragen via de auteurs), Radboud Universiteit Nijmegen en Wetterskip Fryslân.

Provincie Fryslân. (2015). In duorsume takomst foar it Fryske feangreidegebiet. Feangreidefisy.

Van den Berg, M., et al., CO_2, N_2O en CH_4 emissies en bodemdaling in de Friese Veenweiden, Technische rapportage: project 'Monitoring veenoxidatiesnelheden en broekasgasemissies F-2016/165140'. 2019, Radboud Universiteit.

Van den Born, G. J., Kragt, F., Henkens, D., Rijken, B., Van Bemmel, B., Van der Sluis, S. & ten Brinke, W. B. M. (2016). Dalende bodems, stijgende kosten: mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied: beleidsstudie (No. 1064). Planbureau voor de Leefomgeving.

Weideveld, S. T. J., Liu, W., van den Berg, M., Lamers, L. P. M., & Fritz, C. (2020). Sub-soil irrigation does not lower greenhouse gas emission from drained peat meadows. Biogeosciences Discussions, 1-35.

Wetterskip Fryslân. (2020). Ontwerp-Veenweideprogramma 2021-2030. Foarút mei de Fryske Feangreiden.

2.5 Lachgas- en methaanmetingen

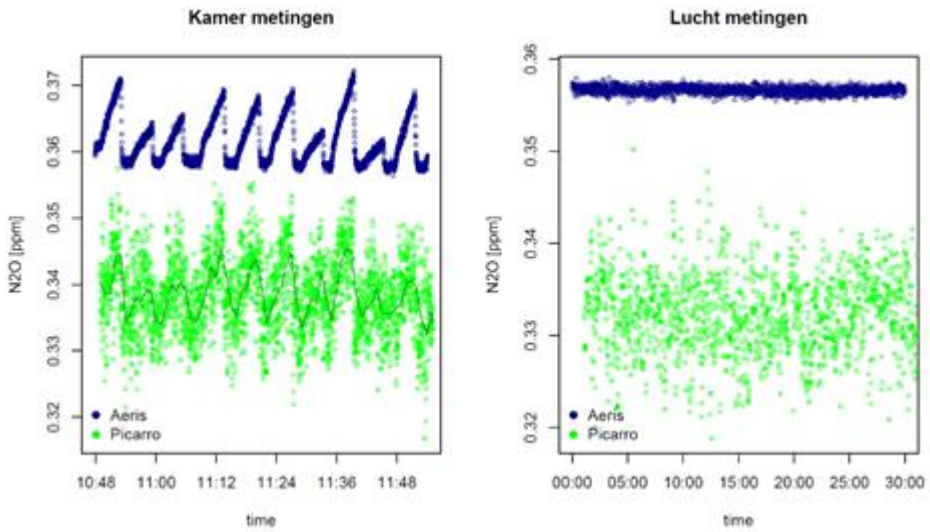
Auteur: Ralf Aben (RU), Coline Boonman (RU)

Voor dit tweede projectjaar heeft het consortium geld begroot voor de aanschaf van analyzers waarmee methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) gemeten kan worden, als aanvulling op CO_2. Deze zouden geplaatst worden op alle vijf de meetlocaties uit jaar 1 (via roulatie van analyzers) of een subset van deze locaties. De analyzers zullen daartoe gekoppeld worden aan de bestaande kamersystemen van de NOBV meetplots. Na een wetenschappelijke discussie binnen het consortium is besloten om de aanschaf van twee CH_4-analyzers te schrappen, aangezien CH_4-emissie uit gedraineerde veenweidepercelen een grotendeels verwaarloosbare bron is in vergelijking met de CO_2- en N_2O-emissies. Deze besparing is deels ingezet om het budget voor N_2O-analyzers te verhogen.

Er is een verkenning gedaan naar het aanbod van N_2O-analyzers van verschillende fabrikanten wereldwijd. Na deze verkenning zijn drie kandidaat-analyzers geselecteerd waarvan binnen het budget minimaal 4 stuks aangeschaft kunnen worden: LSE N_2O -4410 (H_2O/N_2O), Picarro G2308

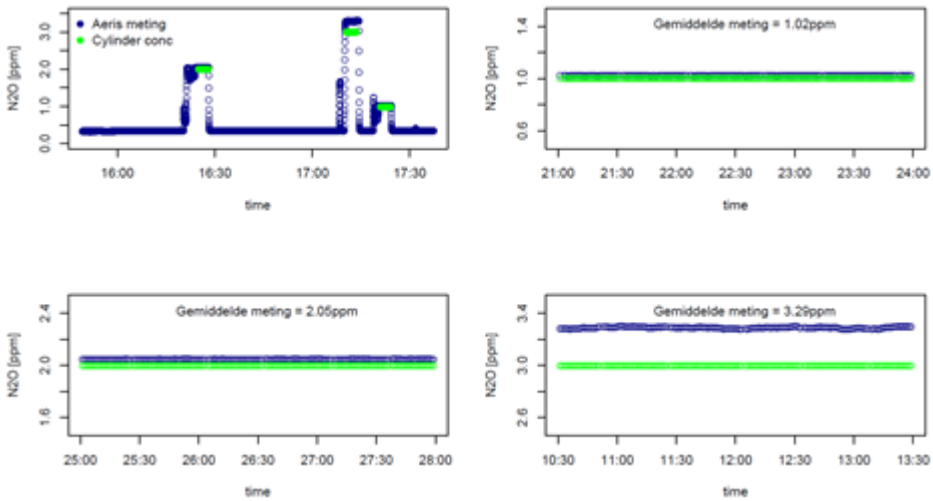
($H_2O/CH_4/N_2O$), de Aeris MIRA Ultra (N_2O /CO/H_2O). Anticiperend op de aanschaf van N_2O-analyzers in jaar 2 is besloten om in jaar 1 al een exemplaar van de LSE N_2O-4410 voor 2 maanden te huren. Deze is door de Radboud Universiteit (RU) getest tegen de de Picarro G2508 ($CO_2/CH_4/N_2O/H_2O/NH_3$) van de RU. Hieruit bleek dat de meetgevoeligheid van deze analyzer voor ons onvoldoende was en daarnaast een onacceptabel hoge drift in N_2O concentraties over een korte tijdspanne liet zien.

Picarro, Inc. deed het consortium een aanbod met hoge korting voor 4 stuks G2308 analyzers, waar we lang over getwijfeld hebben. Voordeel van de G2308 Picarro is dat deze i.t.t. de andere kandidaatanalyzers ook CH4 meet en dat we al ervaring met analyzers van deze fabrikant hebben. De Aeris MIRA Ultra is echter goedkoper en op papier in vrijwel elk opzicht (e.g. meetprecisie, stroomverbruik, afmetingen) superieur aan de Picarro. De keuze voor deze—voor ons vrijwel onbekende en relatief nieuw type—analyzer heeft als nadeel dat er meer onzekerheid is over mogelijke kinderziektes en noodzaak tot (onverwacht) onderhoud dan bij de Picarro G2308. Na uitgebreide conversaties met beide fabrikanten is er uiteindelijk toch voor gekozen om de Aeris MIRA Ultra aan te schaffen (in eerste instantie 1 exemplaar). Vanwege de aanhoudende problematiek met de eosense fluxkamers is deze aanschaf pas laat in jaar 2 gedaan. De RU heeft deze Aeris MIRA Ultra samen met de Picarro G2508 gekoppeld aan een meetkamer waarmee gedurende vijf weken om de dag minimaal 2 uur lang individuele fluxmetingen zijn verricht. Metingen werden verricht als onderdeel van een experiment waarmee de uitstoot van N_2O wordt bepaald uit water van een afvalwaterzuiveringsinstallatie waar verschillende plantensoorten in groeien. Met deze vergelijkende test hebben we de superieure meetprecisie van de Aeris Ultra kunnen bevestigen (Figuur 2.15), waarna nog eens 2 stuks van deze analyzer zijn aangeschaft.



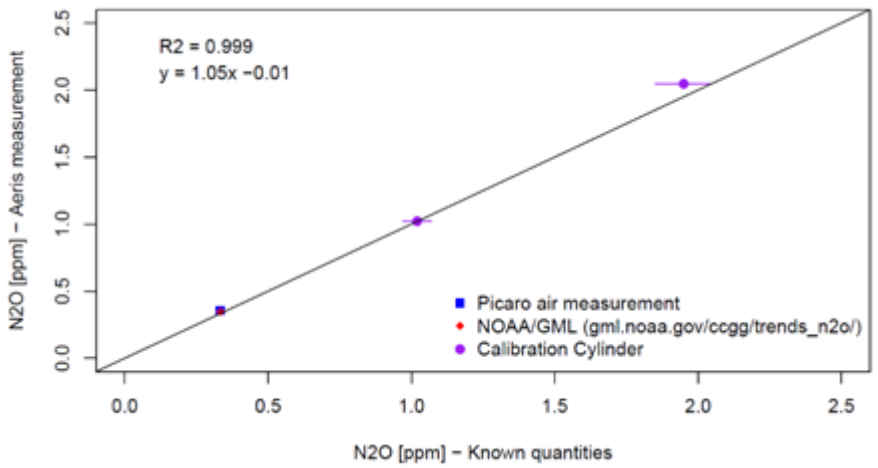
Figuur 2.15 Vergelijking van metingen tussen de Aeris MIRA Ultra (blauw) en Picarro G2508 (groen), waarbij de N_2O concentratieverandering over tijd te zien is gedurende de kamermetingen (links) van waaruit emissies worden berekend en van omgevingslucht (rechts) wanneer de kamer niet op het water stond. De donkergroene lijn in het linkerfiguur geeft gemiddelde concentraties over 30 seconden aan, waardoor de fluxen iets beter te zien zijn. De variatie in N2O concentratie gedurende metingen van omgevingslucht ligt voor de Picarro op 23 ppb (minimum 326 ppb, maximum 359 ppb) en voor de Aeris op 3 ppb (minimum 355 ppb, maximum 358 ppb). De veel hogere meetprecisie van de Aeris Ultra maakt het mogelijk om met dit instrument veel kleinere verschillen in N2O concentraties tijdens kamermetingen te kunnen waarnemen dan met de Picarro het geval is. Daarnaast resulteert een hogere meetprecisie in een kleinere onzekerheid van de berekende N_2O fluxen.

Uit Figuur 2.15 blijkt ook dat er is een verschil zit in de nul-kalibratie van de Aeris en de Picarro (i.e. N_2O concentraties van de Aeris liggen standaard ca. 26 ppb hoger dan die van de Picarro). Hoewel het belang van een goede span-kalibratie (het kunnen meten van een concentratieverandering die overeenkomt met de daadwerkelijke verandering in concentratie over tijd) voor het berekenen van fluxen veel belangrijker is dan een goede nul-kalibratie, is het noodzakelijk om de nul-kalibratie van beide instrumenten te verifiëren m.b.v. ijkgas. Als volgende stap in het testen van de Aeris MIRA Ultra zijn er metingen verricht met kalibratiegassen, met een N_2O concentratie van 1.02 ppm, 1.95 ppm en 3.03 ppm (Figuur 2.16). Deze laten zien dat de gemeten N_2O-concentratie door de Aeris overeenkomt met de ijkgasconcentratie van 1.02 ppm en 1.95 ppm (Figuur 2.17), maar hoger ligt bij de ijkgasconcentratie van 3.03 ppm. De verwachting is echter dat de N_2O concentratie binnen een meetkamer zelden 2 ppm of hoger wordt. We zijn daarom voornemens om de verificatie van de kalibratie van de Aeris analyzers te herhalen met meerdere N_2O concentraties binnen een kleiner concentratiebereik, om zo nauwkeuriger te kunnen vaststellen of de span-kalibratie voldoende accuraat en lineair is.



Figuur 2.16 Vergelijking gemeten concentraties over tijd door de Aeris MIRA Ultra (blauw) en concentratie van het kalibratiegas (groen). Gedurende drie minuten is het kalibratiegas door de analyzer gelopen, waarbij de Aeris gemiddeld 1.02 ppm meet bij een ijkgas N2O concentratie van 1.02 ppm, 2.05 ppm meet bij een ijkgas N2O concentratie van 1.95 ppm en 3.29 ppm meet bij een ijkgas N2O concentratie van 3.03 ppm. Belangrijk te weten is dat de fabrikant een 5% analysetolerantie hanteert bij de genoemde N2O concentraties van de ijkgassen.

De theoretische robuustheid van de Aeris MIRA Ultra samen met de preciezere testresultaten geven vooralsnog het vertrouwen dat we met de Aeris Ultra de juiste keuze voor N_2O -metingen hebben gemaakt. Als volgende stap zal er programmatuur voor de datalogger geschreven worden, en zal er een speciale behuizing met klimaatcontrole voor de analyzers moeten worden ontworpen en gebouwd, alvorens ze autonoom in het veld kunnen worden ingezet.



Figuur 2.17 Vergelijking tussen bekende N_2O concentraties en gemeten concentraties met de Aeris analyzer. Voor alle metingen geven de error bars de standaarddeviatie weer (te klein om te zien). De error bars voor het kalibratiegas geven de 5% analyse onzekerheid weer die op het analysecertificaat van het ijkgas staan vermeld. De door de Aeris Ultra gemeten N_2O concentraties tot 2 ppm vallen binnen deze 5% analysetolerantie van het kalibratiegas.

2.5.1 Ervaringen lachgasemissiemetingen Zegveld

Auteur: Gerard Velthof (WU)

De emissie van lachgas wordt sterk bepaald door stikstofbemesting en vochtgehalte van de bodem. Daardoor treden er sterke fluctuaties in emissie op in de tijd. In het experiment in Zegveld wordt lachgas gemeten op 4 percelen (met verschillende slootpeil), bij drie drainage systemen, met/zonder bemesting (om N_2O-emissiefactor te bepalen voor bemesting) in drievoud. Voor dit groot experiment zijn twee dagen nodig om alle metingen uit te voeren (handmatige metingen met een statistische fluxkamer). Voordeel van deze opzet is dat er een experiment is opgezet die statistisch geanalyseerd kan worden. Een nadeel is dat er weinig/geen flexibiliteit is om in te spelen op de sterke temporele fluctuaties in de tijd. Zo was er in 2019 sprake van een extreem hoge lachgasemissie op de eerste meetdag (vlak na bemesting onder natte omstandigheden), maar was de emissie al sterk gedaald in de tweede dag. Er zijn daardoor in dat jaar grote verschillen ontstaan tussen de vier percelen. In de proefopzet kan dit niet worden ondervangen, maar het is belangrijk om het onderzoek enkele jaren uit te voeren zodat het gemiddelde over een langere periode kan worden berekend en effecten van extreem hoge emissies uitmiddelen. T.z.t. zal er met een statisticus worden overlegd hoe er met extreme uitschieters omgegaan moet worden in statistische analyses van de resultaten.

2.6 Bodembewegingsmetingen

Auteurs: Sanneke van Asselen (Deltares), Harry Massop (WEnR), Roel Melman (Deltares)

Binnen NOBV worden er grofweg vier verschillende technieken gebruikt voor het meten van maaiveldhoogte: waterpassen, extensometer, laser (aan drone en aan statief) en InSAR. De bijbehorende methoden zijn beschreven in het meetprotocol en de NOBV jaarrapportage van meetjaar 1. Eventuele aanpassingen op deze methoden en ervaringen worden hieronder toegelicht.

Waterpassen
Vanaf oktober 2020 wordt er in Rouveen een extra meetraai ingemeten welke dwars over het perceel loopt, dit geeft extra inzicht variatie in de maaiveldhoogte(verandering) over het perceel (bolling/holling; Figuur 2.18).

Figuur 2.18. Waterpasmeetraaien in Rouveen.

In Zegveld zijn op perceel 13 t/m 16 de raaien in voorjaar 2021 opnieuw gemeten. De maaiveldraaien van perceel 13 en 16 evenals 11Noord worden voor vergelijking met metingen vanuit drone en/of vliegtuig door Deltares nog aanvullend 3 keer per jaar gewaterpast.
In Vlist zijn op 5-2-21 zijn alle raaien gewaterpast. De raaien op het zuidelijke perceel worden evenals de raaien op perceel 13 en 16 te Zegveld jaarlijks nog drie keer extra gemeten.

Extensometermetingen
Op een aantal locaties en momenten is het bereik van de bewegingssensoren aangepast door Deltares, omdat door meer dan verwachte bodembeweging op deze locaties (o.a. Assendelft, Zegveld) de sensoren tegen het maximale bereik aanliepen.

LiDAR
De metingen en samenwerking met Shore Monitoring zijn goed verlopen. In Zegveld is afgelopen meetjaar gemeten vanuit drone, niet meer met vliegtuig. Dit wordt toegelicht in hoofdstuk 5.3.

InSAR
De samenwerking met TUDelft in het kader van de InSAR analyses verloopt goed. Er vindt maandelijks een overleg plaats. Er is ervoor gekozen om eerst de methodiek goed verder te ontwikkelen met Rouveen en Zegveld als testgebieden. In een latere stap zullen de analyses uiteraard ook voor de andere NOBV locaties/regio's worden uitgevoerd.

In deze fase van het onderzoek is het voorbereidend werk gedaan om te komen tot schattingen van de maaiveldbeweging in het veenweidegebied. Nieuwe inzichten zijn de zeer sterke dynamiek van de bodembeweging. Om te komen tot betrouwbare schattingen van met name de irreversibele

lange-termijnbeweging, c.q. bodemdaling, is het nodig om de korte-termijn dynamiek goed te kunnen afschatten. Hier worden momenteel verschillende methoden voor getest.

Activiteiten en bevindingen van TUDelft in meetjaar 2 zijn:

- *GNSS dataverwerking van de IGRS stations in Zegveld en Rouveen*. Een automatische datastroom is opgezet, waarbij de data in Rinex3 formaat publiekelijk beschikbaar wordt gesteld. Deze resultaten bevatten momenteel waarschijnlijk nog verschillende stoorsignalen. Wanneer minimaal twee jaar aan GNSS-data beschikbaar is (in 2022), zullen we een specifieke tijdreeks decompositie toepassen, om tot een verdere scheiding van onderliggende processen te komen, zoals atmosferische 'loading' en temperatuureffecten.
- *InSAR dataverwerking van de IGRS stations in Zegveld en Rouveen*. De IGRS stations zijn begin 2020 geplaatst en de radarreflecties van de reflectoren zijn goed zichtbaar in de radarbeelden. De invloed van andere reflecterende objecten in de omgeving lijkt beperkt, zoals ook al voor de installatie was geïnventariseerd. De relatieve beweging van de IGRS ten opzichte van nabijgelegen gebouwen is stabiel, waarbij de standaardafwijking per epoche voor de meting van het IGRS in ieder geval beter is dan 2 mm.
- *InSAR methodologie-ontwikkeling voor het schatten van maaivelddaling, en eerste toepassing daarvan voor de gebieden rondom de NOBV locaties in Zegveld en Rouveen*. De methodologie is gebaseerd op het combineren van meerdere resolutiecellen in de radar interferogrammen ter onderdrukking van de ruis in de metingen, en het schatten van de bodembeweging gebruikgemaakt van een regen- en verdampingsmodel. De huidige analyse is gebaseerd op een rechthoekig grid met zijden van 50 m waarover de middeling van fase-waarnemingen plaatsvindt. Dit is niet optimaal, omdat deze gridcellen geen rekening houden met overgangen tussen verschillende percelen en andere oppervlakken. De vervolgstap zal daarom zijn om de analyse te baseren op perceelgrenzen.
- *Aanschaf en testen van een drietal zogenaamde actieve radartransponders*. Deze radartransponders hebben een vergelijkbare functie als de cornerreflectoren op de IGRS, maar zijn veel lichter en compacter. Het doel is daarom ook om deze transponders via een constructie op het maaiveld te plaatsen (free-floating transponders), om zo rechtstreeks de beweging van het maaiveld te meten. Deze tests brachten nog wat hardwareproblemen aan het licht, die momenteel door de leverancier verholpen worden.

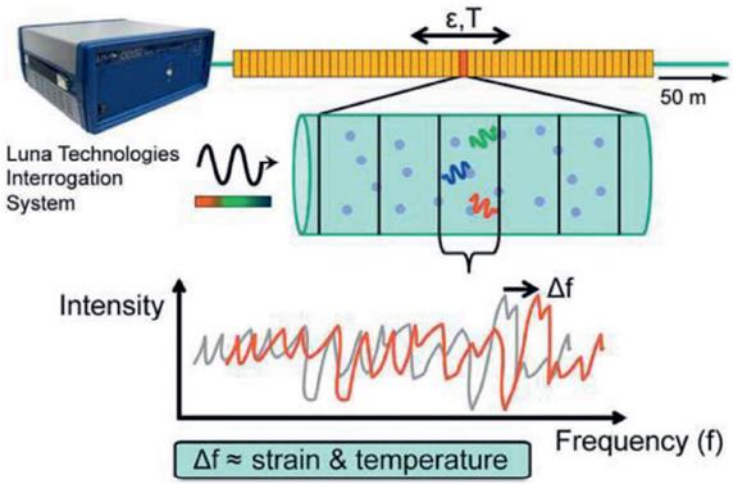
2.6.1 Experimentele sensoren en meetmethoden

Auteurs: Roel Melman (Deltares), Pieter Doornenbal (Deltares)

Eén van de doelstellingen van het NOBV is het opbouwen van een landelijk dekkend meetnetwerk dat gebruikt kan worden voor langjarige monitoring van de broeikasgasuitstoot en bodemdaling in het veenweidegebied. Binnen deze doelstelling werkt Deltares voornamelijk aan het ontwikkelen van een meetstrategie om lange-termijn bodemdaling in veenweidegebieden op regionale schaal vlakdekkend te kunnen monitoren met mm-schaal precisie. Er wordt daarbij ook gekeken naar nieuwe meetmethode die huidige meetmethode kunnen aanvullen, omdat ze goedkoper of eenvoudiger te installeren zijn of ze additionele informatie geven.

In meetjaar 2 is vanuit bovenstaand doel gekeken naar bodemdalingsmeting met glasvezelkabels. Tijdens een door Deltares georganiseerde expertoverleg is de potentie en het toepassingsdomein van bodemdalingsmetingen met glasvezelkabels afgebakend. Daarbij zijn naast de kansen, ook enkele randvoorwaarden voor de verschillende methoden gedefinieerd. Deze paragraaf geeft een overzicht van de uitkomsten van deze inventarisatie en gaat vervolgens in op welke stappen moeten worden gezet om de toepassingen verder te ontwikkelen.

Principe achter metingen met glasvezelkabels
Het algemene principe achter metingen aan bodem- en watersystemen met glasvezelkabels is dat condities (e.g. temperatuur, belasting, trillingen) rondom een kabeltraject de reflectie en verstrooiing van een opgewekt signaal beïnvloeden. Dit gereflecteerde signaal kan worden opgevangen en geanalyseerd, waardoor het mogelijk is om informatie over de condities langs het kabeltraject te herleiden. De kabels zelf zijn relatief goedkoop en gaan lang mee. Het is bovendien een relatief eenvoudige techniek en erg nauwkeurig.



Figuur 2.19. Principe van glasvezelmeettechniek schematisch weergegeven, waarbij twee verschillende parameters worden gemeten.

Met glasvezelkabels kan informatie over verschillende parameters langs een worden verkregen, zoals belasting, rek en temperatuur. Deze factoren beïnvloeden de reflectie van het uitgezonden signaal namelijk op een verschillende manier, waardoor de golflengte van het terugkerende signaal per toepassing varieert. Door het gereflecteerde signaal op verschillende golflengtes te analyseren, gebruikmakend van verschillende technieken, zijn de toepassingen glasvezelmetingen aan bodem- en watersystemen talrijk. In sommige gevallen kan er informatie worden verkregen met een zeer hoge dichtheid over een traject van honderden, zo niet duizenden meters.

Meten aan bodemdeformatie
Ondiepe bodemdeformatie in het veenweidegebied wordt gedreven door relatief langzame processen met verschillende oorzaken. Daarnaast zijn er tal van factoren die metingen in het relevante dieptebereik beïnvloeden, denk aan: fluctuaties in de grondwaterstand, belasting van bovenaf, seizoenmatige verschillen. De inzet van glasvezelmetingen om bodemdaling op nauwkeurige manier te bepalen is daarom uitdagend. Waarschijnlijk moeten meerdere meetprincipes worden gecombineerd om een (accuraat) bodemdalingssignaal te kunnen reconstrueren. In een vervolgtraject (buiten het NOBV) zal moeten blijken welke principes dit zijn. Tijdens de expertsessie zijn er drie potentiele toepassingen benoemd.

1. Verticale bodemdalingsmetingen (als extensometer): een glasvezelkabel wordt verticaal in de bodem bevestigd, zodat het deformatie over één of meerdere bodemintervallen kan volgen. Deze inzet is vergelijkbaar met de werking van een extensometer. Mogelijke voordelen van het meten met glasvezelkabel zijn: goedkopere installatie (mogelijk kan met één kabel gedifferentieerde informatie over het hele traject worden verkregen) en het feit dat de inzet kan worden gecombineerd met metingen aan andere parameters zoals bodemtemperatuur, bodemvocht en grondwaterstroming.

2. Vlakdekkende bodemdalingsmetingen: Een hoge resolutie perceelsdekkend meetnetwerk van glasvezelkabels zou in potentie een ruimtelijk beeld van maaivelddynamiek door de

tijd kunnen geven. Huidige meettechnieken, zoals extensometers, waterpassen en LiDAR, geven ofwel informatie over de maaivelddynamiek op één locatie door de tijd, ofwel een ruimtelijk beeld van de maaivelddynamiek op één meetmoment. Hoewel een horizontaal meetnet van glasvezelkabels niet snel op landelijke schaal zal worden ingezet, kan het ons veel leren over de representativiteit van de andere meettechnieken.

3. Inzet darkfibers ter ondersteuning van InSAR-metingen: In het landelijke gebied ligt een netwerk van glasvezelkabels als onderdeel van de communicatie-infrastructuur. Deze kabels liggen vaak langs wegen of spoorwegen. Dark fibers zijn glasvezelkabels die nog niet in gebruik zijn genomen in het reeds aanwezige netwerk. De kwaliteit en installatie van deze kabels is hoogstwaarschijnlijk onvoldoende voor bodemdalingsmetingen, maar mogelijk kunnen deze kabels wel worden ingezet om de verticale richting van de maaivelddynamiek langs een kabeltraject af te leiden. Deze informatie zou bijvoorbeeld kunnen worden gebruikt bij het verwerken van InSAR-data.

Randvoorwaarden en vertrekpunt verdere ontwikkeling

Tijdens de expertdiscussie zijn er echter voor de drie potentiele technieken ook een aantal randvoorwaarden gedefinieerd. Indien er niet aan deze voorwaarden kan worden voldaan, zal verdere ontwikkeling van de meettechniek weinig zin hebben.

- Verticale bodemdalingsmetingen: om glasvezelkabels op deze manier in te zetten om bodemdaling te meten is het essentieel dat langs het hele kabeltraject de kabel exact dezelfde vervorming heeft als de bodem. Dit betekent dat voor nauwkeurige metingen de kabel een goed koppeling tussen de kabel en de ondergrond moet zijn gewaarborgd. In verschillende studies is de inzet van de verticale bodemdeformatiemetingen met glasvezelkabels onderzocht (bv. Zhang et al. (2016) & Hong et al. (2019)). Het concept is dus aangetoond, maar het moet zich nog wel bewijzen voor het Nederlandse veenweidegebied. De koppelingen met slappe sedimenten in Nederland is daarbij nog extra uitdagend.

- Horizontale bodemdalingsmetingen: ook bij deze toepassing is het essentieel om een goede koppeling tussen de kabel en de ondergrond moet zijn gewaarborgd. Er zijn meerdere proeven bekend waarbij dit concept is toegepast door een glasvezelkabel te verweven met een geotextiel. Vervormingen op het geotextiel worden geregistreerd met glasvezelkabels, waardoor een ruimtelijk beeld van de vervorming van de ondergrond kan worden verkregen. Voor eventuele toepassing in het Nederlandse veenweidegebied moet deze techniek verder worden onderzocht in gecontroleerde condities.

- Darkfiber-metingen ter ondersteuning van InSAR: Randvoorwaarden voor de inzet van darkfibers voor het verwerken van InSAR-metingen zijn:
  1. Darkfibers liggen op representatieve locaties in het veenweidegebied;
  2. Darkfibers liggen op een representatieve diepte, zodat de dominante maaivelddynamiek kunnen meten;
  3. Met darkfibers is het mogelijk om de richting van de bodembeweging te meten (daling of stijging), gedifferentieerd over een traject.

