Meetprotocol NOBV

Inhoudsopgave

Meetprotocol NOBV 1
1 Gasfluxmetingen 2
1.1 Automatische transparante kamers eosense (RU, WENR) 2
1.2 Automatische transparante kamers (VU) 3
1.3 Eddy covariance methode (WU, VU, RU) 4
1.4 Handmatige kamer methode (WENR) 5
2 Omgevingsvariabelen 7
2.1 Grondwaterstand (WENR, Deltares, RU) 7
2.2 Bodemvochtprobes (RU) 11
2.3 Tensiometer (WENR) 12
2.4 Redoxpotentiaal (VU) 16
2.5 Meteosensoren (WU) 16
2.6 Biogeochemie: chemische analysen van bodem en water (B-WARE) 16
3 Bodemdaling 19
3.1 Waterpassen 19
3.2 Extensometers 19
3.3 InSAR 22
3.4 LIDAR 23
4 Overig bodemonderzoek 25
4.1 Bodemkarakteristieken 25
4.2 Microbiologische metingen 29
5 Beheer van het plot 34
5.1 Maaien en opbrengst 34
5.2 Bemesten 35

Lijst met afkortingen
ALB = Aldeboarn
ASD = Assendelft
ROV = Rouveen
VLI = Vlist
ZEG1 = Zegveld standaard plot
ZEG2 = Zegveld N_2O experiment
ZEG3 = Zegveld Lisdodde veld

1 Gasfluxmetingen

1.1 Automatische transparante kamers eosense (RU, WENR)

Met automatische transparante kamers kan continu de uitwisseling van broeikasgassen tussen bodems (met laagstaande vegetatie) en atmosfeer hoog-frequent gemeten worden op kleine schaal (~m^2). De inzet van kamersystemen maakt het daarnaast mogelijk om continue metingen te verrichten aan de netto ecosysteem CO_2 uitwisseling, welke nodig is om seizoens en jaarlijkse koolstofbudgetten op te stellen, en om de relatie met omgevingsvariabelen (e.g. temperatuur en fotosynthetisch actieve straling) nauwkeurig te kunnen modelleren.

1.1.1 Installatie

- Dit type kamers staan in de meetplots in Zegveld, Aldeboarn en Rouveen
- Op het drainageplot staan drie kamers op verschillende afstanden van de drain (op de drain, ¼ drainafstand en ½ drainafstand). Op het referentieperceel staan 5 kamers, waarvan er 2 in een niet bemest gedeelte staan voor bepalen van het effect van bemesting op broeikasgasfluxen.
- De kamers staan op frames welke 15 cm diep de bodem in zitten om gasuitwisseling van een dichte kamer met de omgeving te beperken. Er staan drie rijen met frames, waarover de kamers elke 2 weken verplaatst worden om een effect van de kamers op het gras en de bodem zoveel mogelijk te beperken.
- Bij installatie moet rekening worden gehouden met de hoek van instraling door de zon. De achterkant van de kamer (met elektronicakastje) moet uit de richting van de zon staan, zodat schaduwvorming zoveel mogelijk voorkomen wordt. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat andere objecten binnen de plot geen schaduw op de meetkamers werpen, zodat de mate van instraling door de zon zoveel mogelijk representatief is voor de rest van de plot/het perceel.
- Voor de positionering van de arm met ventilator en thermistor is het belangrijk dat deze omhoog gericht is, waarbij de thermistor zich 20-25 cm boven de grond bevindt en boven het cilindervormige deel van de kamer uit komt. Daarmaast moet de thermistor met het schild naar het zuiden georiënteerd worden, zodat opwarming van de thermistor door instraling van direct zonlicht wordt voorkomen.

1.1.2 Onderhoud

- Houdt rekening met windkracht en -richting. Bij storm is het goed om een kleinere openingshoek van de kamers in te stellen, zodat schade voorkomen wordt.
- Er dient niet te dicht gelopen te worden in de buurt van de kamers om de metingen niet te beïnvloeden. Idealiter blijft men zoveel mogelijk op de looppaden.
- Elke twee weken dient:
    - De tochtstrip tussen kamer en frame gecontroleerd en, indien nodig, vervangen te worden.
    - Het plexiglas van de kamers worden schoon gemaakt (microvezeldoek & warm water)
    - Een juiste werking van het systeem visueel geïnspecteerd te worden
    - De grashoogte binnen de kamers gemeten te worden en in geval van maaien, voor en na het maaien.
    - Werking van de ventilatoren in de kamers gecontroleerd te worden en gecontroleerd te worden of ventilatoren boven het gras uitsteken
    - Noteer het percentage gras t.o.v. andere plantensoorten

- Data van het systeem gedownload te worden
- Gecontroleerd te worden of graslengte binnen kamers representatief is voor de rest van het perceel. Indien nodig dient het gras gemaaid te worden.

1.1.3 Dataverzameling

De volgende variabelen worden met een ~0.5 Hz frequentie gemeten door het kamersysteem, inclusief de CO_2analyzer:

- De datum en tijd
- Aantal seconden sinds het sluiten van de kamer
- De actieve analyzer poort
- De CO_2en H_2O concentratie (in µmol mol^{-1})
- De luchtdruk en temperatuur van de lucht in de kamer
- Het ID van de actieve kamer

1.1.4 Data output/opslag/transmissie

Data wordt op het kamersysteem zelf gelogd en moet daar m.b.v. een laptop van gedownload worden. We werken toe naar een oplossing om alle bovengenoemde data ook via telemetrie te verkrijgen. Momenteel wordt wel de ruwe CO_2 en H_2O data al telemetrisch verzonden.

1.1.5 Data uitwerking

Eosense heeft software waarmee de data geanalyseerd kan worden. Deze software werkt echter niet zonder problemen en voldoet niet aan alle wensen. Fluxen kunnen op meerdere manieren berekend worden en een vergelijking van methodes is verstandig. Momenteel werken we aan eigen software voor data-analyse. Voor transparante meetkamers is momenteel nog geen gestandaardiseerde procedure beschikbaar voor dataverwerking en quality control (Vargas et al., 2011; Galvagno et al., 2017, Zhao et al., 2018). Met de ervaring van het eerste meetjaar zal komend meetjaar gewerkt worden aan een dergelijke procedure.

1.1.6 Referenties

- Vargas, R., Carbone, M.S., Reichstein, M., Baldocchi, D.D., 2011. Frontiers and challenges in soil respiration research: from measurements to model-data integration. Biogeochemistry 102, 1–13. https://doi.org/10.1007/s10533-010-9462-1.
- Galvagno, M., Wohlfahrt, G., Cremonese, E., Filippa, G., Migliavacca, M., di Cella, U.M., van Gorsel, E., 2017. Contribution of advection to nighttime ecosystem respiration at a mountain grassland in complex terrain. Agric. For. Meteorol. 237–238, 270–281. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.018.http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192317300515.
- Zhao, P., Hammerle, A., Zeeman, M., & Wohlfahrt, G. (2018). On the calculation of daytime CO2 fluxes measured by automated closed transparent chambers. Agricultural and forest meteorology, 263, 267-275.

1.2 Automatische transparante kamers (VU)

De kamers van de VU zijn geconstrueerd door de technische afdelingen van de Faculteit der Bètawetenschappen. Ze bestaan uit een transparante plexiglas cylinder van 40 cm doorsnede en 50 cm hoog, en een mosrubberen rand aan de bovenzijde. De kamers worden geopend en gesloten met een plat transparant deksel aan de bovenzijde, aangestuurd door een pneumatisch mechanisme. Door de druk die het pneumatische systeem op de deksel uitoefent, blijft de kamer goed gesloten, ook bij harde wind. Het mechanisme is geheel aan één zijde van

de kamers geplaatst (Figuur 1). In het midden van de kamer is een in hoogte verstelbare ventilator geplaatst voor homogenisatie van de lucht; aanzuig- en terugvoerpunten voor monstername zijn aan de zijkant van de kamer geplaatst. De kamers zijn niet op een frame geplaatst, om verstoring van de bodem en bodemvochttransport te minimaliseren, ze worden een paar cm diep in de bodem de bodem gedrukt, waarna de exacte kamerhoogte gemeten wordt.

Figure 2.1. VU kamersysteem. Links de kamers, rechts de controlbox met aansturing van de kamers, gasanalyzer en datalogger.

De kamers worden aangestuurd vanuit een control box waarin ook de gasanalyzer (LiCor 830 CO_2 analyzer), en een Campbell datalogger geplaatst is. In de kamers wordt ook de luchttemperatuur gemeten. Een membraanpomp zorgt voor transport van lucht uit de kamers naar de control box en gasanalyzer. De meetwaarden die geregistreerd worden zijn CO_2 H_2O, sensor temperatuur en vele andere parameters van de gasanalyzer, welke kamer gesloten is, en luchttemperaturen in de kamers.
Een eerdere variant van dit systeem met kleinere kamers (doorsnede 30 cm en hoogte 40 cm) en een externe gasanalyzer (Los Gatos CO_2/CH_4 analyzer) is tot april 2020 gebruikt op de locatie Assendelft.
De meetfrequentie van de gasanalyzer is 1 x per seconde. Over de meetwaarden (in ppm CO_2) van een periode van 12-72 seconden wordt een robuste lineaire regressie geschat. Vervolgens wordt aan de hand van temperatuur, luchtdruk, kamervolume en -oppervlak de CO_2 toename geconverteerd naar CO_2 flux in mol $s^{-1}m^{-2}$. Hiervoor zijn R en Matlab programma's ontwikkeld. Op dit moment is nog discussie over de berekeningswijze; zowel het aantal datapunten als de regressiemethode kunnen nog veranderen.
Vervolgens worden de fluxen opgesplitst in dag- en nachtfluxen aan de hand van de tijden van zonsopkomst en zonsondergang, en worden onbruikbare data (bijvoorbeeld data verzameld tijdens verplaatsen van de kamers) uitgefilterd. De fluxen worden geaggregeerd naar gemiddelden per nacht, dag en dag-totaal, voor zowel iedere kamer afzonderlijk als voor alle vier de kamers in totaal.

1.3 Eddy covariance methode (WU, VU, RU)

1.3.1 Principe

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

De eddy covariance methode is gebaseerd op het transport van gassen door de turbulente beweging van de atmosfeer. De richting en snelheid van de luchtbeweging (de eddies) wordt gemeten door windsnelheid in drie richtingen te meten met een meetfrequentie van 10 Hz met een sonic anemometer (R3-50 of WindmasterPro, Gill Instruments). Door op hetzelfde moment met dezelfde frequentie CO_2concentraties dicht bij de sonic anemometer te meten, kan berekend worden hoeveel CO_2 er van de bodem naar de atmosfeer (en omgekeerd) getransporteerd wordt. CO_2 wordt samen met H_2O met een infrarood gas analyzer gemeten (LI7500, LI7500A of LI7500RS, LI-COR Inc.). Alle data worden opgeslagen in een datalogger (in Aldeboarn: Campbell scientific CR1000X) of verwerkt door een speciale processor (in Zegveld: Smartflux-3, Licor Inc.) die per telemetrie data verzenden naar een server of één keer per twee maanden uitgelezen moet worden. In Zegveld is bij het Lisdoddeveld gemeten, waarbij ook methaanfluxen worden gemeten met de Li-7700 open-pad laser gas analyser. De data worden verwerkt in software, waar fluxen per 30 minuten (gebaseerd dus op 18000 datapunten) worden berekend (EddyPro v7.0.6, LI-COR Inc.).

