

Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) Data-analyse 2020-2021



Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) - Data-analyse 2020-2021

Auteurs

Gilles Erkens, Sanneke van Asselen, Saskia Hommes-Slag, Roel Melman, Henk Kooi, Harry van Essen - DELTARES, UTRECHT/DELFT
Merit van den Berg, Ralf Aben, Christian Fritz, Coline Boonman, Mandy Velthuis, Tom Heuts, Reinder Nouta (Wetterskip Fryslân/RU) – Radboud Universiteit Nijmegen, NIJMEGEN

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

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

Mariet Hefting – Universiteit Utrecht, UTRECHT

Ronald Hutjes, Bart Kruijt – 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) - Data-analyse 2020-2021

Opdrachtgever	STOWA
Contactpersoon	Pui Mee Chan

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	8 november 2021
Pagina's	195
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	10
2	Data-analyse effecten van maatregelen	11
2.1	Aldeboarn – Friesland	11
2.1.1	Grondwaterstanden, CO ₂ fluxen en CO ₂ jaarbudget	11
2.1.2	Bodembeweging	14
2.2	Assendelft – Noord-Holland	18
2.2.1	Grondwater	18
2.2.2	Bodembeweging	20
2.2.3	CO ₂ jaarbudgetten	24
2.3	Rouveen – Overijssel	25
2.3.1	Grondwater	25
2.3.2	Bodembeweging	29
2.3.3	CO ₂ fluxen en jaarbudgetten	32
2.4	Vlist – Zuid-Holland	34
2.4.1	Grondwater	34
2.4.2	Bodembeweging	36
2.4.3	CO ₂ jaarbudgetten	38
2.5	Zegveld – Utrecht	40
2.5.1	Grondwater	40
2.5.2	Bodembeweging	44
2.5.3	CO ₂ jaarbudgetten	58
2.5.4	N ₂ O en CO ₂ metingen Zegveld	60
2.6	Friesland mobiele metingen	67
2.7	Zegveld lisdodde	71
3	Verdere inzichten en data	75
3.1	Vliegtuigmetingen	75
3.2	EC metingen	78
3.3	Samenvatting jaarbalansen	84
3.3.1	Algemeen	84
3.3.2	CO ₂ fluxmetingen, gapfilling en jaarbalans	84
3.4	Basale respiratiemetingen	87
3.5	Biogeochemische monitoring	94
3.5.1	Effect maatregelen op samenstelling poriewater	95
3.5.2	Gradiënt ten opzichte van de drain	105
3.5.3	Oppervlaktewaterkwaliteit	107
3.5.4	Diepteprofielen en bemesting	109
3.5.5	Belangrijkste bevindingen	110
3.6	Geotechnische bepalingen	111
3.7	INSAR metingen	117
3.7.1	Satellietradarinterferometrie (InSAR)	117
3.7.2	Integrated Geodetic Reference Stations	118

3.7.3	IGRS GNSS-analyse	119
3.7.4	IGRS InSAR-analyse	120
3.7.5	Analyse weilanden en akkers	122
3.7.6	Conclusies	124
3.7.7	Referenties InSAR	124
3.8	Laser-aan-statief metingen	125
3.9	Inzichten op basis van extensometermetingen	127
3.10	Hydrologie veenweideperceel	127
3.11	Bodemvochtmetingen	128
3.12	Redox- en zuurstofmetingen	129
3.13	Tensiometermetingen	131
3.14	Bodemprofielen nieuwe meetlocaties	133
3.15	Bodemkundige analyses WENR	137
3.16	Geologie nieuwe meetlocaties	143
3.16.1	Zegveld Hoogwater	143
3.16.2	Lange Weide	144
3.16.3	Ankeveen	145
3.16.4	Weerribben	146
3.17	Vergelijkingen van CO ₂ -flux meetmethodes	147
3.17.1	Vergelijking CO ₂ fluxen door automatische kamers en eddy covariance	147
3.17.2	Vergelijking automatische kamers mobiel meten en Eosense kamers	148
3.18	Effect van beheer op de CO ₂ fluxen	149
3.19	Effecten van meetkamers op bodem en gras	151
3.20	CO ₂ -flux rekenmethodiek	152
3.21	CO ₂ -nachtfluxen en de relatie met grondwaterstand	154
4	SOMERS	159
4.1	Proces gebaseerde emissieberekeningen op landelijke schaal	159
4.2	Parcel2D en AAP-module	160
4.2.1	Parcel2D	160
4.2.2	AAP-module	162
4.2.3	Voorlopige resultaten	163
4.2.4	Effect maatregelen	165
4.3	PEATLAND-VU	167
4.3.1	Algemeen	167
4.3.2	Plantproductie	167
4.3.3	Bodemvocht en -temperatuur	168
4.3.4	Totale respiratie en veenoxidatie	168
4.3.5	Parameters	171
4.4	Update SWAP-Animo	172
A	Extensometers Zegveld	173
B	Grondwaterstanden mobiel meten Friesland	176
C	Basisrespiratie en microbiële groei	182
D	Factsheet Assendelft	186
E	Geologische boringen Zegveld Hoogwater	190
F	Geologische boringen Lange Weide	191
G	Geologische boringen Ankeveen	192

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 van de resultaten die zijn verkregen in de periode 1 juli 2020 tot 30 juni 2021 (meetjaar 2).

De Nederlandse veenweidegebieden en organische gronden¹ zijn momenteel een bron van broeikasgassen. De verhoogde aanwezigheid van de broeikasgassen koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) 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 een 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 in 2030 de broeikasgasuitstoot uit de veenweidegebieden in Nederland met 1 Mton per jaar moet zijn gereduceerd.

Om deze doelstelling te halen moeten de komende negen jaar verschillende maatregelen worden genomen in het landelijk veenweidegebied om de CO₂ uitstoot² 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 (N₂O) en methaan (CH₄), naar CO₂-equivalenten ook mee. Bij de huidige monitoring van de broeikasgasuitstoot in het veenweidegebied wordt wel de uitstoot van CO₂ gerapporteerd, maar niet die van CH₄. 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 data-analyse rapport voor meetjaar 2 (1 juli 2020 – 30 juni 2021) is een van de producten die het onderzoeksconsortium oplevert. Het rapport kent een aantal doelstellingen. Wetenschappelijk gezien is het data-analyse rapport belangrijk omdat in dit document de resultaten en bijbehorende aanpak en methoden worden beschreven. Met behulp van dit document en onderliggende documenten worden de aanpak en methoden ontsloten voor derden die een soortgelijk onderzoek zouden willen uitvoeren. Hiermee zijn de resultaten van dit onderzoek reproduceerbaar en wordt voorkomen dat het wiel opnieuw uitgevonden moet worden. Deze rapportage bevat ook de eerste resultaten van het NOBV. De meetreeksen zijn in veel gevallen beperkt tot ruim 1 jaar aan meetgegevens. Daarmee zijn de meetreeksen nog te kort om op alle aspecten definitieve conclusies te kunnen trekken. De resultaten kunnen en zullen op een aantal aspecten veranderen door groeiende meetreeksen. Ten opzichte van vorig jaar zijn wel al op een aantal aspecten wel wat conclusies getrokken, dit is terug te vinden in de tekst. Door deze relatief korte meetreeksen en de bijbehorende onzekerheden is duiding van de resultaten ook nog maar beperkt mogelijk. Op deelonderwerpen is deze duiding wel te geven, maar een complete integrale analyse is op basis van de uitkomsten niet mogelijk. Het is de verwachting dat volgend jaar al verdere integratie mogelijk is.

Dit document is op 10 november 2021 opgeleverd aan STOWA, gedelegeerd opdrachtgever van het NOBV. Dit document is niet integraal wetenschappelijk gereviewd, wel zijn delen door verschillende auteurs geschreven en vervolgens door andere consortiumpartners gelezen en van commentaar voorzien. Sommige secties zijn door onderzoekers van buiten het consortium gereviewd. Een enkel stuk, met name de bijlagen, zijn niet gereviewd. Daarnaast is er door begeleidingscommissie van het NOBV commentaar geleverd op de conceptversie van dit document.

Per sectie is aangegeven welke auteurs hebben bijgedragen. Hiermee neemt dit document meer de vorm aan van een bundeling van artikelen over verschillende onderwerpen, dan een compleet geïntegreerd rapport.

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 onderzoekjaar.
- 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

In hoofdstuk 2 van deze data-analyse rapportage worden de eerste resultaten van de effecten van maatregelen besproken. Dit wordt gedaan per meetlocatie en dan op drie verschillende aspecten: de grondwaterstanden, de bodembewegingen en de CO₂ jaarbudgetten. In hoofdstuk 3 worden de resultaten behandeld van andere metingen. Bijvoorbeeld de resultaten van de broeikasgasuitstootmetingen vanuit het vliegtuig, maar ook de resultaten van de biogeochemische metingen. In Hoofdstuk 4 worden tenslotte de uitkomsten van de modelstudies besproken, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de drie modellen die gebruikt worden: SOMERS, PEATLAND-VU, SWAP-ANIMO. Tenslotte zijn er nog bijlagen toegevoegd waarin bijvoorbeeld de uitgevoerde geologische boringen zijn opgenomen.

2 Data-analyse effecten van maatregelen

In dit hoofdstuk wordt per meetlocatie (geïnstalleerd in meetjaar 1; Tabel 2.1) geëvalueerd, aan de hand van meetgegevens, wat het effect van de verschillende type maatregelen afgelopen jaar is geweest op de grondwaterstand, bodembeweging en CO₂-emissie.

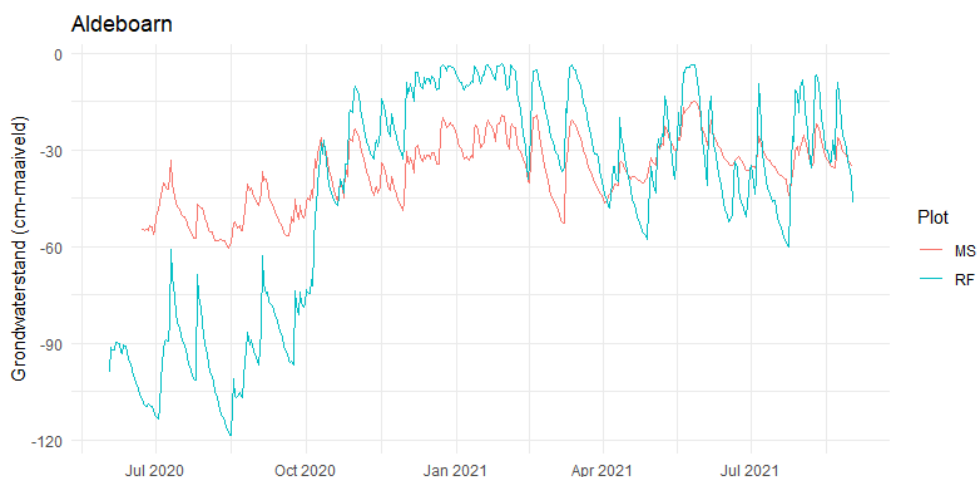
Tabel 2.1. Overzicht van NOBV-sites.

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

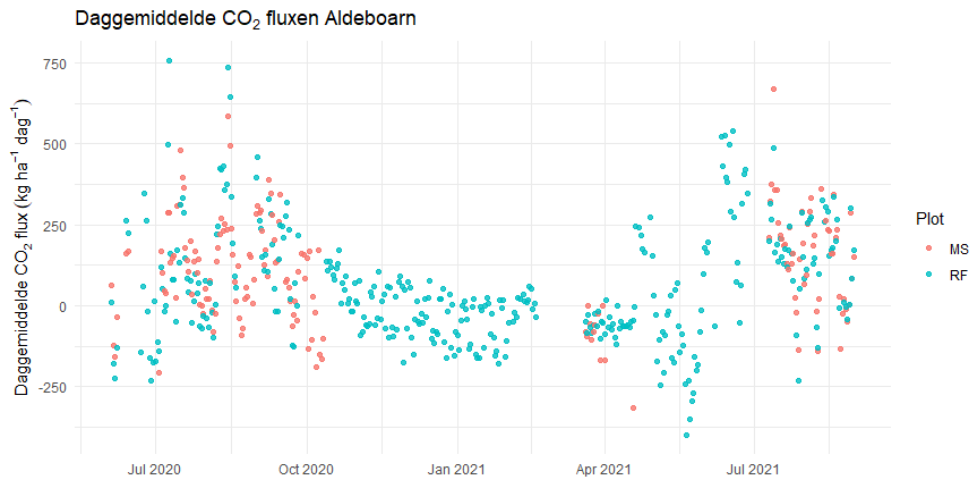
2.1 Aldeboarn – Friesland

Auteurs: Ralf Aben (RU), Coline Boonman (RU), Sanneke van Asselen (Deltares), Christian Fritz (RU), Mandy Velthuis (RU)

2.1.1 Grondwaterstanden, CO₂ fluxen en CO₂ jaarbudget



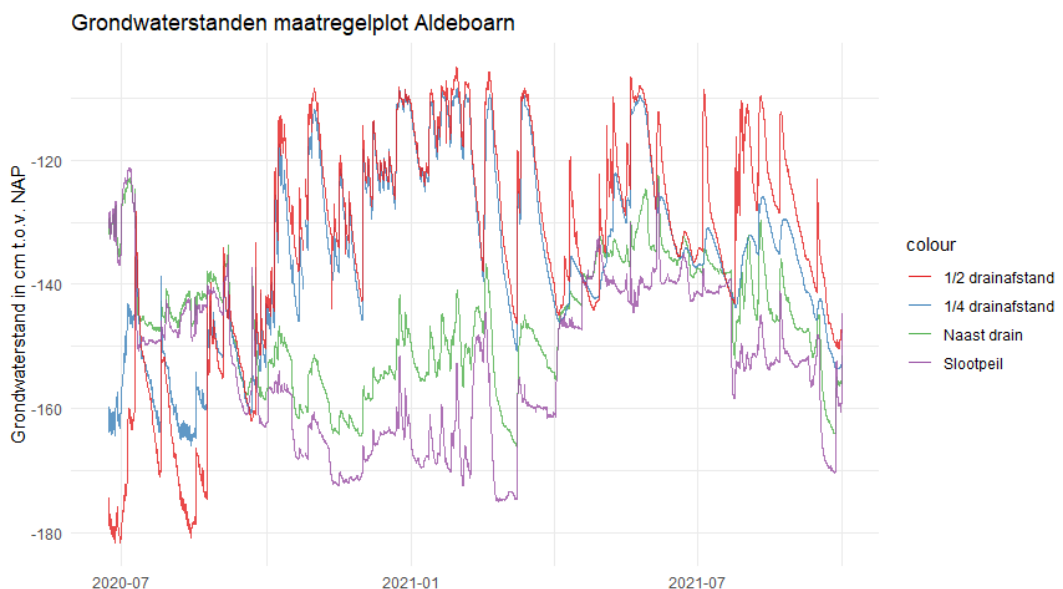
Figuur 2.1. Grondwaterstanden in Aldeboarn. De grondwaterstand per plot is de gemiddelde grondwaterstand van 3 peilbuizen, in het geval van het maatregelplot naast de drain, op ¼ drainafstand en een ½ drainafstand. MS = maatregelplot, RF = referentieplot). Data van verankerde peilbuizen, ingemeten t.o.v. NAP, zijn m.b.v. extensometerdata omgerekend naar diepte t.o.v. maaiveld.



Figuur 2.2. Daggemiddelde CO₂ fluxen in Aldeboarn in het maatregel- (MS) en referentieplot (RF).

Grondwaterstand

Figuur 2.1 laat zien dat onderwaterdrains naar behoren lijken te functioneren: in de drogere zomer van 2020 zijn gemiddelde grondwaterstanden duidelijk hoger in het maatregelplot dan in het referentieplot, terwijl in de natte herfst- en winterperiode de grondwaterstand gemiddeld lager ligt door een drainerende werking. De lente en zomer van 2021 waren nat en laten in tegenstelling tot 2020 geen verschillen in grondwaterstand tussen maatregel- en referentieplot zien. Wel is de variatie van de grondwaterstand kleiner in het maatregelplot, waarschijnlijk als gevolg van de drains: die voeren sneller water af bij hevige regenval en zorgen voor infiltratie tijdens droge periodes. Het effect van de drains op de grondwaterstand is ook binnen het maatregelplot duidelijk te zien (Figuur 2.3): in de droge zomer van 2020 is de grondwaterstand vlak naast de drain vergelijkbaar met het slootpeil en neemt de hoogte van de grondwaterstand af met toenemende afstand van de drain. In de winter van 2020-2021, wanneer de drains een drainerende functie hebben, is te zien dat de grondwaterstand direct naast de drain zo'n 10–20 cm hoger is dan het slootwaterpeil, terwijl de grondwaterstanden op een ½ en ¼ drainafstand vergelijkbaar zijn en een stuk hoger liggen dan het peil naast de drain. Het groeiseizoen 2021 was een stuk natter dan dat van 2020. Hierdoor lagen grondwaterstanden over het algemeen duidelijk hoger dan het slootpeil, waardoor de drains m.n. een drainerende functie hadden.



Figuur 2.3. Grondwaterstanden in Aldeboarn t.o.v. NAP op verschillende afstanden van de drain.

CO₂ fluxen

CO₂ fluxen in Aldeboarn worden gemeten met automatische kamersystemen van Eosense (volgens de methodiek uitgelegd in paragraaf 2.5.3). Door de vele problemen met de kamersystemen (zie operationele rapportage paragraaf 2.1.1) zijn er veel gaten in CO₂ meetdata, met name op het maatregelplot van Aldeboarn (Figuur 2.2). Periodes wanneer wel data van beide systemen beschikbaar zijn laten vergelijkbare CO₂ fluxen in het maatregel- en referentieplot zien. Komende periode zal deze data verder geanalyseerd worden, waarbij o.a. wordt gekeken of gemeten CO₂ fluxen op verschillende afstanden van drains de verschillen in grondwaterstand volgen en welk effect bemesting en het vollopen van de greppels op de CO₂ fluxen heeft. Ook zal het effect van scheuren onderzocht worden die tijdens droogte binnen de 15 cm diepe roestvrijstalen kragen ontstaan waarop de meetkamers bevestigd zijn.

CO₂ jaarbudget

Door de grote gaten in meetdata is het onmogelijk om per meetplot een betrouwbaar CO₂ jaarbudget te berekenen. We hebben daarom gekozen om één jaarbudget voor de locatie als geheel te berekenen. Wanneer voor een bepaalde datum een daggemiddelde flux voor beide systemen beschikbaar was is een gemiddelde hiervan berekend. Omdat op 3 juli 2020 de frames van de meetkamers gemaaid zijn, hebben we voor het berekenen van een jaarbudget de gemiddelde dagfluxen van 17 juli 2020 tot 17 juli 2021 gebruikt (totaal 309 dagfluxen die voldoen aan kwaliteitscriteria). Deze 309 daggemiddelde CO₂ fluxen zijn binnen de periode van 365 dagen lineair geïnterpoleerd om data te genereren voor de 56 dagen zonder meetdata. Het cumulatief van fluxen over deze 365 dagen vormt de Net Ecosystem Exchange (NEE). Vervolgens hebben we de CO₂ export berekend door de oogstgegevens van de kamerframes bij elkaar op te tellen binnen de periode van het jaarbudget. Voor het jaar 2021 is vooralsnog alleen natgewicht data van de grasopbrengst beschikbaar. Om een schatting van de hoeveelheid koolstof hierin te krijgen hebben we het natgewicht omgerekend naar drooggewicht door de gemiddelde natgewicht:drooggewicht verhouding van de grasmonsters uit 2020 te gebruiken. Vervolgens zijn deze drooggewichten vermenigvuldigd met de gemiddelde koolstoffractie van de gedroogde grasmonsters uit 2020. Omdat in Aldeboarn met drijfmest is bemest, is er rekening gehouden met de hoeveelheid koolstof die onderdeel van de mestgift is, door de toegevoegde hoeveelheid mest met de—in het lab bepaalde—bulkdichtheid en koolstofgehalte van de mest te vermenigvuldigen. Dit levert het onderstaande jaarbudget op (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Net Ecosystem Exchange (NEE; gemeten netto CO₂ flux), C_{export} (koolstofexport via grasopbrengst), C_{import} (koolstofimport via drijfmest) en het CO₂ budget (=NEE + C_{export} – C_{import}) voor locatie Aldeboarn. Zie hoofdstuk voor gebruikte methodiek.

	ton CO ₂ ha ⁻¹ jaar ⁻¹
NEE	15.8
C _{export}	18.0
C _{import}	6.2
CO₂ budget	27.6

Dit CO₂ budget is in lijn met CO₂ budgetten die eerder gevonden zijn in nutriëntrijk, gedraineerd veen en welke grote variatie laten zien (e.g. Tiemeyer et al. 2016 & Evans et al. 2021). Het budget is echter een stuk hoger dan dat van locaties Vlist en Assendelft, wat waarschijnlijk een gevolg is van verschillen in de manier van fluxberekening tussen systemen en locaties, en mogelijk ook een gevolg van (de bepaling van) de C_{export}. Het zou zomaar kunnen dat na heranalyse met uniforme methodiek de fluxen van Aldeboarn minder hoog of zelfs relatief laag uitvallen (zie hoofdstuk 3.3 voor verdere discussie). De koolstofexport (gewasopbrengst) op plekken waar kamers staan is aan de hoge kant op basis van verwachte opbrengsten, maar is duidelijk minder hoog dan de hoge opbrengsten die in Assendelft en Vlist zijn gevonden (zie Tabel 3.3). Relatief hoge gewasopbrengsten, met name bij kamers met hoge wanden zoals in Assendelft en Vlist, zijn mogelijk het gevolg van de semi-permanente aanwezigheid van kamers, welke de graszode mogelijk opwarmen en daarmee omstandigheden voor fotosynthese verbeteren. Een interpolatie

met een standaard relatie (Arrhenius-vergelijking voor nacht-NEE met bodemtemperatuur, en een Michaelis-Menten vergelijking voor dag-NEE; zie methoden in Karki et al. 2019) laten een neiging tot overschatting van fotosynthese snelheden (GPP) bij automatische kamers zien. Voor het maatregel- en referentieplot van Aldeboarn kunnen NEE interpolaties tot lager dan -100 ton CO₂ per hectare per jaar uitkomen. Deze waarden lijken niet realistisch en geven aan dat zowel representativiteit van meetwaarden als gapfilling-methoden kritisch moeten worden geëvalueerd om inzicht te krijgen in het risico van over- of onderschatten van CO₂ fluxen (zie ook paragraaf 2.1.3 van de operationele rapportage). Onderdeel hiervan is ook het bepalen van de effecten van droogtescheuren bij kamers die op roestvrijstalen ringen staan. Het effect van deze scheuren is momenteel nog niet bekend en een analyse hiervan blijft beperkt tot een voorlopige en voorzichtige analyse met fluxen van een eddy covariance (EC) systeem op hetzelfde perceel. Daar zien we dat tijdens het groeiseizoen van 2020 de nachtelijke CO₂ flux 3-5x hoger is bij de EC (dagflux is vergelijkbaar tussen kamers en EC). Dit verschil wordt kleiner richting, en verdwijnt uiteindelijk in, de winter. Echter, zien we ook in het voorjaar van 2021 (nog geen data van zomer 2021 beschikbaar) 2-4x hogere fluxen bij EC dan kamers, terwijl er op dat moment geen of weinig sprake van scheuren was. Dagfluxen zijn tijdens sommige periodes hoger, lager of gelijk aan die van EC, wat waarschijnlijk voornamelijk een gevolg is van de hoeveelheid staande biomassa welke niet altijd gelijk is tussen de meetplot en het omringende perceel. Kortom, de vergelijking tussen data van kamers en EC (met elk voor- en nadelen) in Aldeboarn zal in meer detail moeten gebeuren voordat we hieruit conclusies kunnen trekken, waarbij aanvullende data (grashoogte, info over beheeractiviteiten van boer, etc.) moet worden meegenomen. Merk op dat bij voortschrijdend inzicht en heranalyse van de data de CO₂ fluxen en jaarbudgetten op een later moment herzien kunnen worden (zie paragraaf 3.20).