In onderzoek van Deltares is het basisprincipe voor geotechnisch onderzoek met darkfibers waargenomen. Akoestische signalen in deze darkfibers zijn gebruikt om de opbouw van de ondergrond te karteren. Het is op dit moment echter nog onduidelijk of dit concept op een soortgelijke manier voor bodemdalingsmetingen kan worden gebruikt. Als volgende stap moet het technologisch concept verder worden beschreven op basis van een literatuuronderzoek. Dit maakt inzichtelijk welke parameters van belang zijn voor het bodemdalingen proces en hoe met darkfibers gemeten kunnen worden.

Referenties

Hong, C., Zhang, Y., Yang, Y., & Yuan, Y. (2019). A FBG based displacement transducer for small soil deformation measurement. Sensors and Actuators A: Physical, 286, 35-42.

Zhang, C. C., Zhu, H. H., & Shi, B. (2016). Role of the interface between distributed fibre optic strain sensor and soil in ground deformation measurement. Scientific Reports, 6(1), 1-9.

2.7 Grondwaterstandmetingen

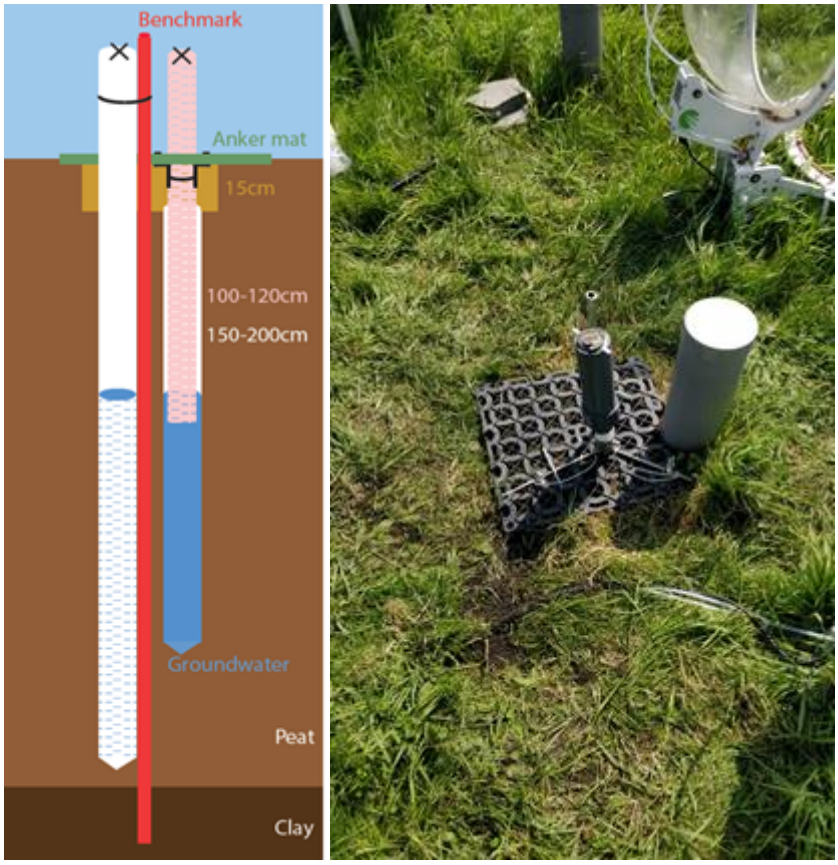
Auteurs: Sanneke van Asselen (Deltares), Harry Massop (WEnR), Karel van Houwelingen (KTC Zegveld), Coline Boonman (RU)

Op alle NOBV meetlocaties vinden per plot meerdere continue grondwaterstand-, stijghoogte- en slootpeilmetingen plaats. Deze metingen worden geregistreerd ten opzicht van NAP middels gefundeerde en ingemeten referentiepunten. Hierdoor kunnen ze direct vergeleken worden met elkaar en met andere metingen, met name bodemhoogtemetingen t.o.v. NAP. Deze laatste kunnen tevens worden gebruikt om grondwaterstanden ten opzicht van maaiveld te kunnen bepalen. Om de hoogte ten opzicht van maaiveld te kunnen verifiëren wordt sinds april 2021 elk jaar (in april) de maaiveldhoogte rondom de peilbuizen ingemeten met waterpassen. Per peilbuis worden vier waterpasmetingen gedaan op 0.5 m van de peilbuis, verspreid rondom de peilbuis.

In Rouveen en Assendelft zijn in eerste instantie per locatie 2 druksensoren (ElliTracks) in een putje onder maaiveld geïnstalleerd, omdat deze punten buiten de omheinde meetplots vallen en de boer er geen last van moet hebben. In de loop van het meetjaar bleek dat deze meetpunten niet altijd goed de waterstand registreerden omdat bij het vollopen van het putje bij hoge grondwaterstanden en/of veel neerslag de correctie voor luchtdruk niet goed gaat doordat de sensor onder water ligt. Daarom zijn deze sensoren vervangen door divers, waarvoor de luchtdrukcorrectie plaatsvindt door een aparte bovengronds geïnstalleerde sensor. De divers sturen niet automatisch de metingen door, maar moeten handmatig uitgelezen worden.

In Assendelft is de peilbuis in sloot van het maatregelenperceel verstoord rond 9 maart 2021. Waarschijnlijk is er daarna een tijd niets mee gebeurd (in dezelfde positie gebleven) en zijn de metingen, mits gecorrigeerd, wel bruikbaar. Op 22 juni 2021 is de buis weer recht gezet. De correctie voor de periode 9 maart - 22 juni 2021 is bepaald op basis van een vergelijking van een handmatige meting (met waterpasinstrument) van het slootpeil op 3 mei 2021 met de waarde zoals geregistreerd door de Ellitrack op dat moment, en bedraag +0.44 m. Op 29 januari 2021 is ook met waterpasinstrument het slootpeil ingemeten. Op basis van een vergelijking met de Ellitrack waarde op dat moment is tevens een correctie van +0.03 m doorgevoerd voor de periode vóór 9 maar 2021.

In Aldeboarn is (later dan gepland) op 2 april de peilbuis in de zandlaag geplaatst. In Aldeboarn en Rouveen zijn door de RU op 22 juli 2021 peilbuizen met loggers geplaatst die meebewegen met het maaiveld, om zodoende de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld te kunnen meten (de *relative water level; RWL*; Figuur 2.20). De meebewegende peilbuizen zijn naast een gefundeerde peilbuis geplaatst, zodat metingen van de twee meetopstellingen met elkaar vergeleken kunnen worden en er na kan worden gegaan of er verschillen zitten tussen de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld en ten opzichte van NAP. De bewegende peilbuis heeft een diameter van 6,3 en 3,6 cm. De mat vrij kan bewegen langs de mantelbuis van de gefundeerde peilbuis.



Figuur 2.20. Constructie (links) en foto (rechts) van de meebewegende peilbuis meetopstelling.

Alle peilbuizen met deze constructie zijn als volgt geplaatst:

- vierkant gat van ongeveer 15 cm diep
- met de grondboor een gat maken tot de zandlaag is bereikt - op een afstand van maximaal 20 cm van de oude peilbuis (wanneer deze aanwezig is)
- filterbuis met sok zo diep mogelijk plaatsen
- metalen pin langs de brede peilbuis plaatsen tot op de zandlaag, vastzetten met tie-wrap aan de brede peilbuis
- smalle filterbuis in mat vast klemmen en vastzetten met de pinconstructie, zorgen dat de mat ook over de metalen pin gaat
- verloopstuk op smalle filterbuis plaatsen, brede pvc erop en Ellitrack erin
- met staaldraad de pinnen vastzetten aan de mat en met staaldraadklem vastmaken
- twee u-vorm metalen dingen (benen zijn 20cm lang) over de pinconstructie en door de mat in de grond voor extra vergrendeling in de grond

In Zegveld worden op meerdere locaties de grond- en oppervlaktewaterstand gemeten.
Aan zuidzijde van de percelen 13 t/m 16 is aan weerszijde van de percelen een peilschaal geplaatst, de peilschaal is bevestigd aan een in het zand gefundeerde ijzeren paal. Tevens zijn op twee locaties Ellitracks bevestigd aan deze gefundeerde palen, nl. tussen perceel 13-14 en tussen perceel 15-16. Op één locatie, in plot ZEG_MP, wordt de waterdruk in de drain gemeten met een Ellitrack. Op de percelen 13 t/m 16 zijn in 2019 N2O-plots uitgezet, in deze plots is op 1,5 m van de drain een gefundeerde ijzeren paal met filter geplaatst in de zandondergrond. Aan deze gefundeerde palen, zijn nog twee filters gevestigd, nl een freatische filter en een filter tussen 3,5-4,0 m-mv. In de twaalf freatische filters is een Ellitrack geplaatst. Tevens is op drie locaties in de N2O-plots in het filter tussen 3,5-4.0 m-mv een Ellitrack geplaatst, nl op perceel 16 in de plot met drukdrains en de referentieplot en perceel 13 in de referentieplot. Verder zijn in twee diepe filters in de zandondergrond Ellitracks geplaatst, nl op perceel 13 drukdrainplot en perceel 16 in de plot

met onderwaterdrains. In de in 2020 aanvullende ingerichte plots ZEG_MP en ZeG_RF zijn nog een aantal extra in de zandondergrond gefundeerde pijpen met daaraan een freatische filters geplaatst, voorzien van een Ellitrack. In plot ZEG_MP zijn op vier locaties, nl. 0,5 m van de drain, 1,5 m van de drain en 3 m (midden tussen de drain) en 1,5 m van de tegen overliggende drain Ellitracks geplaatst. In plot ZEF_RF zijn 3 gefundeerde palen met peilbuizen geplaatst met Ellitracks. Totaal zijn op 27 locaties Ellitracks geplaatst. Door de Ellitracks wordt elk uur een waterhoogte geregistreerd.

Daarnaast zijn er op de percelen 13 t/m 16 buiten de plots nog een groot aantal niet gefundeerde freatische peilbuizen geplaatst afgewerkt met een tegel, totaal staan er :

- Perceel 13 39 peilbuizen
- Perceel 14 36 peilbuizen
- Perceel 15 36 peilbuizen
- Perceel 16 58 peilbuizen

Deze (in totaal 169) peilbuizen worden regelmatig gepeild. Dit gebeurt met de hand (plopper/dompelklokje) met een frequentie van zo'n 2-4 keer per maand, waarbij er in de zomer het vaakst wordt gemeten. Tegelijkertijd met de handmatige metingen wordt de actuele peil in de sloten vastgelegd. Deze metingen worden door KTC gedaan en verwerkt tot een databestand.

In Vlist worden op meerdere locaties de grond- en oppervlaktewaterstand gemeten.
Aan weerszijde van het onderzoeksperceel is een peilschaal geplaatst, de peilschaal is bevestigd aan een in het zand gefundeerde ijzeren paal. Tevens zijn op deze locatie Ellitracks bevestigd aan deze gefundeerde palen. Op één locaties in de VLI_MS-plot wordt de waterdruk in de drain gemeten met een Ellitrack.

In de beide plots zijn gefundeerde buizen geplaatst met daaraan een peilfilter om de freatische grondwaterstand te meten. In de VLI_MS-plot zijn vier peilfilters geplaatst met een Ellitrack, nl. 0,5 m van de drain, 1,5 m van de drain en 3 m (midden tussen de drain) en 1,5 m van de tegen overliggende drain. In de VLI_RF-plot zijn 3 gefundeerde peilbuizen geplaatst met Ellitracks. Verder is er een filter geplaatst tussen 3,5-4,0 m-mv aan een gefundeerde buis en voorzien van een Ellitrack. Totaal zijn op 11 locaties Ellitracks geplaatst

Daarnaast zijn er buiten de plot nog twintig niet gefundeerde peilbuizen geplaatst, dit betreft een raai met 10 peilbuizen over de VLI_MS-plot en en 10 peilbuizen over de VLI_RF-plot. De peilbuizen zijn geplaatst is een tegel met een opening voor de peilbuis.
De Ellitracks registreren elk uur de waterhoogte. De niet gefundeerde peilbuizen worden regelmatig gepeild. In de volgende paragrafen worden enkele eerste resultaten gepresenteerd van de waarnemingen met de Ellitracks over de periode tussen begin van de metingen tot eind juli 2021. De begindata voor de metingen verschilt per locatie.

Draininspecties *(Auteur: Daniël van de Craats (WEnR)*
In jaar 2 zijn draininspecties uitgevoerd in Assendelft en in Rouveen. In Rouveen bleek dat de apparatuur die nodig is voor de meting van de hoogteligging van de drain niet door het geïnstalleerde Y-stuk kon. De camera voor visuele inspectie kon er wel door. Daarom is in Rouveen de drain opgegraven om toch de hoogteligging te kunnen bepalen. Tevens is de situatie voorgelegd aan de fabrikant van de Y-stukken. Deze heeft hierop het ontwerp van de Y-stukken aangepast, zodat het apparaat voor de meting van de hoogteligging er wel door kon.

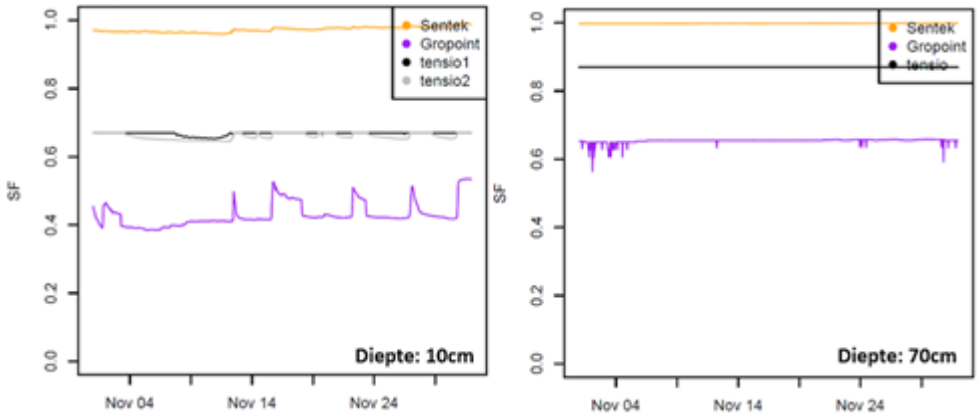
Y-stukken met het aangepaste ontwerp zijn geïnstalleerd in Zegveld Hoogwater en in Lange Weide.

2.8 Bodemvochtprobes

Auteur: Ralf Aben (RU), Coline Boonman (RU), Daniël van de Craats (WEnR), Jim Boonman (VU)

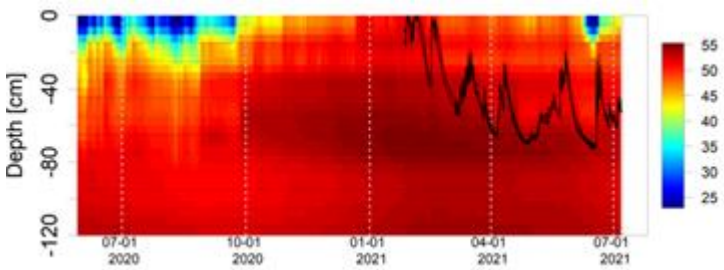
Bodemvochtprobes worden met name in de landbouw gebruikt om momenten van irrigatie te bepalen. Het gevolg hiervan is dat er weinig bekend is over het functioneren van dit soort probes in veenbodems, welke over het algemeen een veel grotere hoeveelheid vocht per volume-eenheid kunnen bevatten dan andere bodemtypes. Vanwege deze onzekerheden is er in de zomer van 2019 een vergelijkende veld- en labtest gedaan met 3 typen bodemvochtprobes (Sentek Drill & Drop, GroPoint Profile, Campbell SoilVue), welke geen eenduidig resultaat liet zien over welke probe het meest geschikt is. De SoilVue viel af vanwege de hoge prijs en de beperkte lengte van de probe. De Sentek had voor ons een lichte voorkeur i.v.m. de geïntegreerde temperatuurmeting, wat destijds nog niet het geval was bij de GroPoint. Van de Sentek probes zijn er 3 stuks voor elk maatregelplot en 2 stuks voor elk referentieplot voor de 5 locaties uit jaar 1 aangeschaft. Daarnaast is besloten om voor elk referentieplot ook 1 GroPoint aan te schaffen, ter vergelijking met de 2 Sentek probes. Deze GroPoint is van een nieuw type, welke ook een geïntegreerde temperatuurmeting heeft. Door een volledig jaar aan data van de 2 type probes te kunnen vergelijken, kan er voor de locaties van jaar 2 een goed geïnformeerde keuze worden gemaakt voor aanschaf van de meest geschikte bodemvochtprobe. Meer (technische) info over de Sentek en GroPoint probes kan worden gevonden in paragraaf 3.5 van de NOBV jaarrapportage 2019-2020. Ter aanvulling op de bodemvochtsensoren zijn tensiometers geïnstalleerd op een aantal locaties. Tensiometers meten de zuigspanning in de bodem als maat voor de hoeveelheid bodemvocht in de onverzadigde zone. Het nadeel van tensiometers is dat deze opereren tot een maximale zuigspanning van 2.7 pF, terwijl we weten dat deze waarde overschreden wordt in het groeiseizoen, wanneer bodems flink uit kunnen drogen. Aan de hand van de verzamelde data gedurende het afgelopen jaar is de keuze gemaakt om voor alle toekomstige meetlocaties enkel Sentek sensoren te plaatsen.

De keuze voor Sentek probes is drievoud. Ten eerste hebben we veel problemen ervaren in jaar 1 bij de aanschaf (veel langere levertijd dan afgesproken) en installatie (de Nederlandse leverancier leverde ondeugdelijk installatiemateriaal) van de GroPoint probes, waardoor we terughoudend zijn om opnieuw voor GroPoint te kiezen. Dankzij het ondeugdelijke installatiegereedschap, waren we genoodzaakt om de GroPoint probes te installeren met de boor van de Sentek probes. Dit resulteerde in het risico dat de probe geen geschikte aansluiting heeft met de bodem vanwege de verschillende vorm die de GroPoint en de Sentek probes hebben. Deze onzekerheid over de geschikte aansluiting van de GroPoint probe met de bodem resulteert in onzekerheid over de juistheid van meetwaardes en onzekerheid in het eerlijk kunnen vergelijken van de Sentek en GroPoint. Ten tweede komen de metingen van beide sensoren niet overeen. Ter vergelijking is de data van beide bodemvochtsensoren naast data van een tensiometer gelegd. Hieruit blijkt dat de metingen van Sentek grotendeels dezelfde stijging/daling in bodemvocht laten zien, terwijl metingen van GroPoint relatief grote pieken/dalen laten zien wanneer de tensiometer geen verandering weergeeft (als voorbeeld zie Figuur 2.21). Dit geldt voor alle locaties, zowel in de zomer- als winterperiode, en op 10 cm als 70 cm diepte. Ten derde is bekend dat de GroPoint sensoren een afwijking/verloop laten zien over tijd. Dit is een groot nadeel in het meerjarige NOBV programma.



Figuur 2.21 Scaled Frequency (SF) voor de Sentek sensoren (gemiddelde van de twee sensoren), de GroPoint sensor, en de tensiometers in Zegveld voor de hele maand november. Links zijn metingen op 10cm diepte, en rechts zijn metingen op 70cm diepte.

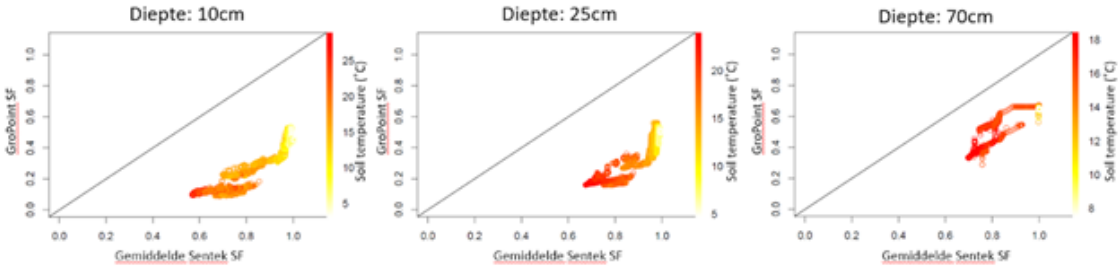
Een belangrijk leerpunt van het afgelopen jaar voor de bodemvochtsensoren is dat metingen als percentage bodemvocht gegeven worden (Figuur 2.22). Deze kunnen aan de hand van de standaard Sentek kalibratiecurve worden omgezet naar ruwe meetwaardes genaamd Scaled Frequency (SF). Om inzicht te krijgen in bodemvochtcondities is er vervolgens een veen-specifieke kalibratiecurve nodig, welke nog niet bestaat. Daarbij komt het feit dat veenbodems niet homogeen zijn in de diepte. Vaak is er bijvoorbeeld sprake van een kleidek op het veen en is het veen bovenin veel sterker gedegradeerd dan het veen wat dieper in de bodem zit. Dit betekent dat nauwkeurige bodemvochtpercentages alleen kunnen worden verkregen als er per sensor op de probe een specifieke kalibratie wordt gedaan voor de bodem die zich op de diepte van de sensor bevindt. Dit vereist veel extra werk. Er is binnen het consortium op dit moment geen aio of postdoc gespecialiseerd op bodemvocht aangesteld, waardoor we nog op zoek zijn naar een oplossing en hoe we dit het beste kunt organiseren binnen het consortium.



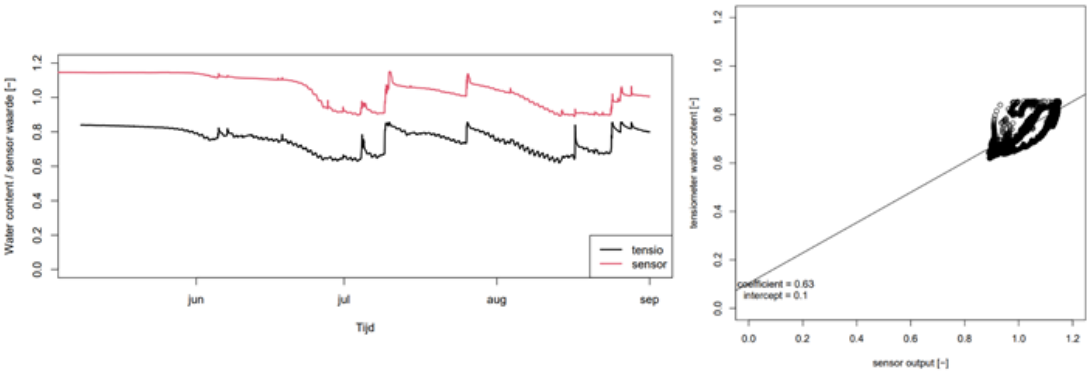
Figuur 2.22 Een Sentek meting [% verzadiging] over diepte (y-as) en tijd (x-as) die nog niet is gecorrigeerd voor de waterretentie en bodemeigenschappen van veen. Hier is duidelijk verdroging in de zomermaanden te zien.

Voor nu gebruiken we de SF waardes om relatieve veranderingen waar te nemen. Maar ook dit werkt slechts tot op bepaalde hoogte. Tijdens de vergelijking tussen Sentek en GroPoint sensoren is gebleken dat Sentek ogenschijnlijk beter een verandering in bodemvocht kan waarnemen in een relatief droge bodem, maar minder goed in een relatief natte bodem. (Figuur 2.24). Met de keuze voor Sentek en het gebruik van SF waardes kunnen we daarom beter afleiden in welke mate de grond droog is dan in welke mate de grond nat is. Gezien het feit dat veen vaak volledig nat is en wij als consortium vooral geïnteresseerd zijn in processen wanneer de grond droger is, is een waarneming met de conclusie ‘nat is nat’ op dit moment geen probleem. Echter, wanneer correcte, absolute waardes nodig blijken in een later stadium, is het extra werk om kalibratiecurves te maken vereist. We verwachten dat dit redelijk goed mogelijk zal zijn met behulp van de data van tensiometers en bodemvochtmonsters (genomen door B-Ware, Deltares en Universiteit Utrecht).

Figuur 2.23 toont de overeenkomsten en verschillen tussen de gemeten Sentek waarden en de berekende tensiometer bodemvochtwaarden. We zien duidelijk dat de variabelen dezelfde veranderingen over tijd laten zien. Wanneer we de variabelen tegen elkaar uitzetten zien we dat het verband tussen de twee variabelen niet constant is. Dit wordt veroorzaakt doordat de bodem op een andere manier verdroogt dan vernat, een bekend fenomeen in de hydrologie dat hysterese genoemd wordt.



Figuur 2.23 SF waardes voor GroPoint en Sentek (gemiddelde van de twee sensoren) voor de locatie Zegveld voor de periode juni tot en met december 2020. De kleuring is de bodemtemperatuur op de desbetreffende bodemdiepte. Te zien is dat in de winter (gelige kleuring) de Sentek sensors een SF van 1 weergeven, terwijl de GroPoint sensor nog varieert in waardes.



Figuur 2.24 (a) Water content bepaald met de tensiometer (zwart) en de scaled frequency waarde van de Sentek sensoren (rood) op 0.5m diepte in het referentieperceel in Aldeboarn in het groeiseizoen in 2020. (b) Tensiometer water content (y-as) met bijbehorende Sentek scaled frequency sensor output (x-as) voor deze diepte.

2.9 Tensiometers

Auteur: Daniël van de Craats (WEnR)

Installatie (extra) tensiometers

Halverwege het meetjaar 2020-2021 is besloten om ook tensiometers te installeren op de reeds bestaande meetlocaties welke nog niet voorzien waren van dit type sensoren (Assendelft en Vlist), dit om als referentie of ijking te dienen voor de bodemvochtsensoren. In navolging van de installatie te Aldeboarn, Rouveen en Zegveld, is ook hier gekozen om tensiometers in de maatregelpercelen te plaatsen in sets op drie afstanden van de drain, te weten net naast de drain, op ¼ afstand tussen drains en midden tussen de drains. Op het referentieperceel zijn sets geplaatst op twee ‘willekeurige’ locaties, conform de eerdere installaties. In principe bestaat iedere set uit drie tensiometers.

Het gebruikte type tensiometers dient geïnstalleerd te worden op een diepte van minstens 20 cm-mv, om het risico op bevriezing van de sensor te verkleinen. Tevens dient de vulleiding op minimaal deze diepte te worden afgewerkt. De hoek van installatie dient minimaal 10 en maximaal 80 graden te zijn (dus zowel horizontaal als verticaal is niet mogelijk). Er bestaat een kans op uitdroging (doorslaan) van de tensiometer bij een negatieve zuigspanning onder de 850-900 cm. In dat geval kan de vulleiding gebruikt worden om uitgedroogde tensiometers met water te hervullen wanneer de bodem weer voldoende vochtig is.

Voorafgaande aan de installatie zijn de installatiedieptes bepaald aan de hand van beschikbare profielbeschrijvingen. Hierbij zijn de tensiometers zo veel mogelijk in de verschillende bodemhorizonten geplaatst, waarbij met name onderscheid is gemaakt tussen de bovengrond, veraard veen en min of meer ongestoord veen. Tevens zijn de gemeten grondwaterstanden van het voorgaande meetjaar betrokken bij de bepaling van de installatiediepten. In het geval van het maatregelperceel in Assendelft is afgeweken van het aantal tensiometers per set, in verband met de constant hoge grondwaterstanden (een maximale uitzakking van 40 cm in het voorgaande meetjaar); de diepste tensiometer is hier niet geplaatst omdat deze naar verwachting nagenoeg altijd verzadigd zal zijn. Hierdoor bestaat daar iedere set uit slechts twee tensiometers. Alle tensiometers zijn voorafgaande aan de installatie getest en geijkt, waarbij geen significante afwijkingen zijn gevonden.