1.3.2 Dataprocessing

De berekende fluxen zijn gefilterd op kwaliteitscriteria voor micrometeorologische omstandigheden (Mauder & Foken 2004). Vervolgens zijn de fluxen gefilterd op de juiste windrichting en een maximale “voetafdruk” van 100 m, zodat we zeker zijn dat de fluxen afkomstig zijn van de perceel waarin we geïnteresseerd zijn. Dat zorgt ervoor dat ~20% van de gemeten fluxen overblijven voor verdere analyses.

Voor het bepalen van de jaarbalans zijn fluxen uit alle windrichtingen genomen, omdat de fluxen per windrichting weinig lijken te verschillen en ook het verschil tussen OWD en controle perceel klein is (zie Resultaten en discussie). Voor de jaarbalans zijn daarom ~55% van de gemeten data gebruikt en de rest gevuld d.m.v een gapfilling methode. Dit is gedaan met de online tool beschikbaar gesteld door het Max Planck Instituut voor Biogeochemistry in Jena, Duitsland (https://www.bgc-jena.mpg.de/bgi/index.php/Services/REddyProcWeb). Deze tool maakt gebruik van de look-up table methode (Wutzler et al. 2018), waarbij binnen een tijdraam van maximaal 14 dagen CO_2 fluxen met dezelfde meteorologische variabelen (zoals globale straling, temperatuur en luchtvochtigheid) worden gebruikt voor het interpoleren van de ontbrekende waarden. Zodoende wordt een continue tijdserie gegenereerd, waarvan de som over het jaar de totale netto CO_2 flux weergeeft.

De gemeten fluxen zijn de uitwisseling van CO_2 tussen bodem en atmosfeer, dit wordt de net ecosystem exchange (NEE) genoemd. Overdag is dit een combinatie van opname van CO_2 van de plant door fotosynthese (ook wel gross primary production, GPP, genoemd) en de respiratie van zowel de planten, de bodem en veenoxidatie (ecosysteem respiratie, R_{eco}). Tijdens de nacht is e gemeten flux gelijk aan de R_{eco}. GPP en R_{eco} kunnen overdag van NEE gescheiden worden met de zogenaamde light-response curve voor GPP en de temperatuursafhankelijkheid van R_{eco} (Reichstein et al., 2005; Lasslop et al., 2010). Deze partioning is onderdeel van dezelfde online tool die gebruikt werd voor de gap filling.

1.3.3 Locatie

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

1.4 Handmatige kamer methode (WENR)

In maart 2019 is op de percelen 13, 14 en 15 en 16 een veldproef aangelegd (N_2O plots), waarin op elk perceel drie objecten met elkaar worden vergeleken: drukdrainage, gangbare slootdrainage

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

2 Omgevingsvariabelen

2.1 Grondwaterstand (WENR, Deltares, RU)

2.1.1 Installatie

In Zegveld is in de oorspronkelijke N_2O pilots is centraal een diepe stijgbuis geplaatst tot onder de veenlaag. De onderkant moet nog worden opgemeten. Deze buis dient tevens als funderingsbuis, hieraan zijn twee peilbuizen bevestigd. Ten noorden van de funderingsbuis staat een peilbuis met een filter op ca 4 m en ten zuiden van de funderingsbuis een peilbuis met een onderkant filter op ca 1,5 m-mv. Beide peilbuizen zijn vastgezet aan de funderingsbuis/diepe filter. Alle freatische buizen zijn voorzien van Ellitracks, die elk uur een grondwaterstand opslaan. 3 van de 12 4-meterfilters zijn voorzien van een Ellitrack, nl de peilbuis in 16 drukdrain, 16 referentie en 13 referentie. In 2 diepe peilfilters zijn Ellitracks gehangen nl. 13 drukdrains en 16 onderwaterdrains. De buizen die niet zijn voorzien van Ellitracks moeten worden meegenomen in de peilronde.
In de uitbreiding van de 2 pilots op perceel 16 zijn in het vak met drukdrains 4 extra freatische peilbuizen geplaatst, deze zijn gefundeerd en voorzien van Ellitracks, ze liggen op 0,5 m van de oostelijke drain, op 1,5 m van de oostelijk en de westelijke drain en een midden (3 m) tussen de drains. Verder is er nog een constructie gemaakt om de waterdruk in de drain te kunnen meten met Ellitracks, deze is niet gefundeerd (Figuur 3.1). In de uitbreiding van de referentieplot zijn 3 gefundeerde freatische peilbuizen geplaatst met een Ellitrack. Aan de zuidkant van de 4 percelen is aan weerszijde met uitzondering nog van de sloot oostelijk van perceel 16 een gefundeerde peilschaal geplaatst. Het peil in de sloten tussen perceel 13-14 en 15-16 wordt dmv Ellitracks gemeten. De peilschalen moeten nog worden opgenomen in de peilronde. Verder liggen er in de percelen nog een groot aantal niet gefundeerde peilbuizen onder een tegel die regelmatig worden gepeild. In het groeiseizoen worden deze 1* per week gepeild en in de winter 1* per twee weken.
De peilbuizen en peilschalen zonder Ellitracks worden toegevoegd aan de peilronde.
De metingen tijdens de peilronde worden genoteerd en opgeslagen in een database.

Figuur 3.1 Constructie op de drain te Zegveld perceel 16 om de waterdruk in de drain te kunnen meten (pijp links) en voor inspectie en doorspoelen drain (pijpen aan de rechterkant).

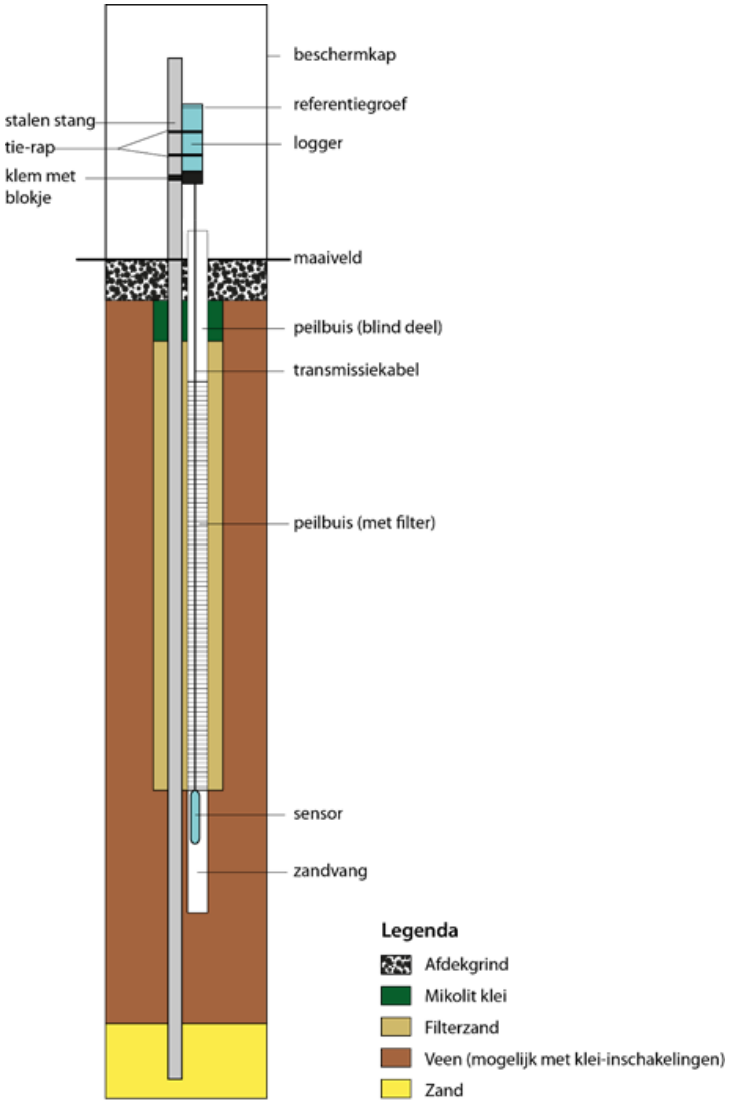
Rouveen en Assendelft

In Rouveen en Assendelft zijn er per meetlocatie in totaal 14 peilbuizen met druksensoren en 2 peilbuizen zonder druksensoren geplaatst. In zowel het referentie- als het drainageperceel is er 1 diepe peilbuis geplaatst met het filter in de zandondergrond, waardoor de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket kan worden bepaald. Daarnaast is er per perceel 1 peilbuis met filter op grotere diepte, maar nog in de veenlaag, geplaatst, en naast elk perceel 1 peilbuis in de sloot. Ook wordt er 1 meting in de drain gedaan (met eenzelfde constructie als in Zegveld en Vlist; Figuur 3.1). De overige peilbuizen meten de freatische grondwaterstand.

Alle peilbuizen zijn gefundeerd. Dit om te voorkomen dat de peilbuis met druksensoren meebewegen met de omliggende grond. Dit zou foutieve waarden van de grondwaterstand opleveren, waarbij de kans dat dit gebeurd groot is aangezien veldmetingen van bodembeweging in veenweidegebied (binnen pilot Rouveen) een sterke seizoensgebonden dynamiek hebben laten zien, waarbij de toplaag met orde grootte van centimeters op en neer beweegt gedurende het jaar. Voor het plaatsen van een gefundeerde peilbuis is in Rouveen eerst handmatig geboord tot aan de gewenste diepte van de onderkant van het filter. In dit openstaande gat is vervolgens een stalen buis tot in een zandige laag onder het veen gehamerd. In Rouveen betreft het de Pleistocene zandondergrond op een diepte van ongeveer 4 m-maaiveld. Vervolgens is een peilbuis gemaakt met filter en een blind deel zandvang onder het filter. De peilbuis is in het gat geplaatst waarbij het blinde deel (de zandvang) circa 30 cm in het veen is geduwd. Hierna is het boorgat aangevuld met filterzand en aan de bovenkant afgedicht met mikoliet (klei prop van 10 cm). In Assendelft, waar de Pleistocene zandondergrond veel dieper onder maaiveld ligt, is er eerst een sondering gezet om de diepte van het (stabiele) zand te bepalen. Vervolgens is hier een diepe stalen peilbuis met een 20 cm lang filter onderin met het sondeervoertuig weggedrukt.

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

De top van alle stalen fundeerstaven en de top van alle peilbuizen zijn ingemeten met waterpassen ten opzichte van de NAP-hoogte van het referentiepunt in het betreffende perceel. In Rouveen zijn de referentiepunten gemaakt voor het waterpassen hiervoor gebruikt. In Assendelft zijn de gefundeerde diepe peilbuizen als referentiepunt gebruikt. Ook is de afstand van de top van de peilbuis en/of de top van de stalen staaf tot de referentiegroef op de logger ingemeten. Deze waarden, in combinatie met de kabellengte (afstand referentiegroef tot de sensor), worden gebruikt om de NAP hoogte van het grondwaterniveau te bepalen.



Figuur 3.2. Schematische weergave van de standaard peilbuisconstructie, zoals gebruikt in Rouveen en Assendelft.