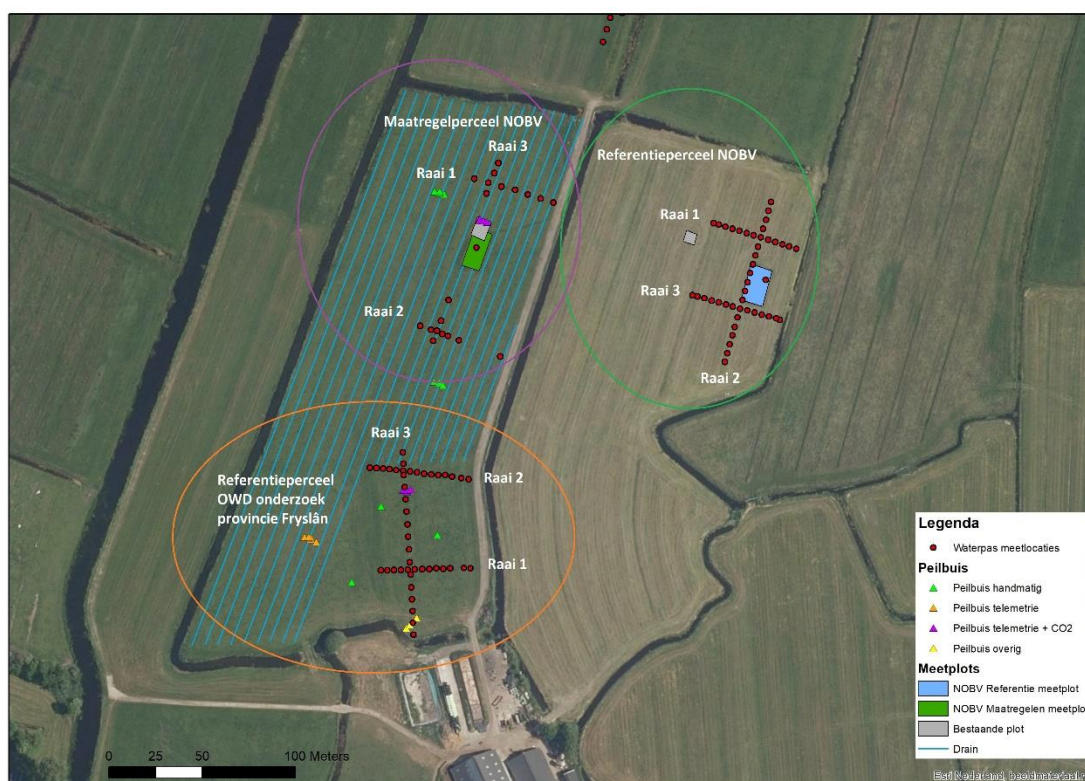
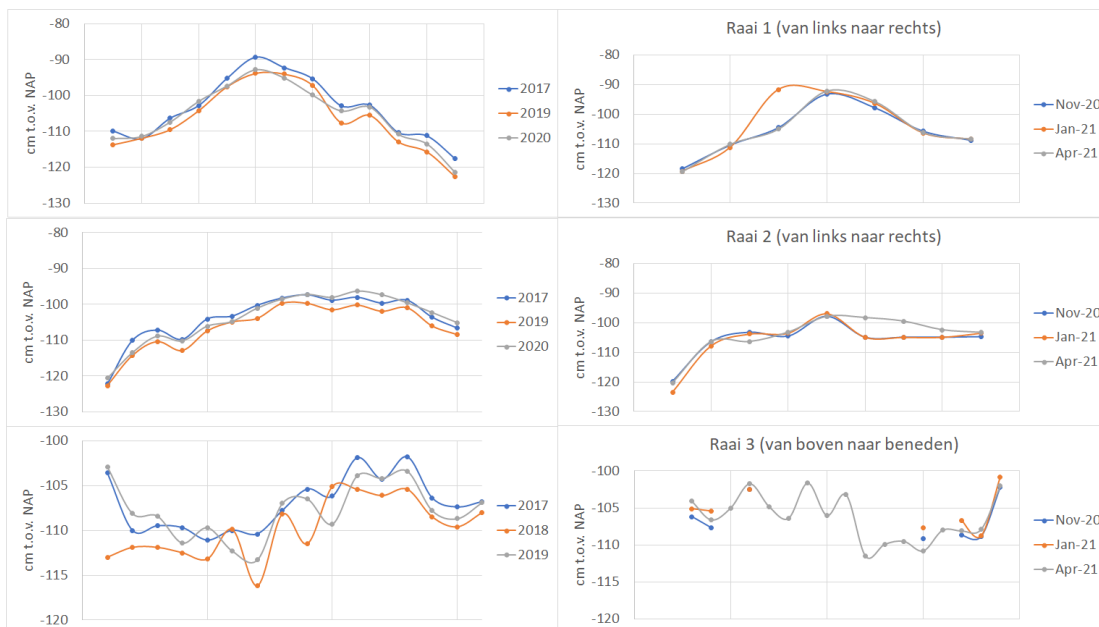
Referentie

- Karki, S, T.P. Kandel, L. Elsgaard, R. Labouriau en P.E. Lærke (2019) Annual CO₂ fluxes from a cultivated fen with perennial grasses during two initial years of rewetting. *Mires and Peat*, Volume 25 (2019/20), Article 01, 1–22, DOI: 10.19189/MaP.2017.DW.322.
- Tiemeyer, Bärbel, Elisa Albiac Borraz, Jürgen Augustin, Michel Bechtold, Sascha Beetz, Colja Beyer, Matthias Drösler et al. "High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils." *Global change biology* 22, no. 12 (2016): 4134-4149.
- Evans, C.D. et al., 2021. Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1>.

2.1.2 Bodembeweging

Waterpasmetingen (Christian Fritz, RU)

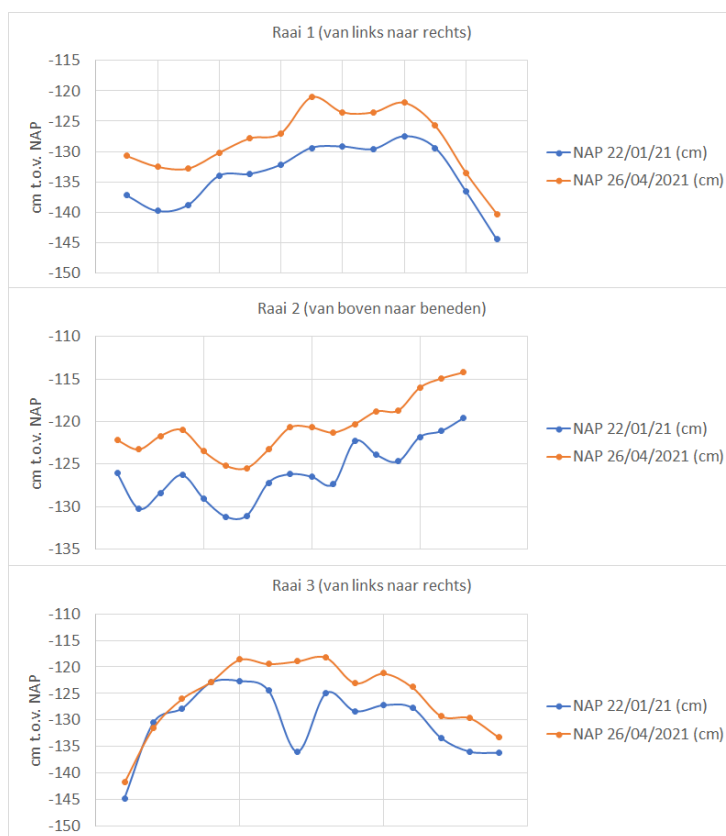
De hoogtemetingen in Aldeboarn bevestigen de bevindingen van eerdere jaren dat er een hoge variatie van maaiveldhoogte binnen een perceel en een meetjaar gevonden wordt. De variatie is in het maatregelperceel kleiner met als mogelijke verklaring minder reversibel en irreversibel krimp.



Figuur 2.4. Boven: maaiveldhoogte in het maatregelperceel in Aldeboarn. Dit was zowel het maatregelperceel voor de OWD proef van de provincie Fryslân als het huidige maatregelperceel voor het NOBV onderzoek. Rechts metingen in 2020-2021. De y-as geeft maaiveldhoogte in cm t.o.v. NAP. Onder: de locatie van de raaien. De grafiektitel geeft aan in welke richting de meetpunten per raai in het kaartje onderin (raaien binnen paarse cirkel) corresponderen met die in de grafiek.



Figuur 2.5. Maaiveldhoogte in het referentieperceel van Aldeboarn, behorend bij het (inmiddels afgelopen) OWD-onderzoek van de provincie Fryslân. Rechts metingen in 2021. De y-as geeft maaiveldhoogte in cm t.o.v. NAP. De locatie van de raaien is te zien in Figuur 2.4. De grafiektitel geeft aan in welke richting de meetpunten per raai in het kaartje van Figuur 2.4 (raaien binnen oranje cirkel) corresponderen met die in de grafiek.

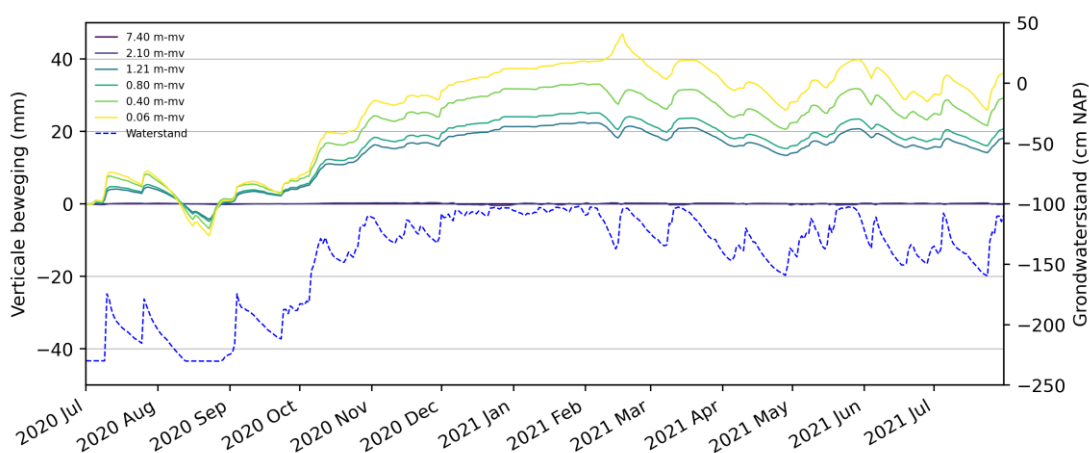


Figuur 2.6. Maaiveldhoogte in het referentieperceel van NOBV in Aldeboarn. Rechts metingen in 2021. De y-as geeft maaiveldhoogte in cm t.o.v. NAP. De locatie van de raaien is te zien in Figuur 2.4. De grafiektitel geeft aan in welke richting de meetpunten per raai in het kaartje van Figuur 2.4 (raaien binnen groene cirkel) corresponderen met die in de grafiek.

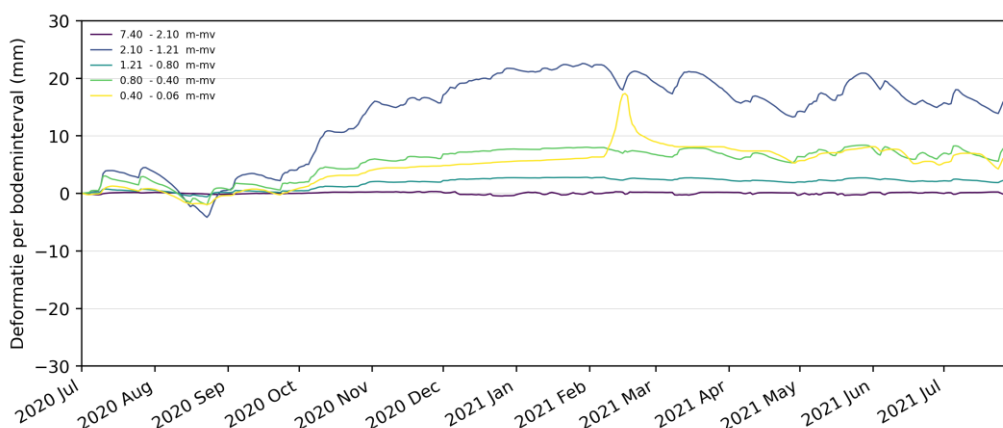
Extensometermetingen (Sanneke van Asselen, Deltares)

In Figuur 2.7 zijn de verticale bewegingen van de verschillende ankers van de extensometer in het referentieperceel in Aldeboarn, ten opzichte van het niveau op 1 juli 2020, weergegeven. Er is te zien dat na een initiële lichte stijging van het maaiveld (gele lijn) er een daling van circa 17 mm heeft plaatsgevonden in de zomer van 2020. De andere ankers volgen dezelfde trend, alleen minder extreem. Vervolgens zijn alle niveaus gestegen in de herfstperiode. Het maaiveldniveau is circa 50 mm gestegen. De hoogste piek van het maaiveldniveau valt samen met een vorst- en sneeuwperiode in februari 2021. In dezelfde periode vertonen de diepliggende ankerniveaus juist een tijdelijke daling. Blijkbaar is alleen de bovenste 40 cm omhoog gekomen tijdens de vorstperiode. In de lente en zomer van 2021 zijn de ankerniveaus weer licht gedaald, al zijn ze niet op hun niveau van de zomer 2020 teruggekomen. Het maaiveldniveau ligt in de zomer van 2021 circa 30 mm hoger dan in de zomer van 2020. In deze periode heeft er dus netto stijging plaatsgevonden. De beweging is sterk gerelateerd met de grondwaterstandsdynamiek.

De beweging van het maaiveld wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door deformatie van de verzadigde veenlaag tussen 2.10 en 1.21 meter beneden maaiveld (m-mv; Figuur 2.8). De bodemlagen tussen 1.21 en 0.80 m-mv en tussen 0.80 en 0.40 m-mv vertonen dezelfde deformatiedynamiek als de verzadigde veenlaag, alleen meer gedempt. De bovenste bodemlaag, van 0.40 tot 0.06 m-mv vertoont een minder grillige dynamiek.



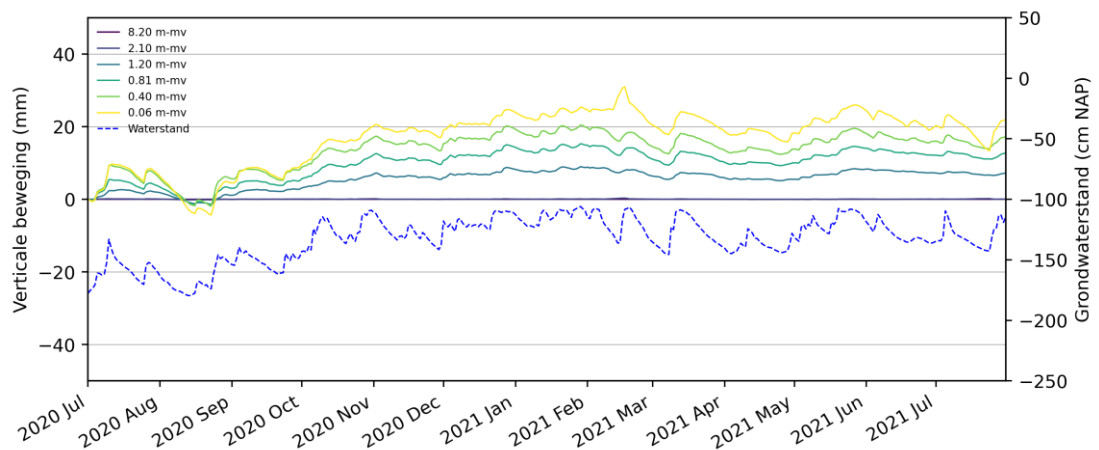
Figuur 2.7. Verticale beweging van de ankerniveaus van de extensometer in de referentieplot in Aldeboarn.



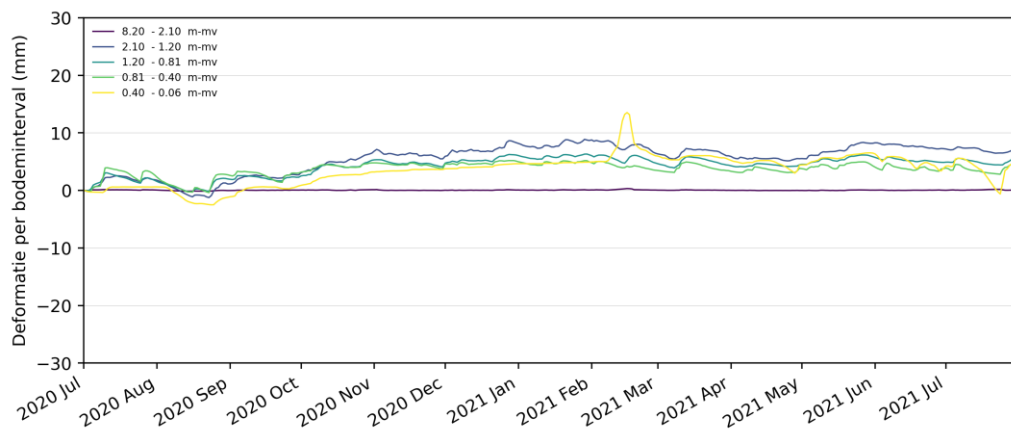
Figuur 2.8. Deformatie per bodeminterval in het referentieperceel in de referentieplot in Aldeboarn.

In de maatregelplot van Aldeboarn is dezelfde dynamiek van bodembeweging waargenomen, alleen minder groot: van de zomer 2020 tot in de winter van 2020-2021 is het maaiveld hier circa

35 mm gestegen (Figuur 2.9). De hoogste piek valt hierbij weer samen met de vorstperiode. De minder grote dynamiek in de maatregelplot lijkt vooral veroorzaakt te worden door een minder grote deformatie in de verzadigde veenlaag tussen 2.10 en 1.20 m-mv vergeleken met de deformatie van deze laag in de referentieplot (Figuur 2.8 en Figuur 2.10).



Figuur 2.9. Verticale beweging van de ankerniveaus van de extensometer in de maatregelplot in Aldeboarn.



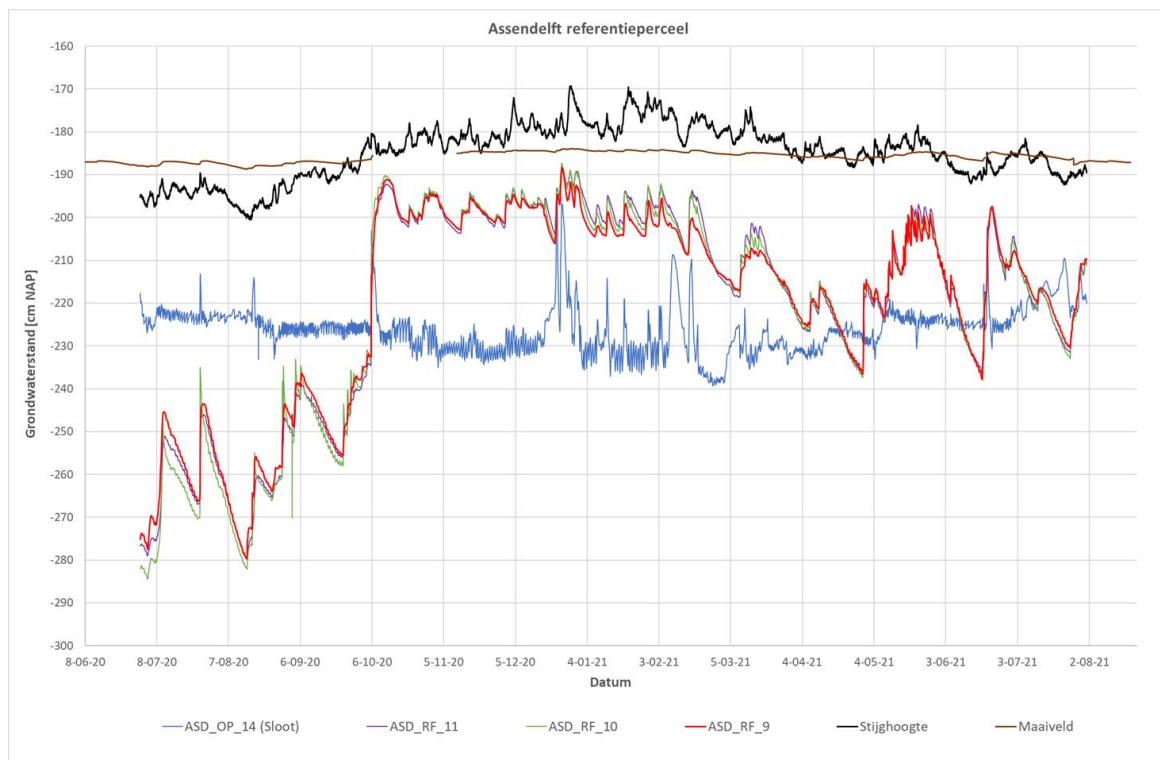
Figuur 2.10. Deformatie per bodeminterval in het referentieperceel in de maatregelplot in Aldeboarn.