Tijdens de installatie van de tensiometers is in ieder plot een bodemkuil gegraven, welke tevens is gebruikt voor bemonstering. Na afloop van de bemonstering zijn de tensiometers in de wand van de kuil geïnstalleerd. Indien nodig is in het veld afgeweken van de voorziene installatiediepte als gevolg van de daadwerkelijke situatie in de bodemkuil (bijvoorbeeld een afwijkende horizontdikte). De uiteindelijke installatiedieptes voor Assendelft en Vlist staan weergegeven in Tabel 2.4 en Tabel 2.5. Alle tensiometers zijn vanuit de kuilen onder een hoek geïnstalleerd. Voor de bovenste tensiometers was dit een hoek naar boven, zowel om te voorkomen dat water bij een regenbui via scheuren in de toplaag snel naar de punt van de tensiometer zou stromen, als om het risico op bevriezing van de sensor te verkleinen. Voor lagere tensiometers was naar boven installeren niet mogelijk en is gekozen voor een hoek naar beneden. In de praktijk heeft dit voor de meting geen consequenties. Ter plekke van de punt van iedere tensiometer is een monster genomen voor bepaling van het organisch stofgehalte. De positie van de kuilen is uitvoerig gedocumenteerd. De kuilen zijn na de installatie zo secuur mogelijk opgevuld, waarbij rekening is gehouden met het bodemprofiel. Tot slot is de afgestoken zode weer op zijn plaats gelegd. De bemonstering en installatie in Assendelft vond plaats op 5 en 6 mei 2021. De bemonstering en installatie in Vlist zijn uitgevoerd op 3 en 4 mei 2021.

Tabel 2.4 Installatiedieptes en bodemtype van installatie voor tensiometers in Assendelft.

	Diepte 1 [cm-mv]	Bodemtype 1	Diepte 2 [cm-mv]	Bodemtype 2	Diepte 3 [cm-mv]	Bodemtype 3
Referentie 1	20	Klei	35	Verweerd veen	60	Riet zeggeveen
Referentie 2	20	Klei	40	Verweerd veen	70	Riet zeggeveen
Maatregel 1	20	Klei	35	Verweerd veen	-	-
Maatregel 2	20	Klei	40	Verweerd veen	-	-
Maatregel 3	20	Klei	40	Verweerd veen	-	-

Tabel 2.5 Installatiedieptes en bodemtype van installatie voor tensiometers in Vlist.

	Diepte 1 [cm-mv]	Bodemtype 1	Diepte 2 [cm-mv]	Bodemtype 2	Diepte 3 [cm-mv]	Bodemtype 3
Referentie 1	20	Klei	40	Humeuze klei	60	Eutroof broekveen
Referentie 2	30	Klei	50	Verweerd veen	70	Eutroof broekveen
Maatregel 1	20	Klei	40	Humeuze klei	60	Eutroof broekveen
Maatregel 2	30	(zware) Klei	50	Verweerd veen	70	Eutroof broekveen
Maatregel 3	30	(zware) Klei	50	Verweerd veen	70	Eutroof broekveen

Status tensiometers

Gedurende het meetjaar is een aantal tensiometers in de reeds bestaande plots uitgevallen. Tabel 2.6geeft een overzicht van deze uitval. In Aldeboarn is 50% van de sensoren in het referentieperceel uitgevallen, in Zegveld is 50% van de sensoren in het referentieperceel, en 56% van de sensoren in het maatregelperceel uitgevallen. In het maatregelperceel betreft het alle ondiepe sensoren (MP1, MP 4 en MP7).

Samen met de fabrikant wordt gekeken wat de oorzaak van de uitval is, en zijn er poriewatermonsters opgestuurd ter vergelijking. Tevens is op 22-12-2020 tensiometer Zegveld RF4 uit het veld genomen en opgestuurd naar de fabrikant. Het blijkt dat na verloop van tijd het contact tussen de daadwerkelijke sensor en de elektronica van de sensor niet goed meer te functioneren, mogelijk als gevolg van ijzeroxidatie op de probe.

Gedurende de zomer van 2020 zijn twee tensiometers in het referentieperceel in Aldeboarn doorgeslagen (RF1 en RF4). De bodem was dusdanig uitgedroogd dat het vocht vanuit de tensiometer in de bodem is gezogen, en de sensor geen goede waarde meer aangaf. Dit kan verholpen worden middels het hervullen van de tensiometers, echter, dit is alleen zinvol wanneer de bodem weer voldoende vochtig is. De tensiometers in Aldeboarn zijn op 11-11-2020 hervuld. Helaas blijkt na analyse van de data dat er alsnog sterke vertraging optreed in de reactie van de sensoren op veranderende vochtcondities (in vergelijking met de sensoren in het maatregelperceel). Dit duidt erop dat er alsnog lucht in de tensiometers is achtergebleven. De huidige data van deze sensoren kan dan ook niet gebruikt worden voor verdere analyse.

Op andere locaties was hervullen niet noodzakelijk, aangezien de bodem daar voldoende vochtig is gebleven. Tijdens de zomer van 2021 zijn (nog) geen doorslaande sensoren geconstateerd.

Tabel 2.6 Overzicht van de uitgevallen sensoren, inclusief de datum waarop de doorgegeven data niet langer betrouwbaar is.

Aldeboarn		Assendelft		Rouveen		Vlist		Zegveld	
RF2	31-08-2020			RF2	13-02-2021			RF2	18-11-2020
RF3	07-07-2020			RF4	03-03-2021			RF4	17-12-2020
RF5	20-03-2021			MS1	22-06-2021			RF5	08-03-2021
MS4	28-04-2021							MP1	06-07-2021
								MP3	13-02-2021
								MP4	26-11-2020
								MP5	24-11-2020
								MP7	25-05-2020

2.10 Redox en zuurstof

Auteur: Ype van der Velde (VU)

Redox- en zuurstofsensoren hebben het hele jaarrond zonder problemen gemeten. De referentiesensoren zijn vervangen wanneer ze “op“ raakten.

2.11 Respiratiemetingen

Auteur: Mariet Hefting (UU)

Basismetingen aerobe veenoxidatie in de nieuwe meetsites
In meetjaar 2 zijn respiratiemetingen uitgevoerd in 3 nieuwe meetsites (Langeweide, Zegveld hoogwaterboerderij en Ankeveen). De meten zijn uitgevoerd analoog aan de opzet van de pilotmetingen in meetjaar 2019-2020 (Rouveen, Aldeboarn, Zegveld, Assendelft en Vlist). Metingen werden uitgevoerd volgens de procedure van Brouns et al., 2014, 2016 op het laboratorium van Ecologie en Biodiversiteit van de Universiteit Utrecht. Bij deze metingen worden de aerobe oxidatiesnelheden bepaald met de respirometer onder basiscondities (basisrespiratie BR) en onder stimulans van nutriënten en labiele koolstof componenten (substraat geïnduceerde respiratie SIR) Figuur 2.25. De veenmonsters werden in het veld per meetplot genomen op vier locaties en op drie dieptes met een brede guts en edelmanboor. Na een pre-incubatie van enkele dagen worden de bodemmonsters aangesloten aan de respirometer waar CO_2-emissie wordt bepaald voor de basisrespiratie. Daarna worden de bodemmonsters stapsgewijs blootgesteld aan labiele koolstofbronnen en nutriënten om ook de ongelimiteerde potentiële afbraakcapaciteit te bepalen. Uit de data van de substraat geïnduceerde respiratie SIR kan een inschatting worden gemaakt van de grootte van de microbiële gemeenschap en meetplot worden 12 monsters gemeten voor ieder van deze behandelingen (4 samples, op 3 dieptes ox-ox/red en red zone). Bij Ankeveen is afgeweken van de monstername van lagen gerelateerd oxidatie-reductie condities vanwege de enorme variatie tussen de meetpunten (variatie in profielopbouw, vegetatietype, waterniveau). We hebben besloten om hier in te zoomen op laagkernmerken in klassen 1) sterk amorf veen, 2) matig-zwak amorf veen en 3) sterk humeus zand.

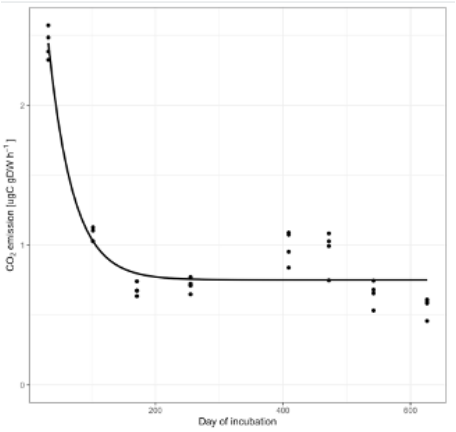
Figuur 2.25 Meetopstelling van de respirometer in het laboratorium van Ecologie en biodiversiteit.

Lange termijn aerobe basisrespiratiemetingen van alle meetsites

In meetjaar 2 werd een start gemaakt met de metingen aan de basisrespiratie op lange termijn (LTBR). Deze LTBR wordt gemeten om een inschatting te maken van het aandeel respiratie afkomstig van kort-cyclisch C in de bodem en de basisrespiratie van de veenmatrix als uitgangspunt voor de aerobe afbraakpotentie (AAP) in het SOMERS model). Op vier meetsites (Vlist maatregelenplot, Vlist referentieplot, Assendelft, Zegveld referentieplot) werden in het veld op vier locaties en op vier dieptes (wortelzone, geoxideerde zone, oxidatie-reductie zone en gereduceerde zone) met een brede guts en edelmanboor veenmonsters genomen. Bij Ankeveen is afgeweken van de monstername in de bovenstaande vier lagen vanwege de enorme variatie tussen de meetpunten (variatie in profielopbouw, vegetatietype, waterniveau). Bij monsterselectie in Ankeveen is gekozen voor de wortelzone, sterk amorf veen, matig amorf veen en sterk humeus zand. Na een pre-incubatie in het lab werden basisrespiratiemetingen uitgevoerd op de respirometer. Deze eerste meetserie (0 serie) dient als nulmeting (som respiratie kort-cyclisch C en veen matrix). Het verschil met de vorige meetreeks is dat het veen bij deze meetreeks geïncubeerd wordt in buisjes op een laag vochtig perliet om het vochtgehalte te stabiliseren en te controleren (Figuur 2.26). Bij deze LTBR serie wordt ook de wortelzone bemonsterd omdat in deze laag de respiratie van kort-cyclisch C mogelijk een dominante rol speelt. In tegenstelling tot de incubatie experimenten uit de pilotserie worden bij deze meetserie geen nutriënten en labiele koolstof componenten toegevoegd.

Figuur 2.26 Incubatie opstelling voor de Lange termijn basis respiratie metingen LTBR.

Na de nulmeting worden de flessen met veenmonsters op 20 °C gehouden in een klimaatkamer. Respiratiemetingen aan deze monsterseries zullen worden herhaald na 6 maanden, 8 maanden en 1 jaar. Verdampingsverliezen worden bepaald op basis van gewichtsverandering van de losse buisjes met veen en van de perliet afzonderlijk. De verdampingsverliezen worden regelmatig aangevuld met gedemineraliseerd water om het vochtgehalte tijdens incubatie constant te houden. Het verschil tussen de basisrespiratie na één tot twee weken en na stabilisatie 8- 12 maanden geeft een indicatie van het aandeel kort-cyclisch koolstof in de totale respiratie uit het veen. Eerdere testseries met veen uit Zegveld lieten zien dat er een tweede stabiel respiratieniveau te optreedt na een incubatie van circa 200 dagen (zie Figuur 2.27).



Figuur 2.27 Gegevens van de pilot serie LTBR bepalingen voor verschillende veenmonsters uit Zegveld.

Opzet anaerobe meetopstelling respirometer.
Volgens planning zouden de 5 meetsites Aldeboarn (Fr), Rouveen (Ov), Assendelft (NH), Zegveld (Ut) en Vlist (ZH) in het meetjaar 2021-2022 jaar opnieuw bemonsterd worden voor additionele anaerobe respiratie metingen. In de afgelopen maanden hebben zijn er verschillende testseries uitgevoerd om anaerobe condities in de gehele keten te garanderen (van monstername tot meting). Nieuwe zuurstof electroden geven echter aan dat er nog steeds een spoor zuurstof aanwezig is in de meetopstelling. Deze zuurstof is mogelijk een verontreiniging in het gebruikte stikstofgas. Vanaf oktober 2021 werken we met een nieuwe anaerobe kast en een gasmengsel met bestaande uit stikstof en een spoor waterstof (4-5%) om alle aanwezige zuurstof weg te vangen. Wanneer deze opstelling werkt kunnen we starten met de serie om de anaerobe afbraakpotentie van monsters vast te stellen (ANAP) met toevoeging van verschillende alternatieve elektronenacceptoren.

Emissiereductie door klei toevoeging aan Veen (klei-in-veen)
In meetjaar 1 en 2 zijn verkennende laboratorium studies uitgevoerd door het Louis Bolk instituut, Biont Research en de Universiteit Utrecht om de maatregel kleitoediening aan veen te onderzoeken. In dit onderzoek zijn 8 kleisoorten getest op hun effect op de veenafbraak met veen uit de bovengrond van Zegveld. Daarnaast is er een experiment uitgevoerd met twee typen klei op drie verschillende veenbodems (afkomstig van Zegveld, Gersloot en Oldelamer). Deze studies maken onderdeel uit van het POP-programma grondslag veen, het programma Klei in veen van de Provincie Friesland en fungeerden als pilotproef voor het NOBV. In de laboratoriumexperimenten uitgevoerd bij de Universiteit Utrecht is onderzoek gedaan naar het effect van klei-inmenging op CO_2-emissie uit veenbodems tijdens lange-termijn incubaties.

Pilot experiment effecten van organische en kunstmest op veenoxidatie snelheid
Effecten van mesttype op de veenoxidatie zijn getest in een pilotexperiment wat is uitgevoerd door studenten. Hierbij is gebruik gemaakt van de MicroRespTM procedure (Campbell, Chapman and Davidson). De opstelling die gebruikt wordt voor de MicroResp-methode bestaat uit een 96 well detectieplaat/microplaat met rode cresol pH indicator gel, 96 well deepwell plaat en een rubberen mat en klem zie Figuur 2.28. De verandering in cresol kleuring is een maat voor de hoeveelheid CO_2 die vrijgekomen is uit de bijbehorende deepwell (Science behind MicroRespTM , z.d.). Deze kleuring wordt gemeten in een tijdserie met een platereader Spectrostar, BMG Labtech, Ortenberg, Germany) bij een golflengte van 570 nm. Bij deze experimenten werd de veenoxidatie gemeten na tevoeging van koeienmestkorrels met een NPK van 2.8-3.3-2.5, kunstmest met een van NKP 12-10-18, Ureum ($(NH_2)_2CO$), Ammoniumnitraat (NH4NO3) en verse koemest. De mesttoevoegingen warden gestandariseerd op stikstofgehalte. De veenmonsters in het experiment waren afkomstig van 4 verschillende locaties: Zegveld, Langeweide, Custwijc en Bunschoten. Daarnaast is er geëxperimenteerd met verschillende stikstof niveaus (0,14, 0,28 en 0,56 mg per gram veen). De resultaten van dit experiment waren zeer variabel en mogelijk niet

betrouwbaar vanwege pH effecten en ontkleuring van de Microresp platen door uitdroging. Deze pilotexperimenten zullen in 2021-2022 worden aangepast in opzet en worden herhaald.

Figuur 2.28 Opstelling van een MicroRespTM 96 deepwells microplaat respiratiesysteem voor snelle screening van substraat gebruik en microbiële activiteit.

Diversiteit van de microbiële gemeenschap

Onderzoek naar voorbehandeling DNA-extractie veenmonsters
Om uit te testen welke voorbehandeling het beste is om DNA te extraheren uit veenmonsters, werden vier samples gebruikt: een gereduceerde en geoxideerde laag van Zegveld (bosveen), en de gereduceerde laag van zowel Rouveen (zeggeveen) als Langeweide (bosveen met spoor zegge). 3 voorbehandelingen werden gebruikt: 1) vriesdrogen, 2) zeven en centrifugeren, en 3) geen voorbehandeling. DNA werd geëxtraheerd met behulp van een MoBio PowerSoil DNA extraction kit (MoBio, Carlsbad, CA). Er kon worden dat voorbehandeling geen effect had op de extractie efficiëntie van genetisch materiaal. De veenmonsters kunnen dus gevriesdroogd worden of in een gewone vriezer worden bewaard alvorens DNA-extractie toe te passen.

Substraatgebruik en functionele diversiteit van de microbiologische gemeenschappen
Om het substraatgebruik en functionele diversiteit van de microbiologische gemeenschappen in de verschillende bodemlagen te bepalen, worden zogenaamde EcoPlates gebruikt van het merk BIOLOG (Biolog, Inc., CA, USA). Dit zijn platen waarin 31 verschillende gemakkelijke koolstofbronnen zijn opgenomen. In elke well is de kleurstof tetrazolium violet toegevoegd die verkleurt bij reductie. Reductie treedt op wanneer de aanwezige koolstofbron door de microbiële gemeenschap kan worden geoxideerd (Garland & Mills,1991). Deze meting werd in 2021 uitgevoerd met alle bodemmonsters van de nieuwe meetlocaties Ankeveen, Hoogwaterboerderij Zegveld, en Langeweide. In 2020 werden de metingen al uitgevoerd op alle bodemmonsters van Aldeboarn, Assendelft, Rouveen, Vlist en Zegveld.

Referentie
Garland J. L. and Mills A. L. (1991) Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbonsource utilization. Applied and Environmental Microbiology 57, 2351-2359.

2.12 Biogeochemische metingen

Auteur: Sarah Faye Harpenslager (Onderzoekscentrum B-WARE)

2.12.1 Bodemchemie

In meetjaar 2 zijn door Onderzoekcentrum B-WARE metingen uitgevoerd aan de bodemchemische samenstelling van de 5 bestaande locaties (Aldeboarn, Assendelft, Vlist, Rouveen, Zegveld) en twee nieuw ingerichte locaties (Zegveld Hoogwater en Langeweide). Van de bestaande locaties waren in meetjaar 1 reeds monsters genomen net buiten de onderzoeksplots. Deze monstername vond plaats tegelijk met de bemonstering van de Universiteit Utrecht, zodat de biochemische analyses gebruikt konden worden voor de respiratiemetingen. Doordat deze bemonstering telkens plaatsvond op het moment van oplevering van de meetlocatie, zijn bodems destijds op verschillende momenten in het jaar bemonsterd (tussen januari en juni 2020). De invloed van monstername in verschillende seizoenen was duidelijk terug te zien in de data, wat het moeilijker maakt om goede vergelijkingen te maken tussen de verschillende locaties. In meetjaar 2 zijn daarom alle bodembemonsteringen van de vijf bestaande sites uitgevoerd tussen 28 juni en 6 juli 2021. Ook zijn deze uitgevoerd binnen de onderzoeksplots, op dezelfde locaties en dieptes waar ook bodemvocht verzameld wordt. Op deze manier kunnen betere vergelijkingen gemaakt worden tussen de verschillende locaties, en kan de samenstelling van het bodemvocht gekoppeld worden aan de bodemchemie. Voor de nieuwe locaties Langeweide en Zegveld Hoogwater zijn de bodembemonsteringen in meetjaar 2 wederom tegelijk met de Universiteit Utrecht uitgevoerd (in maart en april 2021). Dit om de biochemische metingen te kunnen koppelen aan de respiratiemetingen van de aio van de UU.

Aan alle 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 hoeveelheiduitwisselbaar NH4+, NO3-, Al3+ en Ca2+ 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 NaHCO3 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.

2.12.2 Waterkwaliteit en porievocht

Naast bodemchemie, is ook de monitoring van oppervlaktewater, drainbuizen en porievocht in meetjaar 2 doorgezet op de bestaande locaties (Aldeboarn, Assendelft, Vlist, Rouveen en Zegveld). Hierbij is in eerste instantie hetzelfde protocol gevolgd als in meetjaar 1, met 8 meetmomenten in het jaar (6 in het groeiseizoen en 2 in de winter). Porievocht werd verzameld met keramische cups op 3 diepten (45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld), en – op het maatregelperceel – op 3 afstanden tot de drain (dichtbij de drain, op kwart drainafstand en op halve drainafstand). Het oppervlaktewater werd verzameld in de omringende sloten en – bij

drukdrainage – in de pompput. In mei/juni 2021 zijn de nieuwe hoogwater locaties Zegveld Hoogwater en Langeweide ook voorzien van porievochtcups. Bovendien zijn vanaf februari 2021 porievochtcups (op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld) geplaatst in de onbemeste plots binnen de referentiepercelen in Aldeboarn en Rouveen, om hier aan te sluiten bij de broeikasgasemissiemetingen met kamers van de Radboud Universiteit.

Op de verzamelde porievocht-, 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 naar 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).

2.12.3 Aanpassingen meetprotocol (van standaard naar vraag-gestuurde monitoring)

Door vertraging van de inrichting van de nieuwe locaties ontstond een onderbesteding in onze begroting van meetjaar 2. Deze onderbesteding is, in samenspraak met het consortium, ingezet om vraag-gestuurd te meten en zo beter aan te sluiten bij lopende onderzoeken van partners binnen het project. Uit gesprekken met deze partners kwamen 3 duidelijke wensen naar voren: 1) het verhogen van de meetfrequentie (van maandelijks naar eens per 2 weken in Assendelft en Zegveld) voor aansluiting met metingen van de aio van de VU, 2) het uitbreiden van de dieptes van porievochtbemonstering met de actieve wortelzone (20-25 cm onder maaiveld) en de slootbodem voor aansluiting bij het aio-project van de RU, en 3) het uitvoeren van porievochtanalyses (op 20-25 en 45-50 cm diepte) binnen plots waar door de WU metingen van N_2O emissies plaatsvinden. Deze wijzigingen zijn doorgevoerd per april 2021.

2.12.4 Overige aanpassingen t.o.v. meetprotocol

In het groeiseizoen werd duidelijk dat de cups die wij gebruiken voor het verzamelen van porievocht (bestaande uit grijze smalle pvc buizen) niet altijd goed zichtbaar waren voor de veldmedewerkers die de plots maaiden. Zeker de meest ondiepe cups op 45-50 cm kwamen slechts enkele centimeters boven maaiveld uit, waardoor de plastic slangen waarmee monsters verzameld worden moeilijk zichtbaar zijn. Vanaf de start van het groeiseizoen zijn daarom opzetstukjes geplaatst, die de cups verlengen, de slangen beschermen en de monsterlocatie beter zichtbaar maken.

2.13 Bodemonderzoek WEnR

Auteur: Rudi Hessel (WEnR)

Het bodemonderzoek van WEnR richt zich op de volgende aspecten:

- bodemkundige boringen
- BRO analyses
- krimp/zwel analyse
- doorlatendheid
- zakplaatjes en koolstofprofielen
- grote kolommen
- draagkracht metingen

Deze onderwerpen worden hieronder besproken.

Bodemkundige boringen
In jaar 2 heeft WEnR bodemkundige boringen uitgevoerd in de sites Zegveld HW, Lange Weide en Ankeveen.

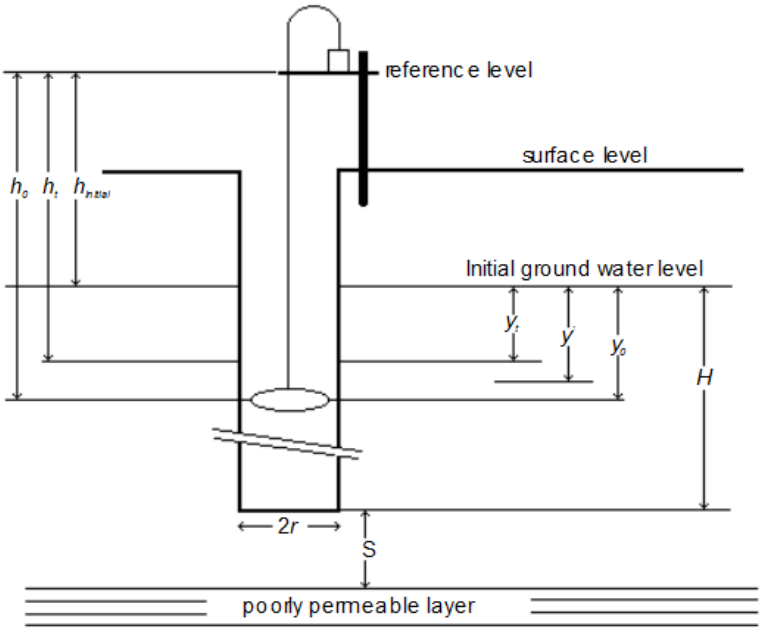
BRO analyses
BRO analyse is gedaan voor de monsters die in jaar 1 gestoken waren in Aldeboarn, Rouveen en Zegveld. BRO monsters zijn in jaar 2 gestoken in Vlist en Assendelft. De analyse van monsters uit Vlist en Assendelft is nog bezig.

Krimp/zwel analyse
Voor deze analyse zijn er vier 100 CC monsters gestoken uit de BRO monsters van Aldeboarn en Zegveld. Dit zal ook gedaan worden voor monsters uit Rouveen, en uit Vlist & Assendelft, wanneer de BRO analyses afgerond zijn.

Voor de analyse van zwel dient een protocol ontworpen te worden. Hierover wordt op het moment van schrijven overlegd met lab-medewerkers.

Doorlatendheid (tekst Harry Massop)
Een belangrijk gegeven voor de bepaling van de drainafstand is de doorlatendheid boven en onder drainniveau. Voor het bepalen van de doorlatendheid kan de boorgatenmethode worden toegepast.

De boorgatenmethode is schematisch weergegeven in Figuur 2.29.



Figuur 2.29. De boorgatmethode.

H = wet length of the borehole (cm)
y' = vertical distance between ground water level and average level between two subsequent measurements (cm)
r = radius of the borehole (cm)
S = distance between the lower end of the borehole and the next (impermeable) soil layer (cm)

Op basis van de metingen is met onderstaande formule de doorlatendheid te berekenen.

$$k = C\frac{\Delta y}{\Delta t}$$

where:
k = hydraulic conductivity (m.d-1)
C = geometry factor (-)
Δy = vertical distance between two subsequent measurements (cm)
t = time (s)

Bij de uitvoering van de boorgatmethode is steeds minimaal één dag voorafgaande aan de metingen op een aantal locaties nabij maar buiten de plot een boorgat gemaakt om de uitgangsgrondwaterstand vast te stellen. Op de dag van de boorgatmetingen wordt nabij deze locaties een nieuw boorgat geboord, in het boorgat wordt een vlotter gehangen (Figuur 2.30).

Figuur 2.30. Meetopstelling ten behoeve van de boorgatmethode.

Vervolgens wordt gedurende enige tijd, afhankelijk van de stijgsnelheid van het grondwater in het boorgat, de stijging van de grondwaterstand en de tijd genoteerd. Met gegevens over diepte en diameter boorgat, uitgangsgrondwaterstand en de metingen van de verandering van de waterspiegel in het boorgat met de tijd is de doorlatendheid te berekenen.

Vos (1975) heeft onderzoek gedaan naar de doorlatendheid van veen, enkele conclusies uit zijn onderzoek zijn:

1. De verzadigde horizontale doorlatendheid van veen wordt beïnvloed door de veensoort. Bos- en broekveen hebben de grootste doorlatendheid, mosveen de geringste. Zegge- en rietveen nemen een tussenpositie in.
2. Houtresten, vooral grove houtresten in het profiel, verhogen de doorlatendheid. In alle onderzochte profielen kan dit duidelijk worden aangetoond.
3. De top van het veenpakket is meestal geoxideerd, verweerd en soms brokkelig en in het algemeen beter doorlatend dan het gereduceerde veen. Bij mosveen is dit niet onderzocht.
4. De pakking van veen heeft grote invloed op de doorlatendheid. Dit is vooral het geval bij veensoorten zonder een duidelijk skelet van houtresten. Het is echter moeilijk de mate waarin het veen "gepakt" is (volumegewicht, poriëngetal) te schatten. Het is noodzakelijk meer onderzoek te verrichten naar de factoren die de pakking van het veen beïnvloeden en naar de invloed op de doorlatendheid.
5. Onder een dik kleidek is de doorlatendheid van het veen meestal geringer dan onder een dun kleidek, bij overigens dezelfde omstandigheden. Bij broek- en bosveen komt dit niet duidelijk naar voren. Bij mosveen is het niet onderzocht.
6. In een aantal gevallen zijn twee of meer lagen van hetzelfde profiel gemeten. Gebleken is dat van de diepere lagen de doorlatendheid zowel groter als kleiner dan die van de bovenste laag kan zijn. De oorzaak moet worden gezocht in verschillen in veensoort.
7. De indruk bestaat dat minerale delen (klei) in het veen een nadelige invloed op de doorlatendheid hebben.
8. Gezien de resultaten van het onderzoek en met kennis van de veensoort, is het mogelijk tijdens het karteren een schatting van de verzadigde horizontale doorlatendheid in drie klassen te geven, namelijk geringe (<0,05 m/etmaal), matig tot grote (0,05 -1,0 m/etmaal) en zeer grote doorlatendheid (>1,0 m/etmaal).