2.1.2 Onderhoud

Het idee is om elke kwartaal de peilbuizen met Ellitracks handmatig te peilen ter controle van de Ellitracks. De maaiveldhoogte van de niet gefundeerde peilbuizen is in het voorjaar opgemeten. Er wordt zo nu en dan wat gras weggemaaid bij de meetapparatuur

2.1.3 Dataverzameling

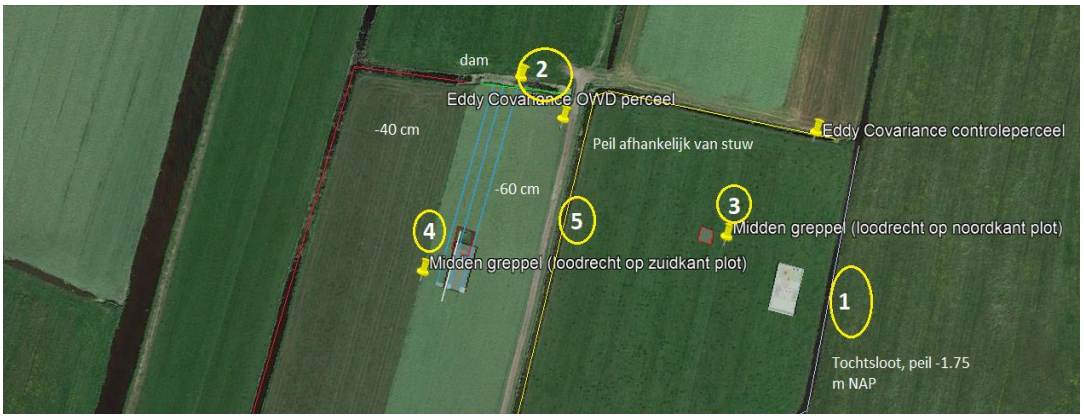
De Ellitracks geven de grondwaterstand per uur, en deze gaan omgerekend worden naar NAP-waarden, en de peilronde is wekelijks in het groeiseizoen en tweewekelijks in de winter.

2.1.4 Data output/opslag/transmissie

Via de Ellitrack site kunnen we zelf de data volgen, de data worden opgeslagen in een grote centrale database. maar dat is nog in uitvoering.

Aldeboarn

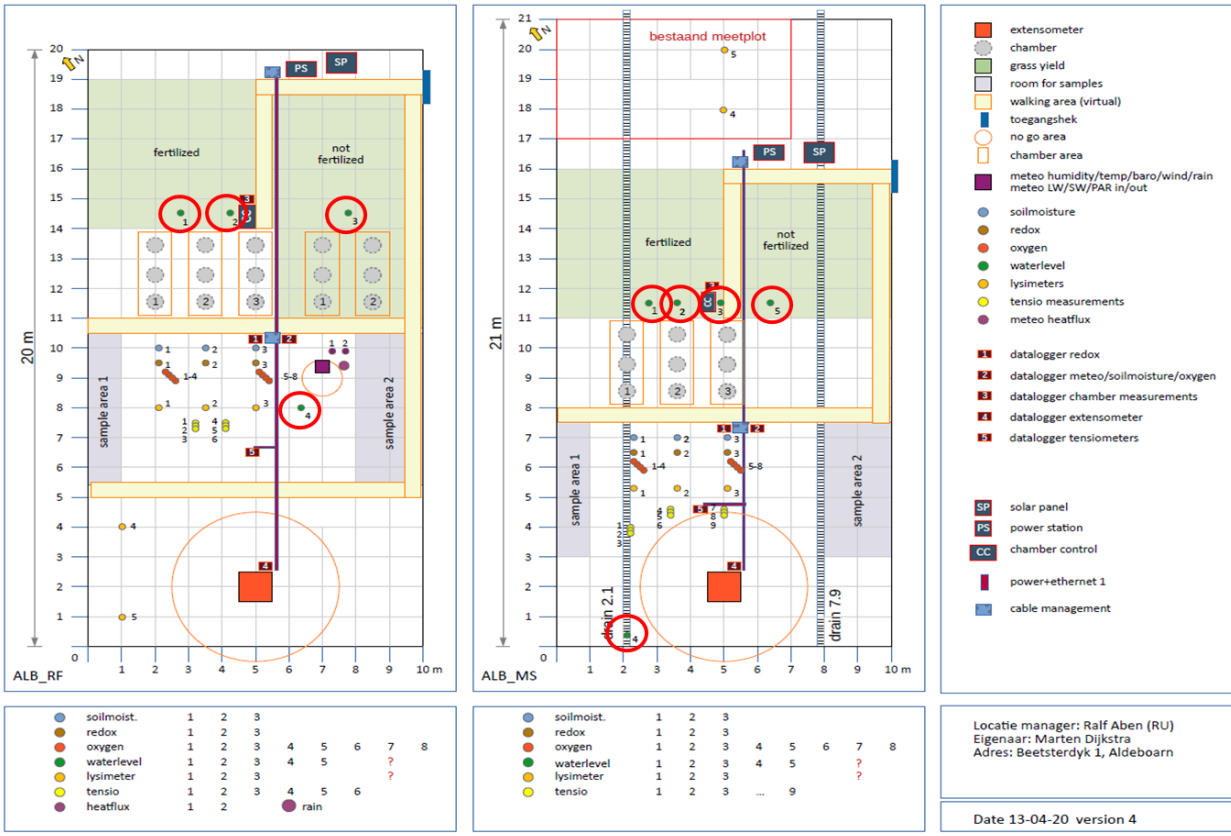
In Aldeboarn zijn momenteel 12 peilbuizen met temperatuur- en druksensoren (type Ellitrack-D, Leiderdorp Instruments) geplaatst. Twee additionele peilbuizen met druksensoren zullen begin oktober geplaatst worden (peilbuis in Y-stuk van drain en peilbuis met filter in de zandlaag). Van de huidige 12 peilbuizen staan er vijf buiten de plots en 7 binnen de plots. Op het referentieperceel wordt het peil van de oostelijke tochtsloot gemeten, het peil van de sloot die ten westen en noorden van het perceel loopt (ook grenzend aan oostkant van maatregelperceel), en van de greppel die zich ten westen van het meetplot bevindt (figuur 3.3). In het maatregelperceel wordt het peil van de noordelijke sloot—waar de drainbuizen mee verbonden zijn—gemeten en het peil van de greppel die zich ten westen van het meetplot bevindt.



Figuur 3.3 Locaties van peilbuizen in Aldeboarn buiten de meetplots

Binnen de het maatregelplot (zie figuur 3.3) wordt de freatische grondwaterstand binnen het veenpakket gemeten direct naast, op een ¼ drainafstand en op een ½ drainafstand van de westelijk gelegen drain. De drie peilbuizen bevinden zich op korte afstand (<1 m) van de meest noordelijke rij van frames v/d automatische kamers. Aanvullend wordt ook de grondwaterstand op een ¼ drainafstand van de oostelijk gelegen drain gemeten. Binnen het referentieplot meten 2 peilbuizen de freatische grondwaterstand in het veenpakket ten noorden van de noordelijkste rij kamerframes in het bemeste plot en 1 peilbuis boven de noordelijkste rij kamerframes in het onbemeste plot.

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



Figuur 3.4 Locaties van peilbuizen in Aldeboarn binnen de meetplots

2.2 Bodemvochtprobes (RU)

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

2.2.1 Installatie

- In het drainageplot zijn 3 Sentek Drill & Drop probes geïnstalleerd op verschillende afstanden van de drain (vlak naast drain, ¼ drainafstand en ½ drainafstand). Locaties voor de sensoren staan vermeld in de tekening van de betreffende locaties en dienen zorgvuldig uitgemeten te worden in het veld, voordat installatie plaatsvindt. Voor de probe die vlak naast de drain wordt geplaatst is het zaak de drain voor te prikken, zodat die niet per ongeluk doorboort wordt.
- Op het referentieplot zijn ook 3 probes geïnstalleerd, waarvan twee Sentek Drill & Drop en 1 GroPoint profile, ter vergelijking. De probes in het referentieplot staan op ca. 1 – 1,5 m afstand van elkaar.
- Beide type probes zijn 120 cm lang. De Sentek Drill & Drop meet bodemvocht en temperatuur op intervallen van 10 cm. De GroPoint profile meet bodemvoht over de gehele lengte van de probe, opgedeeld in segmenten van 15 cm. Temperatuur wordt welke 10 cm gemeten.
- De probes zijn geïnstalleerd m.b.v. het bijbehorende gereedschap en volgens de richtlijnen van de fabrikant. Uitzondering hierop is de GroPoint. Deze is geïnstalleerd m.b.v. het gereedschap van de Sentek probe, omdat het geleverde gereedschap voor de GroPoint installatie ongeschikt bleek.

2.2.2 Onderhoud

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

2.2.3 Dataverzameling

Beide probes voeren elke 30 minuten een meting uit. Bodemvochtwaardes worden gelogd als percentage volumetrisch vochtgehalte.

2.2.4 Data output/opslag/transmissie

Beide type sensoren zitten aangesloten op een Campbell datalogger (type CR1000x of CR310). Data wordt via een modem verzonden naar een server van de VU.

2.2.5 Data uitwerking

Kalibratie van sensoren is mogelijk, maar erg lastig te bereiken in een niet-homogene bodem (e.g. verschillende veen en kleilagen). Komend jaar kunnen bodemmonsters genomen worden ter vergelijking met sensorwaardes. Vergelijkbaar kan data van tensiometers vergeleken worden met data van de bodemvochtsensoren. Ook zonder deze vergelijkingen geven de geobserveerde veranderingen in bodemvocht al veel info. Verder gelogde minimum (droge bodem in zomer) en maximum (compleet waterverzadigd in winter/voorjaar)

2.3 Tensiometer (WENR)

2.3.1 Installatie

Tensiometers zijn geinstalleerd in Aldeboarn, Rouveen en Zegveld, De installatie-procedure was zeer vergelijkbaar voor de verschillende lokaties. In alle gevallen zijn er 9 tensiometers geinstalleerd in de MP plot en 6 in de RF plot, steeds in setjes van 3 dieptes. In de MP plot zijn de tensiometers op 3 afstanden van de drain geinstalleerd, namelijk bij de drain, op 1/4 afstand tussen drains (bij 6 afstand drains dus op 1.5 m van de drain) en midden tussen de drains. De dieptes voor installatie zijn bepaald op basis van de uitgevoerde profielbeschrijvingen. Hierbij is er op gelet dat de 3 tensiometers in 3 verschillende lagen kwamen; bovengrond, veraard veen en min of meer ongestoord veen. Ook gegevens over grondwaterstanden zijn betrokken bij het bepalen van de installatiediepte. Op de kaartjes van de plots is ingetekend waar de kuilen gegraven moesten worden voor installatie van de tensiometers.
Alle tensiometers zijn vanuit de kuilen onder een hoek geinstalleerd. Voor de bovenste tensiometers was dit een hoek naar boven, om te voorkomen dat water langs de tensiometer zou gaan stromen. Voor lagere tensiometers was naar boven instlaleren niet mogelijk en is gekozen voor een hoek naar beneden, die voorkomt dat er water op de platte tensiometers blijft staan. Ter plekke van de punt van de tensiometer is een monster genomen voor bepaling van het organisch stofgehalte. De positie van de kuilen is gedocumenteerd, zie figuur x.

Tabellen 1-3 geven informatie over lokaties en dieptes van de tensiometers in Aldeboarn, Rouveen en Zegveld.

Tabel 1: Installatiedieptes en bodemtype van installatie voor tensiometers in Aldeboarn.