2.2 Assendelft – Noord-Holland

Auteur: Ype van der Velde (VU), Jim Boonman (VU), Sanneke van Asselen (Deltares)

2.2.1 Grondwater

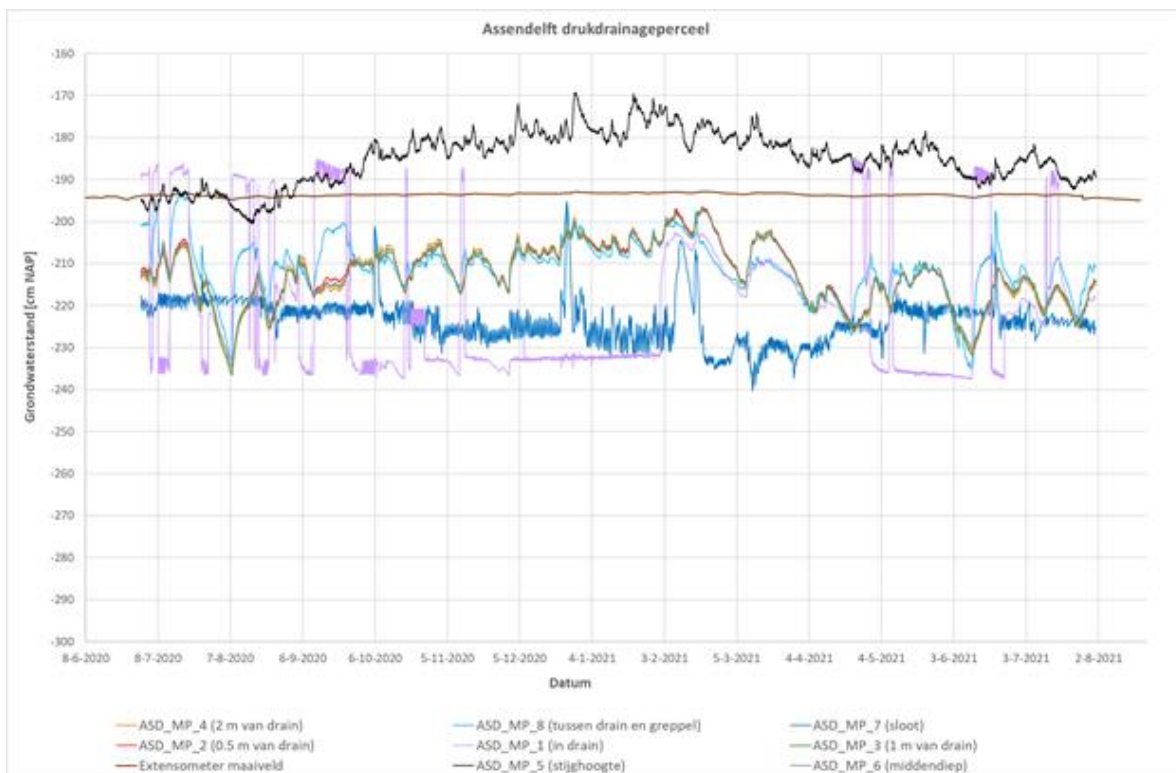
In Assendelft zijn de peilbuizen geïnstalleerd en worden beheerd door Deltares (zie NOBV jaarrapportage 2019-2020). Figuur 2.11 en Figuur 2.12 laten de meetreeksen van afgelopen jaar zien van de freatische grondwaterstanden, stijghoogte- en slootpeilmetingen.



Figuur 2.11. Freatische grondwaterstanden in het referentieplot, stijghoogte en slootpeil in het referentieperceel van Assendelft van 1 juli 2020 tot 1 augustus 2021. Voor informatie over de meetpunten zie NOBV jaarrapportage 2019-2020.

Wat opvalt is dat in de zomer van 2020 de freatische grondwaterstand in het referentieperceel beduidend lager stond dan in de zomer van 2021. Dit wordt toegewezen aan de zeer droge zomer in 2020. In deze periode zien we ook veel pieken in de lijn van de 'in de drain'-meting (paarse lijn in Figuur 2.11): de pompen hebben vaak aangestaan, in tegenstelling tot in de zomer van 2021. Het drainage-/infiltratiesysteem in dit perceel functioneert volgens verwachting; in het maatregelperceel lukt het meestal om in de zomers de grondwaterstand hoger te houden dan in het referentieperceel (Figuur 2.11 en Figuur 2.12).

Ook valt op dat het stijghoogteniveau boven het maaiveldniveau uitkomt, er is dus sprake van een kweldruk vanuit de onderliggende zandondergrond (watervoerend pakket). Door de dikte van het Holocene pakket (circa 2 m veen op circa 13 m klei en zand) heeft dit weinig invloed op de freatische grondwaterstand, maar wel op de waterkwaliteit door aanvoer van grondwater uit het watervoerend pakket met brakke eigenschappen.



Figuur 2.12. Freatische grondwaterstanden in de maatregelplot op verschillende afstanden van de drain en/of greppel, stijghoogte en slootpeil in het maatregelperceel van Assendelft, van 1 juli 2020 tot 1 augustus 2021. Voor informatie over de meetpunten zie NOBV jaarrapportage 2019-2020.

2.2.2 Bodembeweging

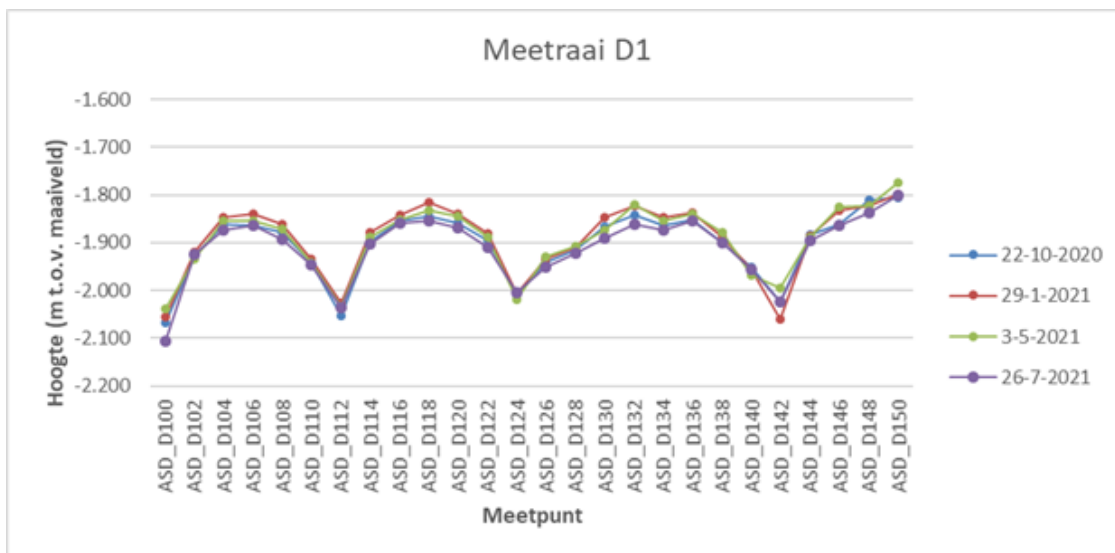
Waterpasmetingen

Waterpasmetingen in Assendelft zijn uitgevoerd door Deltares in oktober 2020, en in januari, april en juli 2021. Metingen zijn verricht om de 2 meter langs dwars- en lengteraaien (Figuur 2.13). De lengteraaien in het maatregelperceel liggen op halve drainafstand (2 m van de drain).

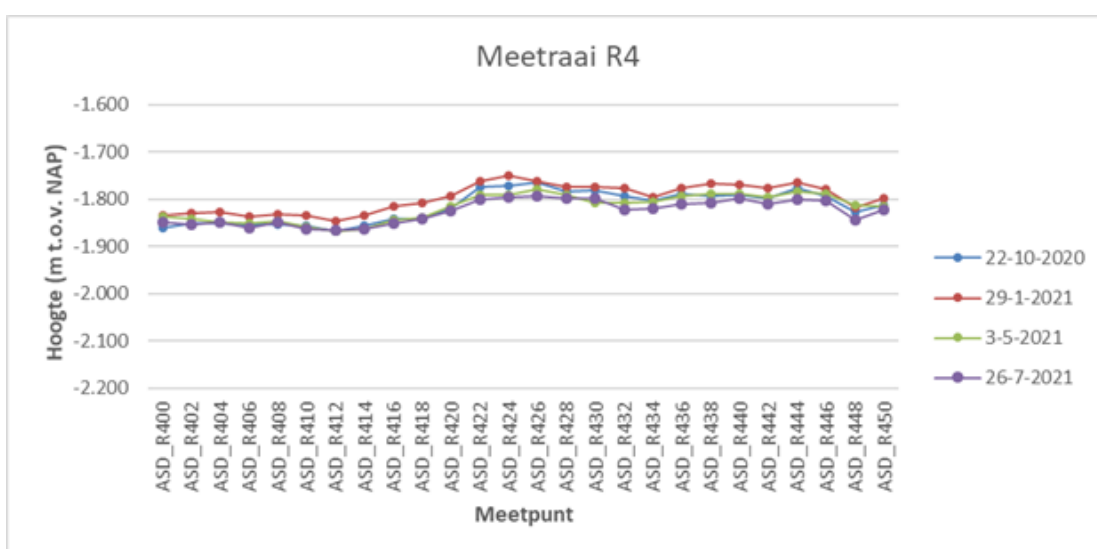


Figuur 2.13. Waterpasmetraaien Assendelft.

Per perceel zijn er dwars- en lengteraaien ingemeten. De raaien laten zien dat het maaiveld over het algemeen redelijk vlak is (geen bolling of holling), maar wel dat er een aantal greppels lopen welke op kleinere schaal wel zorgen voor een bolling van het maaiveld (Figuur 2.14). In het referentieperceel loopt het maaiveld in zuidoostelijke richting iets op (zie Figuur 2.15).

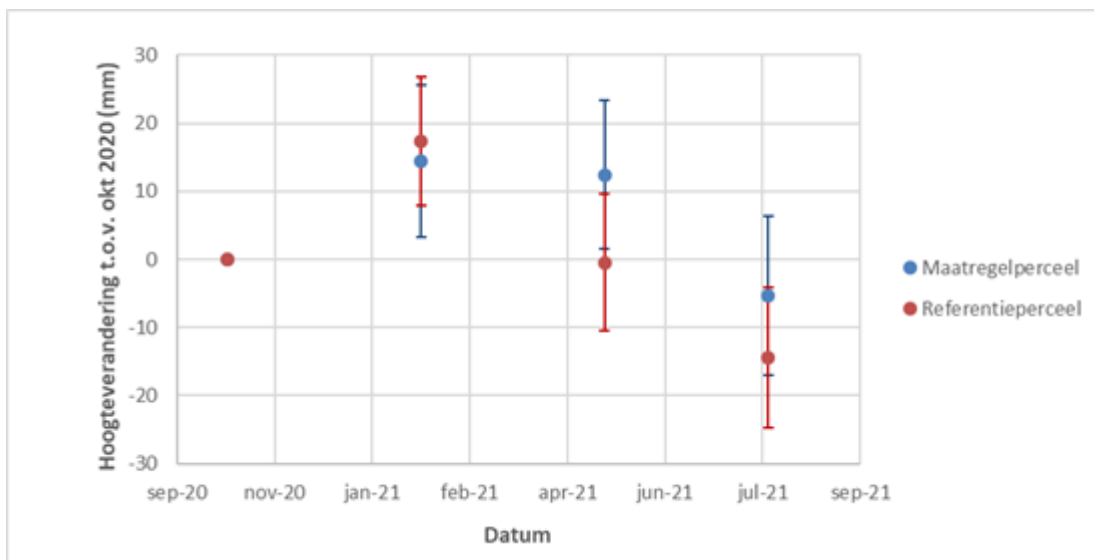


Figuur 2.14. Hoogte ten opzichte van NAP van dwarsraai D1 over het maatregelperceel in Assendelft, voor verschillende meetcampagnes. Voor ligging meetraai zie Figuur 2.13.



Figuur 2.15. Hoogte ten opzichte van NAP van lengtraai R4 over het referentieperceel in Assendelft, voor verschillende meetcampagnes. Voor ligging meetraai zie Figuur 2.13.

Er is nog geen significant verschil gezien in maaiveldhoogteverandering tussen het referentie- en het drainageperceel (de 1 standaarddeviaties overlappen elkaar tot nog toe). Gemiddeld is het maaiveld ten opzichte van de (nul)meting in oktober 2020 in januari gestegen in zowel het referentie- als het drainageperceel, met respectievelijk 17 en 14 mm (Figuur 2.16). In april ligt het maaiveld in het referentieperceel gemiddeld weer op hetzelfde niveau als in oktober (daling t.o.v. januari van 17 mm), terwijl het maaiveld in het drainageperceel op dat moment niet veel in hoogte is veranderd ten opzichte van de januari meting (daling van ca. 2 mm). In de zomer is het maaiveld in beide percelen gemiddeld verder gedaald: in het referentieperceel ligt het maaiveld circa 31 mm lager dan in januari en in het maatregelperceel ligt het maaiveld circa 19 mm lager dan in januari. Op basis van de gemiddelde waarden is het maaiveld in het maatregelperceel dus minder hard en minder veel gedaald dan in het referentieperceel.

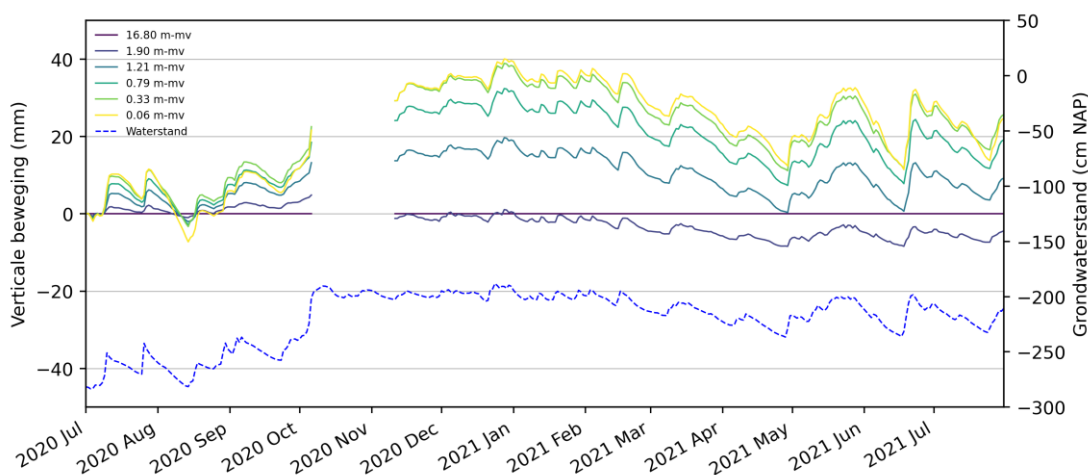


Figuur 2.16. Gemiddelde hoogteverandering en standaarddeviatie berekend op basis van de waterpasmetingen.

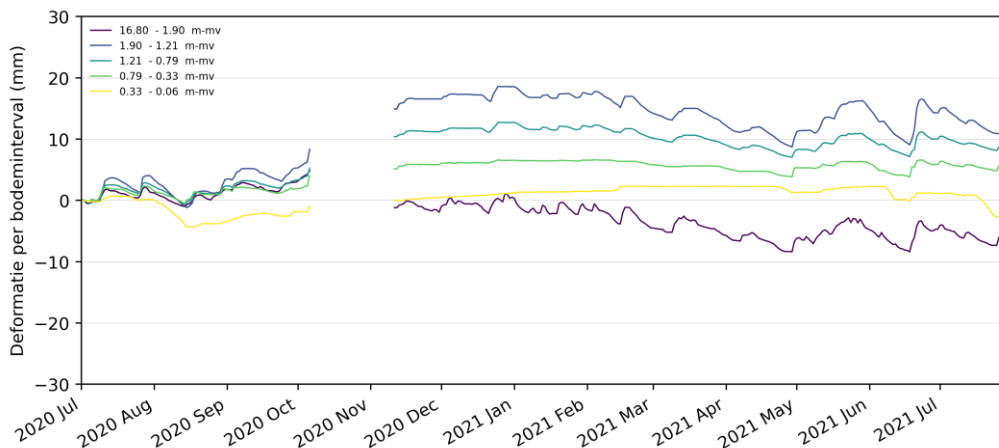
Extensometermetingen

In de referentieplot van Assendelft is het maaiveld van de zomer 2020 tot de winter 2020-2021 maximaal 47 mm gestegen (Figuur 2.17). Diepere ankers vertonen dezelfde dynamiek, maar dan gedempt (minder grote beweging). De dynamiek van de ankerniveaus is sterk gerelateerd aan de dynamiek van de grondwaterstand. In het voorjaar en zomer dalen alle ankerniveaus weer, maar komen niet terug op het niveau van zomer 2020. In de zomer van 2021 ligt het maaiveld circa 20 mm hoger dan in de zomer van 2020. Het ankerniveau op 1.90 m-mv is sinds 1 juli 2021 iets gedaald (Figuur 2.17). Dit anker ligt op de overgang van het veenpakket naar de onderliggende kleilaag. Het moet nog onderzocht worden wat de reden is van de waargenomen daling van dit anker. In oktober 2020 mist er data. De sensoren waren toen uit het meetbereik gelopen. Begin november 2020 zijn de sensoren weer aangepast.

Een belangrijk deel van de waargenomen maaiveldbeweging wordt veroorzaakt door deformatie van de verzadigde veenlaag tussen 1.90 – 1.21 m-mv (Figuur 2.18). In de bovenste bodemlaag, van 0.33 – 0.06 m-mv komt weinig deformatie voor, en is de dynamiek anders (vlakker) vergeleken met de diepere bodemlagen.

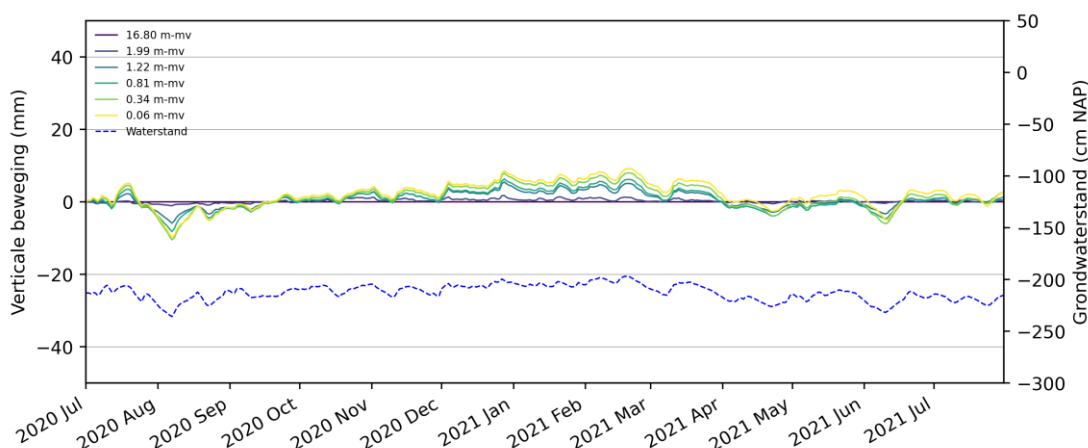


Figuur 2.17. Verticale beweging van de ankerniveaus van de extensometer in de referentieplot in Assendelft.

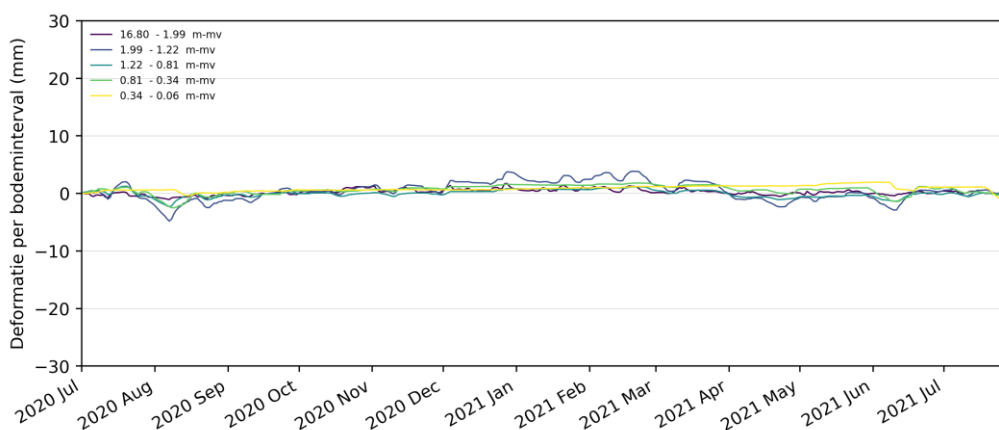


Figuur 2.18. Deformatie per bodeminterval in het referentieperceel in de referentieplot in Assendelft.

In de maatregelplot in Assendelft is het maaiveld 19 mm gestegen vanaf het laagste niveau in de zomer van 2020 tot het maximale niveau in de winter van 2020-2021 (Figuur 2.19); duidelijk minder dan in de referentieplot. Ook hier is de verticale beweging van de verschillende ankers sterk gerelateerd aan de dynamiek van de grondwaterstand (peilbuis midden tussen de drains). In de zomer van 2021 ligt het maaiveld op ongeveer hetzelfde niveau als in de zomer van 2020. De verzadigde veenlaag tussen 1.99 en 1.22 m-mv draagt het meest bij aan de totale maaiveldbeweging (Figuur 2.20).



Figuur 2.19. Verticale beweging van de ankerniveaus van de extensometer in de maatregelplot in Assendelft.

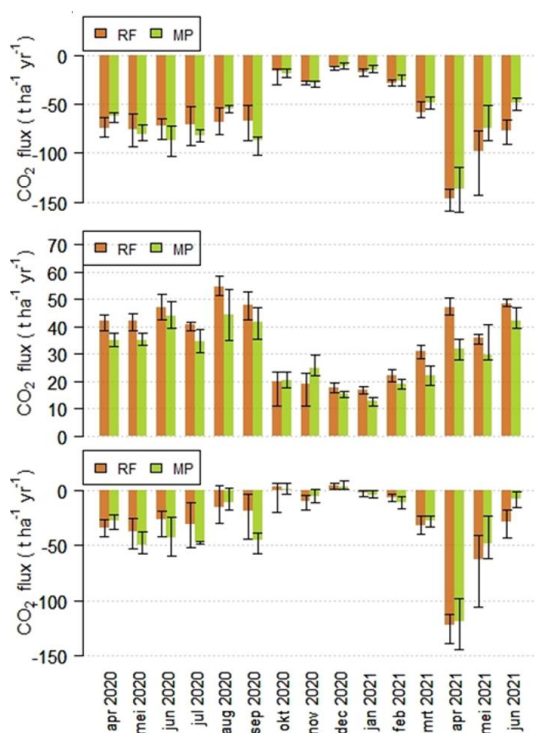


Figuur 2.20. Deformatie per bodeminterval in het referentieperceel in de maatregelplot in Assendelft.

2.2.3 CO₂ jaarbudgetten

Dankzij de hoge temporale dekking van VU-kamer CO₂ fluxmetingen in Assendelft en Vlist vanaf het groeiseizoen in 2020 is het mogelijk de jaarbalansen op te stellen voor 2020-2021 (Tabel 2.3). Met oog op de start van de fluxmetingen is ervoor gekozen de jaarbalansen te bepalen over de periode 1 april 2020 tot 1 april 2021. Hierbij wordt aangenomen dat de hoeveelheid jonge koolstof in en op de bodem en gewas gelijk is op het start en eindpunt van de bepaling van de jaarbalansen. De jaarbalans is geschat aan de hand van de jaarlijkse som van kamerfluxmetingen (NEE) en oogstdata (NPP).