Zakplaatjes en koolstofprofielen
Auteurs: Paul Gerritsen, Harry Massop, Rudi Hessel (WEnR)

De in voorjaar 2020 geïnstalleerde zakplaatjes in percelen 13 t/m 16 van Zegveld (zakplaatjes op ca 40, 80, 120 en 160 cm – maaiveld) zijn bij de hoogtemeting van de dwarsraaien in voorjaar 2021 opgemeten. Op perceel 13 en 16 zijn de zakplaatjes ook opgemeten bij de waterpassingen in augustus en oktober 2020 en in januari en juli 2021.
De status wat betreft Koolstofprofielen is als volgt:

- Perceel 16: Bemonsterd en geanalyseerd
- Perceel 13 noord: Bemonsterd en geanalyseerd
- Perceel 13 zuid: Bemonsterd, analyse in uitvoering
- Perceel 8: Bemonsterd, analyse in uitvoering

De overige 4 plaatsen waar koolstofprofielen gepland zijn voor jaar 2 zullen in het najaar plaatsvinden als de bemonsteringsomstandigheden (hoger vochtgehalte in de bovengrond) gunstiger zijn.

Aanpak
Er wordt in 2021 op acht locaties op verschillende percelen bij de proefboerderij te Zegveld koolstofprofielen gemaakt tot minimaal 1.20m -mv. Voor dit onderzoek zijn speciale bemonsteringsringen (zie Figuur 2.31) gemaakt met een hoogte van 10cm en binnendiameter van 9,76cm.

Figuur 2.31 Bemonsteringsringen.

Om verstoring van de bodem, met het oog op toekomstige bemonsteringen, door het bemonsteren zo veel mogelijk te voorkomen is gezocht naar een methode om de slappe veenbodem zonder teveel graafwerk te hoeven doen te verrichten. De bodem boven de grondwaterspiegel, meestal tot 50cm -mv is daarom bemonsterd door middel van het graven van een profielkuil in combinatie met eerdergenoemde ringen. Onder de grondwaterspiegel, dus van 50cm -mv tot +- 120cm -mv is gekozen voor bemonstering met een guts (zie Figuur 2.32). Deze methode is vooraf getest op nauwkeurigheid t.o.v. ringen. De test heeft plaatsgevonden bij de bemonstering op perceel 16. Hier hebben we tot 1.20m -mv in drievoud zowel ring- als gutsmonsters genomen om te vergelijken.

Naast minder verstoring van de bodem, door het niet te hoeven graven van een diepe brede profielkuil (die op sommige plekken snel volstroomt met grondwater) voor het steken van ringen, heeft de guts als voordeel dat in dezelfde tijd meer monsters verzameld kunnen worden en dat de verwerking op het lab minder bewerkelijk is.

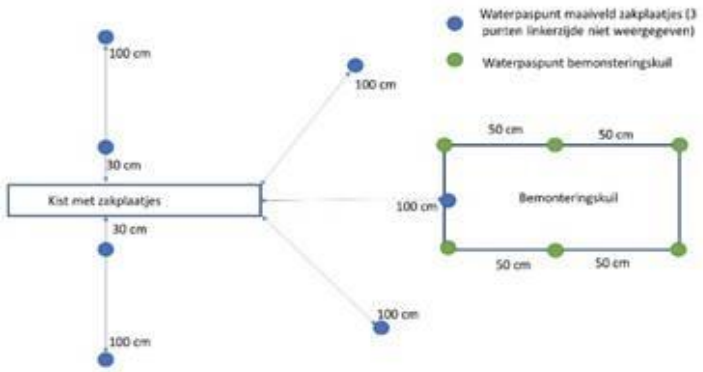
Figuur 2.32. Bemonstering met guts.

Werkwijze

1: Na het bepalen van de bemonsteringslocatie zetten we een bemonsteringsplek uit met piketten op 1m ten noorden van de bak met zakplaatjes. De profielkuil is ongeveer 1 bij 1 meter. In de praktijk is voor de bemonstering minder ruimte nodig, maar het kan nodig zijn als er monsters opnieuw moeten worden gestoken. Bij een toekomstige bemonstering dient deze plek dus vermeden te worden.

2: We maken een deel van de uitgezette plek (de zijde aan de kant van de bak met zakplaatjes) zo goed mogelijk grasvrij door het gras weg te knippen en te snijden. Niet de gehele uitgezette plek hoeft geknipt te worden aangezien de eerste 10cm na de eerste 3 monsters verwijderd wordt. Op de rand van de bemonsteringsplek plaatsen we een houten balkje, verankerd aan de bodem (zie Figuur 2.33) (horizontaal waterpas). Dit balkje gebruiken we om een vaste referentiehoogte voor de bemonstering aan te houden aangezien het maaiveld soms op korte afstand kan variëren en het risico bestaat dat er tijdens het bemonsteren een net iets andere plek ter referentie voor de diepte wordt aangehouden.

Figuur 2.33. Balkje voor referentiehoogte.



Figuur 2.34. Locaties waterpassingen

3: Als de plek waar de eerste drie monsters worden genomen grasvrij is gemaakt en het balkje is geplaatst kan er worden gewaterpast. We waterpassen alle aanwezige zakplaatjes, 10 locaties om de kist met zakplaatjes om het gemiddelde maaiveld te bepalen, 8 locaties rondom de te maken profielkuil voor de gemiddelde maaiveldhoogte (zie Figuur 2.34) en tot slot het balkje die we gebruiken om de monsterdieptes te bepalen.

4: We plaatsen de eerste 3 ringen (voor interval 0-10cm) op het getrimde maaiveld (zie Figuur 2.35) en slaan deze in de grond met een balkje van hout. Om ze compleet de grond in te krijgen gebruiken we een extra ring zonder snijrand. We slaan de ringen op het oog +- 3mm dieper door het maaiveld voor een volledig gevuld monster (zie Figuur 2.35).

Figuur 2.35. Eerste drie ringen voor interval 0 – 10 cm (links) en inslaan van de ringen (rechts).

5: We graven vervolgens de eerste 3 ringen vrij. Zorg hierbij dat er diep genoeg onder de ring wordt gestoken met de spade, dit verkleint het risico op het afbreken van de grond aan de onderkant in de monsterring. Werk de ring vervolgens af door een deel van de zode af te snijden (de extra 3mm) en de onderkant bij te werken. De ring hoeft nog niet perfect afgewerkt te worden, dit kan beter onder lab condities. Een stukje extra grond aan de ring laten zitten zorgt voor een veiliger vervoer i.v.m. afbreken van grond, hiernaast kan er achteraf nog iets aangevuld worden. Pak de monsters in met huishoudfolie en berg indien mogelijk koel en in de schaduw op (Figuur 2.36)

Figuur 2.36. Bewerking van het monster (links) en het inpakken van het monster met folie voor vervoer (rechts).

6: We diepen vervolgens de kuil uit tot +-10cm maaiveld, we houden bij voorkeur 9cm aan en slaan de ringen iets dieper de grond in tot de onderkant van het gewenste interval. Dit kan dus niet direct onder de plek waar de eerste 3 monsters gestoken zijn aangezien de grond daar tot dieper dan 10cm -mv uitgestoken is. Het interval 20-30cm -mv kan eventueel wel weer onder deze plek als de grond nog ongestoord is.

We gebruiken voor de dieptereferentie een latje die we onder het gewaterpaste blokje steken (Figuur 2.37). We steken vervolgens de volgende 3 monsters en herhalen dit tot het laatste interval van 40-50cm -mv. Indien er in het bosveen boomstammen voorkomen of takken die zichtbaar de gehele ring vullen omzeilen we deze. Als er achteraf grote stukken hout in de ring zitten laten we deze zitten. Hout is onderdeel van het veen.

Figuur 2.37. Referentiehoogte bepalen.

Als het diepte-interval tot 50cm -mv bereikt is bergen we alle ringmonsters op en checken we of de administratie in orde is. Vervolgens moet de kuil tot +- 45cm- mv uitgediept worden en worden afgevlakt. Om 5 steken met de guts te doen is ongeveer een vlak van 50x50cm nodig.

7: De guts heeft een lengte van 100cm waarvan 90cm bruikbaar is om mee te bemonsteren. In het begin vanaf de bovenkant zit een kleine verdikking waardoor de inhoud anders is. Dit deel gebruiken we niet bij de bemonstering.

Bemonsteren vanaf 50cm tot 120cm betekend dat er nog 70cm interval bemonsterd moet worden. We gebruiken hiervoor bij voorkeur het interval 10cm – 80cm op de guts. We doen dit zodat de verdikking bovenaan de guts (0-10cm) niet gebruikt hoeft te worden. Het veen heeft aan de onderkant van de guts de grootste kans om af te breken / los te laten waardoor dit deel ook minder geschikt is om mee te bemonsteren.

We duwen de guts de guts vanaf 45-cm -mv tot ongeveer 95cm van de gutslengte het veen in, dus tot ongeveer 140cm diepte -mv. Hierdoor wordt de verdikking in de guts vermeden en kan er een extra 5cm van de bovenkant verwijderd worden (45cm – 50cm interval) die vaak door het draaien met de guts verstoord is geraakt. Ook aan de onderkant blijft er bodemmateriaal in de guts over dat verwijderd kan worden.

We leggen de guts neer op een zeil en meten met een rolmaat het te bemonsteren interval af. We verwijderen de extra centimeters vanaf de bovenkant tot wanneer 50cm begint. Snijdt vervolgens met een ijzerzaagje / mes de guts strak af (zie Figuur 2.38). Als er gaten ontstaan door het afsnijden vul deze dan weer op met het teveel afgesneden bodemmateriaal. Het verticaal inzagen van een 10cm interval gaat het beste met een zeer dun, gekarteld zaagje waarbij eventuele takjes kunnen worden doorgesneden.

Figuur 2.38. Horizontaal afvlakken van de guts.

We meten en snijden vervolgens zeer precies een interval van 10cm af en plaatsen deze in een afsluitbaar genummerd verfblik (zie Figuur 2.39). De resten die achterblijven in de guts plaatsen we met onze vinger in het verfblik. We sluiten vervolgens het verfblik af en werken de administratie bij. In totaal doen we 5 gutssteken (m.u.v. perceel 16) verspreid over de kuil om variatie op korte afstand goed in beeld te kunnen brengen.

Figuur 2.39. Uitsnijden 10 cm interval (links) en monster in verfblik plaatsen (rechts).

Verwerking op het lab:

1: De ringmonsters worden exact afgewerkt en gewogen onder veldvochtige condities.
2: De ringmonsters (genomen boven de grondwaterspiegel) worden volledig verzadigd met water (de gutsmonsters zijn onder de grondwaterspiegel gestoken en daarom al volledig verzadigd)
3: De ring- en gutsmonsters worden gewogen bij 100% verzadiging.
4: De gezwollen, verzadigde ringmonsters worden opnieuw afgewerkt en opnieuw gewogen.
5: De gutsmonsters gaan minimaal 24 uur in de droogstoof op 105 graden, de ringmonsters gaan 4 werkdagen in de droogstoof op 105 graden.
6: Na het droogstoven worden alle monsters opnieuw gewogen
7: Van elk monster wordt een deel van het gehele interval gebruikt om te malen. Bij het uiteenvallen van het monster komen er mogelijk opvallendheden zoals puin tevoorschijn. We noteren en wegen dit indien mogelijk.
We maken alle ringen en blikken vervolgens schoon en wegen deze allemaal afzonderlijk.
8: Het gemalen monster wordt in een kroesje geplaatst en gewogen. Vervolgens wordt het monster gegloeid op 550 graden voor 8 uur en opnieuw gewogen. Ook alle afzonderlijke kroesjes worden gewogen.

Grote kolommen

Auteurs: Erne Blondeau, Rob Hendriks, Jan van den Akker, Jan Willem van Groenigen, Gerard Velthof

Locaties

Drie NOBV onderzoekslocaties:

- Zegveld
  - Veenlaag tot ongeveer 6 meter diep
  - Kleiige moerige eerdlaag op verweerd veen op broekveen op bosveen
  - Toemaakdek op sommige plekken
- Vlist
  - Kleilaag + veenlaag tot enkele meters diep (afgewisseld met kleilaagjes)
  - Kleilaag op verweerd kleiig veen op broekveen op bosveen
- Aldeboarn
  - Klei + veen tot ongeveer 2 meter diep
  - Dikke kleilaag op veraard veen op veenmosveen

Opzet

Er zijn op drie locaties, Zegveld, Vlist en Aldeboarn in totaal 6 kolommen per lokatie gestoken met acrylaatbuizen met een binnendiameter van 24 cm:

- 4 replica ‘s met verwijderde graszode waarvan een reservebuis; 5-120 cm beneden maaiveld (buislengte 120 cm)
- 1 buis met graszode: diepte 0-120 cm beneden maaiveld (buislengte 120 cm)
- 1 buis met gereduceerd niet ontwaterd veen: diepte 90-130 cm beneden maaiveld (buislengte 50 cm).

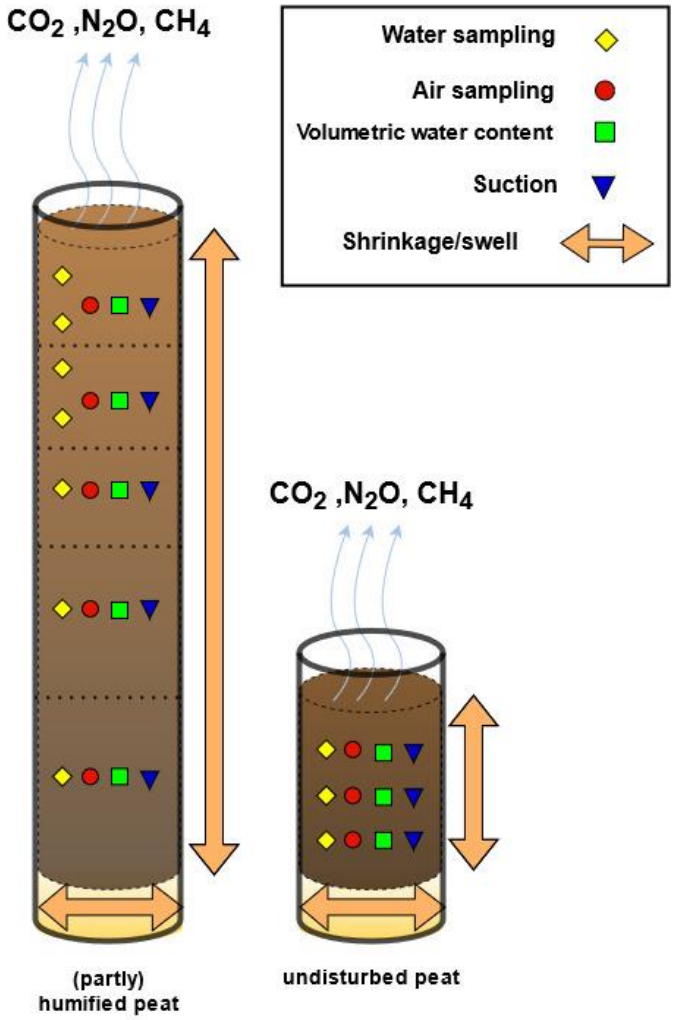
De laatste kortere kolom is gestoken om experimenten te doen aan nooit (lang) ontwaterd veen voor fysische rijping en permanente krimp en zakking, en ook reversibele krimp die omkeerbaar is in de vorm van zwel. Het gaat er om die twee vormen van krimp te onderscheiden en hierbij ook te kijken naar hysterese. Deze kolommen zijn ook voor de GHG-emissie interessant dus die gaan we ook volgen.

Op elke locatie zijn de kolommen gestoken nabij de plot op het maatregelenperceel. De bodemkolommen reiken op alle locaties tot in het gereduceerde veen.

De kolommen worden in een klimaatkamer op de campus in Wageningen onderzocht. We zijn geïnteresseerd in de invloed van het waterpeil op broeikasgasemissies (CO_2, N_2O en CH_4) en verbanden met andere condities in de bodem:

- Vochtgehalte (TDR probe)
- Zuigpanning (tensiometer)
- O_2 in porielucht (luchtonttrekking)
- DOC, ionen, pH, etc. in porievocht (vochtonttrekking met rhizons)

Deze metingen of monsteronttrekkingen worden op verschillende dieptes in de kolom gedaan (Figuur 2.40).

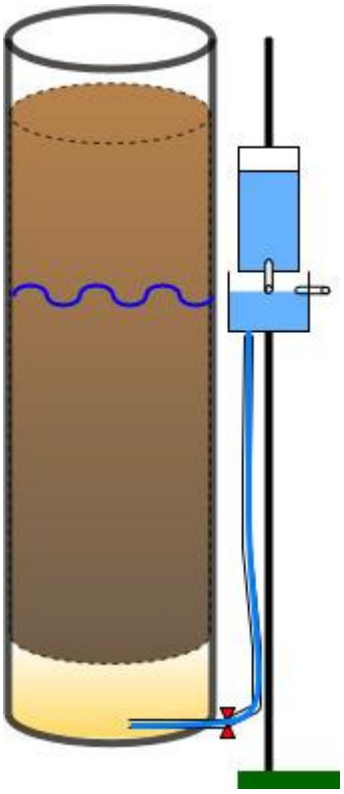


Figuur 2.40. Indicatie van indeling metingen in een bodemkolom.

De fluxmetingen aan de bovenkant worden gedaan met de *closed chamber* methode en gas analyse door een gas monitor.
Daarnaast gaan we de krimp en zwel monitoren in de kolommen, als gevolg van die verschillende waterniveaus. Vandaar ook dat de kolommen in doorzichtige buizen (acrylaat) gestoken zijn.

Dit wordt onderzocht zowel langs het verdrogingstraject als het vernattingstraject, door de kolom eerst vanuit verzadiging stapsgewijs te verdrogen en later weer stapsgewijs terug te vernatten (Figuur 2.41). Bij elke stap worden (meerdere) metingen verricht van alle bovengenoemde parameters.

Het doel is om deze metingen in veel bodemlagen te monitoren om vervolgens het model SWAP-ANIMO te verbeteren. Met dit model willen we grondwaterstandscenario's koppelen aan broeikasgasemissies en bodemdaling.



Figuur 2.41. Reguleren van het waterpeil in de kolom, door middel van een hanging water column.

Steken van de kolommen
Bovenop de buis ging een op maat gemaakte kap/deksel van pvc, met daarin een ventiel wat op een pomp aangesloten kon worden. De arm van een voorlader duwde de buis naar beneden, terwijl met een pomp via het ventiel een onderdruk in de buis werd aangehouden variërend tussen 0.2 en 0.5 bar. Oorspronkelijk was het plan om steeds te pompen tot een onderdruk van 0,6 bar en dan de buis in te duwen tot de onderdruk tot 0,3 was gezakt, en dan weer de onderdruk naar 0,6 brengen etc. Maar in de praktijk werd er gewoon hard gepompt en goed het bodemoppervlak in de buis in de gaten gehouden en regelmatig gestopt met duwen. Zo ging het ook goed. Ook zorgden we dat de binnenkant en buitenkant van de buis nat waren (met slootwater) om wrijving tussen buis en bodem te verminderen.

Voor de kolommen zonder zode werd de buis naar beneden geduwd tot nog ~7 cm boven het maaiveld uitstak. Bij de kolom met zode stak nog ~2 cm boven het maaiveld uit. Het idee hiervan is dat ze allemaal tot even diep gingen (~118 cm onder maaiveld), aangezien de verwijderde zodelaag ongeveer 5 cm was.

De buizen werden uitgegraven en in emmers gezet en naar Wageningen vervoerd. In onze klimaatkamer op de campus werd onderin 10 cm van het veen uitgegraven en vervangen door Blokzijlzand. Vervolgens werd een pvc kap onderop gelijmd.

Status
Kolommen zijn inmiddels gestoken in Zegveld, Aldeboarn en Vlist en worden op dit moment in de klimaatkamer gemonitord. Figuur 2.42 geeft impressies van monstername.

Buis wordt in Aldeboarn de grond in geduwd. De buis is aan de bovenkant afgesloten met een kap met ventiel, dat aangesloten is op de rode pomp op de foto. Met deze pomp werd tijdens het induwen van de buis in de bodem continu een onderdruk in de buis aangehouden. Foto: Gosse van Bemmel	Een bijna uitgegraven kolom in Aldeboarn. De kleilaag reikt tot ongeveer 30-35 cm diep en gaat dan over in relatief kleirijk verweerd veen en daaronder gereduceerd veenmosveen. Foto: Erne Blondeau
Uitgegraven kolom in Vlist. Met de kraan is hij uit het gat getild, waarna hij naar de bus is getild. Foto: Paul Gerritsen	Het uitgraven van de kolommen in Aldeboarn met op de achtergrond het meetplot. Op deze locatie zijn de vijf kolommen in een rij gestoken, omdat dat de voorkeur van de boer had. In Zegveld en Vlist zijn ze meer in een rechthoek gestoken. Foto: Paul Gerritsen

Figuur 2.42. Impressie van monsternamen.

In de klimaatkamer is een opstelling gemaakt waarop de 15 buizen staan. Deze voldoet aan de volgende gestelde eisen:

- Robuust en stabiel om het max gewicht van 80 kg zware en 120 cm hoge bodemkolommen te kunnen dragen
- Op een hoogte van 55 cm boven de vloer om 50 cm onderdruk met hulp van de zwaartekracht te kunnen aanbrengen
- Mogelijkheid voor stabiel wegen van de kolommen voor goed volgen van de waterbalans.

Draagkracht metingen

De draagkracht wordt alleen in Zegveld gemeten. Zowel in voorjaar, zomer als najaar wordt op 3 opeenvolgende dagen per vak (4 percelen x 3 behandelingen) de draagkracht op 10 posities gemeten. De meting wordt uitgevoerd met een penetrologger, waarbij tot een diepte van 50 cm de weerstand van de bodem wordt gemeten. Het KTC voert deze meting uit en verwerkt deze tot een aantal eenvoudige grafieken.

Literatuur

Vos, G.A. 1975. De verzadigde horizontale doorlatendheid van veen. Rapport 120, Stichting voor bodemkartering, Wageningen.

2.14 Bodemonderzoek Deltares

Auteur: Harry van Essen (Deltares)

Met het grote DLDS (Deltares Large Diameter Sampler) steekapparaat zijn in meetjaar 2 bemonsteringen uitgevoerd op: (Zegveld in jaar 1), Assendelft, Vlist en Rouveen (Aldeboarn in de planning voor oktober 2021).

Het DLDS steekapparaat is een in samenwerking met Wiertsema & Partners door Deltares ontwikkeld steekapparaat dat speciaal bedoeld is voor het nemen van grote, zo onverstoord mogelijke veen- en slappe kleimonsters. De steekbussen hebben een diameter van 40 cm en een hoogte van 50 cm of 100 cm. In dit geval zijn steekbussen met een hoogte van 50 cm gestoken, de bussen met een hoogte van 100 cm zijn speciaal bedoeld voor proeven in het grote triaxiaalapparaat van Deltares, waarin proefstukken met een hoogte van 80 cm worden getest. De beslissing om dergelijke grote monsters te steken is genomen om enerzijds de meest kwalitatief hoogstaande monsters te verkrijgen en anderzijds de mogelijkheid tot het testen van grote proefstukken. Veen raakt makkelijk verstoort bij het steken en deze verstoring beïnvloed de parameters waarmee de maaiveldzakking ten gevolge van geotechnische processen als consolidatie en kruip kan worden doorgerekend.

Deze parameters worden bepaald met zogenaamde samendrukkings- of oedometerproeven. Hierbij wordt een klein proefstuk onder verschillende belastingen getest. Op basis van de mate waarin het proefstuk vervormt onder die belasting en de snelheid waarmee dat gebeurd worden de parameters afgeleid.

Door de heterogeniteit van veen zijn er echter al langere tijd twijfels over de representativiteit van de afgeleide parameters. Omdat er relatief grote steekmonsters worden genomen, bestaat de mogelijkheid samendrukkingsproeven op grotere monsters uit te voeren. In het kader van het NOBV project is door Deltares een groot samendrukkingsapparaat ontwikkeld waarin in de maand september 2021 de eerste proeven gaan lopen. Het proefstuk heeft een diameter van 28 cm en een hoogte van 12 cm. Hoewel dit mogelijk nog niet echt groot lijkt, moet bedacht worden dat consolidatieprocessen globaal kwadratisch met de afstroomlengte van het poriewater toeneemt. Door de resultaten van beide proeven (klein en groot proefstukken) te vergelijken kan de representativiteit van de kleine proefstukken bepaald worden.

In Tabel 2.7 staat aangegeven op welke locatie op welke dieptes DLDS steekmonsters zijn genomen.

Tabel 2.7 Dieptes van de DLDS steekmonsters per locatie

bus-nummer	Diepte DLDS bussen [m-MV]							
	Zegveld		Assendelft		Vlist		Rouveen	
	van	tot	van	tot	van	tot	van	tot
bus 1	0.3	0.8	0.2	0.7	0.35	0.85	0.3	0.8
bus 2	0.8	1.3	0.7	1.5	1.5	2.0	0.8	1.3
bus 3	1.3	1.8	1.2	1.7	2.5	3.0	1.3	1.8
bus 4	1.8	2.3	1.7	2.2	4.15	4.65	1.8	2.3
bus 5	5	5.5	2.2	2.6	5.15	5.65	2.3	2.8
bus 6	-	-	-	-	-	-	2.8	3.3

De samendrukkingsproeven zijn op dit moment in uitvoering, de uitvoering hiervan heeft vertraging opgelopen door storingen en onderhoud aan de klimaatregeling van de beproevingsruimte. De beproevingsruimte wordt op een constante temperatuur van 9 graden Celsius gehouden om microbiële activiteit zoveel te beperken.

Voor de modelberekening van de maaiveldzakking ten gevolge van geotechnische processen is het, naast de beschikking te hebben over representatieve zettings- of vervormingsparameters, van belang inzicht te hebben in de fluctuaties van de poriewaterspanning. De geotechnische processen worden grotendeels bepaald door de verschillen in korrelspanning (de spanning tussen de vaste delen in grond) en fluctuaties in de poriewaterspanning beïnvloed de korrelspanning. Om deze reden is besloten op elke meetlocatie nabij de extensometer enkele poriewaterspanningsmeters te plaatsen. Een probleem bij het meten van poriewaterspanningen in veen is de ontwikkeling van gas in de meetkamers van de sensoren als gevolg waarvan de meting verstoord raakt. Recent is door Deltares een methodiek ontwikkeld die de microbiële gasvorming remt. Deze methodiek behelst pillen die geleidelijk microbiële activiteit remmende stoffen afstoot. Deze methodiek is echter alleen in het laboratorium getest, niet onder veldsituaties. Het plan is een aantal poriewaterspanningsmeters zonder de pillen en de meeste met uit te rusten om zodoende de eerste praktijktest uit te gaan voeren. De poriewaterspanningsmeters worden in de komende maanden geplaatst.

2.15 Meteo

Auteur: Bart Kruijt (WU)

Bestaande stations (geïnstalleerd 2019-2020)

Op alle locaties (Aldeboarn, Rouveen, Assendelft, Zegveld en Vlist) is ondertussen een standaard meteostation geïmplementeerd. Deze stations meten de volgende variabelen: Luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, luchtdruk, windsnelheid en -richting, inkomende en teruggekaatste lang- en kortgolvige straling, inkomend en teruggekaatst zichtbaar en nabij-infrarood licht, neerslag en bodemwarmteflux.

De systemen hebben vanaf installatie zeer goed tot goed gefunctioneerd. Slechts in enkele gevallen is er uitval geweest, bijvoorbeeld enige weken in Aldeboarn na een stroomstoring, en in Zegveld waarbij er een probleem is opgetreden met de langgolvige stralingsmeters.

Een aandachtspunt is de bevestiging van de stralingsmeters, die te gemakkelijk kantelen en daardoor geen goede meetwaarden geven. een oplossing wordt geïmplementeerd samen met de installatie van de nieuwe meteo-stations in de nieuwe locaties.

De data worden real-time op de database geupload, en zichtbaar gemaakt via de Grafana interface. Dit maakt het mogelijk storingen snel op te sporen.

In de praktijk moet de routine van het controleren van de data en verhelpen van stroringen nog beter vorm gegeven worden, door een beperkt aantal mensen verantwoordelijk te maken. Tot nu toe gaat dit nog iets te veel ad-hoc.