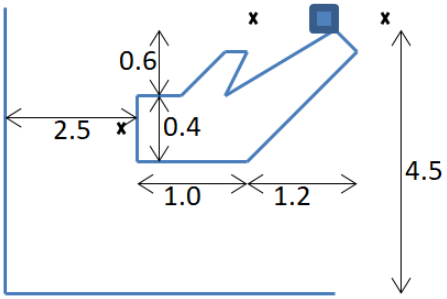
	Diepte [cm -mv]	Type	Diepte [cm -mv]	Type	Diepte [cm -mv]	Type
Referentie 1	20	Klei	45	Veen	70	Veenmos
Referentie 2	30	Klei	50	Veen	80	Veenmos
Maatregel 1	20	Klei	35	Klei	50	Veen
Maatregel 2	20	Klei	40	Veen	60	Veenmos
Maatregel 3	30	Klei	50	Veen	70	Veenmos

Tabel 2: Installatiedieptes en bodemtype van installatie voor tensiometers in Rouveen.

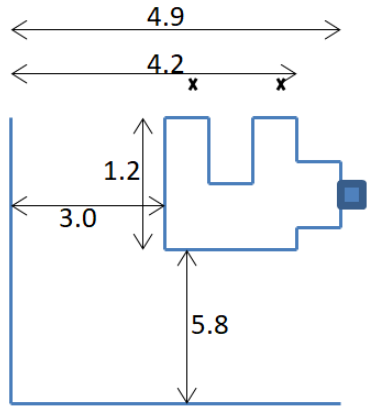
	Diepte [cm -mv]	Type	Diepte [cm -mv]	Type	Diepte [cm -mv]	Type
Referentie 1	20	Klei	35	Kleiig veen	60	Veen
Referentie 2	33	Kleiig veen	50	Veen	80	Veenmos
Maatregel 1	20	Klei	32	Kleiig veen	45	Veen
Maatregel 2	20	Klei	30	Kleiig veen	50	Veen
Maatregel 3	32	Kleiig veen	50	Veen	70	Veenmos

Tabel 3: Installatiedieptes en bodemtype van installatie voor tensiometers in Zegveld.

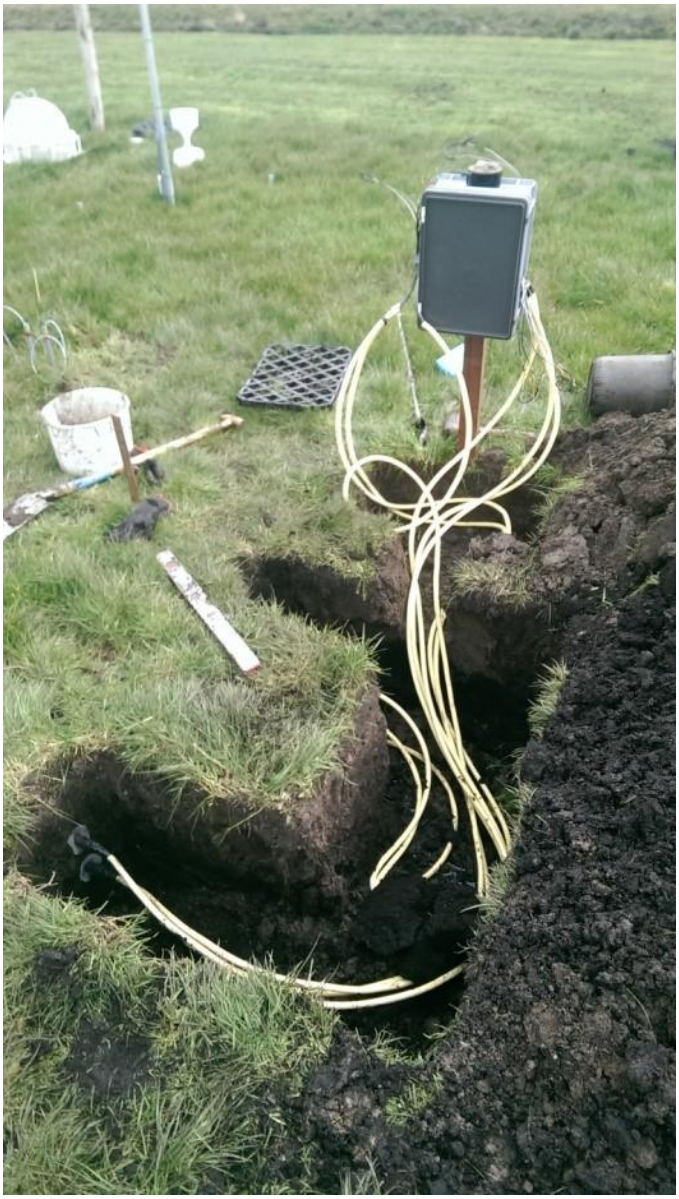
	Diepte [cm -mv]	Type	Diepte [cm -mv]	Type	Diepte [cm -mv]	Type
Referentie 1	25	Veraard veen	55	Veen	90	Bosveen
Referentie 2	20	Veraard veen	40	Verweerd veen	60	Veen
Maatregel 1	20	Veraard veen	35	Verweerd veen	50	Veen
Maatregel 2	20	Veraard veen	40	Verweerd veen	60	Veen
Maatregel 3	35	Verweerd veen	50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



MP



RF



Figuur 3.3 Installatiekuilen tensiometers Aldeboarn. Boven: kaartjes. Midden: MP plot, Onder: RF plot.

2.3.2 Onderhoud

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

2.3.3 Data verzameling

De tensiometers meten iedere twee minuten druk (de som van luchtdruk en vochtspanning), in kPa, en temperatuur, in graden Celcius. Van ieder half uur worden de meetwaarden opgeslagen en wordt een standaardafwijking van de gemeten waarden in het afgelopen half uur bepaald, ter indicatie van de stabiliteit van de metingen. Tevens wordt de sensor status opgeslagen voor het herkennen van eventuele problemen.

2.3.4 Data output/opslag/transmissie

De half-uurlijkse waarden blijven opgeslagen op de datalogger en worden eens in de paar uur doorgegeven aan de research drive van de VU.

2.4 Redoxpotentiaal (VU)

We gebruiken sensoren die het redoxprofiel in de bodem meten. Op 6 dieptes, waarvan er 5 gelogd worden, wordt het redox potentiaal ten opzichte van een referentie electrode gemeten. De kunst bij het meten van redoxsignalen is om een onverstoord spanningsverschil over een hele grote zuivere weerstand te meten. Dit laatste is zeker niet triviaal, maar lukt goed met de Cambell CRX1000 datalogger. Wij hebben voor redoxsensoren gekozen van Paleoterra uit Amsterdam die redoxpotentialen meten op 10,30, 50, 70, 90 en 110cm waarvan alleen 110cm niet gelogd wordt. Op elk plot staan 3 van deze redox-profiel sensoren. Op het referentie plot kunnen deze beschouwd worden als duplicaten, op het OWD-maatregel perceel staat 1 sensor bij de drain, 1 sensor op een kwart en 1 sensor op een halve drainafstand van de drain. De referentie sensor hangt in een grondwaterbuis en dient elke 6 maanden vervangen te worden.

2.5 Meteosensoren (WU)

Op alle permanente sites is een eenvoudig, continue en automatisch weerstation geinstalleerd. De variabelen die hier gemeten worden zijn:
1 stralingscomponenten, van alle zowel inkomend als gereflecteerd:
kortgolvig, langgolvig, PAR (400-700 nm) en NIR (700-1000 nm). Uit de eerste twee kan de netto beschikbare energie worden afgeleid en de albedo van het landoppervlak, uit de PAR de beschikbare straling voor fotosynthese, en uit een combinatie van PAR en NIR wordt de NDVI berekend, een land-index voor productiviteit (‘groenheid’) van het gras die ook routinematig uit remote sensing wordt bepaald.
2 relatieve luchtvochtigheid en luchttemperatuur, tevens luchtdruk.
3 windsnelheid en windrichting
Deze variabelen worden elke minuut gemeten, en opgeslagen/verstuurd door een campbell CR1000x datalogger.

2.6 Biogeochemie: chemische analysen van bodem en water (B-WARE)

Aan de bodem- en watermonsters zijn verschillende analyses uitgevoerd. Hieronder worden de analysemethoden kort toegelicht.

2.6.1 Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid

Het vochtpercentage van het verse bodemmateriaal werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal te drogen gedurende 48 uur bij 60 oC. Omdat de bakjes precies tot aan de rand werden afgevuld (volume = 40 ml) konden later ook de concentraties worden omgerekend naar mol per liter bodemvolume. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal, na drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550 oC. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem.
In veenbodems die langdurig ontwaterd worden nemen de organisch stofgehalten af; als veen minder afgebroken is (veraard is) verwacht je hoge organisch stofgehalten.

2.6.2 Destructie (totaal concentraties in de bodem)

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bepaalde elementen/nutriënten in het bodemmateriaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen gedroogde bodem afgewogen in teflon destructievaatjes. Aan het bodemmateriaal werd 4 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO3, 65%) en 1 ml waterstofperoxide (H2O2, 30%) toegevoegd en geplaatst in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestrueerd in gesloten teflon vaatjes en na afkoelen werden het destruaat nauwkeurig overgebracht en aangevuld tot 100 ml met milli Q water. De monsters werden in polyethyleenpotjes bij 4 oC bewaard voor verdere analyse. De concentraties fosfor (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), ijzer (Fe), mangaan (Mn), zwavel (S), silicium (Si) en aluminium (Al) werden bepaald. De zo bepaalde elementen worden in het rapport aangeduid als P—tot, Ca-tot, Mg-tot, K-tot, Fe-tot, Mn-tot, S-tot, Si-tot en Al-tot. Concentraties van elementen werden berekend in mmol per liter bodem.

2.6.3 C/N analyse

Een deel van het verzamelde bodemmateriaal werd fijngemalen in een kogelmaler, vervolgens werd de totale hoeveelheid koolstof en stikstof bepaald. Hiertoe werd een klein deel (3 mg) van het gemalen materiaal in een tinnen container geplaatst waarna het in een CNS element analyser (EA NA 1500 en EA100 van Carlo Erba-Thermo Fisher Scientific) werd geanalyseerd.

2.6.4 Olsen-extractie (plantbeschikbaar P in de bodem)

Plantenbeschikbaar fosfaat werd met behulp van een Olsen-extractie (Olsen e.a.,1954) bepaald. Het principe van deze extractiemethode is dat natriumbicarbonaat (NaHCO3) zorgt voor een daling van de concentratie opgeloste calciumionen via de vorming van onoplosbaar calciumcarbonaat (CaCO3). Hierdoor stijgt de concentratie opgelost fosfaat. Natriumbicarbonaat brengt ook de labiele, voor planten snel beschikbare, proportie van de organische fractie in oplossing. Voor de Olsen-extractie werd aan 3 gram droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l-1 natriumbicarbonaat (NaHCO3) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,5 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 r.p.m.) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bij 4 oC bewaard tot verdere analyse. De Olsen-P concentraties werden berekend in µmol per liter bodem.

2.6.5 Zout-extractie

In de zoutextracten werd eerst pH van de bodem bepaald. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml zoutextract (0,2M NaCl) gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons en het filtraat dat gemeten werd op de ICP wordt aangezuurd en opgeslagen voor analyse. Vervolgens werd de hoeveelheid NO3, NH4, Al en Ca bepaald, alsmede de hoeveelheid P en kationen, gemeten in het extract op de ICP en Autoanalyser.