Voor elke dag van het jaar is een kamerfluxgemiddelde berekend en een standaard deviatie geschat. De dagen waarop geen meetresultaten beschikbaar waren zijn geschat op basis van meetresultaten omliggende waarden. De totale Net Ecosystem Exchange (NEE) over het gehele meetjaar is bepaald door de dagelijks gemiddelde kamerfluxen op te tellen. De maandelijkse CO₂ kamerfluxen (Figuur 2.21) laten duidelijke verschillen zien in nachtelijke uitstoot (R_{eco}) in de zomer en winter, waarbij de uitstoot van het maatregelperceel bijna altijd lager is dan het referentieperceel. Dit duidt op minder veenrespiratie op het maatregelperceel, maar kan ook (deels) verklaard worden door hogere respiratie van het gewas in het controle perceel. De fluxen die overdag gemeten zijn omvatten CO₂ opname en respiratie van het gewas maar ook veenrespiratie, waardoor het lastig is om conclusies te verbinden aan deze fluxen. Wel valt op dat uitzonderlijk hoge CO₂ opname is geregistreerd in april en mei 2021, deze maanden vallen buiten de berekening van de jaarbudgetten voor 2020.



Figuur 2.21. De sommen van maandelijks gemeten CO₂ fluxen totaal (onder), 's nachts (midden) en overdag (boven) voor het referentieperceel (RF) en het maatregelperceel (MP) gemeten met de kamersystemen in Assendelft. De foutbalken geven minimaal en maximaal gemeten waarden weer.

De opname van het gewas per perceel is berekend met het koolstofgehalte en drooggewicht van de grasoogsten. Over de verschillende duplicaten van gewassamples is een gemiddelde en standaarddeviatie berekend per oogst. In de transparante kamers heerst een aangenaam microklimaat, waardoor het gras iets beter kan groeien dan buiten de kamers. Dit komt vooral door de hogere temperaturen in de kamers. De gewasopbrengst in de kamers valt daarom ongeveer 20% hoger uit dan de gewasopbrengst buiten de kamers. Dit is ook de reden dat de kamers maar

2 weken op dezelfde plek kunnen staan. De jaarsom van de oogst is uitgedrukt in massa CO₂ als maat voor de Net Primary Production (NPP).

De som van de NEE en NPP bepaalt de netto flux als maat voor de Net Ecosystem Production (NEP). Aan de hand van de NEP van het maatregel en referentieperceel kan de effectiviteit van een maatregel worden geschat. Deze effectiviteit wordt in Tabel 2.3 uitgedrukt in een massa uitstoot reductie of percentage uitstoot reductie.

In Tabel 2.3 valt op dat de gemeten NEE een stuk lager was op het maatregelperceel dan op het referentieperceel, en dat ondanks dit ook de gewasopbrengst op het maatregelperceel aanzienlijk lager lag (25%) dan op het referentieperceel. De totaal geschatte NEP ligt voor het referentieperceel op 15.3 (2.5) en voor het maatregelperceel op 2.6 (3.0) t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹. Dit betekent dat het toepassen van drukdrainage een reductie van 12.7 (3.9) t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹ (83%) ten gevolge had. Dit schetst een positief beeld van de effectiviteit van CO₂ reductie door het toepassen van drukdrainage in Assendelft - waarbij de grondwaterstanden in de zomer relatief dicht bij het maaiveld (<20 cm) werden gehouden. Bij de interpretatie van deze resultaten moet er echter rekening mee worden gehouden dat (1) de kamermetingen dicht bij het midden van het perceel hebben plaatsgevonden waar de grondwaterstanden normaal gesproken op zijn laagst zijn in de zomer en het hoogst in de winter in het referentie perceel, (2) het meetjaar 2020 een extreem droog jaar was waarbij het grootste deel van het warme groeiseizoen het neerslagtekort uitzonderlijk groot was (vooral in de lente), (3) dat andere broeikasgassen niet zijn gemeten en (4) dat de standaard deviatie van de reductie aanzienlijk is (3.9 t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹, 25%). Ter illustratie: de Hydrus modelstudie, verder beschreven in sectie 3,10, suggereert een CO₂ reductie van 86% (14.7 t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹) in 2020 op de locatie van kamer metingen wat goed overeenkomt met de metingen in 2020. Wanneer we Hydrus vervolgens gebruiken om de reductie over het gehele perceel te schatten vinden we een reductie van 69% (10.0 t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹) voor 2020. Voor het natte jaar 2012 vinden we een reductie van 43% (2.3 t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹) voor het hele perceel. De resultaten zullen dus genuanceerd moeten worden aan de hand van de gehele perceel breedte, de meteorologie en metingen van andere broeikasgassen en de CO₂ reducties zullen dus meerjarig over het totale perceel aanzienlijk lager uitvallen.

Tabel 2.3. De componenten van de jaarbudgetten met standaard deviatie van de percelen in Assendelft.

		ASD RF	ASD MP
Kamer flux (NEE)	t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹	-16.4	-21.7
<i>NEE sd</i>		1.0	0.9
Oogst (NPP)	t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹	31.7	24.2
<i>NPP sd</i>		2.3	2.8
Netto flux (NEP)	t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹	15.3	2.6
<i>NEP sd</i>		2.5	3.0
Netto reductie	t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹		12.7
<i>Netto reductie sd</i>			3.9
Reductie factor	[%]		83
<i>Reductie factor sd</i>			25
Kamercorrectie oogst	[%]	+29	+11

2.3 Rouveen – Overijssel

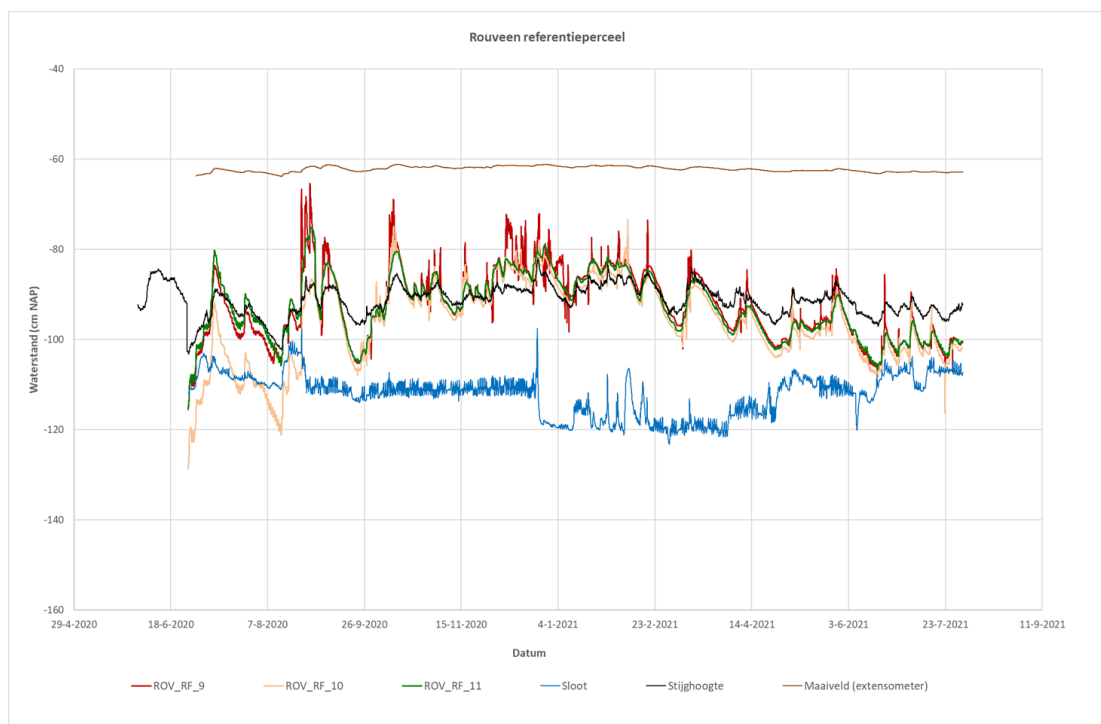
Auteur: Sanneke van Asselen (Deltares)

2.3.1 Grondwater

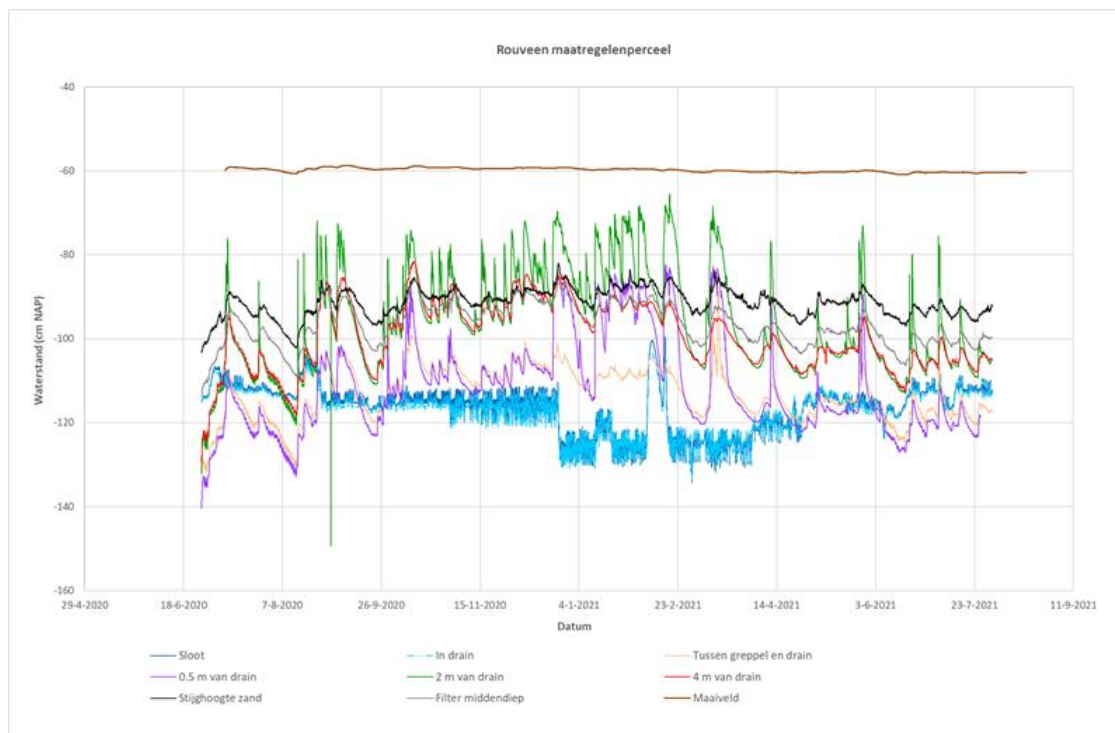
In Rouveen zijn in het voorjaar van 2020 in totaal 14 freatische grondwaterstandmeetpunten, 2 slootpeilmmeetpunten en 2 stijghoogte meetpunten geïnstalleerd (voor een overzicht zie NOBV jaarrapportage 2019-2020). In de winter schommelt de grondwaterstand in beide plots rond de 30

cm beneden maaiveld (-90 cm NAP; Figuur 2.22 en Figuur 2.23). In de zomer zakt het grondwater in de referentieplot uit tot 40 à 50 cm beneden maaiveld. In de maatregelplot zien we dat op 2 en 4 m van de drain de grondwaterstand soms nog iets dieper uitzakt vergeleken met de referentieplot (Figuur 2.23). Dichter bij de drain (op 0.5 m afstand en tussen drain en greppel) zakt de grondwaterstand vaak nog dieper uit, tot ongeveer 60 cm beneden maaiveld. De drains liggen op 65 à 70 cm beneden maaiveld. Op basis van deze metingen lijkt slootinfiltratie (zonder pompen) in de zomer niet op te treden; de drains zorgen wel voor meer drainage (van kwelwater) vergeleken met de referentieplot, gezien de lagere grondwaterstanden in dit perceel, zeker in de nabijheid van de drain. In juni en juli 2021 ligt het slootpeil zelfs hoger dan de grondwaterstand dicht bij de drains. Er moet nog worden uitgezocht wat hiervan precies de oorzaak is. De hoogtemeting en camera-inspectie van de drains in en direct naast de meetplot laten zien dat er geen reden is om aan te nemen dat de drains niet goed zouden functioneren (zie verderop in dit hoofdstuk - *Hoogtemeting drain en camera-inspectie*). Toch zal in de herfst van 2021 de verzameldrain worden schoongespoeld en een rooster worden geplaatst in de verzameldrain waar deze in de sloot uitkomt, om zodoende uit te sluiten dat waterstroom (infiltratie) gehinderd wordt door eventueel vuil in de drain. Andere mogelijke oorzaken die infiltratie kunnen bemoeilijken zijn gedeeltelijke luchtinsluiting, het geringe verschil tussen het slootpeil en de draandiepte, en de relatief grote afstand van het inlaatpunt (waar verzamelbuis uitkomt in de sloot) tot meetplot.

In de zomerperiode is er sprake van kwel; de stijghoogtelijn (waterdruk vanuit de zandondergrond) komt dan hoger uit dan de gemeten freatische grondwaterstanden (Figuur 2.22 en Figuur 2.23). Deze laatste zakken in de zomer als gevolg van meer verdamping. In de winter is er weinig verschil tussen de stijghoogtemeting en de freatische grondwaterstanden. Dit duidt erop dat er weinig weerstand is van de veenlaag (3 à 3.5 m dik).



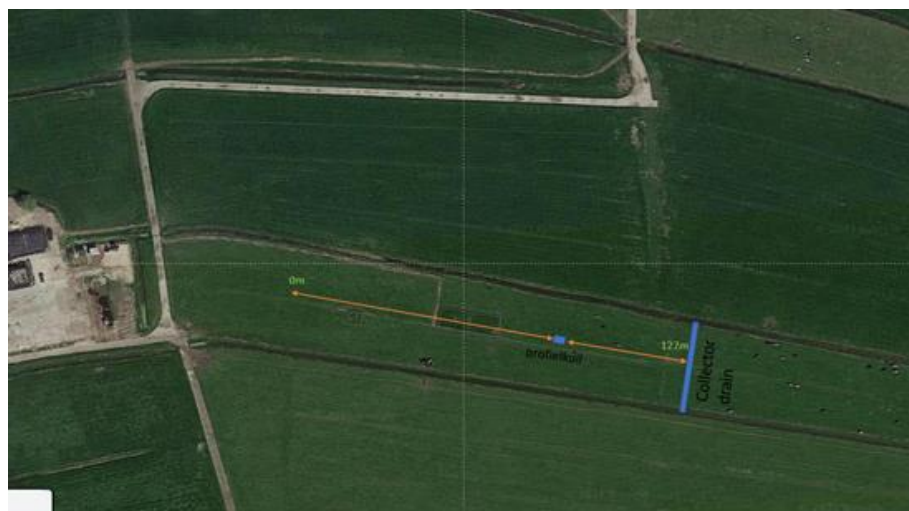
Figuur 2.22. Grondwaterstanden in de referentieplot in Rouveen.

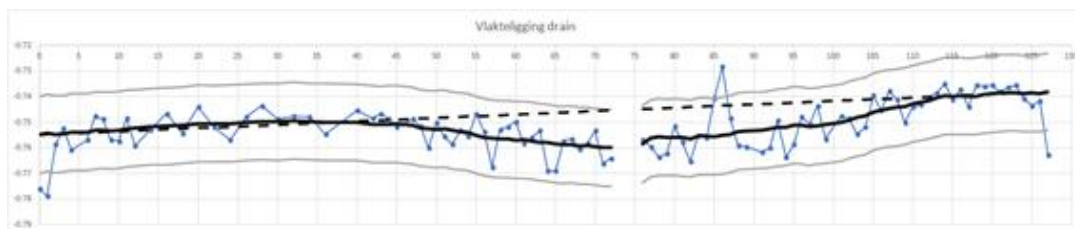


Figuur 2.23. Grondwaterstanden in de maatregelplot in Rouveen.

Hoogtemeting drain en camera-inspectie (Auteur: Daniël van de Craats)

Op 8 juni 2021 heeft er een hoogte(vlakligging)meting van de drain die door de NOBV meetplot loopt plaatsgevonden (Figuur 2.24). Eerder, op 8 mei 2020, heeft er al een draininspectie plaatsgevonden (NOBV jaarrapportage meetjaar 1). Tijdens de eerdere camera inspectie is een vrijwel continue luchtbel gevonden in de buurt van het proefperceel. Deze luchtbel kan ofwel tijdens de installatie, ofwel na de installatie als gevolg van biologische processen (methaan) of drukverschillen zijn ontstaan. Lucht en water kunnen ingesloten raken tussen punten waar de drain volstromend of geheel leeg is. Daarnaast heeft de aanwezigheid van lucht invloed op de transport- en infiltratiecapaciteit van water door de drain.





Figuur 2.24. Hoogtemeting drain (diepte ten opzichte van maaiveld), gemeten vanuit de profielkuil. De zwarte doorgetrokken lijn is een lopend gemiddelde, de grijze lijnen vormen hier een band omheen van in totaal 3 cm, ofwel de radius van de drain. De gestreepte lijn is een lineaire relatie, met een helling van ongeveer 0.15 mm/m (hellingshoek 0.15 promille).

Een paar opmerkingen:

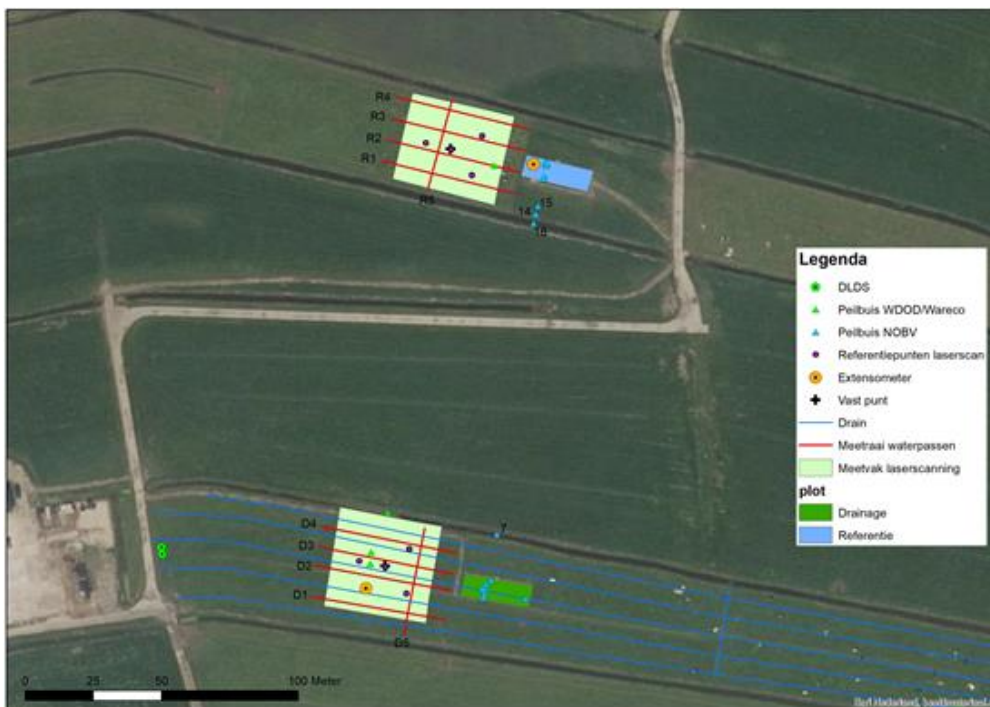
- De uiterste meetpunten (dus op $x=0$ en $x=128$) kunnen worden genegeerd; deze metingen zijn eigenlijk altijd onjuist.
- Gemiddeld genomen ligt de drain onder afschot weg van de verzamelbuis. Normaal gesproken bevordert dit infiltratie van water, maar zal afvoer van water en (gesuspendeerd) materiaal minder goed zijn. Het afschot is wel zeer minimaal (2 cm over 125 m), wat voor infiltratiedrains niet ongebruikelijk is.
- De geringe afwijkingen tussen de meetpunten komen overeen met het beeld van de camera-inspectie (uitgevoerd in jaar 1), waarbij duidelijk weinig variatie in dikte van de aanwezige luchtbel werd gezien.
- Afwijkingen in hoogteligging van maximaal een halve buisdiameter zijn acceptabel. De afwijking bij $x=86$ is daarom wel aan de forse kant, maar niet extreem. Doordat deze afwijking naar boven is, kan hier sprake zijn van een 'luchtslot'. Zeker in het geval de gehele drain hier droog zou liggen, zal dit de waterstroming ernstig beïnvloeden. De inschatting is echter dat niet de gehele drain droog ligt, omdat de afwijking ten opzichte van de omliggende punten ongeveer een halve drainafstand bedraagt. Op de camerabeelden (die lopen tot net voor dit punt) is te zien dat de drain op $x=80$ ongeveer volstromend is; het is aannemelijk dat dus ongeveer de helft van de drain met water is gevuld op $x=86$.
- Het feit dat er veel lucht in de drain is gevonden (zowel tijdens installatie van de Y-stukken in de drains, als tijdens de camera-inspectie) kan worden verklaard door het feit dat de drain tussen $x=10$ en $x=60$ relatief hoog ligt, duidelijk hoger dan tussen $x=60$ en $x=80$. Hierdoor zal de hier aanwezige lucht niet gemakkelijk kunnen ontsnappen via de drains naar het oppervlaktewater.
- Op basis van waterstandsmetingen (Figuur 2.22) in de sloot, in de drain en op 0.5 m van de drain blijkt dat de waterstand in de drain de slootwaterstand goed volgt. Tevens wordt het grondwater in de nabijheid van de drain duidelijk naar beneden getrokken, wat duidt op een drainerende werking. Er is echter geen duidelijk infiltrerende werking zichtbaar, ondanks het feit dat het peil in de drain zelf hoger ligt gedurende enkele momenten in de zomer.

Concluderend: op basis van de hoogteligging, de camera-inspectie en waterstandsmetingen is er geen reden om aan te nemen dat er grote problemen zijn met deze drain. Zowel aan als afvoer van water zal mogelijk moeten kunnen zijn, maar wellicht wordt het transportvolume wel gelimiteerd door de aanwezigheid van de luchtbel. Infiltratie van water via de bovenkant van de drain zal door de luchtbel niet plaatsvinden. Op de bekeken locaties bij het proefplot is de dikte van de luchtbel maximaal een halve draindiameter, en blijft er voldoende uitwisselingsmogelijkheid over. De gemeten ligging van de drain verklaart de aanwezigheid van lucht in de drains onder het proefperceel, maar het is niet aannemelijk dat zich meer lucht gaat ophopen in de drain onder het perceel, omdat de gevonden afwijkingen in hoogte niet meer dan een halve draindiameter afwijken, en eventuele extra lucht dus middels de collector drain en sloot kan ontsnappen.