Een conceptuele beperking, waarvan wij ons nu bewust worden, is dat de geflecteerde stralingsmetingen slechts representatief zijn voor de meetplots waar ze zijn opgesteld. Die verschilt vaak in oppervlakte-eigenschappen van het perceel eromheen, en van eventuele gepaarde maatregelpercelen. Om dit te ondervangen zouden enkele neerwaarts ‘ kijkende’ sensoren moeten worden opgesteld boven deze andere oppervlakten.

Nieuwe stations (2020-2021)

Op de nieuwe locaties (Lange Weide, Ankeveen, Ilperveld) zullen identieke meteostations worden geïnstalleerd in de laatste maanden van 2021. Alle apparatuur is aangeschaft en klaar voor installatie.

Als speciaal meteo station zal er op Lange Weide een tweede hoog-kwalitatief station komen, ingericht volgens ICOS-standaarden (https://www.icos-cp.eu/). Dit houdt in dat de stralingsmeter, de temperatuur, vocht en druksensor en vooral ook de regenmeter voldoen aan WMO standaarden. Dit ‘ICOS’ weerstation is gekoppeld aan het ‘ICOS’ eddycovariantie station dat ook op lange Weide gebouwd zal worden. De regenmeter is verwarmd, en meet daardoor ook tijdens vorst en sneeuw. Daarmee kunnen op termijn de data naadloos in internationale databases worden opgenomen. Alle benodigde apparatuur is geselecteerd en aangeschaft. De installatie in het veld zal eind 2021 plaatsvinden.

2.16 Onderhoudsactiviteiten

Auteur: Sanneke van Asselen (Deltares), Ralf Aben (RU), Roy Belderok (RU), Daniël van de Craats (WEnR), Corine van Huissteden (VU)

In Tabel 2.8 is op basis van input van de veldmedewerkers een overzicht gegeven van afwijkingen van het meetprotocol, aanpassingen aan sensoren en ervaringen m.b.t. onderhoudsactiviteiten.

Tabel 2.8 Afwijkingen meetprotocol, aanpassingen aan sensoren en ervaringen van veldmedewerkers m.b.t. onderhoudsactiviteiten.

Locatie	**Afwijkingen meetprotocol***	**Aanpassingen sensoren**				**Ervaringen****
		Sensor	***Reden***	***Datum***	***Door wie***	
Aldeboarn		Liddetectie	Beter overzicht functioneren kamers	9-jul-21	R. Lootens & R. Belderok	Kabels van liddetectie op verzoek Roy in dezelfde mantelbuis als die van de kamers geplaatst. Dit is bij Rouveen niet gebeurd (wel eigen mantelbuis) en de 'kabel soep' oogt slordig en is onpraktisch voor maaiwerkzaamheden. Gelieve in de toekomst wanneer meer sensoren worden geplaatst zoveel mogelijk in één mantelbuis plaatsen, of in ieder geval rekening te houden met maai- en verplaatswerkzaamheden.
Rouveen		Liddetectie	beter overzicht functioneren kamers	?	R. Lootens	Zie bovenstaande, houd bij sensoren plaatsen ook rekening met kabel management.
Aldeboarn	Bemesten (zie ervaring)			13-jul-21	R. Belderok & M. Dykstra	Bemesten in Aldeboarn is deze zomer gebeurd met mest uit de gierput en deze is vervolgens verdund. Na contact met de boer is gebleken dat de betreffende mest in de gierput al verdund is. Zodoende is deze zomer aanzienlijk minder bemest dan voornemens, met uitzondering van de meest recente bemesting (13 juli 2021). Mestmonsters zijn bij iedere bemesting verzameld en zodoende is terug te rekenen hoeveel nutriënten over de plots zijn verdeeld.
Aldeboarn & Rouveen		Peilbuizen die met maaiveld mee bewegen	Bepalen in welke mate peilbuizen meebewegen; voor juiste correctie meting t.o.v maaiveld	22-jul-21	C. Boonman & R. Belderok	Peilbuizen zijn naderhand uitgerust met een 'rok' constructie om overvloed van regen af te weren. Door de constructie is inval van regen mogelijk. De tijdelijke oplossing dient vervangen te worden omdat het onderhevig is aan slijtage.
ROV & ALD	Maaien (zie ervaring)			29-jul-21	R. Belderok & S. Weideveld	Beide locaties zijn op één dag bezocht (als test om te zien of dit haalbaar is en om locaties met elkaar te vergelijken en om budgettaire redenen) en alleen de frames waar de kamers op staan zijn gemaaid volgens protocol. De gras opbrengst plots zijn ditmaal overgeslagen

Locatie	Afwijkingen meetprotocol*	Aanpassingen sensoren				Ervaringen**
Rouveen		frames met een diepte van ~15 cm vervangen door frames met een diepte van ~5 cm	Testen of kortere frames verticaal vochttransport bevorderen en scheur-vorming verminderen.	8-6-2021	R. Belderok	Gebiedseigen grond van voornamelijk molshopen is gebruikt om de randen rond de frames op te vullen.
Vlist		Tensiometer TEROS-32	Eerst niet beoogd, later toch gewenst	3/4 mei 2021	WENR	
Assendelft		Tensiometer TEROS-32	Eerst niet beoogd, later toch gewenst	5/6 mei 2021	WENR	
Zegveld		Tensiometer RF4 verwijderd (niet vervangen)	Niet goed functioneren, terug naar fabrikant	22-dec-20	WENR	Enkele andere tensiometers zijn ook uitgevallen gedurende het meetjaar, maar deze zijn niet vervangen.
Zegveld		Onderdelen van Eosense kamersystemen	Zie ervaring	Gedurende hele jaar	WENR	Gedurende het meetjaar enkele malen (delen van) kamersysteem vervangen, bijvoorbeeld slecht functionerende aansturingsmechanismen of 'actuators'. Hierdoor is data ook slechts ten dele beschikbaar.

*voor wat betreft onderhoud kamers, maaien plots, bemesten, grasopbrengst

**algemene ervaringen om te delen

sensor bijgeplaatst | sensor vervangen

In aanvulling op Tabel 2.8 kan specifiek voor onderhoudsactiviteiten van RU op Aldeboarn en Rouveen nog worden gemeld:

Schade tijdens onderhoud

In het seizoen vanaf maart 2021 is relatief weinig schade opgelopen tijdens maai of onderhoudswerkzaamheden. De meest voorkomende vorm was maaischade aan PVC. De meest gebruikte oplossing voor maaischade aan PVC was het gebruik van een groter stuk PVC of teflon mantelkabel met duct-tape te monteren. Dit is voldoende gebleken om muizen buiten te houden. In het begin van het seizoen is een enkele slang van een lysiemeter geraakt tijdens maaiwerkzaamheden. De rubberen uiteinde van deze slangen zijn vervolgens gebruikt om de twee slangdelen weer aan elkaar te koppelen. De plek van deze slangen die tijdens het maaien zijn geraakt, zijn later voorzien van een PVC bescherming ten minste 10 cm boven de grond. Sinds deze bescherming zijn hier geen problemen meer mee ondervonden. Ook zijn sensoren in het veld aangegeven met grasstokken van circa 60 cm hoog. Door duidelijk aan te geven waar de sensoren staan en bedrading te beschermen met PVC of teflon mantelbuizen is het risico op maaischade sterk afgenomen. Een extra maatregel om maaischade te verminderen is het gebruik van een elektrische bosmaaier. De gebruikte elektrische bosmaaier beschikt over de mogelijkheid om op verschillende standen te functioneren. Door met een lagere snelheid en derhalve kracht te maaien is de kans op het breken van beschermende middelen afgenomen. De bovenstaande middelen en maatregelen hebben ertoe geleid dat er dit jaar in Aldeboarn en Rouveen geen uitval van sensoren heeft plaatsgevonden als gevolg van schade tijdens onderhoud.

Frequentie van verplaatsen meetkamers
We zijn erachter gekomen dat in koude, natte periodes de graszode eenvoudig kapot gelopen wordt. Tijdens koude periodes is er minder noodzaak de kamers regelmatig te verplaatsen, omdat opwarming door het broeikaseffect van een (gesloten) kamer verwaarloosbaar is t.o.v. de zomerperiode. Om schade aan de meetplot zoveel mogelijk te beperken, stellen we voor om de kamers tijdens koude, natte periodes minder vaak te verplaatsen, bijvoorbeeld eens in de 4 tot 6 weken i.p.v. elke 2 weken. Daarnaast zullen in deze periodes loopplanken gebruikt worden op momenten dat de plot toch betreden moet worden buiten de looppaden.

Maaien en bemesting
Vanaf maart tot en met juli 2021 is de grasopbrengst van de kamerframes meestal gemeten tegelijkertijd met de maaiwerkzaamheden van het plot. Eind juli is de grasopbrengst van alleen de kamerframes gemeten op zowel Aldeboarn als Rouveen binnen dezelfde dag. Dit zou het mogelijk kunnen maken om groei tussen deze locaties te vergelijken.

In Aldeboarn worden de meetplots met koeienmest i.p.v. kunstmest bemest, omdat het hier om een bedrijf van een biologische boer gaat. Het was voor Radboud Universiteit (RU) in meetjaar 1 logistiek niet mogelijk om het gehele plot met drijfmest te bemesten, vandaar dat alleen de frames van de meetkamers en de vierkante meter rondom de belangrijkste sensoren met drijfmest zijn bemest, terwijl de rest van het plot met droge koemestkorrels werd bemest (zie ook: NOBV jaarrapportage 2019-2020). Tijdens meetjaar 2 zijn we hiermee doorgegaan, terwijl er gezocht werd naar een oplossing om alles met drijfmest te bemesten. Aan het eind van het seizoen is besloten de bemesting in Aldeboarn uit te besteden aan de boer, om zo de druk van veldwerkzaamheden te verminderen en de bemesting in de toekomst uniformer met die van de boer te hebben. De ontwikkeling van een mechanisme dat de mest vanuit de giertank accuraat en secuur kan verdelen over de plots is nog in ontwikkeling. Tijdens een instructiemoment met de boer werd duidelijk dat de mest die in de gierput zit door de boer niet nogmaals verdund wordt en al als verdund wordt beschouwd. Zodoende is gedurende de lente van 2021 te weinig mest gebruikt binnen de plots in Aldeboarn. Met de bemestingsgegevens van de RU (inclusief samenstelling van mestmonsters) en die van de boer, zal worden gekeken wat voor verschil er zit tussen de mestgift binnen en buiten de meetplot en tussen de bemesting van dit en vorig meetjaar.

Hydrologisch onderhoud
In Zegveld worden de data van de dompelpompendoor Dynalynx verzameld en vastgelegd. Deze pompen worden gebruikt om de druk in de drukdrains te regelen en zijn voorzien van een doorstroommeter. De data van de Dynalynx geeft informatie over de afvoer en aanvoer van water naar percelen 13-16, en daarmee over het watergebruik. Dit gebeurt echter niet op perceelsniveau, omdat er 1 pompput is voor percelen 15 en 16 en een voor percelen 13 en 14. Ook het waterpeil in de pompput wordt geregistreerd door Dynalynx.

Specifiek voor werkzaamheden op *Assendelft en Vlist* kan worden vermeld (auteur: Corine van Huissteden):

De meetplots in Assendelft en Vlist zijn beide in 2020 5 keer gemaaid. In 2021 lijkt het uit te lopen op beide 6 keer maaien. De ervaring met het maaien heeft ons geleerd dat er voor de eerste 3 snedes niet meer dan 4 weken tussen moeten zitten, en het dan eigenlijk vaak al te lang is. Zeker in de lente is om de 3 weken maaien eigenlijk beter. Zo vanaf eind augustus begint de groei af te nemen, en kan er eventueel een weekje meer tussen zitten, hoewel dat per veld en weersomstandigheden kan verschillen. In 2020 was de zomer zo droog dat de groei er in augustus al behoorlijk uit was, terwijl het nattere 2021 een veel langer aanhoudende groei lijkt te hebben. De droogte in 2020 leverde ook diepe scheuren in de bodem en kale plekken op, die dit

jaar tot nog toe niet aanwezig zijn. Het is dus altijd goed om flexibel te zijn in hoe vaak en wanneer je maait, en zo veel mogelijk de boer om advies te vragen en die te volgen.

Het maaien van de velden is veel werk. Er moeten samples genomen worden, metingen gedaan worden, en het maaien met de bosmaaier heeft een hoog risico op schade aan de instrumenten en de bekabeling, en ook op de (door verwering broos geworden) pvc-buizen die de kabels zouden moeten beschermen. Daarom moet er altijd voor er met de bosmaaier aan de slag gegaan wordt, uitgebreid met de hand geknipt worden rondom de apparatuur en sensoren. Om dat vrijknippen goed te kunnen doen moeten alle sensoren en apparatuur altijd meteen bij het plaatsen goed gemarkeerd worden. Bamboe stokken vergaan te snel en zijn dus niet geschikt voor markering. Apparatuur in het veld zou altijd goed moet worden gemarkeerd met stevige kunststof paaltjes. Bekabeling dient zo veel mogelijk boven het gras te lopen en goed gemarkeerd en beschermd te worden. Het is goed om oplossingen in samenspraak met veldmanagers en maaiers te bedenken. De laagste (meest ondiepe) lysimeters moesten, ondanks uitgebreide markering, het zelfs bij het hand-knippen af en toe ontgelden en zijn nu beschermd met een extra verlengstuk erop, wat een groot (positief) verschil maakt in de werkbaarheid.

Vanwege de grote hoeveelheid fysiek werk op de maaidagen hebben wij sinds 2021 het bedrijf Unifarm ingehuurd. Zij zijn zeer ervaren, vakkundig en snel met het knippen, maaien, bemesten en bemonsteren van het gras. Waar het in 2020 nog 2 of soms 3 dagen kostte om 1 locatie te maaien, is dat nu goed binnen 1 dag te doen, met 2 maaiers van Unifarm, en Corine. Corine voert tijdens het maaien de volgende activiteiten uit: de flux-kamers van de VU verplaatsen, sample-locaties aangeven, grashoogtes meten, en peilbuizen peilen. Ook moet veel lichtgevoelig materiaal schoongemaakt worden na zo’n maaidag.

In de herfst en winter is de bodem redelijk gesatureerd met water. Toen er nieuwe meetinstrumenten geïnstalleerd, onderhouden of vervangen moesten worden, was er sterke moddervorming buiten het pad, met schade aan de grasmat tot gevolg. In de herfst en winter moet iedereen daarom zo veel mogelijk op het pad blijven, en eventueel losse rooster of loopplanken neerleggen als er veel buiten het pad heen en weer gelopen moet worden.

In de lente was de grasmat weer goed hersteld, en zat de groei er al snel in. Er wordt overwogen om in de lente van 2022 al in april of begin mei de eerste snede te halen.

2.17 Technisch werk

Auteur: Ron Lootens (VU)

Door standaardisatie van meetapparatuur worden automatische metingen op alle locaties zo veel mogelijk identiek uitgevoerd. Hierdoor is een netwerk ontstaan van meer dan 50 dataloggers die metingen met telemetrie verzenden naar een centrale database. Nieuwe locaties zonder netspanning krijgen hun energie van zon- en wind power met een batterij bank als buffer. Alle Eddy Covariance meet stations versturen hun data naar een SFTP server. Alle data wordt meervoudig bewaard. Kamermeetsystemen (VU & Eosense modellen) hebben geregeld onderhoud nodig. Hiervoor moet nog een meerjarenplan voor worden uitgewerkt.

2.18 Koolstofprofielen

Auteur: Sanneke van Asselen (Deltares)

In de zomer van 2021 is door Deltares en UU een start gemaakt (met budget uit meetjaar 2) met het koolstofprofielenplan (onderdeel offertes Deltares en UU, i.s.m. B-Ware meetjaar 3; daarin worden de achterliggende gedachten en methoden toegelicht). Hiervoor zijn kernen gestoken op Vlist (referentie- en maatregelenperceel), Ankeveen, en Zegveld (maatregelenperceel). De kernen worden gestoken met een 6cm guts en zijn maximaal 200 cm lang (vanaf maaiveld gestoken), ondieper indien de zandondergrond ondieper begint, zoals in Ankeveen. De kernen zijn bemonsterd over de hele lengte met een 1 x 1 x 5 cm steekapparaat. Voor elk diepte-interval is het vochtgehalte, bulkdichtheid en organisch stofgehalte bepaald door middel van gloeiverlies.

2.19 Modelinstrumentarium

Auteurs: Henk Kooi (Deltares), Roel Melman (Deltares)

In meetjaar 2 is gestart met de ontwikkeling van SOMERS (Subsurface Organic Matter Emission Registration System), een systematiek waarmee de landelijke CO_2-uitstoot uit het veenweidegebied en het effect van CO_2-reducerende maatregelen kan worden berekend. SOMERS omvat meerdere procesmodellen met een verschillende complexiteit en toepassingsschaal. Voor berekeningen op landelijke schaal zijn in meetjaar 2 Parcel2D en AAP-module ontwikkeld.

Naast de directe toepassing van deze modules binnen SOMERS, is er in meetjaar 2 ook verkend hoe deze modelconcepten kunnen worden ingezet landsdekkende berekeningen van bodemdaling of het freatische niveau. Daarnaast is er ook onderzocht hoe concepten binnen deze modules kunnen worden verbeterd. De activiteiten die in dit kader zijn uitgevoerd worden hieronder toegelicht.

Bodemdaling
De kennis die wordt ontwikkeld over afbraak van organisch materiaal wordt in de NOBV primair ingezet voor modellering van broeikasgasemissie. Daarnaast is er de ambitie om deze kennis toepasbaar te maken voor bodemdalingsmodellering, zowel voor de specifieke onderzoekssites als voor het gehele veenweidegebied. De basis voor die modellering is de aerobe afbraakpotentie (AAP). Nadat duidelijk was dat bodemtemperatuur en bodemvocht fundamentele fysische grootheden zijn die de AAP bepalen zijn in meetjaar 2 de volgende stappen gezet.

Bodemtemperatuur
Met multi-physics software (FlexPDE) is onderzocht of een 1-dimensionaal diffusiemodel voor warmtetransport dat wordt gedreven door KNMI-tijdreeksen voor luchttemperatuur een goede basis is om de bodemtemperatuur als functie van de diepte en op dagbasis te voorspellen. Dit is onderzocht voor vier KNMI-stations waar bodemtemperatuurdata beschikbaar is (Wilhelminadorp, De Bilt, Marknesse, Nieuw Beertha). Zoals verwacht is de luchttemperatuur in het warme seizoen enkele graden lager dan de maaiveldtemperatuur (stralings- en verdampingsinvloeden). Daardoor wordt de bodemtemperatuur in het warme seizoen ook enkele graden onderschat. Een eenvoudige sinusoïdale correctie op de luchttemperatuur is voldoende om tot goede voorspellingen te komen.

De berekeningen met FlexPDE zijn rekenintensief en niet inzetbaar voor gebiedsdekkende modellering. Daarom is gezocht naar een snelle methode om met KNMI-data en dit modelconcept direct tijdreeksen van bodemtemperatuur te genereren. Dit blijkt goed te kunnen door berekeningen te doen in het spectraaldomein (Fast Fourier Transform). Deze kunnen efficiënt worden gedaan met Python code. De eerste resultaten zijn zeer positief.

Bodemvocht en freatisch niveau
Nauwkeurige, hoge resolutie voorspelling van bodemvocht voor het veenweidegebied is notoir lastig en wellicht niet mogelijk. In SOMERS wordt daarom gebruik gemaakt van het freatisch niveau, dat beter voorspelbaar is, en een relatie tussen freatisch niveau en bodemvocht. Omdat *fore- en hindcasting* van het tijdgedrag van het freatisch niveau in het veenweidegebied niet alleen belangrijk is voor oxidatie van organisch materiaal (broeikasgasemissie én bodemdaling), maar ook voor maaivelddynamiek, wordt gekeken of er naast de methodiek die gebruikt wordt in SOMERS ook andere methoden bestaan om het tijdsgedrag van het freatisch niveau in het veenweidegebied efficiënter of beter te schatten.

2.20 Monitoring

Auteurs: Laura Nougues (Deltares), Roel Melman (Deltares)

Aangezien er in meetjaar 2 budget vrij is gemaakt voor de ontwikkeling van het registratiesysteem om de broeikasgassen uit het veenweidegebied te kunnen volgen (SOMERS), zijn er weinig onderzoeksactiviteiten uitgevoerd in het kader van het ontwikkelen van een landsdekkend meetsysteem met lichte meetsites. Wel heeft Laura Nougues voor haar afstudeeronderzoek bij Deltares een groot aantal lichte metingen naar bodemdaling en CO_2-uitstoot uitgevoerd bij de Zwanburgerpolder in Warmond. Hieronder wordt het onderzoek en de meetmethode verder toegelicht, waarbij ook de voor- en nadelen van de verschillende meetmethode besproken. Op het moment van schrijven zijn er echter nog geen definitieve resultaten beschikbaar.

Studiegebied en onderzoek
De Zwanburgerpolder is opgebouwd uit een veenlaag ingeklemd tussen twee kleilagen; een bovenste dunne kleilaag en een diepe dikke kleilaag tot ongeveer vijf meter onder maaiveld. Daaronder bevindt zich de eerste watervoerende wadzand laag. Wanneer de grondwaterstand tot in de veenlaag valt, oxideert het nieuw blootgelegd veen. Dit resulteert in bodemdaling, de uitstoot van CO_2 en CH_4, het stimuleren van eutrofiëring en de uitdroging van de bovenste kleilaag wat schadelijk is voor de biodiversiteit. Met vijftig grazende koeien en 40 hectare aan land, wordt meer dan 60% van de CO_2-equivalente uitstoot veroorzaakt door veen oxidatie (FAO 2019 en Kwakernaak et al 2010).

Het doel van deze studie is om te 1) met lichte metingen en reeds beschikbare informatie het lokale grondwatersysteem in kaart te brengen, 2) te onderzoeken wat de relatie is tussen het grondwatersysteem, de (grond)waterkwaliteit, bodemdaling, broeikasgasuitstoot en biodiversiteit en 3) in kaart te brengen hoe de huidige situatie verbeterd kan worden.

Meetmethoden
Voor dit onderzoek zijn een groot aantal veldgegevens verzameld om de interacties en relaties tussen grondwaterniveau, maaiveldniveau, uitstoot van broeikasgassen en waterkwaliteit te begrijpen. De opzet van de veldexperimenten kan beschreven worden als een kleinschalig NOBV waarbij gebruik wordt gemaakt van lichte en goedkope meetinstrumenten. Voor elk van de vier onderzoekscategorieën werden verschillende instrumenten geïnstalleerd en experimenten gedaan. Hieronder worden de verschillende meetmethoden en de voor- en nadelen verder toegelicht.

Broeikasgasmetingen
Om een idee te krijgen van de uitstoot van verschillende locaties en dieptes, zijn meerdere fluxkamers geplaatst in de polder: 2x ondiepe fluxkamers (tonnen), 1x korte fluxkamer in de bovenste kleilaag, 1x fluxkamer op de overgang van klei naar veen, 1x diepe fluxkamer in de veenlaag en 1 drijvende fluxkamer in een van de sloten (Figuur 2.43. Van links naar rechts: ondiepe ton fluxkamer, de drie diepere gelegen fluxkamers, drijvende fluxkamer.).

Tijdens bepaalde periodes werden gasmonsters verzameld uit de fluxkamers en naar het laboratorium gestuurd voor CO_2- en CH_4-analyse.

Figuur 2.43. Van links naar rechts: ondiepe ton fluxkamer, de drie diepere gelegen fluxkamers, drijvende fluxkamer.

In april zijn de eerste resultaten van de twee ondiepe fluxkamers (de tonnen) en de drijvende fluxkamer verzameld. Voor de twee tonnen was te zien dat de emissies veel fluctueerde over de tijd, wat mogelijk verklaard kan worden door een gebrek aan luchtdichtheid. Tot op heden zijn er nog geen gasmonsters genomen uit de diepere fluxkamers. Er is gekozen om pas monsters te nemen zodra het grondwater onder de kleilaag is gezakt om de uitstoot van veen oxidatie te kunnen meten.

Bodemdaling
Om de maaiveld bewegingen te meten zijn er drie GNSS-stations gebouwd en in de polder geïnstalleerd. Deze meetstations bestaan uit een GNSS-ontvanger, een datalogger die elke dertig seconden gegevens opslaat (X-, Y- en Z-coördinaat) en acht batterijen die door een zonnepaneel worden opgeladen (Figuur 2.44). Een van de stations is aan een vast referentiepunt bevestigd om als referentieniveau te dienen voor de andere twee stations, die beide in een eigen perceel staan.

Figuur 2.44. GNSS-stations om maaiveld bewegingen te meten.

Grondwaterstanden
Er zijn er twaalf peilbuizen geïnstalleerd om uurlijkse grondwaterstanden te meten. Acht van de twaalf buizen zijn op 2m diepte geïnstalleerd (in de veenlaag), twee op 7m diepte (in de wadzandlaag) en twee op 15m diepte (in de Pleistoscene zandlaag).

Waterkwaliteit
De waterkwaliteit in kaart gebracht door te kijken naar zowel ruimtelijke variaties als temporele variaties. Om de ruimtelijke variaties van de sloten te meten is een zogenaamde drone boot gebruikt: een op afstand bestuurbare boot waar vijf sensoren aan hangen. Voor de temporele variaties is er gekeken naar historische gegevens en zijn er gedurende de zomerperiode grondwatermonsters uit de 12 peilbuizen genomen almede een aantal oppervlaktewatermonsters.

Evaluatie meetmethoden
Bij het evalueren van de kwaliteit van de resultaten moeten een aantal zaken in gedachten worden gehouden. Bij de fluxkamers is één van de problemen de tijdsperiode waarin de gasmonsters worden genomen. In deze studie worden de gasmonsters verzameld binnen een periode van een dag. Het gevonden resultaat zegt dus niets over de totale seizoens- of jaarlijkse CO_2-uitstoot, aangezien het geen continue meting is. Daarnaast, zijn de gasmonsters niet alleen beïnvloed door uitstoot van de geoxideerde veenlaag maar ook door vegetatie processen zoals fotosynthese en bodemrespiratie. Wat de fluxkamer methode wel goed in kaart brengt is het verschil in hoeveelheid uitstoot tijdens droge periodes ten opzichte van natte periodes en het verschil in hoeveelheid uitstoot afkomstig van de verschillende grondlagen.

Bij de eerste GNSS-station resultaten is er een standaardafwijking van 1 a 2cm tussen alle gemeten maaiveld verplaatsingen, wat een nauwkeurig beeld geeft van de verplaatsingen. Er zijn echter een aantal uitschieters die invloed hebben op de nauwkeurigheid van de waardes en dus op de kwaliteit van de resultaten. Deze kunnen zijn veroorzaakt door interferentie van een voorbijrijdende tractor of door andere externe invloeden zoals een vogel die op de sensor zit, of een koe die ertegenaan botst. Dit moet allemaal mee worden genomen in het analyseren van de resultaten.

Ondanks de hierboven genoemde beperkingen bieden deze kleinschaliger experimenten hun eigen voordelen, namelijk hun financiële en operationele toegankelijkheid. Met uitzondering van de diepe boorgaten waren alle meetinstrumenten binnen een paar dagen eenvoudig te installeren. Het verzamelen van de data is ook met deze instrumenten niet ingewikkeld en kan individueel worden gedaan. De hoge toegankelijkheid van een “mini NOBV” geeft landeigenaren de mogelijkheid om hun land beter te begrijpen en beter te gebruiken.

Literatuur
Food and Agriculture Organization of the United Nations. Climate change and the global dairy cattle sector. 2019
C. Kwakernaak, J.J.H. van den Akker, E.M. Veenendaal, J. van Huissteden, and P. Kroon. Mogelijkheden voormitigatie en adaptatie veenweiden en klimaat. Bodem, 2010.

3 Opzet nieuwe meetlocaties

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de inrichtingsstatus beschreven van de nieuwe NOBV meetlocaties Zegveld Hoogwater, Lange Weide, Ankeveen, Weerribben, Vegelinsoord, en mobiele meetlocaties in Friesland; de inrichting van deze locaties is reeds van start gegaan. De locaties van de overige nieuwe meetlocaties zijn nog niet definitief en worden hier daarom verder niet toegelicht. Zie Tabel 3.1 voor het complete overzicht van de nieuwe meetlocaties.

Tabel 3.1. Overzicht van NOBV-sites meetjaar 2/3.