2.6.6 Oxalaat-extractie

Met een oxalaatextractie kan de concentratie ijzer- en aluminiumgebonden fosfaat worden bepaald. Hiervoor werd vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 2,5 gram droog materiaal en met 50 ml extractiemedium ((COONH4)2.H2O: 0,12 mol l-1 en H2C2O4: 0,12 mol l-1) uitgeschud op een schudmachine bij 105 rpm. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons en het filtraat werd niet-aangezuurd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

2.6.7 Watermonsters

Bemonstering oppervlakte-, grondwater en bodemvocht

Oppervlaktewatermonsters werden 10 cm onder het wateroppervlak verzameld en luchtdicht afgesloten in HDPE potten. Voor het bemonsteren van grondwater werd de grondwaterbuis leeggepompt waarna vers toestromend grondwater werd verzameld in luchtdicht afgesloten HDPE

potten. Bodemvocht werd anaeroob verzameld met ceramische cups (Eijkelkamp Agrisearch Equipment) waaraan een vacuüm getrokken 60 ml injectiespuit werd verbonden.
Standaardmetingen oppervlakte-, grondwater en bodemvocht
De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl2elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO2 en HCO3) werd bepaald met behulp van infrarood gas analyse (ABB Advance Optima IRGA). De alkaliniteit werd bepaald door een deel van het monster te titreren met 0,01 mol l-1 zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. De turbiditeit van de oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een Dentan Turbidimeter (model FN-5). De extinctie (450 nm) van de oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een Biotek plaatreader. De monsters voor de auto-analyzer werden bewaard bij een temperatuur van –20 ºC tot aan de analyse. De monsters voor de ICP-OES werden aangezuurd voor analyse en bewaard bij 4 ºC.De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl2 elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO2 en HCO3) werd bepaald met behulp van infrarood gas-analyse (ABB Advance Optima IRGA). De alkaliniteit werd bepaald door een deel van het monster te titreren met 0,01 mol l-1zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. De monsters voor de auto-analyzer werden bewaard bij een temperatuur van –18 ºC tot aan de analyse. De monsters voor de ICP-OES werden aangezuurd voor analyse en bewaard bij 4 ºC.

2.6.8 Opgelost methaan en sulfide

Aanvullend poriewater werd anaeroob verzameld voor de analyse van de methaan en sulfideconcentratie doormiddel van 12 ml vacuüm glazen exetainers aan de slang van de keramische cup te koppelen ((Labco exetainer®, High WycimbeLampeter, UK). Vooraf was 0,5 ml 1M HCl in de exetainers gedaan om de microbiële activiteit te stoppen. De methaan- en sulfideconcentraties zijn vervolgens in de gasfase van de exetainer bepaald (na verwijdering van het vacuumm met stikstofgas) doormiddel van gaschromatografie. Na analyses is de concentratie in de gasfase omgerekend naar de concentratie in het bodemporiewater met gebruik van de wet van Henry. De methaanconcentratie werd bepaald met behulp van een Hewlett-Packard 5890 gaschromatograaf (Avondale, California). De sulfideconcentratie werd bepaald met behulp van een 7890B gaschromatograaf (Agilent Technologies, Santa Clara, USA).

2.6.9 TOC/DOC en TON/DON

TOC (totaal organisch koolstof), TN (totaal stikstof) en/of DOC (opgelost organisch koolstof), DON (opgelost organisch stikstof) werd in water gemeten met behulp van een TOC-L CPH/CPN analyser (Shimadzu). Vooraf 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 CO2, NO en NO2. Deze gassen werden vervolgens gemeten, CO2 met een Niet Dispersieve Infrarood (NDIR) sensor en NO en NO2met een chemiluminiscentie detector (CLD).

2.6.10 Elementenanalyse (ICP en Auto-analysers)

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific of, ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO3-), ammonium (NH4+) en fosfaat (PO43-) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl-) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na+) en kalium (K+) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

3 Bodemdaling

3.1 Waterpassen

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

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

3.2 Extensometers

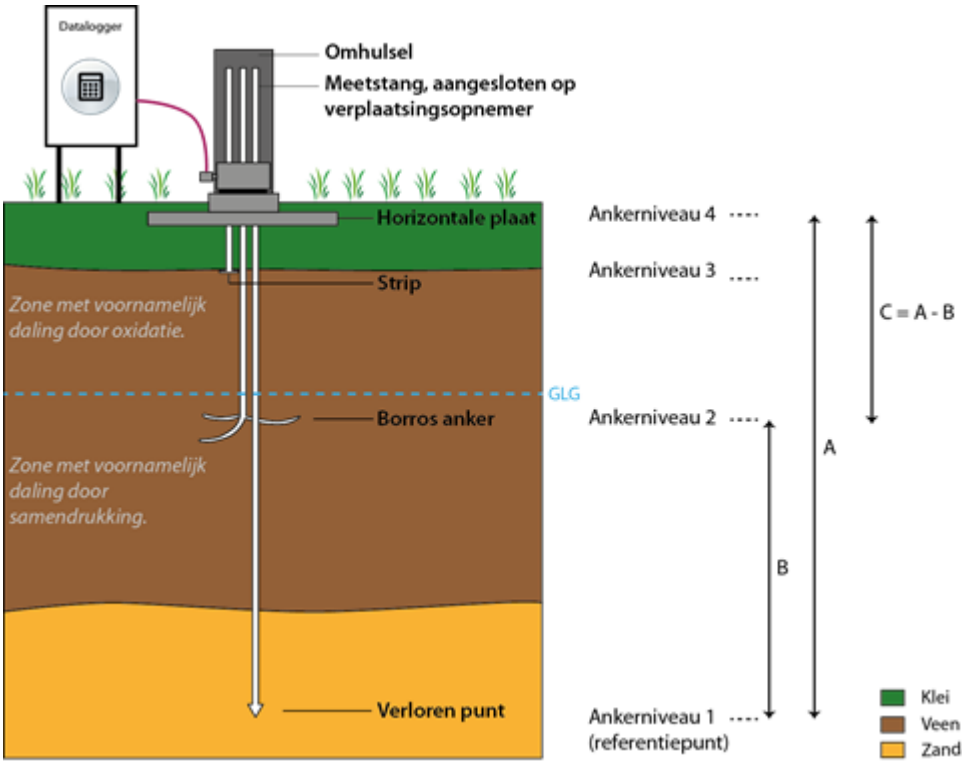
Een extensometer meet op één locatie doorlopend de beweging van verschillende (anker)niveaus in de ondergrond. Hieruit kan de bijdrage van verschillende bodemlagen, c.q. processen, worden afgeleid (bijvoorbeeld, de bijdrage van de onverzadigde zone tussen maaiveld en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) is C = A – B in Figuur 4.1). Op de verschillende niveaus wordt gebruik gemaakt van verschillende type ankers:

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

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

- Ankerniveau 2 is een Borros anker, welke onder de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) is geplaatst. De GLG is bepaald op basis van lokale grondwaterstandsmetingen en/of grondwaterputgegevens uit het Dinoloket. Voor het plaatsen van het Borros anker is voorgeboord met een guts. Nadat het anker op diepte is gebracht zijn de ankerhaken aan de onderkant van de staaf hydraulisch in de naastgelegen slappe bodemlaag gedrukt. Dit niveau meet de beweging veroorzaakt door het veen tussen dit punt en het dieper gelegen referentiepunt (voornamelijk veroorzaakt door samendrukking; B in Figuur 4.1).
- Ankerniveau 3 bestaat uit een staaf met haaks daarop een strip die met de hand onder de vaak kleiige toplaag is gedrukt (circa 0.4 m-maaiveld). Dit niveau meet de bijdrage van de veenlaag aan de totale bodemdaling. Samen met anker 4 kan ook de bijdrage van de toplaag worden bepaald.
- Ankerniveau 4 bestaat uit een vierkante geperforeerde RVS plaat van 0.4 x 0.4 meter die is ingegraven op 5 cm onder maaiveld. De plaat zorgt ervoor dat dit niveau met de grond meebeweegt. Dit niveau meet de totale beweging van de grondlagen tussen grofweg maaiveld en het referentiepunt in het zand (A in Figuur 4.1). Het is niet mogelijk om de horizontale plaat precies op maaiveld te plaatsen omdat dat te verstoringsgevoelig is voor bijvoorbeeld grasgroei.

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



Figuur 4.1 Schematische weergave van het extensometer meetsysteem. Meerdere Borros ankers kunnen worden toegevoegd op andere diepten in het veenpakket..

Rondom de ankerstaven van ankers 1 t/m 4 is een pvc buisje met een schuifconstructie aangebracht om kleef en krachten door de inklinkende grond op de meetstaven te voorkomen. De ankerstaven

komen uit in het opnemerhuis. Het opnemerhuis is met een flens bevestigd op de RVS plaat van anker 4. In het opnemerhuis worden met verplaatsingsopnemers de hoogteveranderingen van alle ankers ten opzichte van anker 1 gemeten. Er wordt gebruik gemaakt van trillende snaar sensoren. Het meetpunt wordt afgeschermd met een beschermkap die tot ~30-35 cm boven maaiveld uitsteekt (Figuur 4.2).

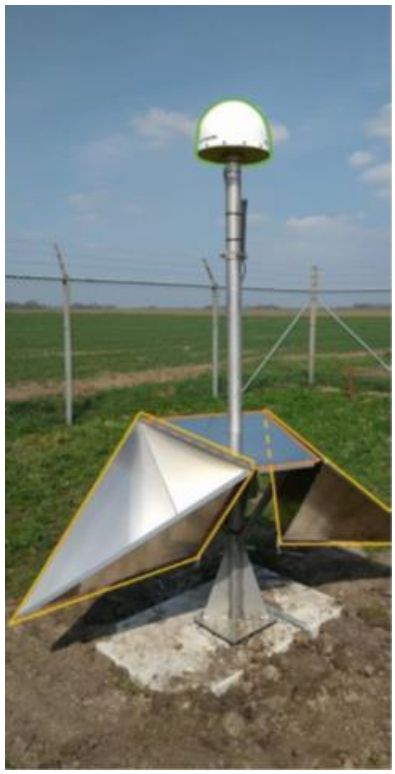
Figuur 4.2 Linksboven: Meetstang met Borros anker met pvc beschermbuis over de ankerstang en een schuifconstructie afgedekt met geotextiel. Onderaan de buis is een verloren punt met kabel bevestigd aan de meetstang. Rechtsboven: stalen buis waarmee het diepste anker in het zand is geheid. Linksonder: de top van de afgewerkte extensometer met een RVS plaat, flens, opnemerhuis. Rechtsonder: De meetsensoren van de extensometer, afgedekt met een kap, zijn met kabels bevestigd aan een datalogger.