2.3.2 Bodembeweging

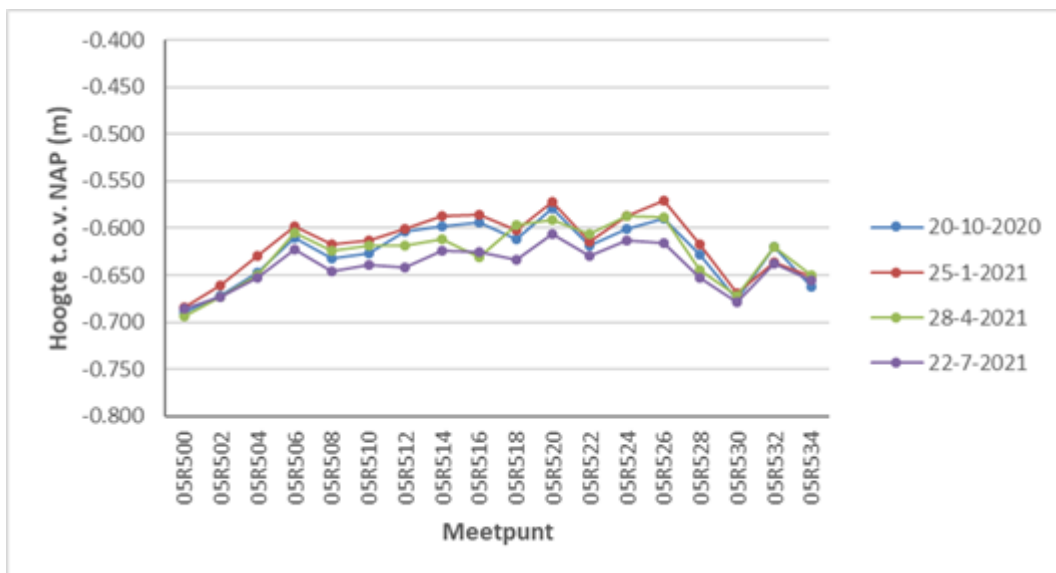
Waterpasmetingen

In Rouveen wordt er sinds eind 2018 maaiveldhoogte gemeten met waterpassen, vanuit de lokale pilot (NOBV jaarrapportage meetjaar 1). In eerste instantie is dit gedaan in zowel het referentie- als het maatregelperceel langs vier lengteraaian. In 2020 is er een dwarsraai bijgekomen, om zodoende meer inzicht te krijgen in mogelijke variaties in hoogte(verandering) dwars op een perceel. Ook is het door het opnemen van een dwarsraai beter vergelijkbaar met waterpasmetingen op andere NOBV locaties, waar ook altijd een of meerdere dwarsraaien worden bemeten. In totaal zijn er nu dus vijf meetraaien per perceel in Rouveen (Figuur 2.25).

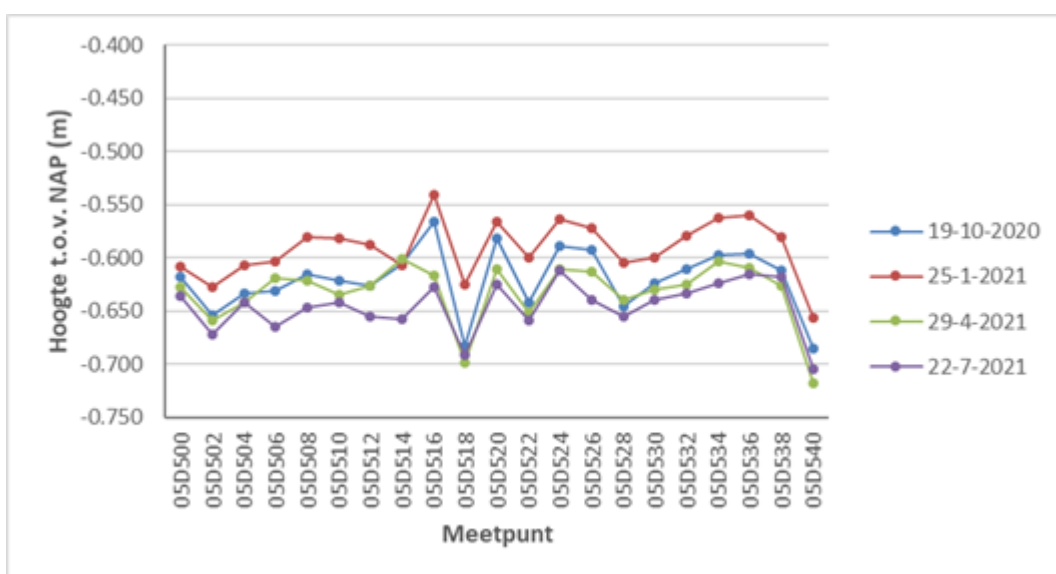


Figuur 2.25. Ligging van de waterpas meetraaien en van andere meetvakken en meetinstrumenten in Rouveen.

De nieuwe dwarsraai laat zien dat het referentieperceel iets bol ligt (Figuur 2.26). Het maatregelperceel laat geen duidelijke bolling zien van sloot naar sloot, maar vertoont wel een wat grilliger patroon, mogelijk als gevolg van greppels (Figuur 2.27).



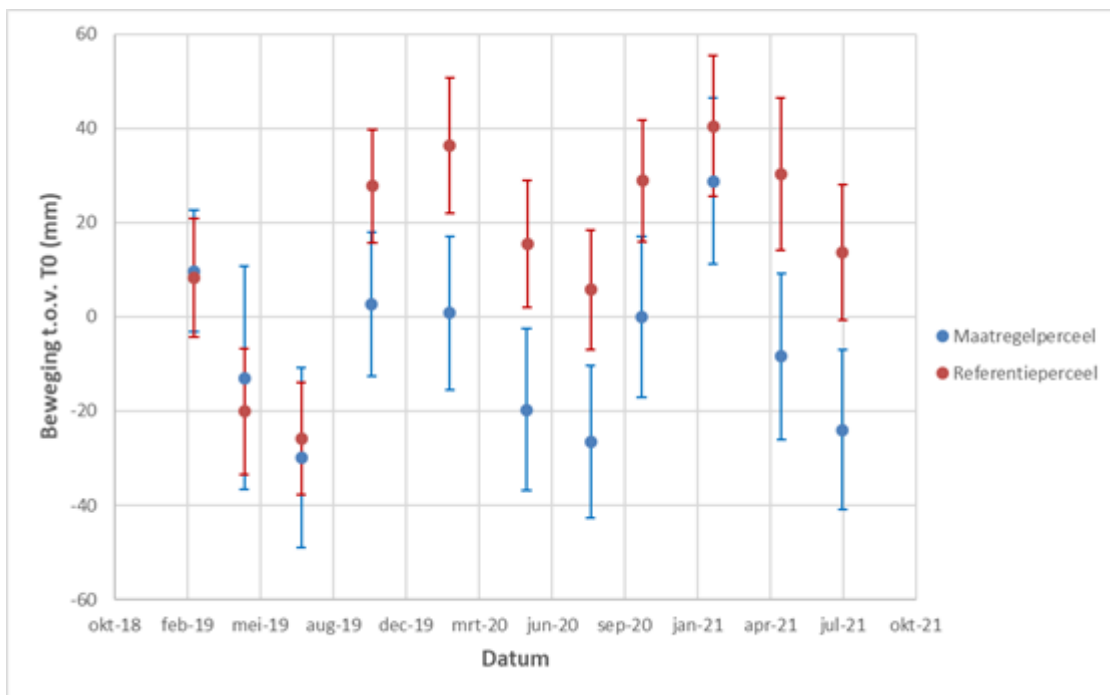
Figuur 2.26. Hoogte ten opzichte van NAP voor de dwarsraai in het referentieperceel in Rouveen.



Figuur 2.27. Hoogte ten opzichte van NAP voor de dwarsraai in het maatregelperceel in Rouveen.

De gemiddelde hoogteveranderingen per perceel, ten opzichte van de eerste waterpasmeting in oktober 2018 en met bijbehorende standaarddeviaties, zijn geplot in Figuur 2.28. In de herfst en winter van 2019 is het maaiveld in het referentieperceel duidelijk meer gestegen dan in het maatregelperceel, die in die periode op ongeveer dezelfde hoogte lag als in de herfst van 2018. Deze stijging (event) is zeer bepalend voor het verdere verloop van de grafiek; de twee meetreeksen komen niet meer bij elkaar vanaf dit moment, al is de dynamiek vergelijkbaar.

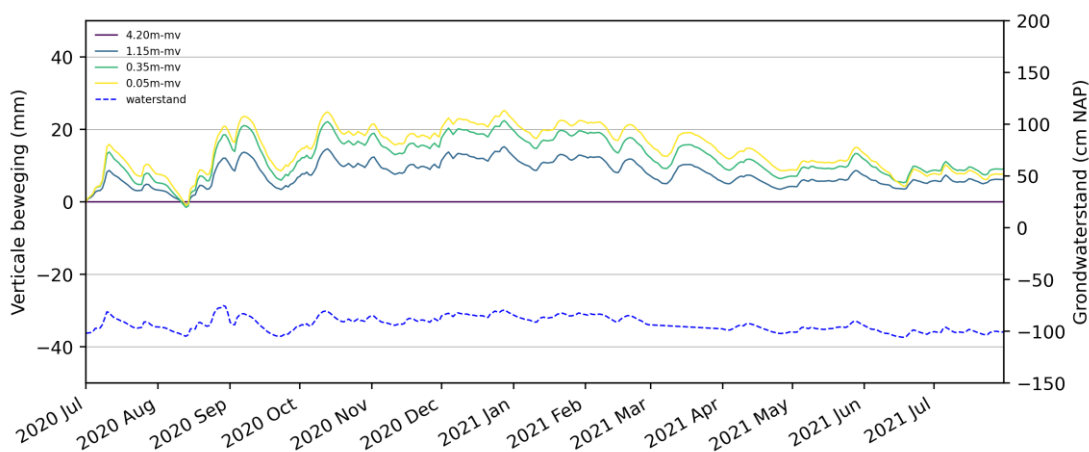
In 2020 vertoont de maaiveldbeweging in de twee percelen een vergelijkbare dynamiek. In de winter van 2021 is het maatregelperceel meer gestegen ten opzichte van de herfst 2020 dan het referentieperceel, waarna het in het voorjaar van 2021 meer is gedaald dan het referentieperceel. Afgelopen jaar is er in het maatregelperceel dus een grotere dynamiek opgetreden dan in het referentieperceel.



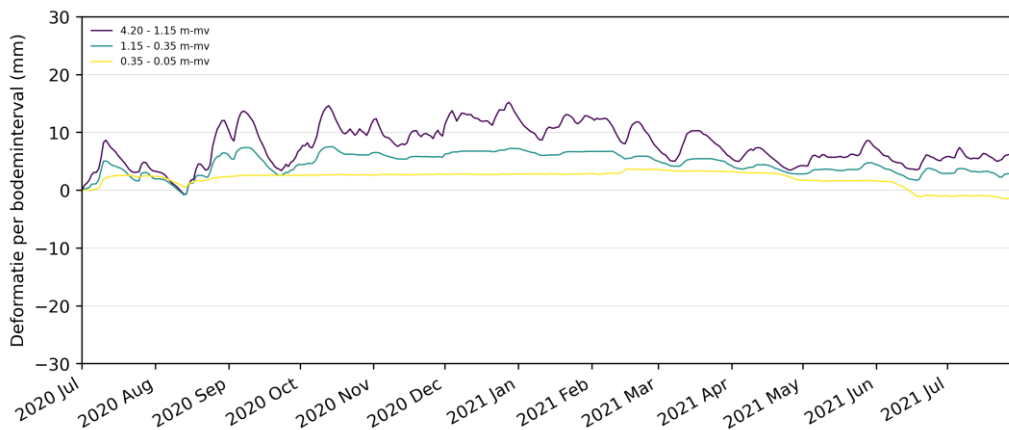
Figuur 2.28. Gemiddelde hoogteverandering ten opzichte van de eerste meting in oktober 2018.

Extensometermetingen

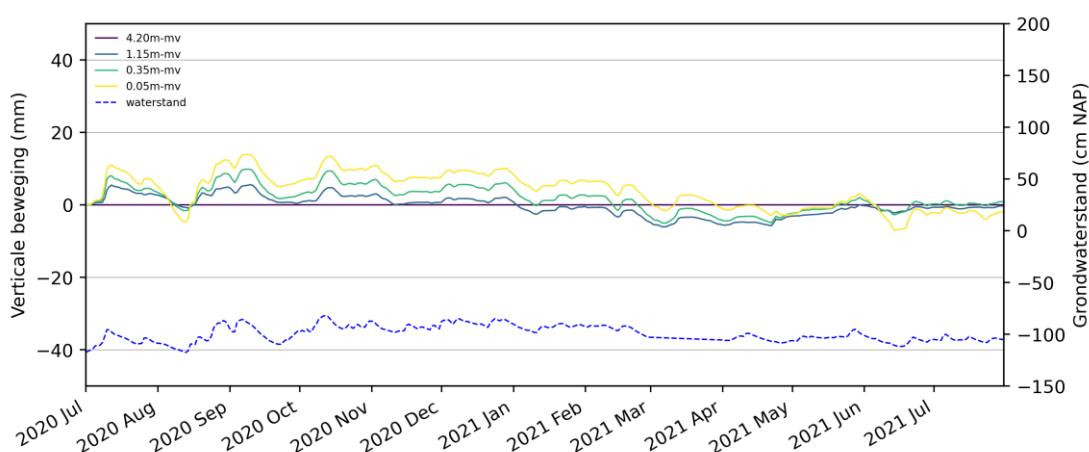
De extensometermetingen van afgelopen jaar (zomer 2020-zomer 2021) laten zien dat het maaiveld in de referentieplot in de herfst en winter van 2020/2021, ten opzichte van 1 juli 2020, meer gestegen is dan in de maatregelplot (respectievelijk circa 25 en 15 mm Figuur 2.29 en Figuur 2.31). In het maatregelplot ligt het maaiveld in de zomer van 2021 op ongeveer hetzelfde niveau als in de zomer van 2020. In het referentieplot ligt het maaiveld in de zomer van 2021 iets hoger dan in de zomer van 2020, waarschijnlijk is dit te wijten aan de natte zomer in 2021 waardoor het maaiveld minder is uitgedroogd en daardoor minder is gezakt. In beide percelen is de beweging van de verschillende ankers sterk gerelateerd aan de dynamiek van de grondwaterstand. Met name deformatie van de verzadigde veenlaag, en in iets mindere mate de laag erboven tussen 1.15 en 0.35 m-mv, is sterk gerelateerd aan de grondwaterstand-dynamiek. De bovenste laag, tussen 0.35 en 0.05 m-mv vertoont een vlakke dynamiek. Deformatie van de verzadigde veenlaag bepaalt een belangrijk deel van de maaiveldbeweging.



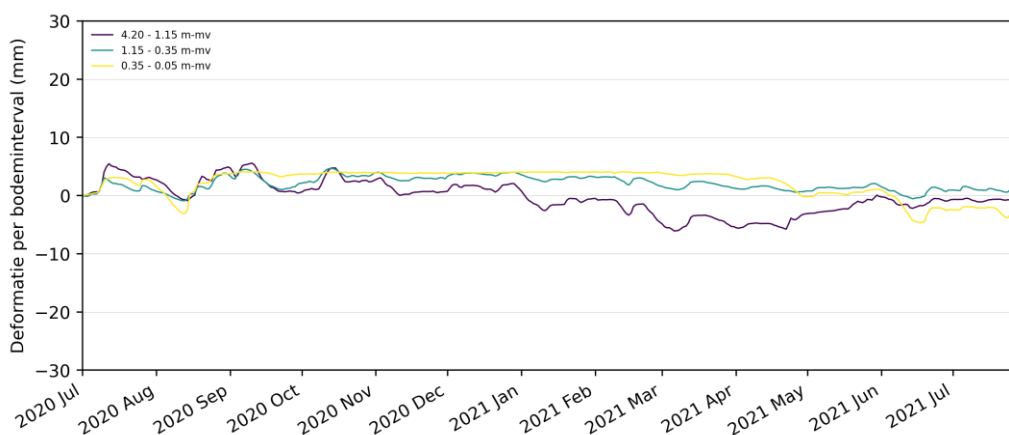
Figuur 2.29. Verticale beweging van de anker niveaus van de extensometer in de referentieplot in Rouveen.



Figuur 2.30. Deformatie van verschillende bodemlagen in de referentieplot in Rouveen.



Figuur 2.31. Verticale beweging van de ankerniveaus van de extensometer in de maatregelplot in Rouveen.



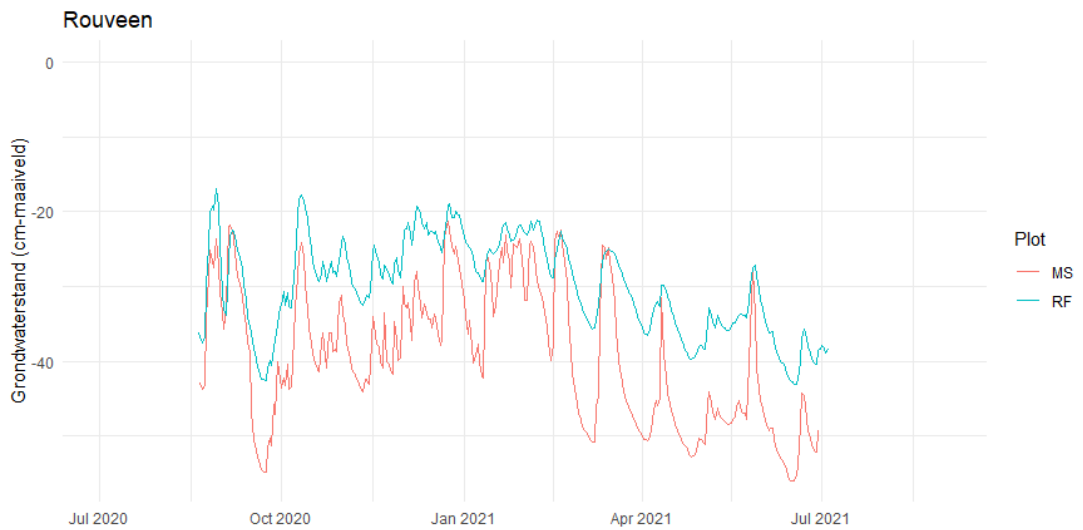
Figuur 2.32. Deformatie van verschillende bodemlagen in de maatregelplot in Rouveen.

2.3.3 CO₂ fluxen en jaarbudgetten

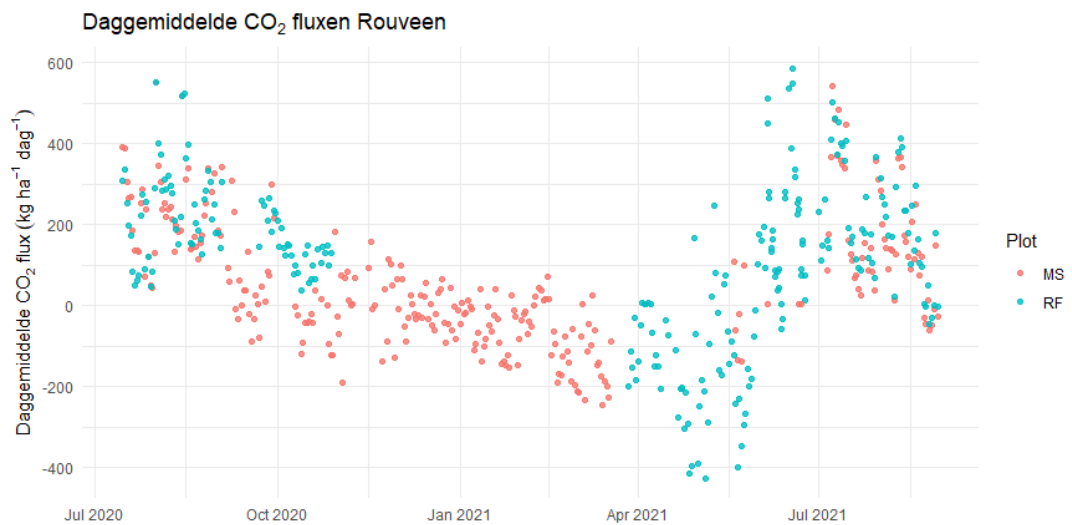
Auteurs: Ralf Aben (RU), Coline Boonman (RU), Christian Fritz (RU), Mandy Velthuis (RU)

CO₂ fluxen in Rouveen worden gemeten met automatische kamersystemen van Eosense (volgens de methodiek uitgelegd in paragraaf 2.5.3). Door de vele problemen met de kamersystemen (zie operationele rapportage paragraaf 2.1.1) zijn er veel gaten in CO₂ meetdata (Figuur 2.34).

Periodes wanneer wel data van beide systemen beschikbaar zijn laten vergelijkbare CO₂ fluxen in het maatregel- en referentieplot zien. Komende periode zal deze data verder geanalyseerd worden, waarbij o.a. wordt gekeken of gemeten CO₂ fluxen op verschillende afstanden van drains de verschillen in grondwaterstand volgen en hoe gemeten milieuvariabelen de seizoensdynamiek van de fluxen beïnvloeden. Dergelijke gedetailleerde analyses hebben door de problematiek met de kamersystemen vertraging opgelopen (zie operationele rapportage paragraaf 2.1.1 en 2.1.3).



Figuur 2.33. Grondwaterstanden Rouveen (gemiddelde van drie peilbuizen per meetplot, MS = maatregelplot, RF = referentieplot). Grondwaterstanden (zie Fig. 2.22) zijn m.b.v. extensometerdata omgerekend van diepte t.o.v. NAP naar diepte t.o.v. maaiveld.



Figuur 2.34. Daggemiddelde CO₂ fluxen in Rouveen.