Site	Maatregel/type locatie	Geplande oplevering
Weerribben	natuur (ribben-kraggen landschap)	31 december 2021
Natuursite 2	natuur	indien locatie voor 1 oktober 2021 bekend, oplevering 1 juli 2022
Ankeveen	natte teelt / paludicultuur	31 december 2021
Ilperveld	natte teelt / paludicultuur	31 mei 2022
Zegeveld / Krimpenerwaard	ongeregeld hoog - alternatieve teelten	indien locatie voor 1 oktober 2021 beschikbaar , oplevering 1 juli 2022
Lange Weide	geregeld hoge grondwaterstand	1 november 2021
Zegveld Hoogwater	geregeld hoge grondwaterstand	1 november 2021
Demmerik	ongeregeld hoge grondwaterstand - extensief	indien locatie geschikt wordt bevonden (begin juli 2021), oplevering 1 april 2021
Ongeregeld hoog 2	ongeregeld hoge grondwaterstand - intensief	indien locatie voor 1 oktober 2021 bekend, oplevering 1 juli 2022
Vegelinsoord	moerige grond	indien locatie geschikt wordt bevonden (begin juli 2021), oplevering 1 april 2022
Mobiele meetlocaties	minerale controles, greppel infiltratie, diepe ontwatering, onder-waterdrainage, HAKLAM, greppelinfiltratie	oplevering 1 september 2022

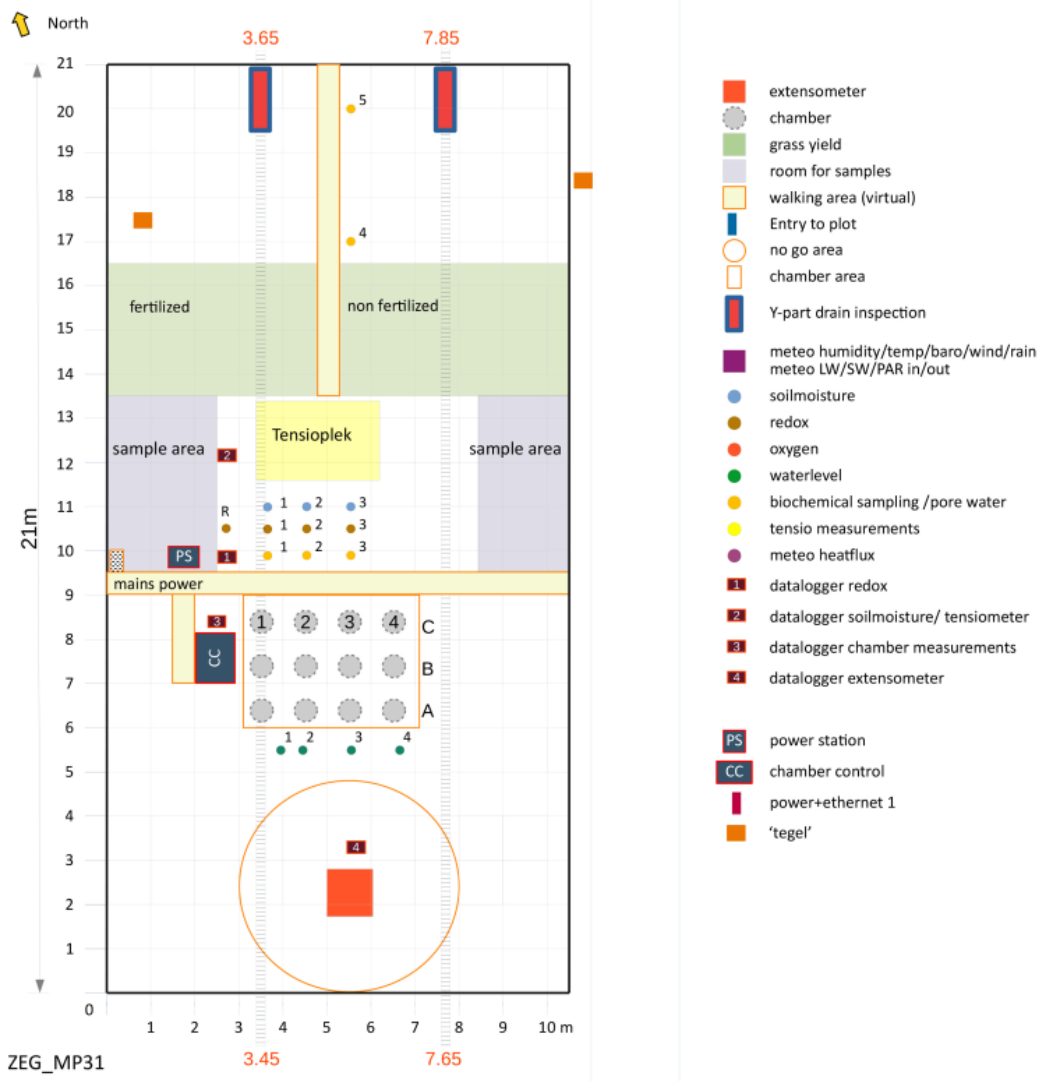
3.2 Zegveld Hoogwater

Auteur: Rudi Hessel (WEnR)

3.2.1 Opzet meetlocatie

In Zegveld Hoogwater wordt er gekeken naar het effect van hoge grondwaterstand. Door middel van drukdrains (afstand 4 m) wordt het grondwaterpeil zo goed mogelijk op -20 cm gehandhaafd. De plot bevind zich op de Hoogwaterboerderij, in perceel 31. De opzet van de plot is vergelijkbaar met die van de andere NOBV plots (zie Figuur 3.1), met enkele verschillen:

- Er is geen meteomast gepland omdat voor de meteo de gegevens gebruikt kunnen worden die verzameld worden op perceel 16.
- In de kamers wordt behalve CO_2 ook CH_4 gemeten. Mogelijk zal in de toekomst ook N_2O worden gemeten.
- Er is alleen een maatregelplot in perceel 31. De referentieplot van perceel 16 wordt ook als referentie gebruikt voor de plot op perceel 31.



Figuur 3.1 plotopzet Zegveld HW

Bodemkundig bestaat het gehele perceel 31 uit veengronden. Alle profielen rond deze meetplot hebben een kleiige moerige (venige) eerdlaag. Plaatselijk kunnen we spreken van een min of meer duidelijk toemaakdekje (zie data-analyse rapportage meetjaar 2).

3.2.2 Status

Hek, stroom en paden zijn aangelegd. Een deel van de geplande apparatuur is inmiddels geplaatst, bv lysimenters, grondwaterstandsbuizen, extensometer. Een eerste bemonstering met de lysimeters is gedaan. Regulier onderhoud is ook gestart.

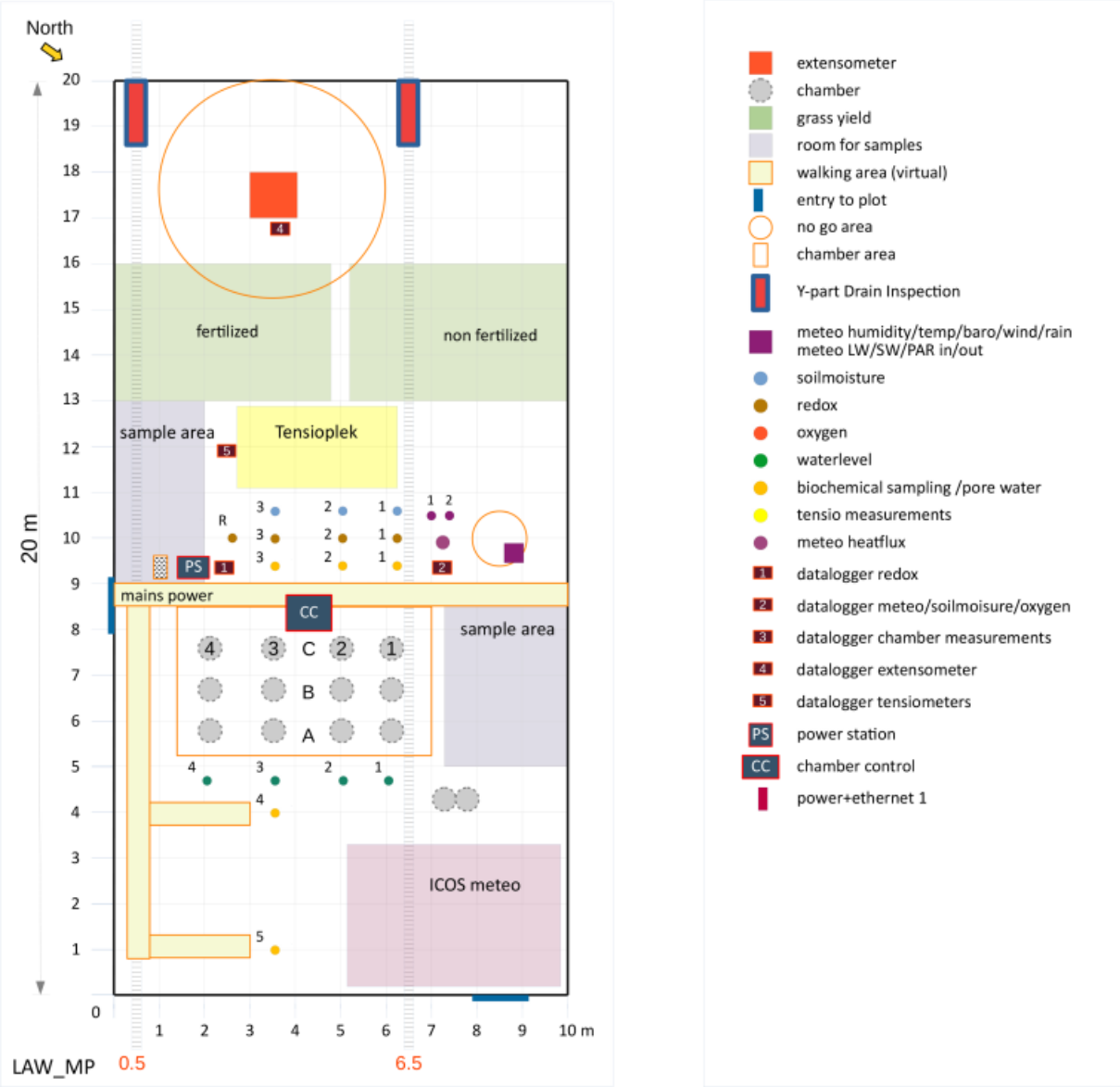
3.3 Lange Weide

Auteur: Rudi Hessel (WEnR)

3.3.1 Opzet meetlocatie

Polder Lange Weide (bij Driebruggen) wordt gekenmerkt door een grootschalige toepassing van onderwaterdrainage, waarbij middels beheer van slootpeil gestreefd wordt naar een grondwaterstand van -40 cm. Vanwege deze grootschalige toepassing is EC hier een goede methode om uitstoot te meten voor onderwaterdrainage. Op deze locatie is dan ook behalve een NOBV plot ook een EC toren geplaatst. Vanwege de grootschalige toepassing van de maatregel is er is op deze locatie geen referentieplot mogelijk. Onderstaande kaartjes (Figuur 3.2 en Figuur 3.3) laten de locatie van plot en EC toren, en de opzet van de plot zien.

Figuur 3.2. Locatie van de NOBV plot (rechthoek) en EC toren (kruisje) in Lange Weide.



Figuur 3.3. Plotopzet in Lange Weide.

De plotopzet volgt de opzet die ook in andere NOBV sites wordt gebruikt, met een toevoeging van een ICOS meteo site. Die site bevindt zich in de noordoosthoek van de plot om de invloed van de west van de plot gelegen dijk te minimaliseren (i.v.m. gebruik slangen voor drijfmest was het niet mogelijk de plot verder van de dijk te lokaliseren).

Bodemkundig bestaat de gehele onderzoekslocatie uit veengronden. Ongeveer een derde van de profielen hebben een kleiige moerige (venige) eerdlaag. In de bodemclassificatie spreken we dan van koopveengronden (stpc_sub=1d). Naast koopveengronden bestaat ongeveer twee derde van de profielen uit weideveengronden (stpc_sub=1r), zie data-analyse rapportage.

3.3.2 Status

Hek, stroom en paden zijn aangelegd. Een deel van de geplande apparatuur is inmiddels geplaatst, bv lysimenters, extensometer. Regulier onderhoud is ook gestart. Maaien, bemesten, gras oogsten en grasmonsters wegen, drogen en malen wordt gedaan door Unifarm.

3.4 Natuur meetlocaties

Auteur: Ype van der Velde (VU)

3.4.1 Opzet meetlocaties Weerribben en Wieden

Half augustus 2021 is de Eddy Covariance toren in de weerribben geplaats. Deze locatie is uitgekozen vanwege de grote eenvormige footprint: dominant veenmos-rietland in alle richtingen voor 800m (Figuur 3.4b). We hebben eerst een kleine toren geplaatst van 2 meter hoog, maar we willen op termijn naar een hogere toren zodat de resultaten minder afhankelijk zijn van lokale heterogeniteiten in het veenpakket. Voor de Weerribben meetlocatie staan de eerste resultaten in Figuur 3.4a.

Figuur 3.4. a) eerste grove metingen van de Weerribben site, b) locatie van de meetsite.

De gekozen openwatersite in de Wieden is het Duiniger meer (Figuur 3.5) geworden. We hebben hiervoor een verkennend- en startoverleg met Natuurmonumenten gehad. Dit meer kent weinig bezoekers en is een veenmeer dat in openverbinding staat met de boezem in Giethoornse meer. Het meer is tussen de 1.5 en 2 meter diep met op de meeste plekken een slib laag van 30-60cm. Ook hier hebben we een mooie footprint naar het zuidwesten in de lengte richting van het meer. We willen hier bepalen hoe de CO_2 en methaan uitstoot en opname van het grote oppervlakte water zich verhoudt tot de agrarische- en natuurgebieden. De Eddy Covariance toren staat er nog niet maar ons doel is deze toren voor het volgende groeiseizoen te hebben staan.

Figuur 3.5. De beoogde locatie voor broeigasgas fluxmetingen van groter oppervlaktewater

3.4.2 Status

De Weerribben en Wieden meetlocaties worden komende tijd verder ingericht. Voor de natuurtransitie meetlocatie is nog geen geschikte locatie bepaald. Dit zal in de herfst van 2021 weer worden opgepakt.

3.5 Ankeveen

Auteur: Christian Fritz (RU)

3.5.1 Opzet meetlocatie

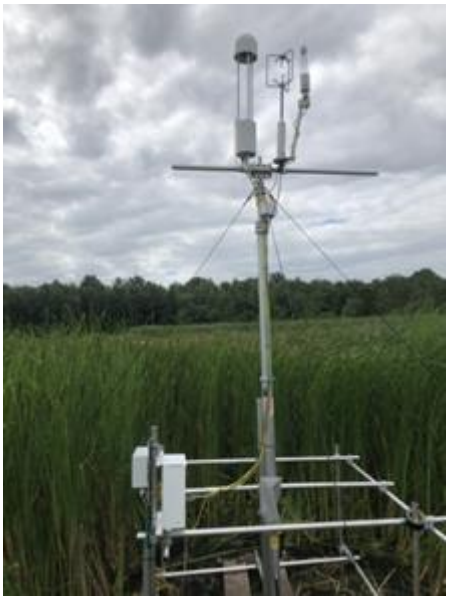
In Ankeveen wordt lisdodde en andere potentieel CO_2 vastleggende gewassen geteeld. De bodem is rijk aan organisch materiaal met wisselende verhouding van venige, moerige en meer minerale gronden. De samenstelling van de bodem wijkt af van andere veenweidegebieden in het NOBV-programma, maar kan als paludicultuurlocatie bijdragen aan het begrip over deze teelt. Deze locaties dient hoofdzakelijk het mechanistisch begrip, net als andere continue intensief bemeten locaties.

Waterpeilen zijn bij de lisdodde teelt aan of boven maaiveld afhankelijk welke landbouwkundige maatregelen in het verloop van de gewas cyclus. CO_2 vastlegging kan op Ankeveen bereikt worden door koolstof binding in het geoogste materiaal (e.g. lisdoddevezel) en door afzetting van veenlagen onder anaerobe omstandigheden. De omgeving van de teelten Ankeveen wordt bepaald door veenweide grasproductie en opengelaten veenweide met bebossing en minder drainage.

Figuur 3.6 Plattegrond footprint van eddy co-variance in Ankeveen. Veld 1, 3 en 7 worden gebruikt voor lisdoddeteelt, veld 2 en 4 zijn braakliggende terreinen, gedomineerd door pitrus (veld 2) en zegge-rietgras (veld 4).

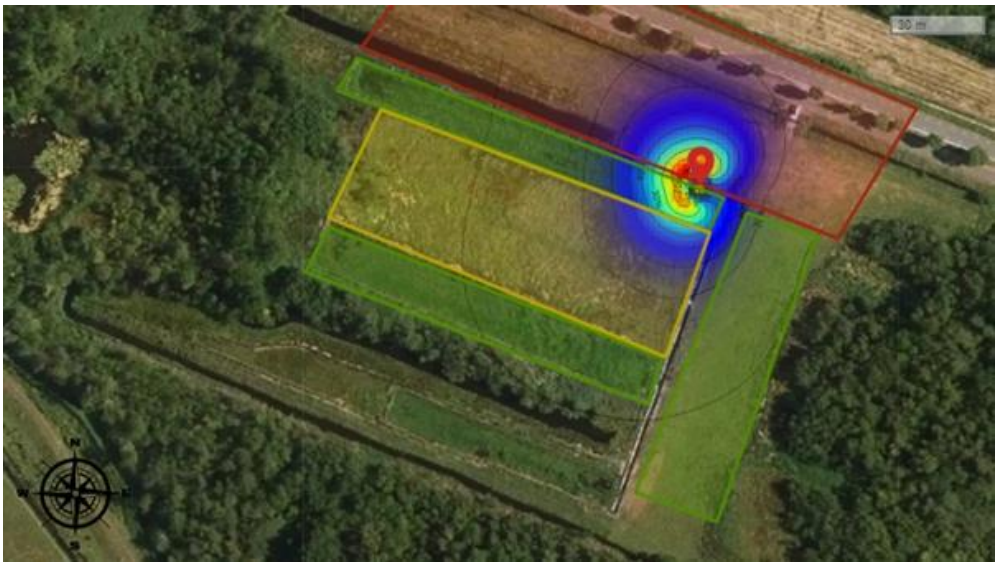
3.5.2 Status

Op 2 juli 2021 is in Ankeveen een Eddy Covariance (EC) toren geïnstalleerd. Met de apparatuur wordt CH_4 (1), windstromen (2) en CO_2/H_2O (3) gemeten (9 ppp). De installatie van de EC-metingen staat in het noordoosten van veld 1 gepositioneerd (Figuur 3.8), voor optimale metingen bij de overheersende windrichting vanuit het zuiden. De hoogte van de mast is wordt aangepast op de hoogte van de vegetatie. De meetapparatuur, bovenaan de mast, wordt op minimaal 1.5 m boven de vegetatie gesteld. Bij de site in Ankeveen wordt lisdodde gebruikt als maatstaf voor vegetatiehoogte. Op 26 juli 2021 is de gemiddelde hoogte vastgesteld op 3 m, met een maximale hoogte van 3.5 m. Daarom is de masthoogte vastgesteld op 5 m.



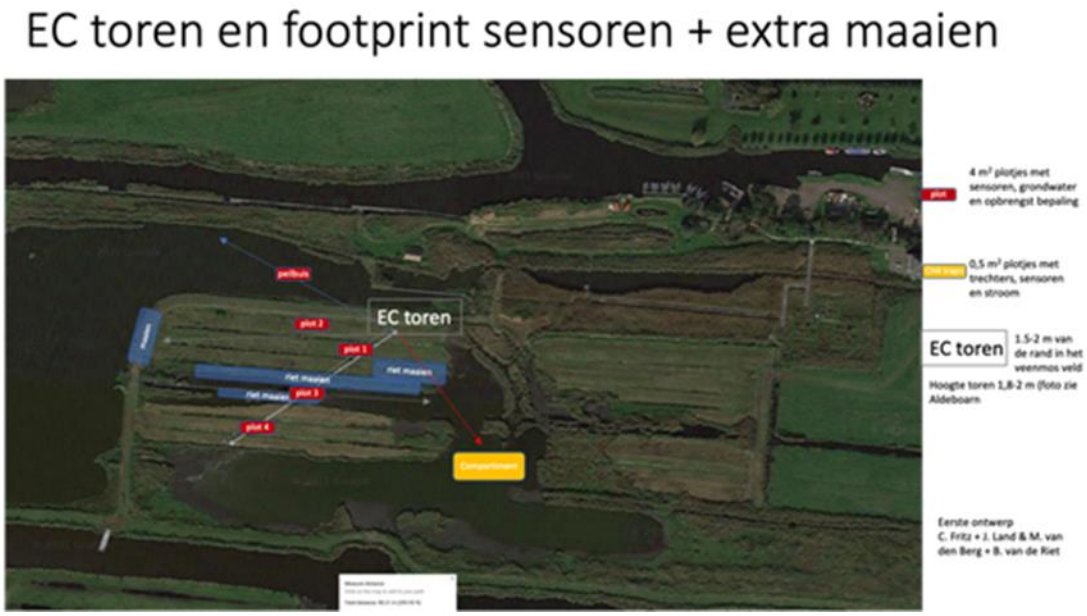
Figuur 3.7 Foto van de Eddy Covariance installatie in Ankeveen.Sensoren van links naar rechts: LI-7700 CH4 meter, Gill windmaster, LI-7500 CO_2/H_2O meter.

In Ankeveen blijkt de aanleg van netstroom erg tijdrovend, terwijl zonnepanelen als stroomvoorziening ook nog onbetrouwbaar blijkt. Omvormers van zonne-energie naar 220V werken veelal op netstroom, en zijn niet geschikt om geheel off-grid te werken. Op locaties waar geen netstroom aanwezig is, lijkt de simpelste en uiteindelijk goedkoopste oplossing een kant en klare set van panelen, accu's en inverter laten installeren door een erkend bedrijf.
De problematiek rondom de stroomvoorziening heeft ook tot dataverlies geleid. Voor de Eddy Covariance installatie is een betrouwbare stroomvoorziening van belang, voor de kwaliteit van de data. Door ongunstige of ontbrekende wind is dataverlies in zekere mate onvermijdelijk. Deze gaten in de dataset kunnen opgevuld worden op basis van regressies met meteorologische data, de precisie hiervan is afhankelijk van hoe compleet de gemeten dataset is. In het komende jaar kunnen grote stappen worden gemaakt met de Eddy Covariance metingen in Ankeveen. Op het gebied van dataverzameling zal toegewerkt worden naar een stabiele datastroom over een langere tijdsperiode. Met de programma's EddyPro en Tovi zullen deze verwerkt worden, waarna verdere data-analyses kunnen worden opgezet.



Figuur 3.8. Plattegrond footprint van eddy co-variance in Ankeveen. Groene vakken met hoge dichtheid/productiviteit lisdodde en geel vak met lage dichtheid lisdodde.

Afronding installaties: In plot 1-4 worden naar verwachting in november Sentek sensoren geplaatst. Zuurstof sensoren worden uiteindelijk niet geplaatst om kosten te besparen. Apparatuur voor lichte hoogtemetingen zal in het voorjaar 2022 geïnstalleerd worden. Voor januari 2022 staat de volgende oogst van het gewas gepland. In periode van oogst zullen extra maatregelen genomen om de metingen met eddy covariance en stroomvoorzieningen te waarborgen.



Figuur 3.9 Opzet meetlocatie Ilperveld

3.6 Paludicultuur en alternatieve teelten locaties

Auteur: Christian Fritz (RU), Gilles Erkens (Deltares/UU), Merit van den Berg (VU)

3.6.1 Voorstel opzet meetlocatie Ilperveld

Het perceel in het Ilperveld is een 8 ha pilotsite op (voormalige) landbouwgrond ten noorden van Amsterdam. Het hele Ilperveld areaal landbouw, voormalige landbouw en natuur is zo'n 1000 ha groot. Het perceel is sinds 2013 onderdeel van het project 'Omhoog met het veen'. Bij het project lag de focus op: (1) het stoppen van bodemdaling en het stimuleren van veengroei door een veenvormend pakket met methoden uit Sphagnum farming; (2) het herstellen van ecosysteemfuncties van de veenbodem; en (3) het herstellen van karakteristieke laagveennatuur.

De opnieuw ingerichte polder van 8 ha ligt 30 cm lager dan het boezempeil en werd tot 2013 gebruikt als veenweide met een onderbemaling. Voor de inrichting is de graszode afgeplagd (10 cm), het waterpeil is tot onder het maaiveld gebracht en veenmos is uitgestrooid. Het aanplanten was succesvol verlopen, de veenmosbedekking was rond de 90% na twee jaar en na 3,5 jaar tijd heeft er zich een veenmoslaag van 8-12 cm dik ontwikkeld. De veendikte is grotendeels dieper dan 3 m, en bestaat ui veenmosveen op rietveen en broekbosveen. De veendikte kan oplopen tot 4 m. De onderlaag wordt gevormd door zand/silt afzetting en klei. De top 80 cm veen zijn gekenmerkt door klei afzetting. Veen en wateren in Ilperveld areaal zijn zwavelrijk. Het openwater gedeelte ('compartiment') ligt lager dan de boezem en laat hoge tot zeer hoge alkaliniteit (>2,5 meq) zien. Hoge alkaliniteit belemmert veenmosgroei en daarmee het potentieel voor koolstofvastlegging en substraat productie. In 2018 is er onvoldoende water aangevoerd om de extreme droogte te bestrijden uit angst voor schade aan het veenmosgewas door hoge alkaliniteit. Het veenmos is door de droogte toen grotendeels afgestorven. De groei van het veenmos is weer opgang gebracht in enkele afgebakende kleine gebieden. Vanaf 2022 zijn middelen aangevraagd

voor maatregelen die waterkwaliteit actief zullen verbeteren door een pH verlaging van het water. Door de natte zomer 2021 herstelt het veenmos voorspoedig met dekkingen plaatselijk tot 35%. Gezien het belang van veen(mos)groei voor het netto opnemen van broeikasgassen is ervoor gekozen om binnen het NOBV te onderzoeken wat in het Ilperveld (deels experimenteel) gemeten kan worden.

Daarom is er een eddy co-variance installatie is geplaatst (als test) zodat verschillende stadia van veenmosgroei in de footprint terug gemeten kunnen worden (zuidwesten en westen). In de footprint zijn 4 meetplots aangelegd om variatie in grondwaterstanden, bodemtemperatuur, aandeel open water en veenmosgroei te kwantificeren.

Status Ilperveld
In Ilperveld is op 18-8-2021 de EC toren met CO_2/CH_4 ter behoeven van test van de installatie geplaatst. Voorlopige peilbuizen zijn geplaatst met personeel en middelen uit het carbon connects project. In oktober /november zal er mogelijk nog een (tijdelijke) meteostation geplaatst worden. Binnenkort wordt besloten of dit een volwaardige NOBV meetlocatie wordt, de EC-mast is vooruitlopend daarop geplaatst.

3.6.2 Voorstel opzet meetlocatie Zegveld (Olifantengras)

Op het perceel met Olifantengras (ook bekend als *Miscanthusx gigantheus)* is sprake van reguliere drainage. De afgelopen ~10 jaar is deze teelt met succes uitgevoerd op het KTC Zegveld, waarbij zeven jaar geleden een deel van het oorspronkelijke veld weer is teruggezet naar gras. Er wordt 1x per jaar gemaaid en verder is er weinig beheer nodig. Tijdens het veldbezoek was duidelijk dat de toplaag onder Olifantengras vochtiger was dan onder gras, de vraag is of dit een eigenschap is van deze teelt. Olifantengras verhoogd mogelijk de kort-cyclisch koolstof pools in vergelijking met gras en lisdodde, dit moet nog onderzocht worden. De bodemopbouw zal vergelijkbaar kunnen zijn met perceel 11 in Zegeveld. In oktober 2021 wordt het meetvoorstel voor deze locaties met STOWA, landeigenaar/-beheerder VIC/KTC en leden van het NOBV consortium besproken. Opties zijn:

- 1 raai met gondwaterstandbuizen, ca. 5 peilbuizen vanaf de sloot tot het midden van het perceel in Olifantengras en een zesde buis op gras (zie bestande referenties in Zegeveld)
- Bodemvochtprofiel op 1/3 van de sloot in zowel miscanthus- als bestande metingen op grasperceel.
- C3/C4 metingen in de bodem van zowel miscanthus (10 jaar oud) als het grasperceel (7 jaar miscanthus, 3 jaar Engels raaigras) om de kortcyclische koolstof toevoer van het gewas te bepalen.
- Een periode de mobiele EC masten inzetten om het verschil in CO_2fluxen en verdamping te bepalen tussen gras en Olifanten gras.
- Voor Kamermetingen zouden in de weken direct naar de
- Experimenteren met hogere slootpeilen (-30 cm / -20 cm)

3.6.3 Voorstel opzet meetlocatie Krimpenerwaard (Amerikaanse Cranberry)

Ervaringen van het NOBV opgedaan bij veldbezoek in de zomer van 2021.