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

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

3.3 InSAR

InSAR staat voor *Interferometric Synthetic Aperture Radar*. InSAR gebruikt radarbeelden die van de aarde worden gemaakt met een satelliet. Beelden die op verschillende momenten van dezelfde plek zijn gemaakt worden gebruikt om bodemdaling uit af te leiden. Dat gebeurt voor reflectiepunten aan het oppervlak die een consistent (niet te sterk wisselend en daarmee goed te interpreteren) signaal terugkaatsen. Goede reflectiepunten zijn vooral te vinden in de bebouwde omgeving (delen van daken of het wegdek) en de verticale beweging kan voor die punten vaak worden bepaald met een nauwkeurigheid van minder dan een millimeter per jaar. In een weiland is de consistentie van gereflecteerde radarsignalen kleiner. Daardoor is het voor een weiland moeilijker om met InSAR bodemdaling te bepalen, en daarmee nog experimenteel en in ontwikkeling.
De InSAR analyses binnen het NOBV worden uitgevoerd door TUDelft in samenwerking met Deltares, en zijn in eerste instantie gedaan voor de meetlocaties Rouveen en Zegveld. Op deze locaties is in het eerste NOBV jaar een *Integrated Geodetic Reference Station*(IGRS) geïnstalleerd door Visser & Smit Bouw, onder leiding van Deltares en TUDelft. Een IGRS is een gefundeerde GNSS mast met daaraan vastgemaakt twee grote hoekreflectoren (tetraëders) voor het reflecteren van het radarsignaal en een horizontale plaat welke gebruikt kan worden als referentieniveau voor andere hoogtemetingen zoals waterpassen (Figuur 4.3). Dit biedt de mogelijkheid om verschillende meettechnieken te koppelen via hetzelfde referentieframe.
Door de hoogte(verandering)metingen bepaald met InSAR te refereren aan het gefundeerde IGRS kunnen absolute waarden van de hoogte(verandering) relatief ten opzichte van een geodetisch referentiesysteem (bijvoorbeeld NAP), en de zakkingssnelheid, met grotere precisie en betrouwbaarheid worden bepaald. Tevens kan worden bepaald of de Pleistocene ondergrond op de meetlocaties daadwerkelijk, zoals aangenomen, een stabiele laag is, of dat deze laag mogelijk toch verticale bewegingen vertoont.



Figuur 4.3 Een Integrated Geodetic Reference Station, zoals geplaatst in Zegveld en Rouveen. Groen-omlijnd is de GNSS antenne, geel-omlijnd zijn te twee radarreflectoren en oranje-omlijnd de horizontale (referentie) plaat.

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

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

3.4 LIDAR

3.4.1 Airborne LiDAR

LiDAR staat voor *Light Detection And Ranging*. Bij deze technologie worden laserpulsen (lichtgolven) vanuit een scanner gezonden, waarbij de scanner bevestigd is aan een helikopter, vliegtuig of drone (airborne LiDAR). De afstand tot het object of oppervlak wordt bepaald door de tijd te meten die verstrijkt tussen het uitzenden van een puls en het opvangen van een reflectie van die puls. De metingen resulteren in een vlakdekkende kaart van de hoogte. Door op verschillende momenten te meten kunnen hoogteveranderingen worden bepaald. Airborne LiDAR is toegepast in Rouveen en Zegveld en worden uitgevoerd (veldmeting en dataverwerking) door Shore Monitoring. LiDAR vanuit vliegtuigen en drones hebben een absolute nauwkeurigheid van 0-3 cm op landbouwgrond. Om de gewenste nauwkeurigheid te halen, waarbij we bodembeweging op sub-centimeter schaal betrouwbaar willen kunnen monitoren, is gebruik gemaakt van gefundeerde (stabiele) grond controle punten (GCP's), waaraan de veldmetingen worden gerefereerd. De GCP's kunnen of onderheide objecten zijn, zoals bruggen of de hoek of nok van een gebouw, of het zijn voor dit project gefabriceerde constructies bestaande uit een horizontale plaat van 100 x 100 cm op een verticale in de zandondergrond gefundeerde buis. De plaat is voorzien van reflecterende folie en steekt circa 30 cm boven maaiveld uit. Voor alle metingen worden de LiDAR puntenwolken in verticale richting naar een GCP verplaatst, waardoor de absolute nauwkeurigheid van de metingen wordt verhoogd. Dit is gedaan op basis van het verschil tussen hoogtewaarden in de LiDAR data van de horizontale GCP en de hoogtewaarden van de GCP zoals ingemeten met behulp van een langdurige GNSS meting. De puntenwolken zijn vervolgens vergrid naar regelmatige grids (Digitale Hoogtemodellen; DTM's). Op basis van de DTM's van de verschillende metingen zijn kaarten van hoogteverandering gemaakt per perceel en per platform (drone of vliegtuig). Ook zijn de LiDAR resultaten vergeleken met veldmetingen. Voor details van de methodiek en overige specificaties wordt verwezen naar Bijlage A.

3.4.2 Laser aan statief

In Rouveen en Zegveld wordt in het referentieperceel en het onderwaterdrainageperceel (Rouveen) of drukdrainageperceel (Zegveld) ook gemeten met een gedetailleerde optische (FARO) laserscan (type focus 3Dx) aan mobiel statief. Het doel hiervan is (1) om op lokale schaal de hoogte(verandering) van een klein oppervlak te bepalen ten behoeve van het optimaliseren van InSAR analyses, met name om de relatief snelle bodemstijging in de overgangsperiode naar de herfst (natte periode) beter te kunnen schatten, (2) het verder ontwikkelen van een beter

mechanistisch begrip van het effect van druk- en onderwaterdrainage op bodembeweging en (3) deze metingen en methode te vergelijken met andere hoogtemeetmethoden zoals waterpassen, airborne LiDAR, en de extensometermethode, om zodoende uitspraken te kunnen doen over de betrouwbaarheid en toepasbaarheid van verschillende methoden. Verwacht wordt dat laser aan statief betrouwbaardere metingen oplevert dan airborne LiDAR omdat er vanuit een niet-bewegend punt wordt gemeten en de meetafstand kleiner is waardoor de puntdichtheid groter zal zijn. Daarnaast levert het sneller en meer data op vergeleken met waterpassen.

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

Ook de hoogte van de bolmarkers wordt ingemeten ten opzichte van het lokale referentiepunt. Vervolgens wordt een automatische rondmeting gestart met de laserscan. Daarna wordt de laserscan verplaatst naar een tweede opstelpunt enkele meters vanaf het middelpunt en een tweede laserrondmeting gedaan. Deze tweede lasermeting wordt verricht om schaduwwerking in de separate metingen zo goed mogelijk te elimineren. Schaduwwerking is het gevolg van spoorvorming in het veld en gewashoogte.

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

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

4 Overig bodemonderzoek

4.1 Bodemkarakteristieken

4.1.1 Opbouw van de ondergrond

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

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

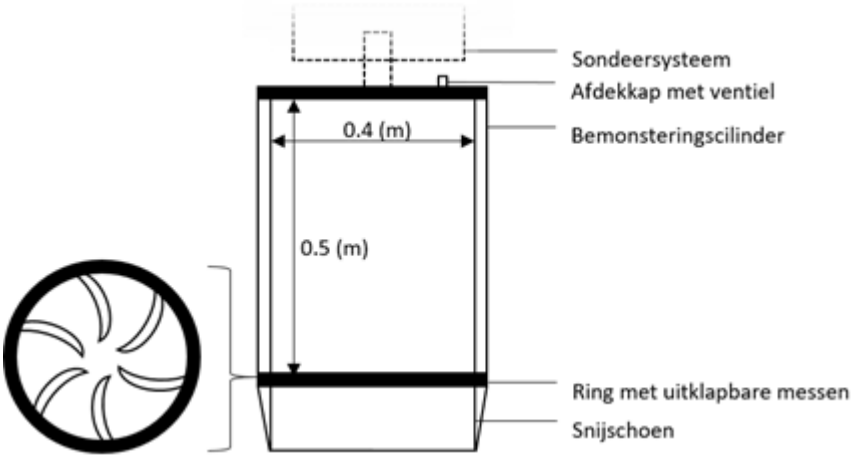
Op de meeste locaties zijn tevens sonderingen geplaatst op de locatie van de extensometer en/of diepe peilbuis. Dit is gedaan om een indruk te krijgen van de opbouw van de hele Holocene deklaag en om de diepte van de stabiele zandondergrond te bepalen. Dit laatste is van belang voor het bepalen van de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

4.1.2 Geotechnische bodemeigenschappen

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

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

verstoring, kleinere monsters gesneden worden voor bijvoorbeeld samendrukkings- of CRS proeven.
Figuur 5.1 toont een schematische weergave van de DLDS. Het bemonsteringssysteem bestaat uit vier essentiële componenten: de snijschoen, een ring met uitklapbare messen, de bemonsteringscilinder en een afdekkap met ventiel. Het geheel wordt met een conventioneel sondeersysteem, in samenwerking met Wiertsema & Partners, de grond ingedrukt. Wanneer de DLDS de gewenste diepte heeft bereikt, snijden de uitklapbare messen het bodemmonster aan de onderkant horizontaal af. Bij het omhooghalen van de DLSD houden deze messen het bodemmonster op zijn plek. Daarnaast wordt het ventiel bovenin de bemonsteringscilinder gesloten bij het ophalen, waardoor door middel van zuiging het monster op zijn plek blijft.



Figuur 5.1. Schematische weergave van de belangrijkste componenten van de Deltares Large Diameter Sampler.

De bussen worden na het bovenhalen afgedicht met kunststoffen deksels. De feitelijke afsluiting wordt gevormd door een groef met O-ring. Na aankomst in het laboratorium van Deltares worden de bussen bij een constante temperatuur van ongeveer 10 graden Celsius en een relatieve luchtvochtigheid van minimaal 85% opgeslagen.
Vlak voor de bemonstering worden de bussen uit de koeling gehaald en op een speciaal geprepareerde tafel gefixeerd. In de tafel is een uitsparing gemaakt waar de bemonsteringscilinder precies in past. In de uitsparing is de uitdrukplaat geplaatst die door middel van een handbediende, hydraulische cilinder langzaam het gestoken monster uit de bemonsteringscilinder drukt.

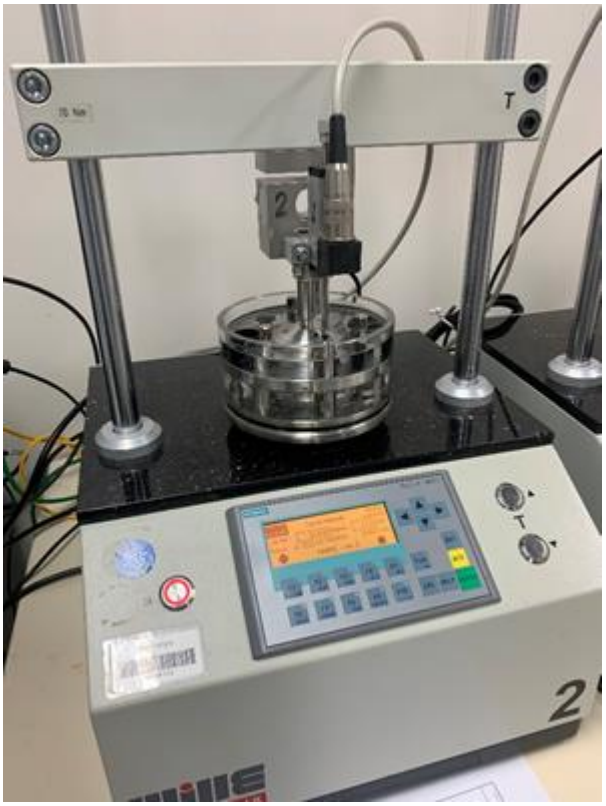
Figuur 5.2. Bemonsteringscilinder op de uitdruktafel.