De maatregel heeft een duidelijk drainerend effect op de grondwaterstanden van deze kwelrijke locatie. Met name in het groeiseizoen (e.g. april tot oktober) worden grondwaterstanden effectief door drainbuizen 15 cm en in sommige gevallen zelfs 20 cm verlaagd (Fig. 2.32). In de zomer van 2021 laten maatregel- en referentieplot opmerkelijk hoge CO₂ NEE daggemiddelden zien. Ondanks grondwaterstanden in de zomer van -30 cm tot -50 cm lopen CO₂-emissies op tot 300-590 kg CO₂ per hectare per dag (Figuur 2.33 en Figuur 2.34) in het maatregel- als referentieperceel. De regelmatig voorkomende negatieve NEE daggemiddelden in de wintermaanden (maatregelplot) wijzen op methodologische tekortkomingen van de kamermethode. Dit moet verder onderzocht worden. Over het algemeen is NEE in de

wintermaanden nagenoeg 0, omdat fotosynthese sterk beperkt is door een lage bodem- en luchttemperatuur, weinig licht, korte dagen en weinig beschikbaar water tijdens vorst. Door de grote gaten in meetdata is het onmogelijk om per meetplot een betrouwbaar CO₂ jaarbudget te berekenen. We hebben daarom gekozen om één jaarbudget voor de locatie als geheel te berekenen. Wanneer voor een bepaalde datum een daggemiddelde flux voor beide systemen beschikbaar was is hier een gemiddelde van berekend. Omdat op 25 augustus 2020 de frames van de meetkamers gemaaid zijn, hebben we voor het berekenen van een jaarbudget de gemiddelde dagfluxen van Rouveen van 26 augustus 2020 tot 26 augustus 2021 gebruikt (totaal 331 dagfluxen die voldoen aan de kwaliteitscriteria). Op basis van 331 dagfluxen zijn binnen de periode van 365 dagen fluxen lineair geïnterpoleerd om data te genereren voor de 34 dagen zonder meetdata. Het cumulatief van fluxen over deze 365 dagen vormt de Net Ecosystem Exchange (NEE). Vervolgens hebben we de CO₂ export berekend door de oogstgegevens van de kamerframes bij elkaar op te tellen binnen de periode van het jaarbudget. Voor het jaar 2021 is voorsnog alleen natgewicht data van de grasopbrengst beschikbaar. Om een schatting van de hoeveelheid koolstof hierin te krijgen hebben we het natgewicht omgerekend naar drooggewicht door het gemiddelde natgewicht:drooggewicht ratio van de geanalyseerde grasmonsters uit 2020 te gebruiken. Vervolgens zijn deze drooggewichten vermenigvuldigd met de gemiddelde koolstoffractie van de gedroogde grasmonsters uit 2020. Dit levert het onderstaande jaarbudget op (Tabel 2.4).

Tabel 2.4. Net Ecosystem Exchange (NEE; gemeten netto CO₂ flux), C-export (koolstofexport via grasopbrengst), en het CO₂ budget (=NEE + C-export) voor de locatie Rouveen. Zie hoofdstuk voor methodiek.

	ton CO ₂ ha ⁻¹ jaar ⁻¹
NEE	9.2
C _{export}	18.3
CO₂ budget	27.5

Dit CO₂ budget is in lijn met CO₂ budgetten die eerder gevonden zijn in nutriëntrijk, gedraineerd veen en welke grote variatie laten zien (Tiemeyer et al. 2016 & Evans et al. 2021; refs in paragraaf 2.5). Het budget is echter een stuk hoger dan dat van locaties Vlist en Assendelft, wat waarschijnlijk een gevolg is van verschillen in de manier van fluxberekening tussen systemen en locaties, en mogelijk ook een gevolg van (de bepaling van) de C-export. Het zou zomaar kunnen dat na heranalyse met uniforme methodiek de fluxen van Rouveen minder hoog of zelfs relatief laag uitvallen (zie hoofdstuk 3.3 voor verdere discussie). De koolstofexport (gewasopbrengst) op plekken waar kamers staan is aan de hoge kant op basis van verwachte opbrengsten, maar is duidelijk minder extreem dan de hoge opbrengsten die in Assendelft en Vlist zijn gevonden (zie Tabel 3.3). Relatief hoge gewasopbrengsten, m.n. bij kamers met hoge wanden zoals in Assendelft en Vlist, zijn mogelijk het gevolg van de semi-permanente aanwezigheid van kamers, welke de graszode mogelijk opwarmen en daarmee omstandigheden voor fotosynthese verbeteren. Extra metingen zullen hier op termijn meer inzicht in moeten geven (zie ook paragraaf 2.1.3 van operationele jaarrapportage). Merk op dat bij voortschrijdend inzicht en heranalyse van de data deze fluxen en jaarbudgetten op een later moment herzien kunnen worden (zie paragraaf 3.20).

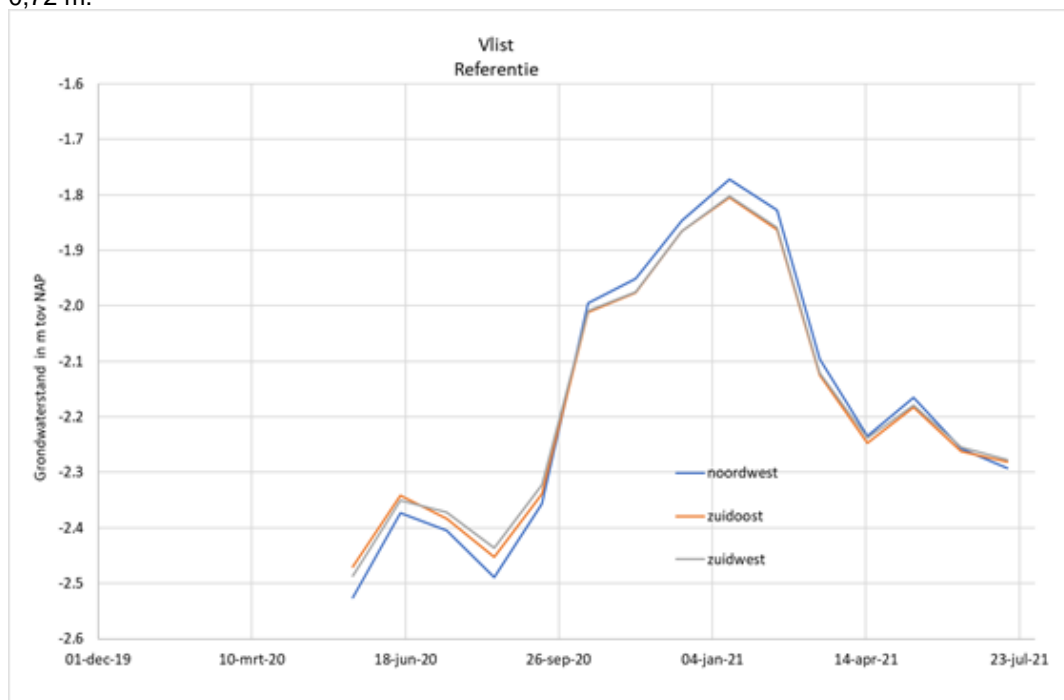
2.4 Vlist – Zuid-Holland

Auteurs: Ype van der Velde (VU), Rudi Hessel (WEnR), Daniël van de Craats (WEnR), Harry Massop (WEnR), Jim Boonman (VU)

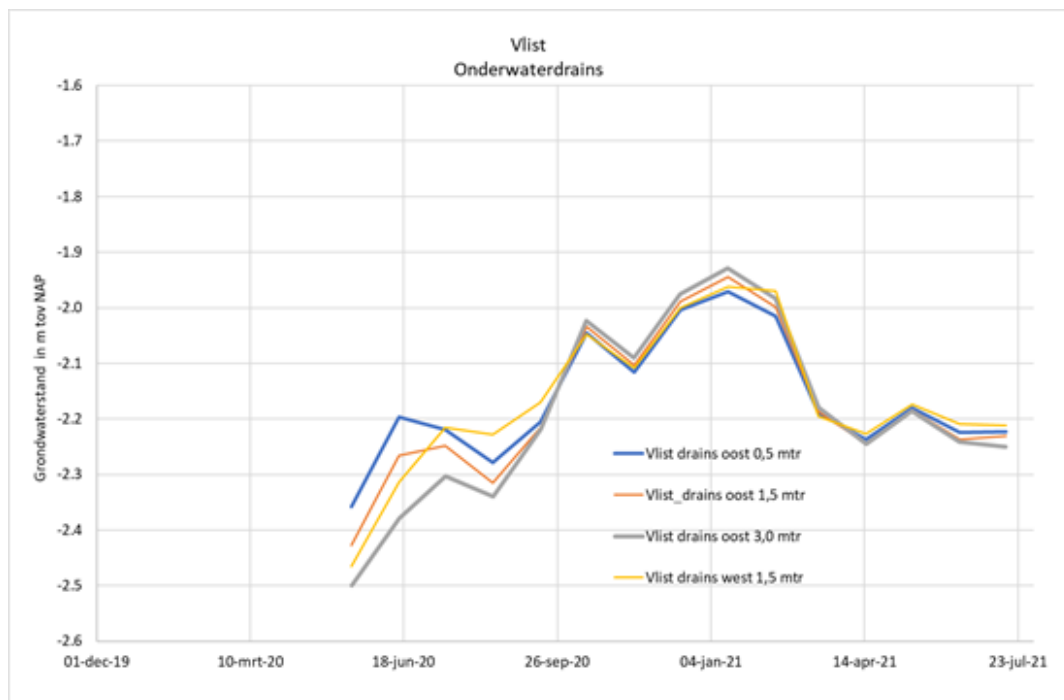
2.4.1 Grondwater

Figuur 2.35 en Figuur 2.36 laten de maandgemiddelde grondwaterstanden zien voor referentie plot en maatregel plot. De RF plot had de maandgemiddelde laagste grondwaterstanden in augustus 2020, in mei is deze nog iets lager maar dit betreft een korte periode direct na plaatsing

van het peilfilter. De maandgemiddelde hoogste grondwaterstand is in januari 2021. De gemiddelde fluctuatie tussen augustus en januari varieert binnen de referentieplot tussen 0,63 en 0,72 m.



Figuur 2.35. Gemiddelde grondwaterstand per maand van de freatische peilbuizen in de referentieplot te Vlist.



Figuur 2.36. Gemiddelde grondwaterstand per maand van de freatische peilbuizen in de drukdrainplot te Vlist.

De maandgemiddelde laagste grondwaterstand in de VLI_MS-plot is in augustus 2020 en de hoogste in januari 2021. De fluctuatie in het maandgemiddelde grondwaterstand in de maatregelplot varieert tussen 0,27 en 0,41 m en is kleiner dan in het referentiedeel. De maandgemiddelde grondwaterstand op 3 m van de drain is in augustus 2020 0,06 m lager dan op 0,5 m van de drain, dit duidt op infiltratie. In januari is de maandgemiddelde grondwaterstand op 3 m van de drain 0,04 m hoger, dan op 0,5 m van de drain, dit duidt op drainage.

2.4.2 Bodembeweging

Waterpasmetingen

Op 5-2-2021 zijn maaiveldhoogten gewaterpast op twee percelen. Beide percelen zijn gedeeltelijk gedraineerd, op zowel het gedraineerde deel met onderwaterdrains als het niet gedraineerde deel (referentiedeel) zijn in drie raaien van sloot tot sloot de maaiveldhoogte gewaterpast. Tabel 2.5 geeft een samenvatting van de resultaten en vergelijkt de gemeten maaiveldhoogten met de metingen van 2019.

Tabel 2.5. Gemiddelde maaiveldhoogte in de raaien in 2019 en 2020 te Vlist.

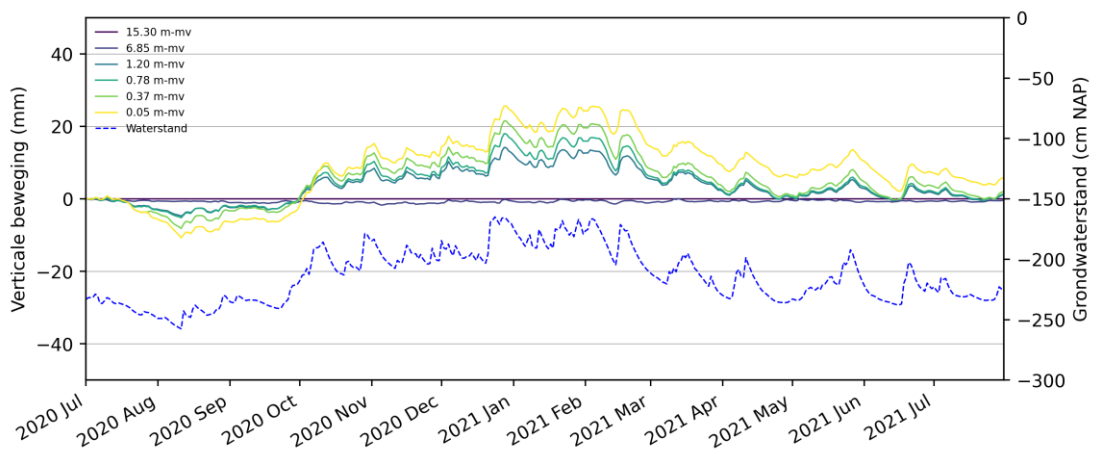
Noord Referentie	West	Midden	Oost	Lengte	Gemiddelde
17-3-2019	-1.628	-1.614	-1.626	-1.645	-1.623
27-3-2020	-1.627	-1.612	-1.627	-1.647	-1.622
5-2-2021	-1.634	-1.616	-1.627	-1.656	-1.626
Vershil 2019-2021	0.006	0.002	0.001	0.011	0.003
Noord Onderwaterdrains	West	Midden	Oost	Lengte	Gemiddelde
17-3-2019	-1.651	-1.652	-1.646	-1.681	-1.650
27-3-2020	-1.648	-1.651	-1.643	-1.672	-1.647
5-2-2021	-1.652	-1.655	-1.647	-1.676	-1.651
Vershil 2019-2021	0.001	0.003	0.001	-0.005	0.001
Zuid Referentie	West	Midden	Oost	Lengte	Gemiddelde
17-3-2019	-1.644	-1.645	-1.634	-1.646	-1.641
27-3-2020	-1.635	-1.638	-1.627	-1.642	-1.633
9-10-2020	-1.660	-1.662	-1.656	-1.672	-1.659
5-2-2021	-1.644	-1.644	-1.633	-1.650	-1.640
22-4-2021	-1.654	-1.656	-1.645	-1.668	-1.652
26-7-2021	-1.674	-1.678	-1.668	-1.695	-1.674
Vershil mrt'20-okt'20	0.025	0.024	0.029	0.03	0.026
Vershil mrt'20-feb'21	0.009	0.006	0.006	0.008	0.009
Vershil mrt'20-apr'21	0.019	0.018	0.018	0.026	0.019
Vershil mrt'20-juli '21	0.039	0.040	0.041	0.053	0.041
Vershil voorjaar 2019-2021	0.000	-0.001	-0.001	0.004	-0.001
Zuid Onderwaterdrains	West	Midden	Oost	Lengte	Gemiddelde
17-3-2019	-1.631	-1.638	-1.640	-1.639	-1.636
27-3-2020	-1.627	-1.631	-1.633	-1.633	-1.630
9-10-2020	-1.648	-1.65	-1.656	-1.665	-1.651
5-2-2021	-1.634	-1.642	-1.643	-1.651	-1.640
22-4-2021	-1.640	-1.645	-1.653	-1.663	-1.646
26-7-2021	-1.658	-1.664	-1.671	-1.684	-1.664
Vershil mrt'20-okt'20	0.021	0.019	0.023	0.032	0.021
Vershil mrt'20-feb'21	0.007	0.011	0.01	0.018	0.014
Vershil mrt'20-apr'21	0.013	0.014	0.020	0.030	0.016
Vershil mrt'20-juli '21	0.031	0.033	0.038	0.051	0.034
Vershil voorjaar 2019-2021	0.003	0.004	0.003	0.012	0.004

¹De lengteraai uit juli 2021 overlapt de voorgaande lengteraai voor de helft en is minder goed vergelijkbaar

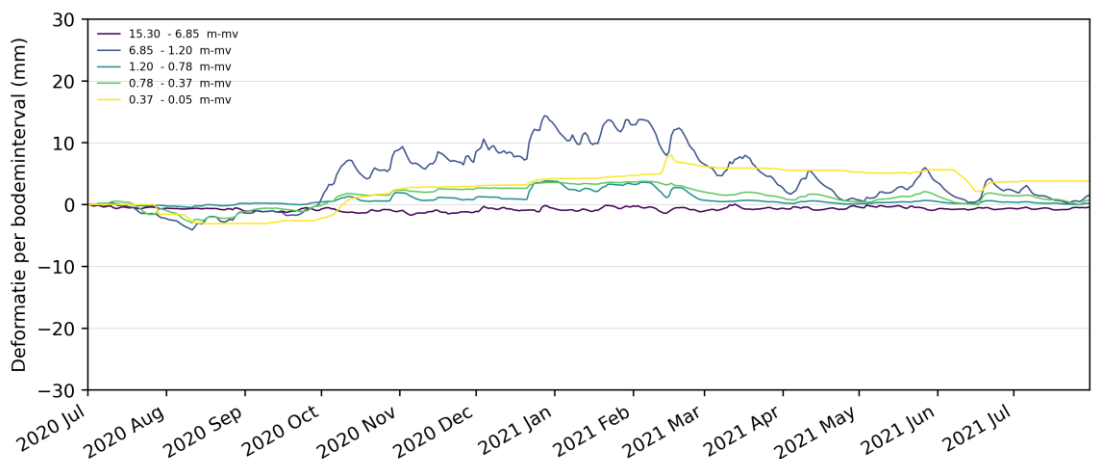
De verschillen in maaiveldhoogte tussen maart 2019 en februari 2021 variëren tussen -1 mm (referentieplot perceel Zuid) en 4 mm (plot onderwaterdrains perceel Zuid). De grootste verschillen op het zuidelijke perceel in afgelopen meetjaar zijn gemeten tussen maart 2020 en juli 2021. Op de referentieplot was het gemiddelde verschil 4,1 cm en op de plot met onderwaterdrains 3,4 cm.

Extensometermetingen (Sanneke van Asselen, Deltares)

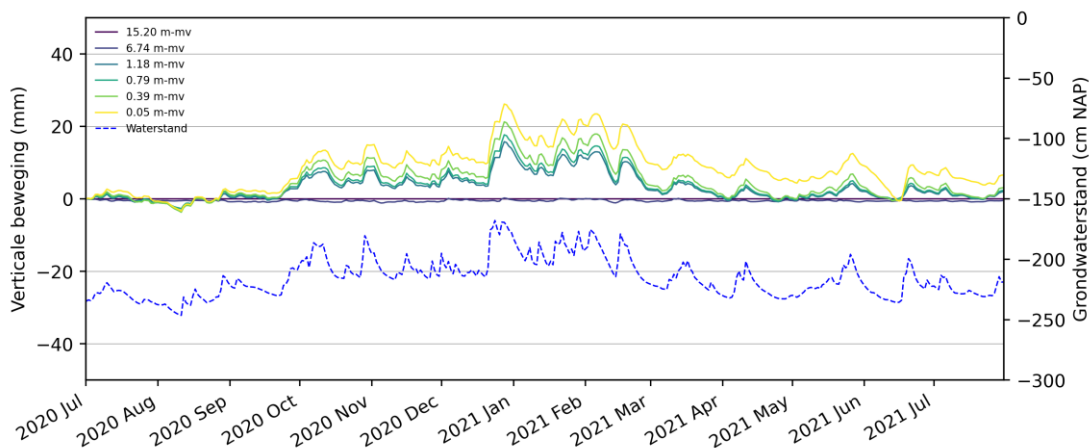
In Vlist is in de zomer van 2020 het maaiveld eerst circa 10 en 3 mm gedaald in respectievelijk de referentie- en maatregelplot (Figuur 2.37 en Figuur 2.39). Vervolgens is het maaiveld gestegen in de herfst en winter van 2020/2021 met respectievelijk 36 en 29 mm. Hoewel er afgelopen jaar een iets grotere dynamiek is waargenomen in de referentieplot dan in de maatregelplot ligt in beide percelen het maaiveld in de zomer van 2021 circa 5 mm hoger dan in de zomer van 2020. In beide percelen wordt de maaiveldbeweging voor een groot deel bepaald door deformatie van de verzadigde veen- en kleilaag tussen circa 6.80 en 1.20 m-mv (Figuur 2.38 en Figuur 2.40), en is de maaivelddynamiek sterk gerelateerd aan de dynamiek van de grondwaterstand. De bovenste kleilaag laag vertoont een vlakkere dynamiek, welke minder gerelateerd is aan de grondwaterstandsdynamiek.



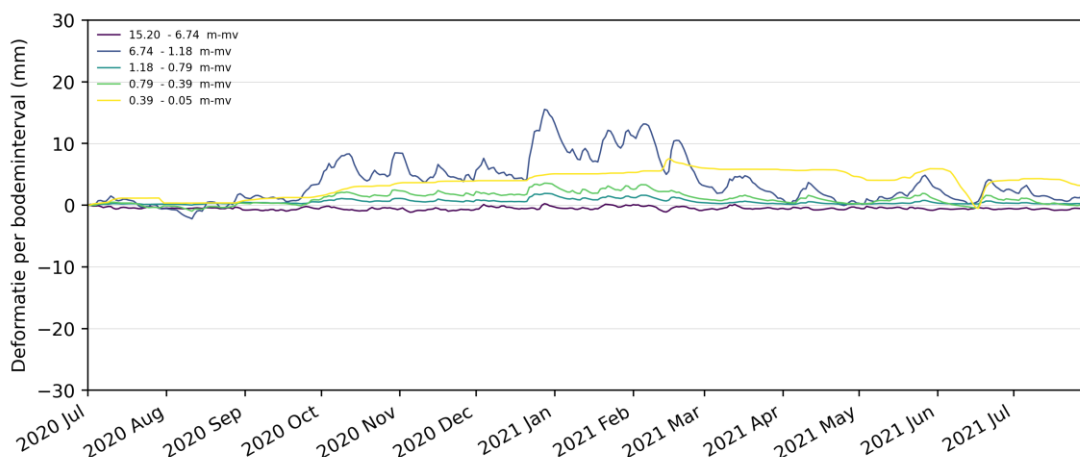
Figuur 2.37. Verticale beweging van verschillende ankerniveaus in de referentieplot van Vlist.



Figuur 2.38. Deformatie van verschillende bodemlagen in de referentieplot in Vlist.



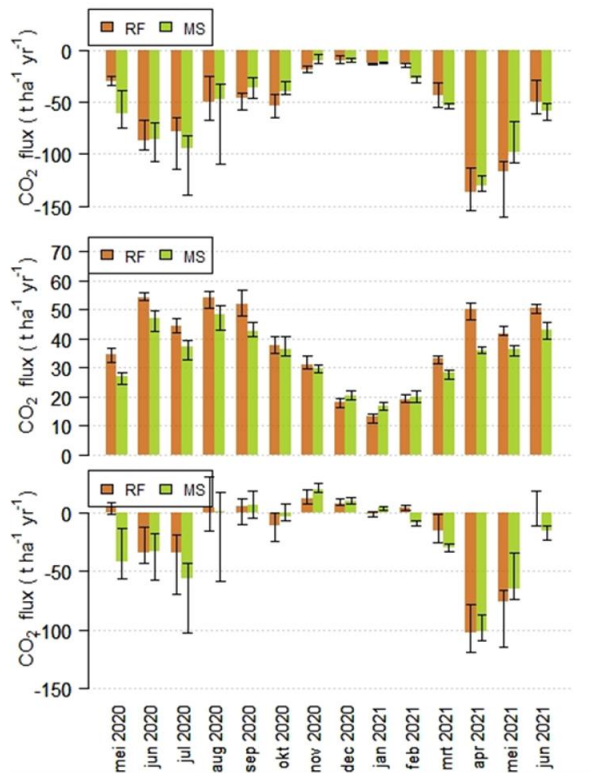
Figuur 2.39. Verticale beweging van verschillende ankerniveaus in de maatregelplot van Vlist.



Figuur 2.40. Deformatie van verschillende bodemlagen in de maatregelplot in Vlist.