Cranberries (veenbessen) zijn planten die van nature in veengebieden voorkomen. Enkele jaren geleden is er begonnen met het telen van Cranberries in het Nederlandse veenweidegebied door de Cranberry Company. Belangrijk verschil met het klassieke veenweidegebied is de teelt zelf, maar ook de beperktere drooglegging van de percelen met Cranberries. In de 10 percelen die nu voorhanden zijn is in de meeste percelen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie 13 cm afgeplagd. In één van de tien percelen groeien Cranberries vanaf begin goed. In een tweede perceel zetten zich de geplante Cranberries langzaam door. Deze beide percelen zijn afgeplagd. Daarnaast is voor de 10 percelen het slootwaterpeil omhoog gezet naar een drooglegging van 15-25 cm. In de zomer is de drooglegging 15-25 cm, in de winter wordt het water net onder maaiveld gezet, daar kan de cranberry goed tegen. Voeding is alleen met regenwater, maar voor droge noodgevallen is er een inlaat vanuit een sloot. In 2018 heeft deze inlaat lang opengestaan, in

2019 voor het laatst korter. In 2020 en 2021 (tot halverwege het jaar) heeft deze inlaat niet meer opengestaan. De benodigde condities waterkwaliteit en -kwantiteit condities worden dus gehaald met regenwater. Aan de andere kant van het proefveld kan water worden uitgelaten.

Bij het veldbezoek in de zomer van 2021 zijn op een perceel twee boringen gezet. Aan de zuidoostkant van de proefpercelen begon het bodemprofiel met licht kleiig veen van ca 30 cm (maar dus afgeplagd hier) en daaronder donkerbruin amorf bosveen tot ca 60 cm (ca de GLG). Daaronder bosveen, matig amorf, bruin tot ca 170 cm wanneer dit overgaat in kleiig veen, dat naar onder toe steeds kleiiger wordt tot op 220 cm het overgaat in klei. Deze klei is bovenin nog licht humeus met plantenresten, daaronder al snel grijze klei met siltlaagjes en zandbijmenging, tot 370 klei steeds zandiger tot zandige klei onderin. Grondwaterstand was ca 25 cm op deze locatie (ca 6 meter van sloot). Aan de NW kant van de proefpercelen opnieuw bovenin licht kleiig veen, maar hier na 20 cm al amorf donkerbruin bosveen, op 70 cm (=GLG) overgaand in matig amorf bosveen, dat doorloopt tot in ieder geval 350 cm (geen klei op diepte op deze locatie). De grondwaterstand was ca 40 cm onder maaiveld op deze locatie (ook ca 6 meter uit sloot).

Het NOBV consortium is voorstander om in de cranberrypercelen metingen uit te voeren, met als doel om het verschil in grondwaterstand en eventueel broeikasgasuitstoot ten opzichte van graslanden met kleine drooglegging (meetlocaties elders) vast te stellen en ten opzichte van dieper gedraineerde locaties (dus dan fungeert dit als een ongeregeld hoog locaties). Het doel van de metingen is niet om volledig mechanistisch begrip te krijgen van de teelt van de cranberries en de gevolgen daarvan op de uitstoot van broeikasgassen. Dit kan wel in een later stadium worden gedaan als de metingen die nu worden gedaan daar aanleiding toe geven.

Meetvoorstel op basis van bovenstaande:

- twee grondwaterprofielen dwars over perceel om te bepalen hoe het grondwaterpeil zich door het jaar heen ontwikkelt en hoeveel uitzakking plaatsvindt in de zomer.
- 1 diepe peilbuis tot in watervoerend pakket om te bepalen of er sprake is van kwel of wegzijging en in hoeverre is er sprake van wateraanvulling vanuit regenwater
- Op twee plekken bodemvocht en bodemtemperatuur, bijvoorbeeld op 1/3 van perceelsbreedte en midden in het perceel.
- Operationeel zou het nuttig zijn om de neerslag zelf te meten met een regenmeter en bijvoorbeeld ook de hoeveelheid inlaatwater en uitstromend water plus de verdamping >> hoe verschilt dit van gras. Cranberry verdampt mogelijk meer. De vraag is of dit binnen het NOBV moet worden gedaan.
- En daarnaast lijkt het nuttig om de pH hier te meten: wat is daarin de variatie over de tijd? Zien we de invloed van het regenwater ten opzichte van het slootwater?
- Redox lijkt ook een interessante meting op 1 van de plekken waar ook bodemvocht wordt gemeten: mogelijk zijn de redoxcondities anders dan bij gras door de lage pH.
- Wat betreft broeikasgasmetingen: de locatie rechtvaardigt geen continue broeikasgasmetingen: het is nog te klein en wellicht is het ook de vraag of cranberries als gewas een andere uitstoot hebben dan gras bij een drooglegging van -20. Wel kan er een keer met een mobiel systeem (EC of kamers) een keer gemeten kunnen worden, bijvoorbeeld als proef. Voor de EC mast liggen de percelen niet optimaal wat betreft windrichting.
- Bodemdaling zou bij een dergelijk kleine drooglegging wel interessant zijn, maar is niet per se noodzakelijk, omdat dit ook al op de ongeregeld hoog percelen wordt voorzien. Waarschijnlijk is de bodem na afplaggen en vernatting aanzienlijk omhoog gekomen.

Status
Onderzoekers van het NOBV programma (Deltares en VU/RU) hebben de twee locaties/percelen in de zomer 2021 opgezocht, verkennende metingen verricht en achtergrond informatie verzameld. Als dit een NOBV locatie wordt zouden in oktober/november en/of maart/april grondwaterbuizen, temperatuur- en vochtsensoren geplaatst kunnen worden.

3.7 Vegelinsoord

Auteur: Mariet Hefting (UU)

3.7.1 Opzet meetlocatie

Voor de aanvullende meetlocaties is ervoor gekozen om het hele spectrum van organische gronden in het veenweide gebied te onderzoeken. Van intacte, natuurlijke "kernmoerassen" tot aan de sterk geoxideerde organische bodems. Het uiteinde van deze landschapsreferenties wordt gevormd door de moerige gronden. Dit zijn bodems met een maximale veendikte van 40 cm, waar het bodemprofiel tot 80 cm voor minder dan de helft uit organisch materiaal bestaat.

Voor de NOBV meetlocatie moerige gronden is gekozen voor het Melkveehouderijbedrijf Haskerweide, Meenscharweg 37, 8467 SC Vegelinsoord (52.9848750, 5.8576311). De meetsite in Vegelinsoord zal worden ingericht als continu intensieve meetsite, waarbij bodemparameters, CO_2 en bodembeweging wordt gemeten.

Figuur 3.10 Overzicht van het melkveebedrijf Haskerweide met perceelsaanduiding. Zowel de Haskermaden als de Hornster nieuwe maden maken ook onderdeel uit van het bedrijf.

3.7.2 Status

De startbijeenkomst voor de moerige gronden site heeft op 14 juli plaatsgevonden. Voordat over gegaan kan worden tot de definitieve keuze van de locatie voor de onderzoeksplot moet er eerst duidelijkheid zijn over variatie in de ondergrond. We wachten daarvoor op de informatie die komt uit de geologische en bodemkundige boringen. Op basis van de eerste verkennende boringen bleek de locatie 'Zwarte weg' (Figuur 3.10) geschikt als continu intensieve meetlocatie. Het bodemprofiel van 'Zwarte weg' locatie bestaat uit : 0 – 0,2 m-mv zandig veenpakket, 0,2 – 0,4 m-mv oligotroof veen (deels schalterveen), daaronder dekzand en keileem tot op ongeveer 1 m-mv. De grondwaterstand is 1 m-mv. De plot in locatie 'Zwarte weg' is erg nat in de winter en is makkelijk zichtbaar en bereikbaar voor derden. Er zijn daarom nog wat zorgen over mogelijk

vandalisme of diefstal van apparatuur. Een alternatieve meetlocatie ligt op de percelen “Thomas” of “Klaas” (zie Figuur 3.10) Na de aanvullende geologische en bodemkundige boringen wordt ook besloten of er mogelijk 1 à 2 mobiele meetsites bijkomen op locaties waar de bodem is diep-geploegd of gekeerd, Deze additionele mobiele meetsites hebben een afmeting van 3 bij 3 meter.

3.8 Mobiele meetlocaties

Auteurs: Christian Fritz (RU), Reinder Nouta (WF)

3.8.1 Opzet meetlocatie

In aanvulling op de continue intensieve meetlocaties wordt in Friesland de CO_2 flux op verschillende locaties met mobiele metingen gemeten. Naast CO_2 flux worden grondwaterstanden, gewasopbrengst en bodemtemperatuur gemeten (Figuur 2.13). Op locaties bij Warten en Hegewarren zijn een HAKLAM (“Hoog Als het Kan, Laag Als het Moet”) perceel en een controleperceel ingericht. Het effect van onderwaterdrainage wordt op drie locaties in Koufurderrige, Spanga en Aldeboarn gemonitord. De effecten van greppelinfiltratie worden gemeten op locaties Lytse Deelen, Idzega en Haskerdijken, waarbij op locatie Lytse Deelen ook een controle perceel is ingericht. Hiermee kan inzicht worden verkregen in de representativiteit van de continue intensieve. Naast deze locaties met maatregelen, wordt er op drie locaties op minerale bodem gemeten, te weten bij Drogeham (zandbodem) en Ternaard en Scharnegoutum (kleibodem). Door op minerale bodem te meten is het mogelijk meer inzicht in de CO_2 uitstoot (en opname) van de levende biomassa en diens relaties met factoren zoals bodemvocht, bodemtemperatuur, luchttemperatuur te verkrijgen.

Locaties met peilgestuurde onderwaterdrainage/-infiltratie

Koufurderrige

In Koufurderrige zijn twee meetpercelen overgenomen van het ‘broeikasgas emissie onderzoek Friese Veenweide 2016-2019’ (van den Berg et al., 2019). In dat (afgeronde) onderzoek betreft het de maatregel en controle perceel onder de noemer ‘Kou-S’. Na Het vorige onderzoek is het controleperceel opnieuw ingezaaid. Beide meetpercelen zijn aangepast qua indeling. De frames waar CO_2 gemeten wordt zijn verplaatst naar het stuk waar de gewasopbrengst bepaald werd. De peilbuis in het plot is dichterbij de frames geplaatst. De peilbuis in de sloot bij het controle perceel is behouden. Bij het maatregelperceel is de peilbuis in de sloot opnieuw geplaatst, omdat deze omgevallen was.

Spanga

In Spanga is een locatie waar zowel de maatregel en controle op één perceel ingericht zijn. De helft van het perceel grenst aan een sloot met een peil geschikt voor OWD op 40 cm-mv en de andere helft grenst aan een sloot met een peil geschikt voor OWD op 60 cm-mv. Deze beide helften zijn weer voor de helft van de bovengenoemde OWD voorzien en de andere helft dient als controle. Het totale perceel is opgedeeld worden in 4 blokken, waarbij in dit onderzoek ervoor is gekozen om het deel met OWD op 40 cm-mv te onderzoeken. Onderwaterdrainage op deze diepte is namelijk nog niet eerder onderzocht in Friesland. Bemesting is 50 kuub drijfmest per hectare per jaar. Het perceel heeft een bodemprofiel dat volledig veen is tot 120 cm-mv waar het zand begint.

Aldeboarn

In Aldeboarn wordt op het onderwaterdrainage perceel gemeten waar ook semi-continue metingen door parallel onderzoek binnen in het NOBV (Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden) onderzoek gedaan wordt (zie boven). Naast de gestelde doelen in dit deelproject, biedt het meten op deze locatie ook de mogelijkheid om de metingen met de mobiele kamermethode te vergelijken met andere CO_2meetsystemen (permanente kamers, mobiele kamers en Eddy Covariance).

Locaties met peilgestuurde greppel-infiltratie (geregeld hoog)

Lytse Deelen
De Lytse Deelen is het agrarische natuurbeheergebied ten westzuidwest van het natuurgebied De Lytse Deelen. Dit gebied heeft een extensief beheer waarbij een kudde jongvee van het voorjaar tot het najaar tussen de percelen gerouleerd wordt. Het slootpeil is hoog opgezet om de greppels actief te voeden met slootwater (www.valutavoorveen.nl). In dit gebied is een maatregel en controle perceel ingericht. Het maatregel perceel ligt in het midden van het gebied waarbij alle sloten een hoog opgezet peil hebben. De greppels in dit perceel zijn aan het begin van het onderzoek gefreesd om ze in goede watervoerende kwaliteit te houden. Het controle perceel ligt aan het rand van het gebied waarbij de twee dichtstbijzijnde sloten het polderpeil hebben . Beide percelen worden op dezelfde manier beweid en bemest met 30 ton vaste mest per ha per jaar. Beide percelen hebben een kleipakket van 30 cm waaronder in het maatregel perceel een veenpakket van 150 cm ligt en in het controle perceel een veenpakket van 110 cm.

Haskerdijken en Idzega
Deze twee locaties zijn samengevoegd omdat ze geen directe controle percelen hebben maar wel beide dezelfde maatregel omvatten. Haskerdijken is een perceel dat in eigendom is van Staatsbosbeheer en gepacht wordt door een boer, het grenst tegen het natuurgebied De Deelen aan en functioneert als buffergebied. Het gebied heeft een vast hoog peil dat gevoed wordt vanuit De Deelen. Bij het vaste peil lopen de greppels vol met water. De bemesting bestaat uit 15 ton vaste mest per hectare per jaar. Het perceel heeft een kruidenrijke grasbestand. Het bodemprofiel is een 10 cm klei-rijke veenlaag waaronder een veenpakket zit tot 120 cm.
In Idzega wordt er op een perceel gemeten waar de boer bereidt was om greppel-infiltratie toe te passen. Het slootpeil is dermate hoog dat, als de greppels gefreesd zijn, de greppels vol lopen. In het voorjaar en zomer wordt het perceel beweid door jongvee. De graszode heeft een kruidenrijk karakter. Bemesting is 45 kuub drijfmest/ha/j. Het bodemprofiel is 30 cm klei op 20 cm schalterveen, hieronder zit een veenpakket tot 160 cm-mv.

Locaties met peilgestuurde sloten drainage (HAKLAM)

Warten
In het Grouster Leechlân is een geschikte locatie gevonden voor een controle en maatregel perceel. Op deze boerderij is er een perceel waar de HAKLAM-methode uitgevoerd kan worden, daarnaast is er een geschikt controle perceel dichtbij. Dat ze vergelijkbaar zijn, komt doordat de agrariër op beide percelen hetzelfde beheer heeft qua bemesting en beweiding. Op beide percelen komt jaarlijks 35 kuub drijfmest per ha. Een verschil is dat op het maatregel perceel ‘s winters ook beweiding is met schapen. Het maatregel perceel ligt op een gunstige positie, omdat het aan de ene kant grenst aan een hoogwatersloot met een vast hoog peil en aan de andere kant grenst aan een sloot met polderpeil. De drainage watert af op de sloot met polderpeil, door deze sloot aan te passen is er HAKLAM van toepassing. Het controle perceel is een hooggelegen perceel met een grote drooglegging. Het bodemprofiel van de percelen is vergelijkbaar. Het heeft een kleidek van 30-40 cm, vervolgens 10 cm veraard veen, 5 cm klei en dan veen tot 220 cm.

Hegewarren
In de Hegewarren wordt op twee percelen gemeten, een maatregel perceel waar HAKLAM van toepassing is en een controle perceel. Beide percelen zijn qua beheer vergelijkbaar ondanks dat ze van verschillende eigenaren zijn. Op beide percelen wordt jaarlijks 60 kuub drijfmest per ha uitgereden. Het maatregel perceel (HAKLAM) wordt op initiatief van de boer op de HAKLAM-methode gebruikt. De boer heeft zelf een duiker aangepast om het slootpeil hoog te houden. Op het controle perceel wordt er aan het peilbesluit/normaal peil gehanteerd gehouden. Beide percelen hebben een kleidek, waarbij het kleidek op het maatregel veel organisch materiaal bevat.

Onder het kleidek heeft het controle perceel een veenpakket tot 230 cm-mv en het maatregel perceel tot 200 cm-mv.

3.8.2 Status

Het Wetterskip Friesland, Stowa, agrariërs en belangenorganisaties hebben 24 potentiële percelen en locaties gekozen waarvan 16 percelen binnen dit programma vallen. In de loop van mei 2020 t/m augustus 2020 konden met de beschikbare middelen uit NOBV 16 locaties ingericht worden. Bij het meetnetwerk is gebruikt gemaakt van 5 locaties welke door Wetterskip Friesland en Provincie Friesland in het najaar 2019 voor broeikasgas metingen ingericht werden. Onderhoud en metingen van grondwaterstanden, bodemtemperatuur en bodemvocht lopen zoals gepland.

3.9 Broeikasgasemissie uit open water en sloten

Auteur: Ralf Aben (RU), Judith van der Knaap (RU), Coline Boonman (RU)

3.9.1 Pilotstudie slootemissies

De Radboud Universiteit (RU) heeft een PhD student aangesteld op het onderzoek naar broeikasgasemissie uit open water en sloten welke per 1 september 2021 gestart is. De PhD student heeft dit jaar als MSc student op de RU buiten NOBV reeds een pilotstudie als afstudeeropdracht verricht. Deze voorbereidende werkzaamheden vormden een opstap naar het PhD onderzoek. Het onderzoeksvoorstel voor het PhD onderzoek zal in november besproken worden met STOWA en het consortium en op basis van ontwikkelde kennis gaande weg steeds verder worden ingevuld.

In de genoemde pilotstudie is een eerste verkenning gedaan naar variabelen die mogelijk slootemissies kunnen verklaren. Dit is van belang om verder begrip te krijgen op waarom, waar en wanneer er eventueel hoge emissies te verwachten zijn. In het pilotonderzoek is gekeken naar zowel de diffuse broeikasgasflux van CO_2 en CH_4, als de potentiële emissie van CH_4 middels ebullitie (gasbellen uit de onderwaterbodem). Er zijn drie locaties bezocht (Aldeboarn, Zegveld en Langeweide) om de verschillen binnen en tussen sloten en de verschillen tussen deze locaties in kaart te brengen. Binnen deze locaties zijn drie verschillende typen sloten onderzocht:

1. Een sloot gelegen aan het maatregelplot bij de uitgang van een drain, waarmee wordt bekeken wat het effect is van drainwater toevoer op de broeikasgasemissies uit de sloot.
2. Een doodlopende sloot waarmee het effect van stagnerend water op broeikasgasemissies wordt onderzocht.
3. Een referentiesloot.

Het verslag over de resultaten van deze pilotstudie kan worden opgevraagd bij de RU.

3.9.2 Experimentele instrumentatie voor het meten van broeikasgasfluxen uit open water en sloten (RU)

Onder het budget experimentele sensoren, heeft de Radboud Universiteit (RU) met name uitgezocht hoe broeikasgasfluxen uit sloten hoogfrequent in een geautomatiseerde opzet en met minimale kosten gemeten kunnen worden. Dit onderzoek heeft verschillende ontwerpen van meetinstrumenten en testresultaten van metingen met goedkope sensoren opgeleverd. De hieronder beschreven meetinstrumenten hebben als doel uiteindelijk te worden ingezet binnen het NOBV onderzoek dat zich richt op broeikasgasfluxen uit open water en sloten. De geautomatiseerde metingen zullen t.o.v. de reguliere 3–4 wekelijkse veldmetingen veel meer inzicht geven in zogenaamde ‘hot moments’: bepaalde momenten, waarbij in korte tijd mogelijk veel broeikasgassen kunnen vrijkomen, zoals na intense regenval of peilveranderingen. Daarnaast zullen dergelijke hoogfrequente metingen, alsmede van milieuvariabelen, meer inzicht geven in sturende factoren voor broeikasgasfluxen. Hieronder beschrijven we wat we binnen dit

onderzoek hebben gedaan, wat we hebben geleerd en waar we op dit moment staan in de ontwikkeling van de nieuwe instrumenten.

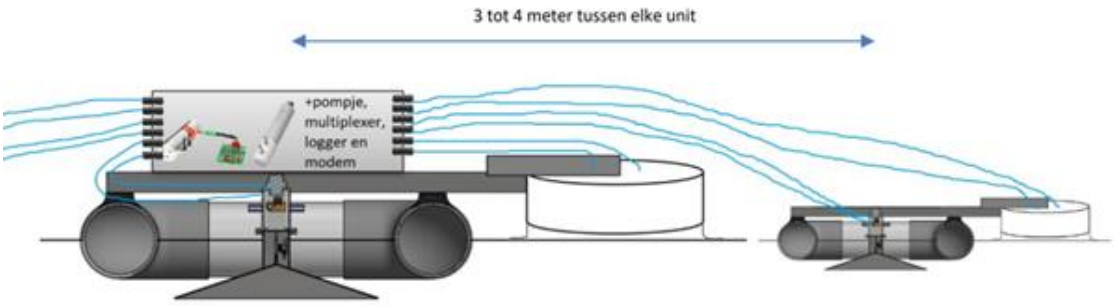
Ontwerp van meetinstrumenten

Doordat broeikasgassen in open water op verschillende manieren vrij kunnen komen, zijn er twee typen meetinstrumenten in ontwikkeling bij het TechnoCentrum van de RU (Figuur 2.22).

1. Een drijvende fluxkamer waarmee de uitwisseling van opgeloste broeikasgassen tussen water en atmosfeer gemeten kan worden. Deze kamer lijkt in veel opzichten op de meetkamers op het vaste land. De kamer zal op drijvers geplaatst worden en m.b.v. actuatoren omhoog en omlaag getild kunnen worden. De onderkant van de kamer zal waarschijnlijk voorzien worden van een 'rok' van plastic folie welke een gasdichte aansluiting met het wateroppervlak moet vormen. In eerder onderzoek en tijdens de recente pilotstudie (3.9.1) is reeds naar voren gekomen dat bij de reguliere methode, waarbij een kamer met de wanden het water penetreert, ongewenste effecten kunnen optreden. Dit zijn o.a. een verhoogde turbulentie bij stromend water (i.e. kunstmatig verhoogde broeikasgasflux) en het laten vrijkomen van gasbellen met methaan (CH_4) die tussen de vegetatie gevangen zitten, waardoor de gasdiffusiemeting verstoord wordt en herhaald moet worden, wat erg tijdrovend kan zijn. De kamer met rok van plastic folie zal daarom voor minder verstoring en een meer natuurlijke gasuitwisseling tussen water en atmosfeer zorgen. Om concentratieveranderingen makkelijker waar te kunnen nemen, zullen deze kamers een groot oppervlak:volume ratio krijgen.
2. Een zogenoemde bubble trap die uit het sediment vrijkomende gasbellen (i.e. ebullitie) zal opvangen. Deze bubble trap is in de vorm van een omgekeerde trechter welke zich onder het wateroppervlak bevindt (Figuur 3.12). Vrijkomende gasbellen komen de trechter binnen en gaan via een smalle buis naar een meetkamertje. Door het kleine oppervlak tussen water en lucht zal er slechts zeer gering CH_4 van het ingevangen gas weglekken naar de waterlaag.

Het gas van de meetkamers zal via een multiplexer naar een speciale meeteenheid worden geleid die de CO_2 en CH_4 concentratie van het gas bepaalt, idealiter middels goedkope sensoren, maar indien nodig en mogelijk, met een duurdere sensor. De meetkamers van bubble traps zullen elk voorzien worden van een goedkope CH_4 sensor, daar de meetgevoeligheid voor bubble traps (a.g.v. hoge CH_4 concentraties in bellen) minder nauwkeurig hoeft te zijn dan voor meetkamers. Door de goede oplosbaarheid van CO_2 in water (i.t.t. CH_4) is de CO_2-concentratie van gasbellen uit het sediment normaliter verwaarloosbaar, vandaar dat bubble traps niet van CO_2 sensoren worden voorzien.

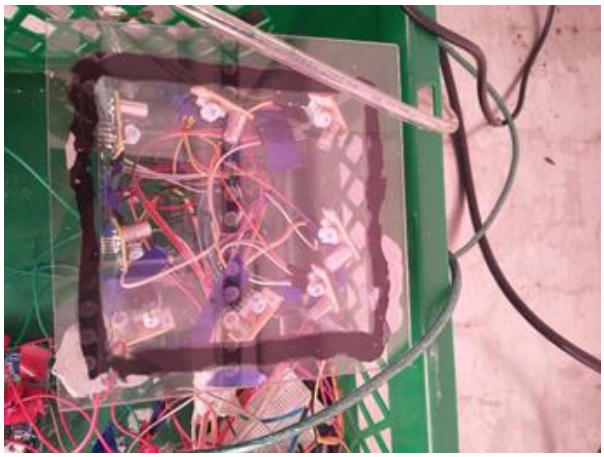
311



Figuur 3.121 Een versimpeld ontwerp van het broeikasgasfluxmeetsysteem met kamers en bubble traps

Experimentele CO_2 sensoren
Er zijn verschillende CO_2 sensoren aangeschaft, met een variatie in prijs. Drie goedkope sensoren (Sensirion SCD30 en SCD41, en Senseair K33) en twee duurdere varianten (Vaisala GMP252 en GMP343). De drie goedkope sensoren geven vrij betrouwbare metingen in een binnenomgeving. De bruikbaarheid van deze sensoren in een buitenomgeving (o.a. stof, sterk wisselende luchtvochtigheid en temperaturen) is nog erg onduidelijk. Uit gesprekken met buitenlandse onderzoeksgroepen hebben we vernomen dat meetwaardes onbruikbaar worden bij hoge luchtvochtigheid en sensoren vaak permanent beschadigd raken. De duurdere sensoren die zijn aangeschaft zijn preciezer en beter bestand tegen hoge luchtvochtigheid. Op dit moment worden alle sensoren in het prototype van de kamers gebouwd om te kunnen testen wat de detectielimiet en de onzekerheid van alle sensoren is. Wanneer dit duidelijk is, kunnen we de resultaten afwegen tegen de kosten van de sensoren en de kosten van het onderhoud.

Experimentele CH_4 sensoren
Opties voor goedkope, betrouwbare sensoren zijn er voor methaan vrijwel niet binnen het concentratiebereik dat voor kamermetingen te verwachten is. Verschillende wetenschappelijke onderzoeken gebruiken sensoren van het merk Figaro. De meest kansrijke van deze sensoren (type NGM2611-E13) is door RU gekocht en uitgeprobeerd. Tijdens het testen van de sensoren (Figuur 3.12) zijn de volgende aandachtspunten naar voren gekomen. Allereerst is het noodzakelijk elke sensor van een eigen kalibratie te voorzien, welke afhankelijk is van m.n. temperatuur en luchtvochtigheid. Ten tweede is het gecompliceerd om van de kalibratiedata naar een kalibratiecurve te gaan a.g.v. weerstanden in de sensor die geen constante waarde hebben. Ten derde hebben we in gesprekken met andere onderzoeksgroepen begrepen dat deze sensoren zeer gevoelig zijn voor hoge luchtvochtigheden, waarbij een te hoge luchtvochtigheid voor onjuiste metingen zorgt.



Figuur 3.12 Acht Figaro NGM2611-E13 sensoren in een luchtdichte kamer waarvan het gas in een gesloten naar een Ultraportable Greenhouse Gas Analyzer (UGGA; Los Gatos Research Inc.) wordt gepompt ter referentie. Hierbij werden verschillende CH4 concentraties geïnjecteerd. Meetdata van de de UGGA zijn vervolgens gebruikt om de sensoren te kalibreren.