De bovenste laag van enkele centimeters dik is verstoord, deze wordt verzameld en in een zak gedaan zonder speciale voorzieningen. Hierop kunnen eventueel proeven uitgevoerd worden waarvoor het materiaal niet ongestoord hoeft te zijn. Vervolgens wordt het gestoken monster in etappes van de 12 cm langzaam uitgedrukt.

Figuur 5.3. Eerste halve 12-cm plak is uitgesneden.

Met draadzagen en/of scherpe kebabmessen wordt elke plak van 12 cm dik losgesneden (Figuur 5.3). De bovenste laag wordt in z'n geheel in kwarten opgedeeld. Elk kwart wordt zorgvuldig in huishoudfolie met daaromheen aluminiumfolie gewikkeld om de intree van zuurstof in het monster zoveel mogelijk tegen te gaan. Van de lagen daaronder wordt van de helft kwarten genomen, dus 2 kwarten per 12 cm. Van het resterende deel wordt een plak in de verticaal afgesneden voor de beschrijving en een foto. Het resterende deel wordt, op dezelfde zorgvuldige wijze als de kwarten, ingepakt voor eventuele latere analyses.
Uit de kwarten worden vervolgens de samendrukkingsmonsters gestoken. Over de gehele hoogte van de bemonsterde veenlaag (dus uit alle genomen steekmonsters) worden 15 samendrukkingsproeven uitgevoerd, 10 verdeeld over de hoogte en de 5 direct naast één van die 10. Hierdoor wordt niet alleen een goed beeld van de samendrukkingseigenschappen (vervormbaarheid en consolidatiesnelheid) over het gehele diepte-interval verkregen, maar door de proeven die op dezelfde diepte als anderen worden uitgevoerd, ook van de variatie van de parameters op vergelijkbaar materiaal.

Naast de samendrukkingsproeven zijn ook bepalingen uitgevoerd van de volumieke massa, watergehalte en het organisch stofgehalte (gloeiverliesmethode).



Figuur 5.4. Opstelling samendrukkingsproef.

Speciale aandacht is bij de uitvoering van de samendrukkingsproeven gericht op de kruipeigenschappen. In totaal bestaat een proef uit 11 stappen, waarvan 2 stappen een week duren. Standaard duurt een belastingsstap 1 dag.
Eén lange stap wordt bij de terreinspanning (dus voorbelast) en één in het niet voorbelaste, maagdelijke gebied uitgevoerd. Op deze wijze wordt de kruipparameter niet alleen preciezer bepaald, maar ook de invloed van de voorbelasting (OCR) op deze snelheid en kan bovendien een vergelijking worden gemaakt met de in-situ kruipsnelheden.
Het is bekend dat de eigenschappen van veen kunnen veranderen tijdens een samendrukkingsproef, waarschijnlijk hangt dit samen met de inwerking van zuurstof. Een invloed die vooral van belang kan zijn bij deze langdurige proeven. Om deze reden worden de proeven bij een temperatuur van 9 graden Celsius uitgevoerd en wordt op het water rondom het monster in de ring, een laagje olie aangebracht. Hierdoor worden invloeden van zuurstof zoveel mogelijk beperkt zonder de toevoeging van chemische middelen die de eigenschappen van het materiaal kunnen veranderen.
Na afloop van elke samendrukkingsproef wordt het organisch stofgehalte van het beproefde monster bepaald. Daarnaast worden aparte monsters genomen waarvan volumieke massa, watergehalte en organisch stofgehalte van wordt bepaald. Op deze manier is er over de volledige hoogte, om de circa 10-12 cm informatie van volumieke massa, watergehalte en organisch stofgehalte. Het organisch stofgehalte is bepaald door middel van de gloeirest bepaling.
De proeven worden op de standaard manier uitgewerkt, waarbij de a,b,c isotachen en NEN-Bjerrum parameters bepaald worden. Ook worden de grensspanningen op verschillende manieren bepaald. In een later stadium worden de kruiptakken nader geanalyseerd ter verificatie van het isotachenmodel en vergelijking met de in-situ kruipsnelheden. Daarnaast gaan 1-D zettingssommen uitgevoerd worden met D-Settlement na interpretatie van de verschillen in parameters.

4.2 Microbiologische metingen

Binnen het pilotproject van het NOBV 2019-2020 onderzoekt de Universiteit Utrecht de effecten van drainage, veentype en laagdiepte in het veenweidegebied op de aerobe microbiële respiratieactiviteit. De respiratiemetingen zijn uitgevoerd onder gelimiteerde en ongelimiteerde condities (ongelimiteerd is met nutriënten en glucose addities). Daarnaast is het substraatgebruik van de microbiologische gemeenschap gekarakteriseerd doormiddel van BIOLOG-Ecoplates. Voor deze microbiologische metingen zijn er op 5 verschillende locaties in het Nederlandse veenweidegebied bodemmonsters genomen. Deze locaties zijn Rouveen, Zegveld, Aldeboarn, Vlist en Assendelft. Omdat een volledige meetcyclus per locatie een kleine maand tijd in beslag neemt, en de metingen op verse bodem uitgevoerd worden, is er vanaf januari 2020 iedere maand (m.u.v. april i.v.m. COVID19) één locatie bemonsterd. Door beperkte toegang van het lab in de maanden april-juni zijn een aantal metingen uitgesteld naar september 2020 onder andere de BIOLOG-Ecoplate metingen voor Rouveen, Zegveld en Aldeboarn. Hiervoor zijn opnieuw bodemmonsters genomen. Een overzicht van de monsterdata is weergegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Een overzicht van de data waarin monstername heeft plaats gevonden per locatie.

Locatie	Monstername
Rouveen	20 en 28 januari 2020 & 3 september 2020
Zegveld	20 februari 2020 & 24 september 2020
Aldeboarn	11 maart 2020 &10 september 2020
Vlist	7 mei 2020
Assendelft	9 juni 2020

4.2.1 Monstername in het veld

Bodemmonsters voor de pilotanalyse zijn verzameld met een edelman boor en brede guts (7cm) op vier verschillende dieptes. 1) Wortelzone, 2) oxidatie zone onder de wortelzone, 3) oxidatie-reductie zone en 4) reductie zone. Per meetsite zijn de boringen uitgevoerd op de vier hoekpunten van de proefvlakken aan de buitenkant van het hek. Met de vier punten per proefvlak, twee proefvlakken (één op het drainage perceel en één op het controle perceel) en vier diepte lagen per boring, zijn er per locatie 32 bodemmonsters verzameld. Voorafgaand aan de monstername, zijn er door Deltares/ WUR en UU bodemkarteringen gemaakt van de vijf meetlocaties. Aan de hand van deze boorbeschrijvingen is bepaald welke bodemlagen gemonsterd zouden worden. B-ware heeft op dezelfde locaties en dieptes monsters genomen voor de bodemchemische bepalingen met een Edelmanboor en een Russische veenboor. De exacte bemonsteringdieptes in centimeters zijn niet op elke locatie gelijk. In plaats daarvan zijn deze zo genomen dat de vergelijkbaarheid met gesamplede lagen van andere locaties zo groot mogelijk is. Hierbij is gelet op visuele kenmerken zoals (vezeligheid, botanische samenstelling, kleur, consistentie). Er zijn geen respiratiemetingen gedaan aan de bodem uit de wortelzone omdat de relatief grote C flux van wortelmateriaal en wortel exudaten zichtbaar de C fluxen afkomstig van het veen maskeren. Met uitzondering van de bemonstering in het dikke kleidek op Rouveen en Aldeboarn, en enkele meer minerale samples in Assendelft, kunnen alle bodemmonsters gekarakteriseerd worden als veenbodem. Na het bemonsteren is de bodem zo snel mogelijk luchtdicht verpakt in een zip-lock plastic zak en in een koelbox vervoerd. De bodemmonsters hebben 1 nacht* in de koeling (5°C) doorgebracht voordat dat ze de dag erna verwerkt zijn voor de respiratie-metingen.

*Met uitzondering van de bodem van Rouveen, deze is op twee aansluitende dagen bemonsterd waardoor de eerste bodemmonsters een dag langer in de koeling hebben gewacht voordat ze konden worden verwerkt.

Tijdens de monstername zijn er in het veld ook bulkdichtheids-monsters genomen waarmee het bodemvolume en gewicht per eenheid volume in het veld bepaald kan worden. Deze bulkdichtheids-monsters zijn in de ondiepe lagen genomen met een foliesampler van Eijkelkamp, waarmee een cilinder met een vaste, bekende inhoud (cilinder met straal van 1,85 cm) wordt gestoken uit de bodem. In de diepere lagen is gebruik gemaakt van een stekertje van exact 5 *1*1 cm waarmee

een bodemsamples genomen uit het midden van de brede guts. Ook deze monsters zijn zorgvuldig verpakt en gekoeld naar het lab mee genomen.

4.2.2 Verwerking in het lab

Voordat de verschillende bodemmonsters gemeten kunnen worden op de respirometer zijn deze gehomogeniseerd door het veen (of klei) in kleine stukjes te breken en te mengen. Dit geld ook voor de stukjes hout in het bosveen. In de lagen onder de wortelzone kwamen vaak nog kleine worteltjes voor, deze zijn verwijderd met een pincet. Voor de BIOLOG serie is per boring een extra bodemmonster van de wortelzone meegenomen. De wortels zijn verwijderd uit deze monsters voor verdere verwerking, maar er werd goed op gelet dat de rhizosfeerbodem werd meegnomen in het gehomogeniseerde monster. Vervolgens wordt in een 500 mL Schott Duran fles een glas microvezelfilter (Whatman, diameter = 47 mm) verzadigd met demiwater op de bodem van de fles gelegd, dit zorgt voor een vochtbuffer tegen uitdrogen tijdens de respiratie metingen. Boven op het filter wordt tussen de 10 en 20 gram verse gehomogeniseerde veenbodem in de fles afgewogen. Hierbij wordt er op gelet dat het volume veen min of meer gelijk is. Er worden minimaal drie flessen gevuld met hetzelfde bodemmonster, zodat de respiratie bij meerdere nutriënten behandelingen (geen, C, C en P, C en N) gemeten kan worden. Voor 4 van de 5 locaties zijn 4 series klaar gemaakt zodat een extra nutriënt behandeling (N of P of CNP) kon worden ingezet.
Na het toevoegen van de bodem worden de flessen dicht gedraaid om verdamping te voorkomen. De dichte flessen worden in dezelfde ruimte als de respirometer geplaatst voor pre-incubatie van ±1 week (minimaal 5 dagen) bij 20°C.
Voor ieder bodemmonster is bepaald wat de veldcapaciteit is. Dit is gedaan door ±10 gram bodem in een waterverzadigd filter (Whatman Folded Filters) met en bekende hoeveelheid water te bevochtigen en uit te laten lekken. Daarnaast is ook het gravimetrisch vochtgehalte van het veldvochtige bodemmonster bepaald (drooggewicht 70°C voor minimaal 72 uur). Tijdens de pre-incubatie zijn alle bodem met demiwater op 70% van de veldcapaciteit gebracht. Dit zorgt ervoor dat de metingen onderling beter kunnen worden vergeleken. Van de verse bodem is een sub-sample genomen voor een pH-water bepaling verhouding (1:2,5). Dit is gedaan door 10 gram verse bodem te nemen en deze 2 uur te schudden met 25 ml demiwater. De pH is bepaald in suspensie. Het Porievolume zal nog worden bepaald aan de monsters, daar is door de situatie met COVID-19 is hier enige vertraging in gekomen.