2.4.3 CO₂ jaarbudgetten

Voor Vlist is dezelfde methode voor de bepaling van de jaarbudgetten gebruikt als voor Assendelft zoals uiteengezet in hoofdstuk 2.2.3. Wat afwijkt zijn de kamermetingen in april 2020 die in Vlist ontbreken omdat de systemen nog niet in het veld waren gebracht. De sommen van NEE van de kamerfluxen in april 2020 zijn geschat op basis een sterke correlaties met maandelijkse NEE sommen in Assendelft. We hebben hierbij ook de grotere onzekerheid in deze schatting meegenomen. Bij het bestuderen van de maandelijks gemeten nacht-kamerfluxen (Figuur 2.41) wordt duidelijk dat er consistent minder respiratie waargenomen wordt op het maatregelperceel, behalve in de wintermaanden wanneer de respiratie laag is. Verder valt op dat vooral de CO₂ opname in het voorjaar van 2021 uitzonderlijk hoog is, maar deze maanden vallen buiten de jaarbudgetten van 2020.



Figuur 2.41. De maandelijkse sommen van gemeten kamerfluxen in Vlist; totaal (onder), 's nachts (midden) en overdag (boven). De foutbalken geven minimaal en maximaal gemeten waarden weer.

Wat opvalt in de jaarsommen in Tabel 2.6 is de lagere jaarlijkse kamerflux (NEE) en de lagere jaarlijkse gewasopbrengst (6%) (NPP) gemeten in het maatregelperceel ten opzichte van referentieperceel. De netto jaarflux (NEP) bedraagt 21.9 (2.7) en 14.2 (2.5) t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹ voor het referentieperceel en het maatregelperceel respectievelijk. Daarmee is de reductie van CO₂ emissies door onderwaterdrainage in Vlist 7.8 (3.7) t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹ (35%). Net als in Assendelft moeten de resultaten genuanceerd worden aan de hand van de gehele perceel breedte, de meteorologie en metingen van andere broeikasgassen. Ter illustratie: de Hydrus modelstudie (sectie 3.10) suggereert een NEP reductie van 34% (7.0 t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹) voor 2020 op de locatie op het perceel vergelijkbaar met de locatie van de kamers. Deze reductie bedraagt 22% (3.7 t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹) voor het hele perceel in 2020. Voor een nat jaar (2012) is er een *toename* van 49% (2.7 t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹) voor het hele perceel met onderwaterdrainage berekend. De CO₂-reducties zullen dus meerjarig over het totale perceel aanzienlijk lager uitvallen.

Vergeleken met Assendelft valt op dat het referentieperceel in Vlist meer uitstoot en dat de maatregelreductie van NEP een stuk lager is. Dit eerste komt wellicht omdat er in Assendelft een kwelsituatie heerst waardoor de grondwaterstanden mogelijk hoger zijn geweest in de lente. De hoger behaalde reductie in Assendelft komt zeer waarschijnlijk omdat er gebruik wordt gemaakt van drukdrainage en in Vlist alleen van onderwaterdrainage.

Tabel 2.6. De componenten van de jaarbudgetten gemeten in Vlist met standaard deviaties.

		VLI RF	VLI MS
Kamer flux (NEE)	t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹	-5.4	-11.5
NEE sd		1.0	1.0
Oogst (NPP)	t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹	27.4	25.7
NPP sd		2.6	2.3
Netto flux (NEP)	t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹	21.9	14.2
NEP sd		2.7	2.5
Netto reductie	t CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹		7.8
Netto reductie sd			3.7
Reductie factor	[%]		35
Reductie factor sd			17
Kamercorrectie oogst	[%]	+18	+20

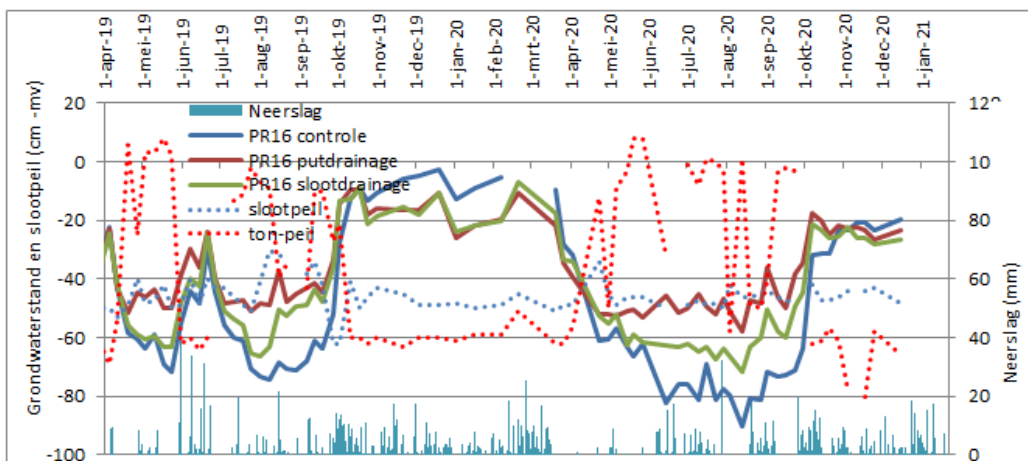
2.5 Zegveld – Utrecht

Auteurs: Harry Massop (WEnR), Rudi Hessel (WEnR), Karel van Houwelingen (KTC Zegveld), Paul Gerritsen (WEnR), Jan van den Akker (WEnR)

2.5.1 Grondwater

In Zegveld wordt grondwaterstand op 2 manieren gemeten, namelijk met drukopnemers en handmatig.

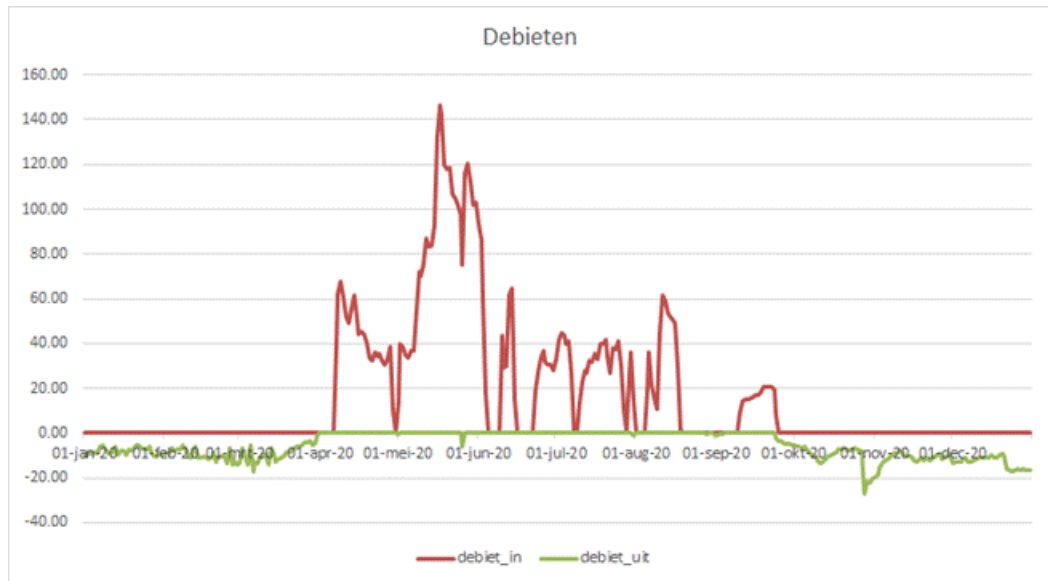
Figuur 2.42 laat meetresultaten zien van handmatige metingen in perceel 16. De figuur laat zien dat de controle plot in de winter de hoogste grondwaterstand heeft, en in de zomer de laagste. In de zomer hebben de drukdrains de hoogste grondwaterstand, terwijl in de winter het effect van drukdrains en onderwaterdrainage (OWD) vergelijkbaar is. Dit illustreert dat de drains een effectieve manier zijn om grondwaterstand te beïnvloeden.



Figuur 2.42. Handmatige metingen grondwaterstand, perceel 16. Sloopdrainage = onderwaterdrainage, putdrainage = drukdrainage, waarbij druk wordt geregeld via het waterniveau in een pompput.

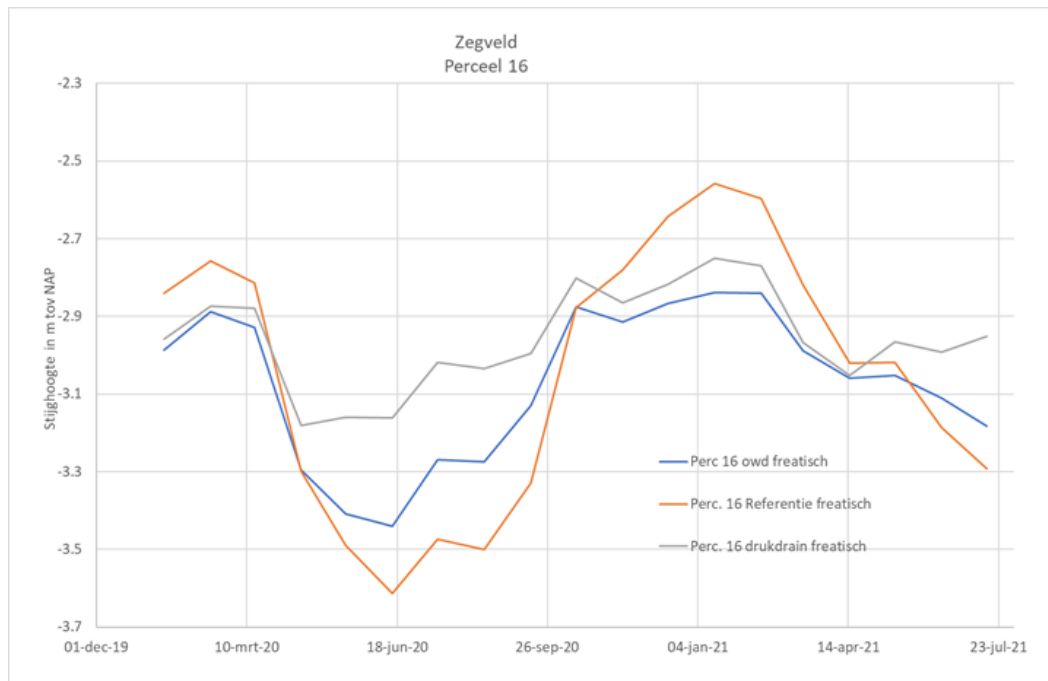
Figuur 2.42 laat ook zien dat de grotere effectiviteit van drukdrains verklaard kan worden door de sturing die plaats vindt via het putpeil. Dit peil wordt handmatig aangepast, en aanvoer/afvoer van

water wordt gemeten met een Dynalynx. Figuur 2.43 laat een voorbeeld zien van Dynalynx data; hierin is te zien dat er in de zomer water wordt aangevoerd en in de winter water wordt afgevoerd.



Figuur 2.43. Voorbeeld Dynalynx data; debiet in m³/dag.

Figuur 2.44, Figuur 2.45, Figuur 2.46, en Tabel 2.7 en Tabel 2.8 geven de resultaten voor de metingen met drukopnemers voor perceel 16. Uit de maandgemiddelde standen (Figuur 2.44) blijkt dat de diepste grondwaterstand op perceel 16 is opgetreden in april-juni 2020 en de hoogste grondwaterstand in januari 2021. Het verschil in gemiddelde grondwaterstand is het grootst voor de referentiebuis, nl. 1,05 m en het kleinst voor het deel met drukdrain nl. ca 0,43 m. Voor het deel met onderwaterdrains is het verschil 0,60 m.



Figuur 2.44. Gemiddelde grondwaterstand per maand van de freatische peilbuizen in de plots op perceel 16

De freatische grondwaterstand in het deel met onderwaterdrains is altijd dieper ten opzichte van NAP dan in het deel met drukdrains, het verschil neemt toe in de zomer. In het referentiedeel is de grondwaterstand in de zomer dieper en in de winter ondieper dan in de beide gedraineerde plots. In de plot in het deel met drukdrains zijn vier gefundeerde peilfilters geplaatst in een raai tussen twee drains.

Tabel 2.7. Gemiddelden grondwaterstand per maand van de freatische peilbuizen in de drukdrainplot in perceel 16.

Omschrijving	Zegveld drains west 1,5 mtr	Zegveld drains midden 3,0 mtr	Zegveld drukdrain oost_1,5 mtr	Zegveld drukdrain oost 0,5 mtr
Drukopnemer (Ellitrack)	20032511	20032512	20032513	20032514
01-20				
02-20				
03-20				
04-20				
05-20	-2.870	-2.871	-2.820	-2.733
06-20	-2.908	-2.934	-2.894	-2.860
07-20	-2.883	-2.926	-2.885	-2.856
08-20	-2.974	-3.030	-3.016	-2.999
09-20	-2.979	-2.975	-2.970	-2.957
10-20	-2.712	-2.717	-2.760	-2.805
11-20	-2.822	-2.826	-2.850	-2.883
12-20	-2.714	-2.728	-2.768	-2.809
01-21	-2.658	-2.674	-2.709	-2.751
02-21	-2.725	-2.719	-2.752	-2.791
03-21	-2.959	-2.957	-2.973	-2.989
04-21	-3.040	-3.049	-3.052	-3.041
05-21	-2.905	-2.930	-2.927	-2.914
06-21	-3.008	-3.026	-3.013	-2.975
07-21	-2.984	-3.024	-2.994	-2.933

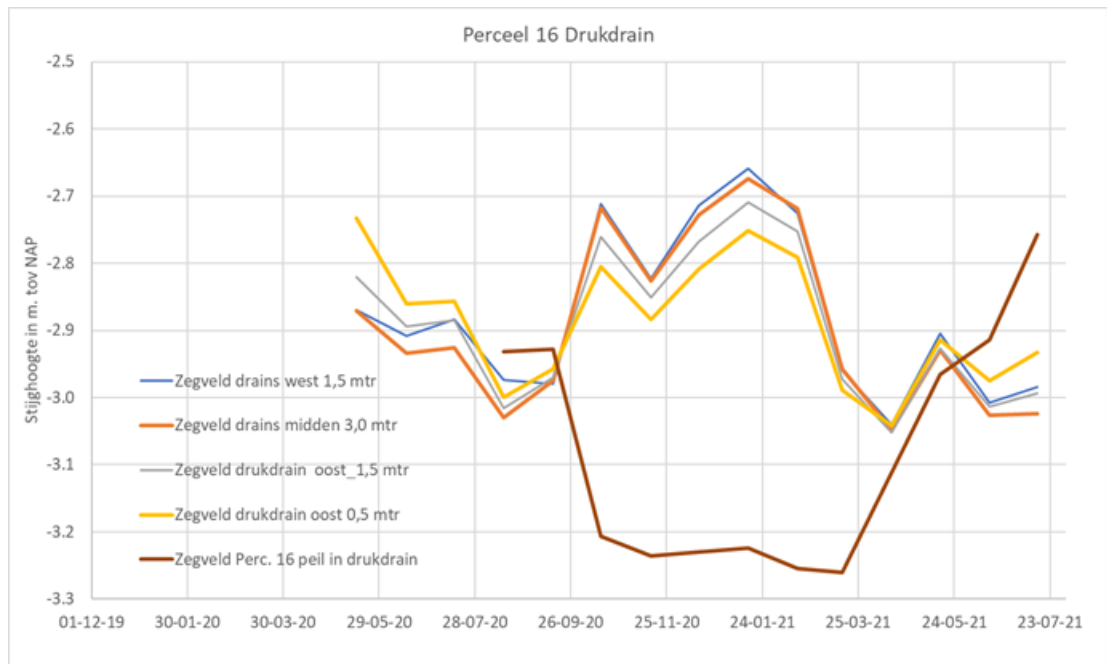
Uit Tabel 2.7 en Figuur 2.45 blijkt een duidelijk verschil in hoogte van de grondwaterstand. In de zomer is de grondwaterstand op 0,5 m van de drain hoger dan op 3 m van de drain, dit duidt op infiltratie vanuit de drain in de winter is het omgekeerde het geval dit duidt op drainage. Het verschil is in juni-juli ca 0,07 m evenals in december-januari.

In de plot met drukdrains zijn drie filters op 1,5 m van de drain geplaatst, in Tabel 2.8 zijn de gemiddelde voor de maand juni 2020 en januari 2021 weergegeven.

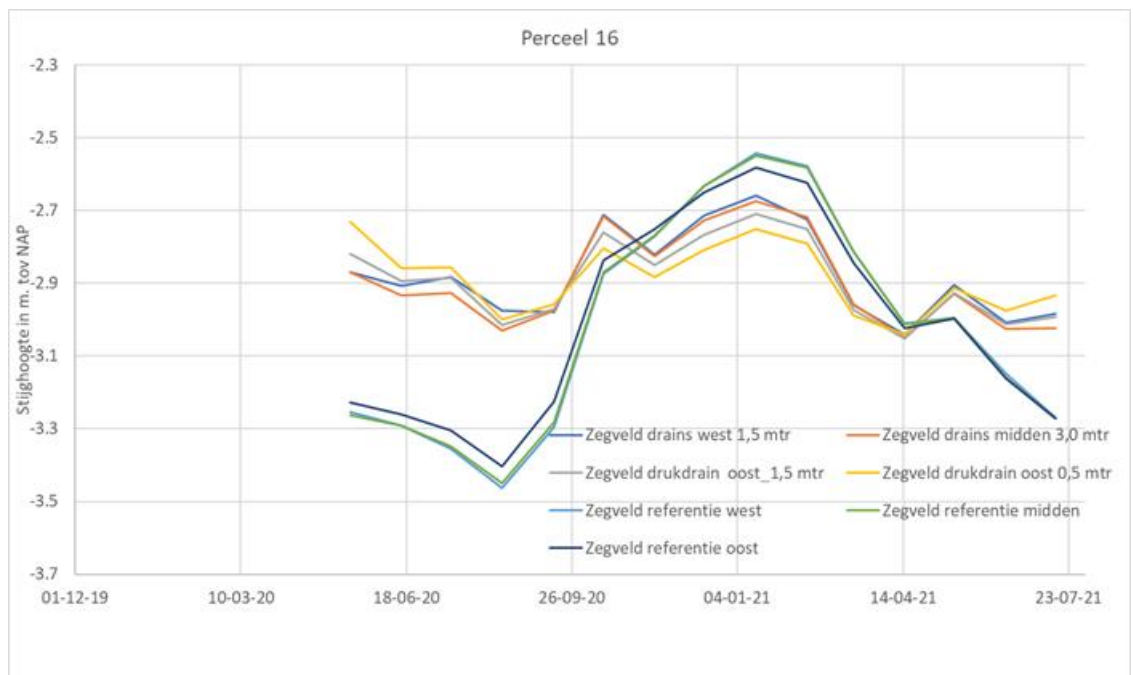
Tabel 2.8. Gemiddelden grondwaterstand in freatische peilbuizen op 1,5 m van de drain in de drukdrainplot in perceel 16.

Omschrijving	Perc. 16 drukdrain freatisch	Zegveld drains west 1,5 mtr	Zegveld drukdrain oost_1,5 mtr
Drukopnemer (Ellitrack)	19091023	20032511	20032513
06-20		-3.161	-2.894
01-21		-2.751	-2.709
Range	0,41	0.25	0.185

Het grondwater op 1,5 m van de drain in de N₂O-plot zakt in juni 2020 dieper uit dan bij de twee andere peilfilters, in januari 2021 zijn de verschillen minder groot.



Figuur 2.45. Gemiddelde grondwaterstand per maand van de freatische peilbuizen in de plot met drukdrains op perceel 16.



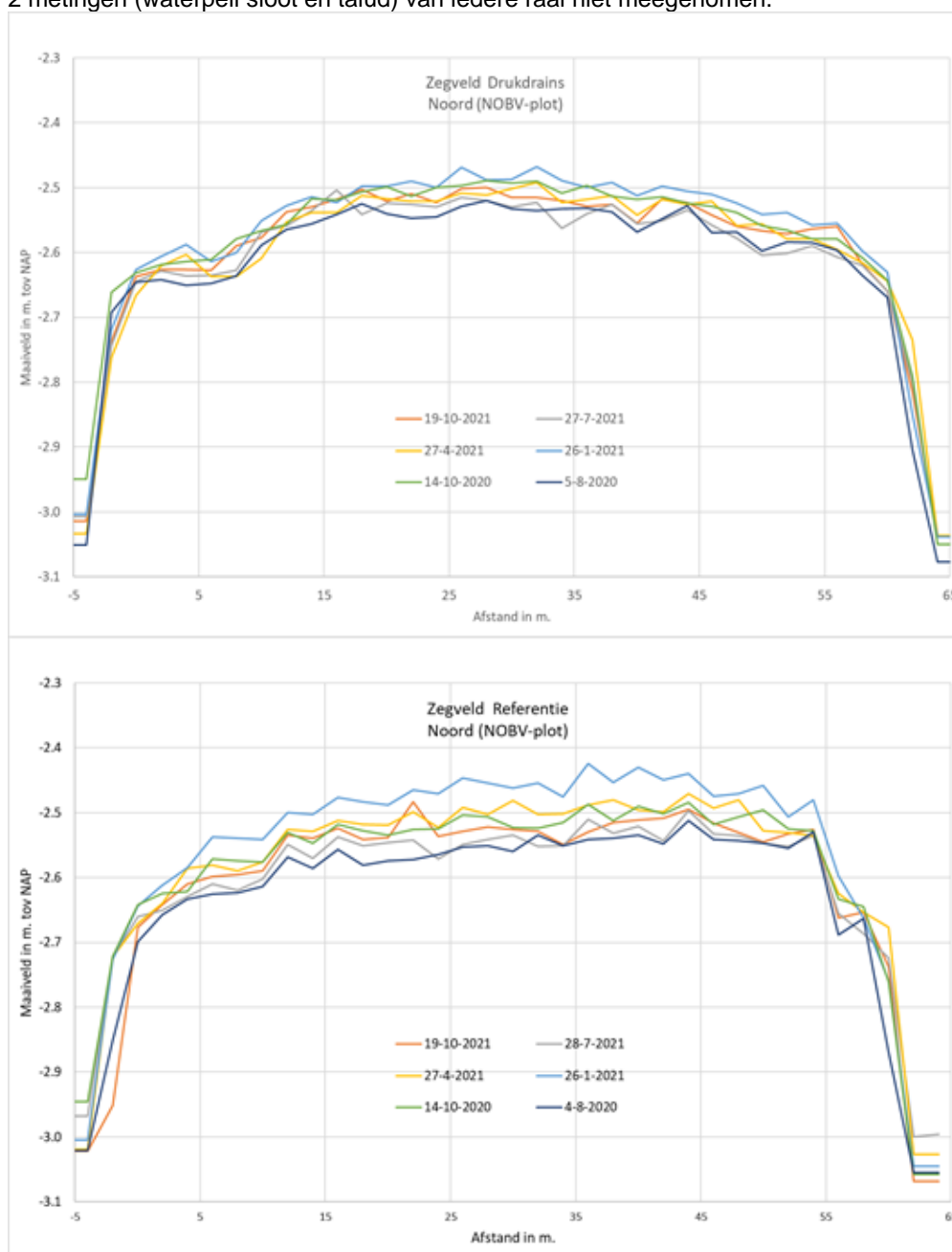
Figuur 2.46. Gemiddelde grondwaterstand per maand van de freatische peilbuizen in de plot met drukdrains en de referentieplot op perceel 16.