Voor elk van deze aandachtspunten hebben we mogelijke oplossingen bedacht die we verder kunnen ontwikkelen wanneer het budget voor experimentele sensoren wordt verlengd. Voor het eerste punt zouden we meerdere sensoren kunnen aansluiten zodat alle sensoren voor een sloot tegelijkertijd getest worden waarbij de data van elke sensor apart gebruikt wordt om een kalibratiecurve te maken. Hierbij resteert de vraag wat de drift is van deze sensoren. Dit zullen we op een later tijdstip uitzoeken. Het tweede punt willen we oplossen door de kalibratiecurve—afhankelijk van luchtvochtigheid en temperatuur—door een machine-learning algoritme te laten fitten, waardoor de invloed van elke omgevingsvariabele niet hoeft te worden geschat a.d.h.v. eigen parameters. Hiermee verlagen we de onzekerheid in de metingen die uit de kalibratiecurve

gelezen worden, doordat we geen keuze hoeven te maken voor de model fit en ook niet parameters hoeven te schatten. Het derde punt zullen we moeten testen wanneer de prototypes van de kamers er zijn. We hebben verschillende mogelijkheden bedacht, waaronder het verwerken van vochtvangers in het circuit en het plaatsen van de sensoren in een verwarmde, geïsoleerde kamer.

Additioneel zijn we op zoek naar andere sensoren. Hierbij is ons oog gevallen op de LGD Compact-A CH_4 van Axetris. Deze sensoren zijn echter een stuk duurder (~5,5k€), maar ook betrouwbaarder. Voor het beoordelen van de geschiktheid van deze analyzer voor onze toepassing staan we in contact met de afdeling Molecular and Laser Physics.

*Metingen aan stuurvariabele*n

Aanvullend aan autonome, hoogfrequente metingen van CO_2- en CH_4-fluxen willen we ook potentieel belangrijke stuurvariabelen meten. De temperatuur van het sediment en de waterlaag willen we hoogfrequent meten met een probe die temperatuursensoren op meerdere lengte-intervallen heeft. Het precieze interval zal afhangen van de slootdiepte. Daarnaast willen we met sensoren van Atlas Scientific de pH en concentratie opgelost zuurstof van het oppervlaktewater hoogfrequent meten. Vanwege de hoge kosten van deze sensoren en de lage variatie die we op enkele meters afstand verwachten, willen we elk meetsysteem uitrusten met 1 temperatuurprobe, zuurstof en pH sensor. Daarnaast willen we de meetkamers voorzien van temperatuur-, druk- en luchtvochtigheidssensors, omdat deze milieuvariabelen van invloed zijn op de gasdichtheid en gemeten broeikasgasconcentraties, en daarmee op de uiteindelijke broeikasgasflux.

4 Database NOBV

Auteur: Ype van der Velde (VU)

4.1 Systemen voor dataopslag

Voor dataopslag, beschikbaarheid en bereikbaarheid maken we gebruik van 4 hoofdsystemen: Research drive en PostGreSQL database voor dataopslag, Surfsara voor backup, en Grafana voor visualisatie.

Researchdrive is een 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-drive 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.

PostGreSQL database is een 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 echt 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 (zie hieronder) zal voor de meeste gebruikers interessanter zijn.

Surfsara: De Researchdrive en de PostGreSQL database draaien op het VU-netwerk en zijn daarmee ook onderdeel van het VU-backupsysteem. Daarnaast word ook dagelijks een externe backup gemaakt van de Researchdrive en de PostGreSQL database op SurfSara.

Grafana: Grafische software waarmee je de data in de PostGreSQL database kan visualiseren en downloaden voor verdere bewerkingen. Hiervan kunnen we verschillende versies opzetten, elk geschikt gemaakt voor specifieke doelgroepen (NOBV kernonderzoekers, mensen behorende tot een NOBV-samenwerkingsverband en externen). Tot nu toe hebben we alleen de versie voor de onderzoekers waarmee de datastromen kunnen worden gevolgd. Toegang gaat via inlognaam en password die kunnen worden aangevraagd bij de NOBV-consortiumraad.

4.2 Typen data

Onze data kunnen worden opgedeeld in vier 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. In totaal gaat het tot 1-7-2021 om ongeveer 110mijoen metingen van weer-en bodemvariabelen, en 1.6 miljard metingen gerelateerd aan broeikasgassen.

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.

3) Metadata:

   Dit is de data die per datapunt de eigenschappen van de meting beschrijft, sensor type, sensor ID, eenheid van de meting, de precieze locatie (inclusief hoogte/diepte) van de sensor en de kwaliteit van de meting zelf.

4) Bewerkte en/of geïnterpreteerde data:

   De ruwe data zoals hierboven beschreven wordt door de onderzoekers bewerkt en gecombineerd tot nieuwe geïnterpreteerde datasets. Voorbeelden zijn maand en jaargemiddelde CO_2-fluxen, relaties tussen grondwaterstand en CO_2-fluxen.

4.3 3 niveaus van de PostGreSQL database (datatype 1)

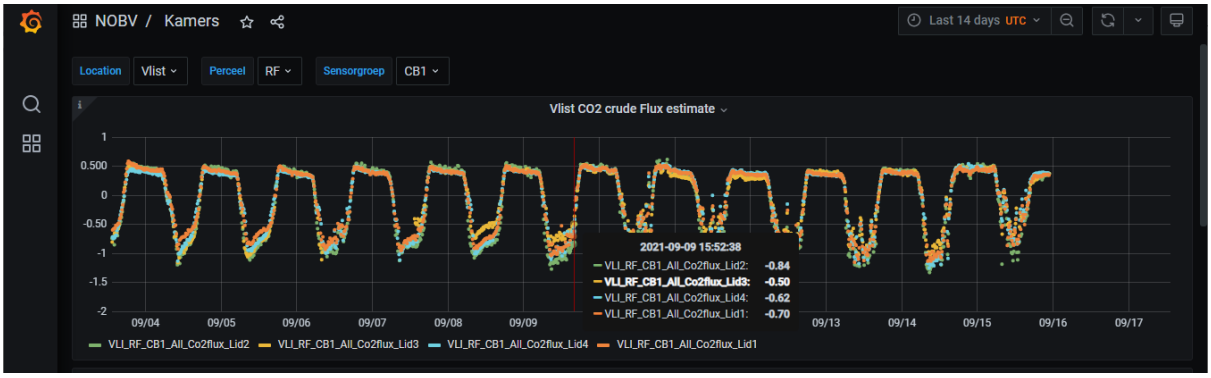
Voordat de gemeten data beschikbaar is voor gebruik zijn enkele voorbewerkingstappen en keuzes noodzakelijk. Hiertoe hebben we de PostGreSQL database in 3 niveaus opgedeeld:

- **Level0**: De data zoals het binnenkomt bij de VU. Hierin zit de data per datalogger in het veld gegroepeerd. Sommige sensoren zoals de waterstandrecorders, de EC-torens en de extensometers hebben een eigen platform waar de data eerst verzameld wordt. Vandaaruit wordt de data doorgestuurd naar Researchdrive (ellitrack/grondwater) van waar het automatisch wordt geupload in de PostGreSQL database. Dit is dus allemaal ruwe data.
- **Level1**: Alle metingen uit Level0 krijgen een eenduidige naamgeving en tijdzone (helaas slaan sensoren soms hun data toch op in verschillende tijdzones i.e. zomer of /winter tijd, Centraal Europese tijd of Universal Time Coordinate). In Level1 zijn de metingen 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. In level1 wordt ook de metadata per meting aan de meting gekoppeld.
- **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 koolstof balans 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

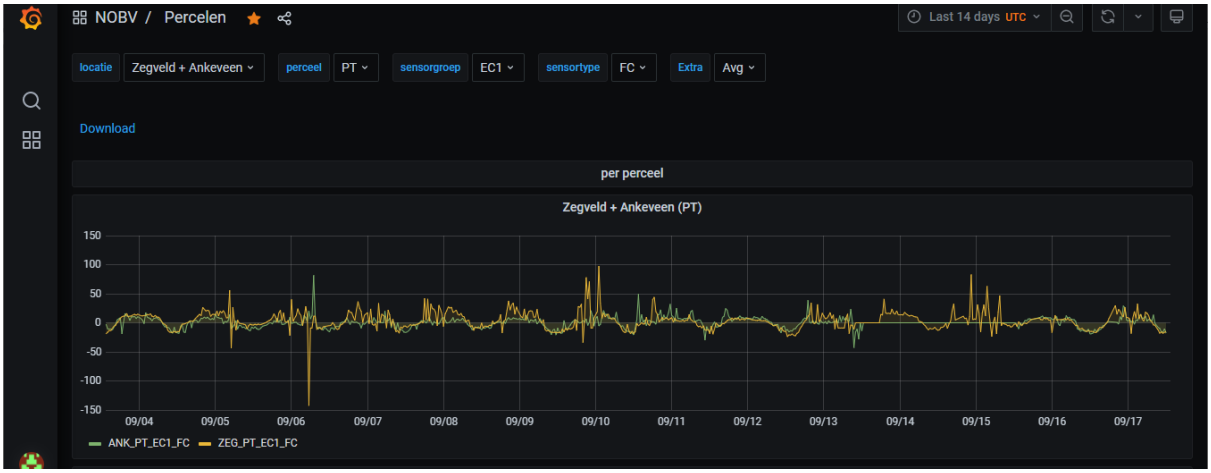
hebben afhankelijk van de methodiek, aggregatie tijd- en ruimteschaal of opsteller. Hierbij is versiebeheer dus van groot belang.

4.4 Huidige stand van zaken

Momenteel zijn we druk met het opbouwen van de Level1 database uit alle sensoren die online beschikbaar komen voor de locaties uit jaar 2. Het afgelopen jaar hebben we vele nieuwe metingen geïntroduceerd in de database zoals de eddy covariance torens, de grondwaterstandmetingen en die kamerdata. We hebben een externe backup functionaliteit op SurfSara gecreëerd. Daarnaast hebben we de methodiek voor de Metadata en kwaliteitsbeoordeling van de data uitgewerkt. Het komend jaar gaan we dit uitrollen. Ook hebben we grote stappen gezet met Grafana waardoor een snelle visualisatie op meerdere tijdschalen (jaren, seizoenen, dagen, uren tot seconden) mogelijk is. Met een aparte download functionaliteit kan de data direct uit de database gedownload worden.



Figuur 4.1 Voorbeeld van de Grafana interface: Kamer CO2-fluxen voor de 4 kamers in Vlist over de afgelopen 14 dagen.



Figuur 4.2 Voorbeeld van de Grafana interface: CO2 fluxen voor de paludicultuur Lisdodde locaties Ankeveen en Zegveld.

5 Praktische problemen, oplossingen en geleerde lessen

5.1 Kamermetingen

Auteur: Ralf Aben (RU), Christian Fritz (RU)

De belangrijkste geleerde lessen bij de kamermetingen zijn dat er een gebrek is aan reserve kamersystemen voor trainingsdoeleinden en het snel kunnen vervangen van systemen met problemen. Daarnaast is het essentieel dat er geschikte mensen beschikbaar komen voor probleemoplossing en structureel onderhoud om uitval van metingen zoveel mogelijk te beperken. Roestvrijstalen frames welke 15 cm in de bodem zitten voor een gasdichte afsluiting, resulteren tijdens droge periodes in grote scheuren binnen meetkamers door krimp van de bodem. Effecten hiervan moeten onderzocht worden. Er dient met enige regelmaat (binnen de NOBV kamerwerkgroep) afstemming plaats te vinden om kamermetingen en het uitwerken van kamerdata zo uniform mogelijk te laten verlopen. Tot slot dient er een strategie voor lange-termijn onderhoud en (uniforme en jaarlijkse) kalibratie van CO_2 analyzers gemaakt te worden.
In Tabel 5.1 is een overzicht gemaakt van geleerde lessen over ruimtelijk intensief en mobiel CO_2 meten door de RU in Friesland.

Tabel 5.1 Overzicht van geleerde lessen over ruimtelijk intensief en mobiel CO2 meten.

Probleem	**Oplossing**
VERVOER	
‘s winters perceel onbegaanbaar met auto	veldkar gebruiken
zware arbeid met veldkar (m.n. accu’s); 1 veldwerker zelfs korte tijd uit dienst	opties verkent tot verlichting werk: (1)vaker lopen met minder gewicht in veldkar, (2) lichtere materiaal/accu’s bijv. lithium (3) gebruik van quad , (4) 2 ipv 3 keer verplaatsen in week
veelbelovende lithium accu’s hebben leveren minder stroom bij lage temperaturen	niet de oplossing voor winter metingen
vaker lopen met minder gewicht in veldkar	alsnog intensief, niet voor iedereen weggelegd
Bij harde wind (boven windkracht 6) rollen de deksel af, metingen onbruikbaar. Soms waaien kamers zelfs van frame af	met huidig systeem systemen in opslag zetten bij storm. Geen nut om arbeid te verrichten voor onbruikbare metingen
DEFECTEN (terugkerende en incidentele)	
ventilator defect (terugkerend)	reserve onderdelen inkopen en reparatie-instructies maken
touwtje van spoel om as gedraaid (terugkerend)	met huidig systeem onoverkoombaar, op letten en voorzichtig afrollen
kortsluiting in koffer (incidenteel)	goed aansluiten accu’s, direct componenten inspecteren met reserve-onderdelen
acculader/kabels doorgebrand	kabels goed aansluiten (min op min en plus op plus)
ANALYSE	
quality check fluxen	automatisering onbetrouwbaar, handmatig nakijken betrouwbaarst
tijd flux en PAR -data niet altijd synchroon	met huidig systeem checken wanneer kamer CO_2-meting begint en PAR-kamer daalt. Nieuw systeem wordt PAR en CO_2 synchroon opgeslagen
checklist kamersysteem goed bijhouden, soms mis gegaan	Werkt: ventilator, druksensor, sluitsysteem, katrol-motor. Zit band van deksel goed. gas-analyzer goed aangesloten, PAR-sensor recht overeind. code locatie goed opgeschreven. synchronisatie goed verlopen. kamer 1 op frame 1 met slang 1

5.2 Bodemvochtmetingen

Auteurs: Jim Boonman (VU), Ralf Aben (RU)

Bij het meten van bodemvocht binnen het NOBV blijken de Sentek probes het meest geschikt, omdat (1) de levering van Gropoint probes niet naar behoren was, (2) de Sentek sensoren een betere correlatie laten zien met de tensiometers dan de Gropoint sensoren en (3) omdat bekend is dat de Gropoint sensoren een afwijking/verloop over tijd hebben. De Sentek bodemvochtsensoren zijn geschikt gebleken om te laten zien in hoeverre de bodem uitdroogt. De bodemvochtsensoren bepalen een percentage bodemvocht, maar deze waarden zijn niet geldig voor veenbodems. Het berekenen van bodemvochtwaarden op basis van de metingen benodigd daarom maatwerk voor elke individuele onderzoekslocatie en bodemlaag en hiervoor moeten kalibratiecurven vastgesteld worden. Het nemen van aanvullende bodemmonsters en het doen van aanvullend onderzoek is nodig om de kalibratiecurven vast te kunnen stellen. Op dit moment is het lastig om dit binnen het consortium te organiseren (bijvoorbeeld d.m.v. het aannemen van een AIO) omdat er geen aparte post voor is aangesteld. Omdat juiste interpretatie van bodemvochtmetingen essentieel is binnen het NOBV biedt de VU dit onderwerp/probleem nu aan als thesis project voor masterstudenten.

5.3 Airborne LiDAR metingen

Auteur: Sanneke van Asselen (Deltares)

Op basis van een analyse van de tweejarige LiDAR meetreeks van Rouveen en de eerste airborne LiDAR metingen in Zegveld is geconcludeerd dat de nauwkeurigheid van hoogtemodellen verkregen uit airborne LiDAR metingen doorgaans niet toereikend is voor het betrouwbaar monitoren van (seizoensgebonden en lange-termijn) mm tot cm schaal maaiveldhoogteveranderingen in veenweidegebied. De oorzaak hiervan ligt in de nauwkeurigheid van het systeem zelf, de manier van dataverwerking (bijvoorbeeld, gebruik van verticale verplaatsing naar grondcontrolepunten, manier van verrasteren, manier van filteren), en de invloed van gewashoogte. De lichtgolven uitgezonden door de laser scanner gaan niet door het gras heen, waardoor bij hoog gras de maaiveldhoogte, onder de graszode, minder betrouwbaar, of zelfs niet, kan worden bepaald. Dit geldt voor zowel metingen aan vliegtuig als aan drone. Op kleine schaal kan de invloed van deze oorzaken soms worden beperkt, maar op grotere schaal is dit vaak niet mogelijk. Daarom is vorig jaar besloten om de metingen in Rouveen stop te zetten en deze metingen alleen voort te zetten in Zegveld, omdat op deze locatie permanente grondcontrolepunten konden worden geïnstalleerd, meerder gefundeerde objecten binnen het KTC terrein vallen welke worden gebruikt voor het fitten van de LiDAR puntenwolken, en hier beter afspraken kunnen worden gemaakt over het maaien voorafgaand aan een meting teneinde de invloed van gewashoogte te minimaliseren. Tevens is manier van dataverwerking aangepast.

Met deze aangepaste methode wordt voor Zegveld een meetreeks opgebouwd, met als doel om het gebruik van airborne LiDAR voor maaiveldhoogtemetingen in veenweidegebied verder te kunnen onderzoeken, en deze techniek verder te kunnen vergelijken met InSAR. Met deze metingen kunnen we ook beter onderbouwen wat er technisch en operationeel nodig zou zijn voor het uitrollen en opschalen van airborne metingen als monitoringstechniek. Naast metingen op boerderijschaal (hele KTC Zegveld terrein) vinden er vier keer per jaar LiDAR aan drone metingen plaats op vier percelen op KTC Zegveld, waar NOBV metingen plaatsvinden, op lagere vlieghoogte (20 m i.p.v. 50 m). Het doel van deze detailmeting is het bepalen van de variatie in hoogte en hoogteverandering binnen een perceel, op basis waarvan bijvoorbeeld kan worden bepaald in hoeverre andere veldmetingen, zoals waterpassingen en extensometers, representatief zijn voor een heel perceel.

Er is uiteindelijk gekozen voor een drone als meetplatform voor alle airborne LiDAR metingen op KTC Zegveld omdat we deze zelf (via onze onderaannemer) in beheer hebben, en daarmee beter

inzicht en invloed hebben op de verschillende dataverwerkingsstappen. Ook resulteert het gebruik van een drone in een hogere puntdichtheid, omdat de drone dichter bij het oppervlak vliegt dan een vliegtuig.

De ervaringen omtrent airborne LiDAR metingen zijn gedocumenteerd in een rapport, welke op het moment van schrijven nog nergens gepubliceerd is. Dit staat wel in de planning voor komend jaar.

5.4 Tensiometersensoren

Auteur: Rudi Hessel (WEnR)

Er is in de winter 2020/2021 veel uitval geweest van tensiometers. Aan het einde van de winter deden 9 van de 45 geïnstalleerde tensiometers het niet meer, wat veel is voor een standaard product. Vorige versies van de tensiometer deden het onder dezelfde omstandigheden wel goed. Sinds het eind van de winter (2020/2021) is er geen uitval meer geweest. Desondanks is het belangrijk om de oorzaak van de uitval te achterhalen. Hiervoor is WEnR in overleg met de fabrikant van de tensiometers. De fabrikant vermoedt dat de veenbodems agressief zijn, wat zou kunnen resulteren in roestvorming. Om dit te testen is een anaeroob bodemwatermonster uit Zegveld verzameld (met hulp B-WARE) en opgestuurd naar de fabrikant.

5.5 Proces rondom opzetten nieuwe locaties

Auteur: Gilles Erkens (Deltares)

Een geleerde les uit meetjaar 2 heeft betrekking op de inrichting van nieuwe meetlocaties. Een proces dat gezamenlijk met de opdrachtgevende partijen is ontworpen, maar in de loop van de tijd niet goed bleek te werken. Bij het begin van meetjaar 2 zijn afspraken gemaakt welke nieuwe meetlocaties zouden worden ingericht en voor het inrichten van deze locaties is ook opdracht gegeven. In sommige gevallen bleken er geen plekken voorhanden te zijn die voldeden aan de criteria voor nieuwe locaties. Daarnaast bleek ook dat nieuwe locaties met andere maatregelen dan diegene die in het eerste meetjaar zijn gemeten ook anders moesten worden ingericht. Het ontwerp voor de inrichting van een meetlocatie uit het eerste meetjaar voldeed daarmee niet meer, maar de inschatting van de kosten voor de inrichting was wel daarop gebaseerd. Hierdoor moest er veel tijd besteed worden aan het opnieuw ontwerpen en budgetteren van nieuwe meetlocaties.

Samen met de opdrachtgevende partijen is besloten dit vanaf meetjaar 3 anders te gaan doen: het ontwerp voor een meetlocatie wordt pas gemaakt als de daadwerkelijke locatie ook bekend is. Hiermee kan een locatie-specifieke inschatting worden gemaakt van de kosten.
Daarnaast is duidelijk geworden in meetjaar 1 en 2 dat de doorlooptijd voor het volledig inrichten van een complexe meetlocatie al snel meerdere maanden duurt en kan oplopen tot een jaar. Dit heeft te maken met de stappen die sequentieel doorlopen moeten worden zoals vooronderzoek, het houden van een startoverleg, afpalen van het meetplot, het aanleggen van het hekwerk en stroom, het uitwerken van het ontwerp van de plot en de daadwerkelijke installatie. Daarnaast is het weer en in sommige gevallen de bedrijfsvoering van invloed op de installatieduur. Als het te nat is, kan er niet met voertuigen naar de plot worden gereden, of in het broedseizoen zijn sommige locaties niet te gebruiken. Daarnaast lopen levertijden van apparatuur op. Tenslotte is de beschikbare capaciteit van hoog-specialistisch personeel beperkt en daarmee een vertragende factor.

Een belangrijke beheermaatregelen die het consortium gaat nemen om vertragingen in installatie, maar ook bijvoorbeeld bij vervanging van apparatuur, te voorkomen is het aanleggen van buffers van apparatuur. Er is een lijst gemaakt van kritische sensoren waarvan er steeds een of een paar

op voorraad aanwezig moeten zijn. Hiermee wordt voorkomen dat door lange levertijden een deel van een meetlocatie niet functioneert en geen data levert. Voor personeel wordt er in meetjaar 3 gezocht naar manieren om de groep die het onderhoud uitvoert aan de meetlocaties uit te breiden en voor langere termijn te bestendigen.

A Bijlage: Methoden EC data analyses

A.1 Quality Screening

Quality flagging
All data is preprocessed by Eddy Pro software (EP). EP provides quality flags for all fluxes, based on the steady state test and the turbulent conditions test (Foken et al., 2004; Foken and Wichura, 1996; Göckede et al., 2008). The combined flag attains the value “0” for best quality fluxes, “1” for fluxes suitable for general analysis such as annual budgets and “2” for fluxes that should be discarded from the results dataset. For the purpose of NOBV, only the fluxes with quality flag 2 have been discarded.

Signal strength
A widely adopted method for quality screening is signal strength of the gas analyzers. Within Eddy Pro the methane fluxes are by default assumed to be invalid and discarded if the signal strength of the device is <10% (Eddy Pro User’s Guide). However, despite regular (automatic and manual) cleaning the signal strength is often lower than 10%. Moreover, previous Eddy Covariance measurements (outside the NOBV monitoring network) suggested that CH4fluxes at low signal strengths could still provide useful insights on the fluxes. Therefore, the signal strength threshold for both the CO2 and the CH4 fluxes will be determined based on an analysis of the flux data.

UStar filtering
The Ustar filtering entails the quality screening of CO2fluxes based on friction velocity (Ustar) tresholds. There are various methods available for Ustar filtering, which often also account for the temperature class. At this stage, the datasets are too small for reliable Ustar filtering. In addition, Ustar filtering may also lead to a bias in the dataset due to the exclusion of the night time fluxes. Therefore, as yet no Ustar filtering is applied. This decision will be continuously evaluated, in line with the method of Elbers et al. (2011).

Light- and temperature response filtering
The response curve filtering is a statistical method to remove outliers, inspired by Elbers et. (2011). For the response curve fitting, the CO2daytime fluxes and the CO2 nighttime fluxes are binned based on respectively the radiation and the temperature values. Datapoints that deviates >2SD from the bin-average were discarded.

A.2 Gap filling

CO_2
The aim of gap filling is to fill up flux data gaps, as a result of either temporal technical issues, unfavorable (weather) conditions, or quality screening. One of the considered methods for gap filling is the so called lookup table method, i.e. finding datapoints in the dataset with similar (meteorological) conditions to fill up the gaps. This is the standard approach used by most international programmes. However, for large gap filling (multiple weeks, the periods between the short measurement periods in mobile EC data) show promising results for gap filling based on a prediction with 2 simple multiple regression models:

$$F_{CO2} = PAR \cdot GPP_{max} / \left(PAR + \frac{GPP_{max}}{LUE} \right) + R$$

Where:
F_{CO2} = CO_2 flux [µmol m-2 s-1]
PAR = Photosynthetic Active Radiation [µmol m-2 s-1]
GPP_{max} = maximum Gross Primary Production [µmol m-2 s-1] (~-57)
LUE = Light Use Efficiency (~-0.04)
R = Respiration [µmol m^{-2} s^{-1}]

$$R = R_0 \cdot e^{C_0 \cdot T_{air}}$$

Where:
R_0 = Intersect (~2)
C_0 = scaling coefficiënt (~0.5)
T_{air} = Air temperature at 2m height [ºC]

CH_4
The mechanisms governing the methane fluxes are less well understood. Thus it's also more challenging to fill the gaps. Efforts are being made by the PhD student to improve the gap filling of the methane fluxes, most likely using machine learning models.

Footprint analysis
The footprints can be easily analyzed and visualized with Tovitm software. However, this is not convenient for the NOBV datasets, as analyses cannot be automized within the Tovitmsoftware. The TOVI footprint analysis is based on the footprint model by Kljun et al. (2015). For automatization purposes, we will incorporate that footprint model in the standard data processing script. The possibilities for the visualization of the footprints still need to be explored.

Partitioning
The fluxes are split up in respiration and gross primary production. The respiration is assumed to be equal to the night time CO2 fluxes. Then, the gross primary production is calculated by assuming that (1) the respiration during night time is equal to the respiration during day time, and (2) that the day time CO2fluxes are the sum of the gross primary production and the respiration. This is still a fairly basic way of partitioning. The more sophisticated approach, where night-time fluxes are first fitted to a temperature response function, will be implemented later.

References

Elbers, J. A., Jacobs, C. M., Kruijt, B., Jans, W. W., & Moors, E. J. (2011). Assessing the uncertainty of estimated annual totals of net ecosystem productivity: A practical approach applied to a mid latitude temperate pine forest. Agricultural and forest meteorology, 151(12), 1823-1830.

Foken, T., M. Gockede, M. Mauder, L. Mahrt, B. D. Amiro, and J. W. Munger. 2004. Edited by X. Lee, et al. Post-field quality control, in Handbook of micrometeorology: A guide for surface flux measurements, Dordrecht: Kluwer Academic, 81-108.

Foken, T. and B. Wichura. 1996. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. Agricultural and Forest Meteorology, 78: 83-105.

Göckede, M., T. Foken, M. Aubinet, M. Aurela, J. Banza, and co-authors. 2008. Quality control of CarboEurope flux data - Part 1: Coupling footprint analyses with flux data quality assessment to evaluate sites in forest ecosystems. Biogeosciences, 5: 433-450.

Kljun, N. et al.: A simple two-dimensional parameterisation for Flux Footprint Prediction (FFP), Geoscientific Model Development, 8(11), 3695–3713, doi:10.5194/gmd-8-3695-2015, 2015.

Pastorello, G., Trotta, C., Canfora, E., Chu, H., Christianson, D., Cheah, Y. W., Poindexter, C., Chen, J., Elbashandy, A., Humphrey, M., Isaac, P., Polidori, D., Ribeca, A., van Ingen, C., Zhang, L., Amiro, B., Ammann, C., Arain, M. A., Ardö, J., ... Papale, D. (2020). The FLUXNET2015 dataset and the ONEFlux processing pipeline for eddy covariance data. Scientific Data, 7(1), [225]. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0534-3

Wutzler, T., Lucas-Moffat, A., Migliavacca, M., Knauer, J., Sickel, K., Šigut, L., Menzer, O., and Reichstein, M.: Basic and extensible post-processing of eddy covariance flux data with REddyProc, Biogeosciences, 15, 5015–5030, https://doi.org/10.5194/bg-15-5015-2018, 2018.

Eddy Pro User's Guide: https://www.licor.com/documents/1ium2zmwm6hl36yz9bu4
ONEFlux:https://github.com/fluxnet/ONEFlux
REddyProc:https://github.com/bgctw/REddyProc