4.2.3 Respirometer-metingen

Op de respirometer (Biometric Systems Germany) worden sub-samples van gehomogeniseerde bodemmonsters gemeten, telkens met verschillende nutriënten addities. In het protocol Respirometer NOBV staat in detail uitgeschreven hoe de respirometer aangesloten moet worden en welke keuzes er in de software gemaakt worden.
De metingen zijn uitgevoerd in een vaste volgorde. Bij iedere meetserie wordt er gemeten tot stabiele waarden kunnen worden bepaald en een activiteit-piek volledig kan worden vastgesteld. De minimumduur van een meetserie is 3 dagen.
Serie A: basis respiratie
Serie A+ glucose additie (toevoeging aan monster serie A)
Serie B: additie CN
Serie C: additie CP
Serie D: additie N of P (afhankelijk van de hoogste groei response in serie B en C) of in uitzonderingsgevallen CNP bij een vermoeden van co-limitatie.
De nutriënt oplossingen zijn gemaakt door respectievelijk $C_6H_{12}O_6$, NH_4Cl en Na_2HPO_4 op te lossen in demiwater (tabel 2). Voor behandelingen met CN, CP en CNP zijn alle stoffen bij elkaar opgelost in 25 ml zodat het toe te dienen vocht gelijk is aan de behandelingen waar alleen C, N of P wordt toegediend. Per gram vers-gewicht (gewicht bodem + gewicht toegevoegd demiwater) wordt er voor het starten van de respiratie metingen 0,25 ml nutriënt-oplossing toegediend met behulp van een pipet.

Tabel 5.2. Overzicht van de gebruikte nutriënten en de oplossingen.

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

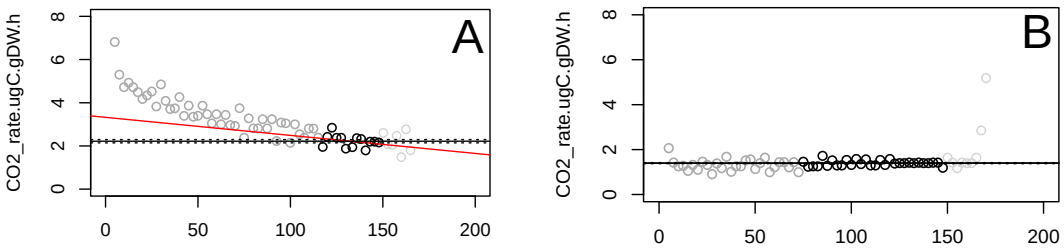
de respiratiemeting zijn van alle incubatieflessen de drooggewichten van de bodemmonsters bepaald (72 uur op 70°C).

4.2.4 Data-analyse Respirometer metingen

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

Basisrespiratie (BR)

De basisrespiratie metingen worden bepaald uit de CO_2-emissie data wanneer eventuele verstoringseffecten (door monstername en homogeniseren) zijn uitgedoofd en de emissies niet meer noemenswaardig veranderen. In figuur 5.5A is een voorbeeld te zien van een verhoogde respiratie door verstoringseffecten, terwijl de respiratie in figuur 5.5B stabiel genoeg is om basisrespiratie uit te bepalen. Het bepalen van respiratiesnelheid wordt gedaan met behulp van een set r-scripts voor analyse van respiratiedata (RESP v2.0a, Keuskamp 2020)



Figuur 5.5 voorbeelden van twee series respiratie metingen waarbij in panel A) nog sprake is van verstoringseffecten en in panel B) de respiratie gestabiliseerd is en de basisrespiratie snelheid kan worden bepaald

Substraat geïnduceerde respiratie (SIR, SIGR, qCO2 en μmax)

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

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

Door BR/ C_{SIR} (basisrespiratie-biomassa ratio) kunnen we de metabolische quotiënt qCO_2 berekenen voor de aanwezigemicrobiële gemeenschap. Deze parameter geeft de snelheid waarmee micro-organismen substraat kunnen gebruiken. Wegens de ongevoeligheid voor fluctuaties in de microbiële biomassa is deze maat erg geschikt om meer inzicht te krijgen in het effect van omgevingsvariabelen op de afbraak van veen door micro-organismen
Microbiële gemeenschappen kunnen worden onderscheiden in opportunistisch-gedreven gemeenschappen (r-strategen) of weerstands-gedreven gemeenschappen (K-strategen). Doordat meer opportunistische gemeenschappen minder investeren in veen-afbrekende exo-enzymen kan worden verondersteld dat deze het veen minder snel aantasten. Omdat dit de mogelijkheid zou openen om veenafbraak te voorspellen of zelfs te beïnvloeden verdient het aanbeveling dit nader te onderzoeken. Verschuivingen in strategie kunnen oa zichtbaar worden gemaakt door te kijken naar de snelheid waarmee het bodemleven groeit als er een energiebron vrijkomt: Hoe groter deze snelheid, hoe meer opportunistisch de gemeenschap. Een beter beeld kan worden geschetst door het doen van enzymmetingen met name POX (potentiële enzymactiviteit van phenoloxidase). Deze enzymmetingen zijn wel uitgevoerd in het lab maar de data zijn nu nog niet reproduceerbaar en daarmee niet betrouwbaar genoeg om op te nemen in de resultaten van de pilotstudie.
De groei van de microbiële biomassa die volgt op de substraattoevoer resulteert in een exponentiële toename van de respiratiecapaciteit en daarmee de CO_2 -emissie. Door het fitten van een logaritmische functie (vergelijking 2) kan uit deze groeirespons kan de zogenoemde μmax worden bepaald. Dat is de relatieve groeisnelheid van het aanwezige de aanwezige microbiële gemeenschap. Voor de bepaling van μmax selecteert RESP v2.0a het exponentiele deel van de curve en fit een lineair model op de log-getransformeerde data om μmax te schatten.

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

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

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

4.2.5 BIOLOG-EcoPlate metingen

Het substraatgebruik is getest voor de locaties Vlist en Assendelft in mei en juni 2020, voor de overige locaties zijn de metingen uitgevoerd in September (data nog niet volledig beschikbaar). Voor de BIOLOG EcoPlate metingen is in het lab een sub-sample van de gehomogeniseerde bodemmonsters apart gelegd en gekoeld bewaard (maximaal 4 dagen, 5°C.) voordat deze verwerkt zijn. De 1 gram verse bodem is geschud (30 minuten) met 49 ml demiwater, Vervolgens is er 1,25 ml van deze oplossing met 23,75 ml fysiologisch zout aangevuld. Na goed schudden is er 2,5 ml van het mengsel opnieuw verdund in 22,5 ml fysiologisch zout.

Na schudden is op de oplossing klaar om BIOLOG EcoPlates (Biolog.com) mee te vullen. Per well is 80-90 microliter oplossing gepipetteerd. Naast de 4 veldreplica's is er bij de Ecoplate metingen gewerkt met 3 technische replica's, dit betekent dat er 33 platen zijn gebruikt. (32 samples + 1 'blanco' van fysiologisch zout keer 3, 3 samples op 1 plaat). De redox tetrazolium kleuring in de 96-well platen verandert van kleur wanneer het substraat wordt afgebroken en er respiratie optreedt. Iedere plaat bevat een brede range van substraten (onder andere aminozuren, suikers, vetzuren, esters, carbonzuren, melkzuur) waardoor er een soort metabolische vingerafdruk wordt bepaald van het micorbioom. De kleuring op de platen wordt over de tijd gemeten met behulp absorptie metingen op 590 en 750 nm door middel van een plate-reader (Spectropstar, BMG labtech, Ortenberg, Germany). Metingen zijn uitgevoerd op t=0, 24, 72, 96 en 168 uur na het inzetten van de platen. Tijdens de incubatie werden de platen bewaard in een dichtgevouwen plastic zak in een incubator bij 28°C.

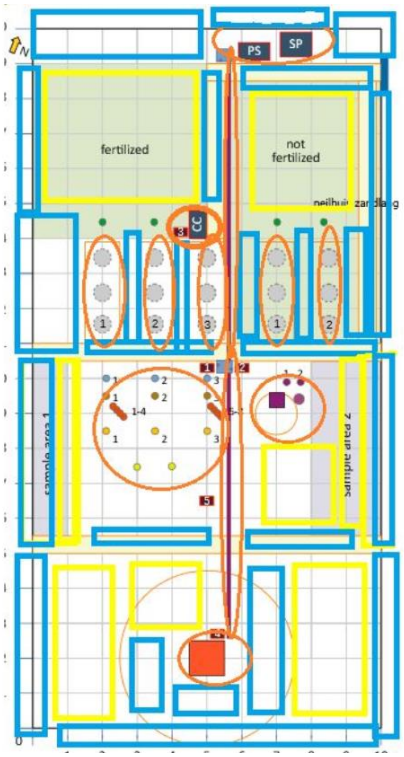
4.2.6 Data analyse BIOLOG-Ecoplate metingen

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

5 Beheer van het plot

5.1 Maaien en opbrengst

Ongeveer 5 keer per jaar wordt er gemaaid. Voor het bepalen van de opbrengst op de controle perceel zijn er op 4 random plekken in het bemeste en 4 in het onbemeste gedeelte van de oogstsubplot monsters genomen m.b.v frames van 80x80 cm, zodat er dus 2,56 m^2 gras voor zowel onbemest als bemest wordt gemaaid. Voor het drainage perceel zijn de 4 plekken verdeeld over 2 op de drain en 2 ernaast.
Vóór het knippen van het gras is de grashoogte op 5 plekken (alle hoeken en het midden) binnen het frame bepaald. Het doel is om het gras ongeveer tot 6 cm af te knippen. Na het knippen wordt de grashoogte nogmaals op 5 punten binnen het frame bepaald. Het gras van elk geknipte frame wordt in een papieren zak verzameld (één zak per frame), om vervolgens in het lab te worden gedroogd bij 48 °C voor minimaal 48 uur, waarna het drooggewicht kan worden bepaald.
De rest van de plot wordt of met een ruwterreinmaaier (gele blokken), bosmaaier (blauwe blokken) of met de hand rondom de sensoren (oranje cirkels) gemaaid.



5.2 Bemesten

Locatie	Type mest	Frequentie jaar^{-1}	Hoeveelheid kg ha^{-1} jaar^{-1}	Samenstelling
ALB	Drijfmest/ koemestkorrels*	5		
ASD	Kunstmest			23% N (7,8% NO_3^{2-}, 15,2% $NH4^+$) 4% MgO, 27% SO_3
ROV	Kunstmest	4	667	12% N (2,5% NO_3^2, 9,5% $NH4^+$) 10% P_2O_5 18% K_2O 4% MgO 23% SO_3
VLI	Kunstmest			23% N (7,8% NO_3^{2-}, 15,2% $NH4^+$) 4% MgO 27% SO_3
ZEG1	Kunstmest			

*Drijfmest bij sensoren, lysimeters en in fluxframes, de rest met koemestkorrels

Locatie	Verdeling mest over het jaar (% van jaartotaal)				
	1 (maart)	2 (apr/mei)	3 (mei/jun)	4 (jun/jul)	5 (aug/sep)
ALB					
ASD					
ROV					
VLI					
ZEG	32	20	16	16	16