Uit Figuur 2.46 blijkt dat de grondwaterstand tussen de drainbuizen, als gevolg van drainage en infiltratie minder fluctueert dan in de referentieplot zonder werkzame drainbuizen.

2.5.2 Bodembeweging

Waterpasmetingen

Metingen zijn een of enkele keren per jaar uitgevoerd op percelen 13 t/m16. Op perceel 14 en 15 wordt eenmaal per jaar in het voorjaar gemeten en op perceel 13 en 16 vier keer per jaar. Op ieder van die percelen zijn 9 raaien gemeten, namelijk 3 in het deel met drukdrains, 3 in het referentiedeel en 3 in het deel met onderwaterdrainage. In augustus 2020 is op perceel 16 aan de referentieplot en de plot met drukdrains 1 raai toegevoegd, zodat op deze delen van het perceel 4 dwarsraaien worden gemeten. Figuur 2.47 laat de resultaten zien voor de raaien die over de NOBV plots in het deel met drukdrains en het referentiedeel lopen. Deze grafieken laten zien dat de variatie in maaiveldhoogte voor het deel met drukdrains aanzienlijk kleiner is dan voor het referentiedeel. Voor de berekenen van het gemiddelde maaiveld per raai zijn de eerste en laatste 2 metingen (waterpeil sloot en talud) van iedere raai niet meegenomen.



Figuur 2.47. Maaiveldhoogte voor de raaien die lopen over de NOBV plots. Boven: Drukdrains; onder: Referentie.

Vergelijken we het gemiddelde maaiveld tussen april 2020 en april 2021 voor perceel 11N, 13 en 16 dan daalt met uitzondering van perceel 11 het maaiveld. Bij perceel 11N is het maaiveld 3 mm gestegen. Op perceel 13 referentie is de daling slechts 1 mm en voor de beide gedraineerde plots ca 10 mm. Op perceel 16 is de maaivelddaling groter, op de gedraineerde plots is de maaivelddaling 16 mm en op de referentieplot 26 mm.

De verschillen in gemiddelde maaiveldhoogte tussen voorjaar 2019 en 2021 zijn voor perceel 14 en 15 negatief, dat wil zeggen voorjaar 2021 was het maaiveld hoger dan in 2019, terwijl het omgekeerde zou worden verwacht. Voorjaar 2021 zijn de metingen uitgevoerd in februari tegen 2019 eind april. Dit verschil in opname moment in het voorjaar kan het verschil mogelijk verklaren. Ook tussen de metingen van begin april 2020 en eind februari 2021 zien we een hoger maaiveld in 2021. De verschillen zijn het grootst voor de referentie plot en het kleinst voor de plot met drukdrains.

In april 2020 zijn lengte en dwarsraaien van alle percelen in Zegveld opgemeten. De resultaten hier van staan in Figuur 2.48.

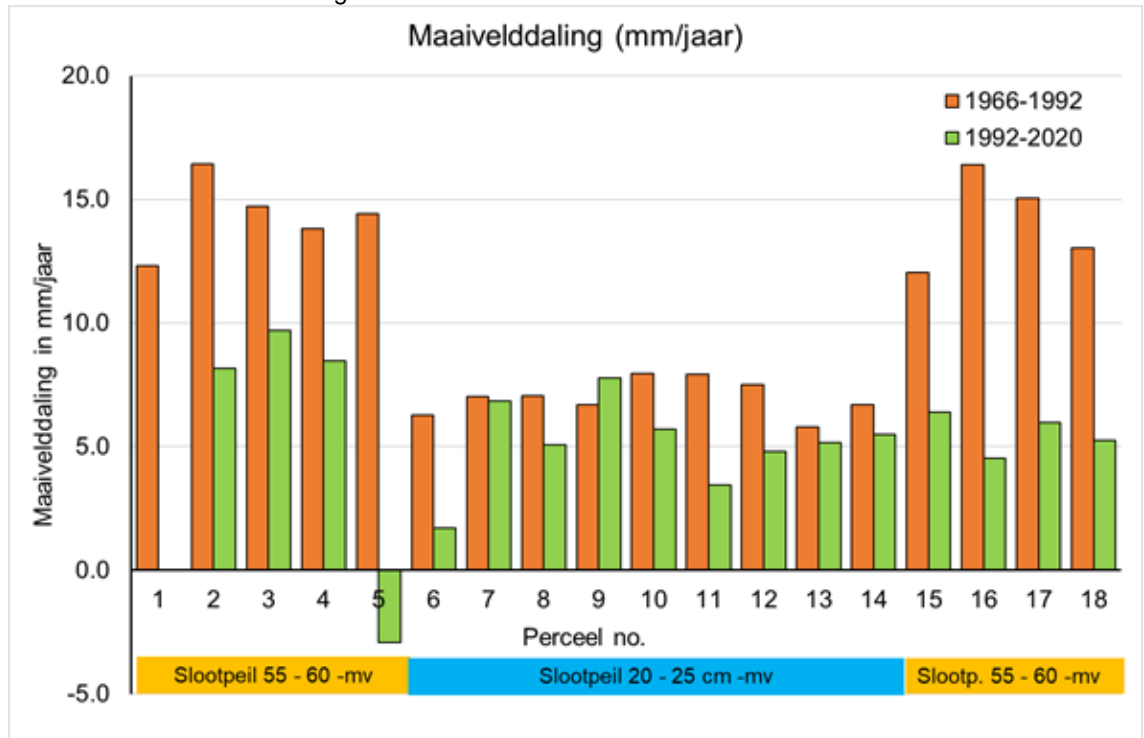


Figuur 2.48. Hoogte proefboerderij Zegveld in 2020, in meter NAP. Nummers 1-20 zijn perceel nummers.

Deze metingen zijn vergeleken met resultaten van eerdere metingen (uitgevoerd in 1966, 1992 en 2003). Bodemdaling per jaar is te zien in Figuur 2.49. De bodemdaling per perceel is onderverdeeld in de periodes 1966-1992 en 1992-2020. Merk op dat perceel 5 bedekt is met een organische klei laag, en dat perceel 6 gebruikt wordt voor een experiment met paludicultuur. Dit resulteert in een schijnbaar sterke afname van bodemdaling in percelen 5 en 6 tijdens de tweede periode.

In de eerste periode (1966-1992) was de bodemdaling in de percelen met het diepere slootpeil aanzienlijk groter dan in de tweede periode (1992-2020) omdat het grootste deel van consolidatie en compactie van de diepere veenlagen en zachte kleilagen is opgetreden direct na de 30 tot 40 cm verlaging van de slootpeilen in de eerste periode. Het lage slootpeil was in eerste instantie zelfs 70 cm -mv, maar is later teruggebracht naar ca 60 cm -mv om zo aan te sluiten bij een

bestuurlijk overeengekomen beslissing in het Westelijk veenweidegebied dat een diepere drooglegging dan 60 cm ongewenst was in verband met de te grote resulterende maaiveldddaling. Later zijn periodiek de droogleggingen aangepast aan de optredende maaiveldddaling. Dit zijn dus feitelijk geen grotere droogleggingen en resulteren daarom niet in extra zetting in de ondergrond. Ook kan het feit dat door de klimaatverandering de jaarlijkse neerslag in Nederland met ca 100 mm per jaar is toegenomen een bijdrage hebben geleverd aan hogere grondwaterstanden en daardoor minder maaiveldddaling. Aan de andere kant neemt wel de temperatuur toe en daardoor de afbraaksnelheid van het veen. Ook lijken de laatste jaren vooral de voorjaren droger uit te vallen. In de tweede periode lijken de nattere jaren tot een lagere bodemdaling te leiden, echter dit kan in de nabije toekomst of wellicht nu al door hogere temperaturen en langere droge perioden omslaan in meer bodemdaling.



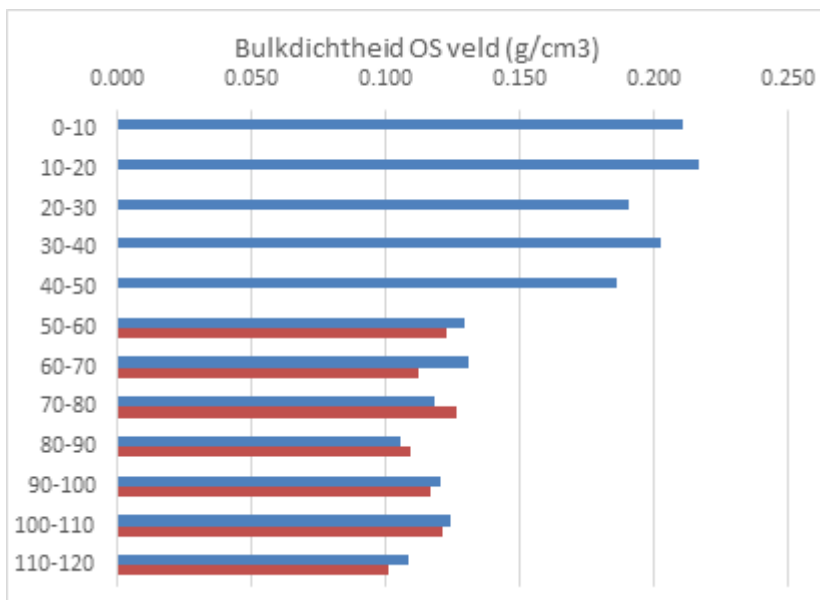
Figuur 2.49. Bodemdaling in mm per jaar voor percelen 1-18 van de proefboerderij Zegveld, in de periodes 1966-1992 en 1992-2020. DWL = Ditch Water Level (slootpeil).

De grootste oorzaak van afname van de bodemdaling in mm per jaar tijdens de tweede periode is echter waarschijnlijk de doorgaande maar in de tijd steeds langzamere toename van bulkdichtheid veroorzaakt door veraarding van de bovenlaag van het veenprofiel. Veraarding is de degradatie van het veen in organische stof-rijke grond door veenoxidatie. Door de veenoxidatie treedt niet alleen verlies van organische stof op dat als CO₂ de lucht in verdwijnt, maar worden de vezels waaruit het veen bestaat ook in steeds kleinere stukken afgebroken, waardoor de luchtige vezelstructuur steeds meer onder zijn eigen gewicht inzakt en dichter wordt. Dit inzakken wordt sterk bevorderd door eventuele bovenbelasting en door uitdrogen waardoor grote krachten op de verzwakte vezelstructuur worden uitgeoefend. Dit inzakken en dichter worden neemt bij het dichter worden van het veen in snelheid af. Ook bodemdieren zoals wormen bevorderen in de bovenlaag de veraarding van de vezelstructuur. In de tweede periode is de bodemdaling van percelen 15-18 mogelijk lager dan die van percelen 2-4 door een aanzienlijk hoger gehalte aan minerale delen in de oostelijke helft van de proefboerderij Zegveld.

Zakplaatjes en organische stof- en koolstofprofielen

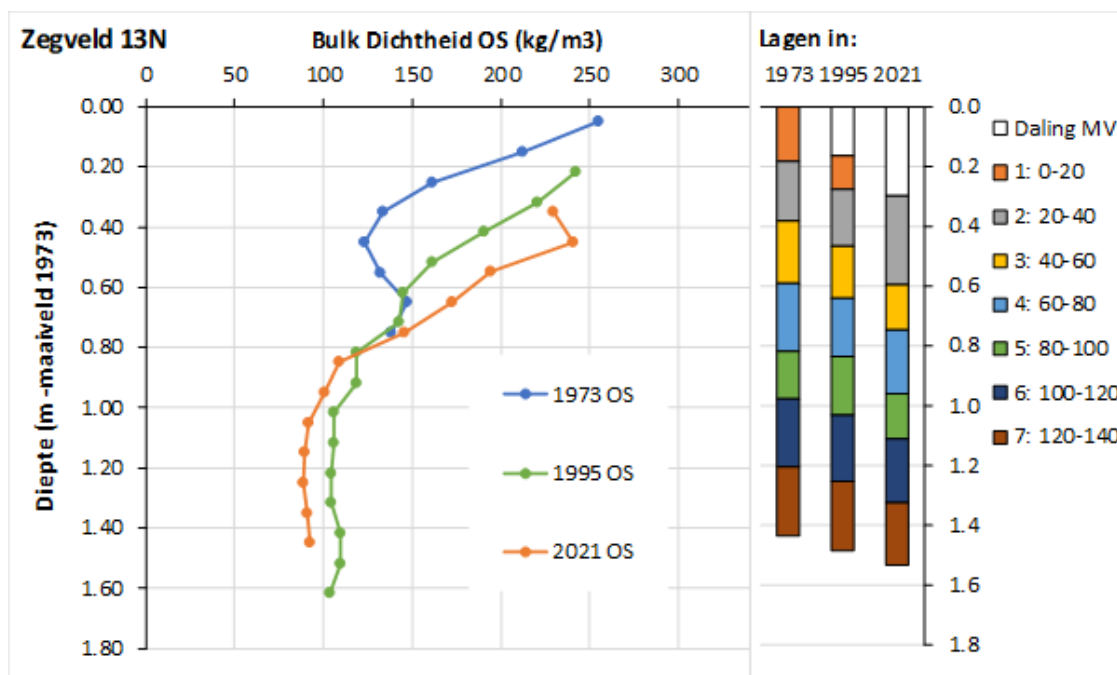
Organische stofprofielen geven aan hoeveel organische stof er op een bepaalde diepte in het profiel zit. De hoeveelheid organische stof (OS) per cm³ is de bulkdichtheid OS, welke wordt uitgedrukt in g/cm³. Naast organische stof zit er in veen ook minerale delen, die ook in g/cm³ worden uitgedrukt. Organische stof plus de minerale delen opgeteld geeft de bulkdichtheid (volumegegewicht) van de veengrond. Uit het organische stofprofiel kan het koolstofprofiel worden berekend door rekening te houden met het aandeel koolstof (C) in de organische stof. Deze zal in het NOBV-project voor elke locatie en diepte worden gemeten, maar dat is nog niet gebeurd. Voorlopig presenteren we daarom vooral organische stofprofielen en houden we in berekeningen voorlopig aan dat de verhouding koolstof in het gewicht van de organische stof C/OS = 0,55 is. Zakplaatjes zijn in de jaren '70 geïnstalleerd op een bekende diepte ten opzichte van het maaiveld. Door jaarlijks in het vroege voorjaar de hoogte van het maaiveld de zakplaatjes te meten ten opzichte van NAP is de bodemdaling op verschillende diepten gemonitord. Bij de installatie van de zakplaatjes in de jaren '70 zijn in Zegveld ook de profielen tot 80 cm diepte bemonsterd en de dichtheden en organische stofgehalten bepaald. Daarmee is de toenmalige hoeveelheid organische stof in de eerste 80 cm van de profielen bekend. De bemonsteringsdiepte van 80 cm is hierbij vastgelegd door het zakplaatje op die diepte. Door in 2021 opnieuw te bemonsteren en het tegenwoordige organische stofprofiel te bepalen kan met behulp van de huidige diepte van dit zakplaatje worden bepaald wat de huidige hoeveelheid organische stof tot de diepte van het zakplaatje is. Daaruit kan het verlies aan organische stof en daarmee het verlies aan C sinds de eerste bemonstering in de 70-er jaren worden bepaald. Hieruit kan de totale CO₂-emissie en de jaarlijks gemiddelde CO₂-emissie sinds de 70-er jaren worden berekend. Dit geeft een goede check op de huidige CO₂-emissiemetingen met de gesloten kamers. Door ook nu in 2021 en 2022 bij de verschillende locaties zakplaatjes te installeren en koolstofprofielen te bepalen, kan deze methode over bijvoorbeeld 10, 20, 30 jaar worden gebruikt om het verlies aan koolstof en daarmee de CO₂-emissie te monitoren bij de referentie- en de maatregelpercelen.

In de jaren '70 zijn op de percelen 3, 8, 13, 16 en op 2 plekken in perceel 20 zakplaatjes geïnstalleerd op diepten van ca 20, 40, 60, 80, 100, 120 en 140 cm diepte en is het profiel tot 80 cm bemonsterd en de dichtheid en organische stofgehalte bepaald. In 1995 is bij de plek met zakplaatjes na een hoogtemeting van de zakplaatjes opnieuw bemonsterd tot een diepte van 140 cm. In 2020 is bij de percelen 13 en 16 bij de plekken met zakplaatjes na een hoogtemeting van de zakplaatjes opnieuw bemonsterd. In perceel 16 is het bemonsteren voor het koolstofprofiel op 2 manieren gedaan, namelijk door beneden 50 cm diepte een brede guts te gebruiken en door beneden die diepte (net als boven die diepte) met ringen te bemonsteren. Het doel hier van was om de resultaten van beide methoden te vergelijken. Om de bemonstering effectief te laten verlopen zou het namelijk zeer wenselijk zijn om beneden de 50 cm met de guts te kunnen bemonsteren. Dan is er veel minder verstoring van de bodem nodig omdat er geen groot gat gegraven hoeft te worden. Figuur 2.50 laat een vergelijking zien van de dichtheid die gemeten is aan ringmonsters en gutsmonsters. Er is enig verschil te zien, maar de verschillen zijn niet zo groot. De conclusie hieruit is dat de brede guts een goed alternatief is voor ring-monsters.



Figuur 2.50. Vergelijking van bulkdichtheid organische stof gemeten met ringen (blauw) en guts (rood).

Door gebruik van koolstofprofielen konden we bepalen wat de totale hoeveelheid organisch materiaal was tot de dieptes van de zakplaatjes bij het begin (1970-1978, afhankelijk van perceel), en in 1995 en 2021. Dit vormt de basis voor de berekening van gemiddelde jaarlijkse CO₂-emissies over die periodes. Figuur 2.51 laat resultaten zien voor perceel 13.



Figuur 2.51. Bulkdichtheid van organische stof (SOM) en minerale delen voor de lagen tussen de dieptes waarop zakplaatjes zijn geïnstalleerd in 1973, 1995 en 2021. Zegveld 13, slootpeil 20-25 cm –maaiveld.

Afhankelijk van welk zakplaatje bekeken wordt, en van de aangenomen bulkdichtheid van organische stof in 1970 beneden 80 cm diepte, hebben we voor Zegveld 13 een gemiddelde jaarlijkse CO₂-uitstoot berekend van 10.7 – 14.1 ton.ha⁻¹. De hoogste waarde wordt vooral veroorzaakt door de onverwacht lage bulkdichtheid beneden 80 cm in 2021. Voor Zegveld 16 hebben we een gemiddelde jaarlijkse CO₂-emissie berekend van 14.2-15.5 ton.ha⁻¹. Deze

waarden worden vergeleken met waarden uit de literatuur en waarden die zijn berekend met formules uit de literatuur (Tabel 2.9).

Tabel 2.9. Vergelijking met literatuurwaarden en berekende waarden met formules uit de literatuur. Gemiddelde jaarlijkse grondwaterstand (WTD) = 19.5 cm (Zegveld 13) en WTD= 37.0 cm (Zegveld 16). Het gemiddelde van de 3 laagste 2-wekelijkse grondwaterstanden (GLG) in de periode 2009-2015 is GLG = 44.1 cm (Zegveld 13) en GLG = 65.9 cm (Zegveld 16)

Referentie	CO ₂ -emissie (t.ha ⁻¹ .jaar ⁻¹)		Commentaar
	Zegveld 13	Zegveld 16	
NOBV	10.7 - 14.1	14.2 - 15.3	OS verlies in 50 jaar
Jacobs et al., 2003	15.0/19.2	25.3/25.4	Eddy covariance (EC) metingen Zegveld
Schothorst, 1982	8.1	14.5	Gebaseerd op grasopbrengst door N-mineralisatie van veen
Van den Akker et al., 2008	8.4	20.0	CO ₂ = 0.5319 GLG – 0.15 (gebaseerd op Nederlandse maaiveldalingsmetingen)
Fritz et al., 2017	8.9	16.7	CO ₂ = 0.45 WTD – 0.088 (gebaseerd op literatuurstudie van Nederlandse metingen)
Tiemeyer et al., 2020	18.7	34.5	CO ₂ = -3.41+40.33EXP(-7.52EXP(-0.1297 WTD)) (gebaseerd op Duitse kamermetingen)
Evans et al., 2021	3.2	11.8	CO ₂ = 0.4917 WTD–6.43 (Gebaseerd op EC metingen Groot Brittanië)

De op basis van verlies organische stof bepaalde CO₂-emissies vallen goed binnen de range die in de literatuur gegeven wordt, maar de CO₂-emissie van Zegveld 13 is hoger en die van Zegveld 16 is lager dan was verwacht op basis van de literatuur. Metingen van het verlies van organische stof bij de plekken met zakplaatjes in percelen 3 en 8 zijn nodig om beter gefundeerde conclusies te trekken.

Nieuw geplaatste zakplaatjes en gemeten dynamische bodembeweging

De zakplaatjes op ca 40, 80, 120 en 160 cm – maaiveld op de percelen 13 t/m 16 zijn in het voorjaar van 2020 geplaatst, en zijn opgemeten bij de waterpassing van de dwarsraaien in voorjaar 2021. De zakplaatjes zijn aangebracht om de zakking op lange termijn te monitoren en om een referentiediepte te vormen voor koolstofprofielen, maar worden in de eerste jaren van NOBV ook 4 maal per jaar gemeten om de dynamische, seizoensgebonden, beweging te volgen. In Tabel 2.10 zijn de resultaten van de meting weergegeven voor perceel 13 en 16. Op die percelen zijn de zakplaatjes opgemeten bij de waterpassingen in augustus en oktober 2020 en in januari en juli 2021. Het blijkt dat in januari 2021 het maaiveld en de zakplaatjes op hun hoogste punt waren. In Tabel 2.11 zijn van het maaiveld en de zakplaatjes de hoogteverschillen ten opzichte van de situatie in januari 2021 gegeven. Daaruit blijkt dat de grootste dynamiek in de maaiveld- en zakplaatjeshoogte optreedt in de referentieperceeldelen en de kleinste dynamiek in de perceeldelen met drukdrains. De hoogteverschillen en de dynamiek zijn bij perceel 16 groter dan bij perceel 13. Bedacht moet worden dat de gemiddelde jaarlijkse daling van de onderste zakplaten op ca 1,40 m diepte bij de oude monitoringopstellingen op perceel 13 1,4 mm per jaar en bij perceel 16 2,1 mm per jaar waren (Beuving en van den Akker, 1996). De dynamische verticale bodembeweging is dus veel groter dan de gemiddelde jaarlijkse daling van de diepste zakplaatjes. Dit maakt de noodzaak van langetermijn metingen duidelijk.

Tabel 2.10. Metingen hoogte t.o.v. NAP van het maaiveld en de zakplaatjes op perceel 13 en 16.

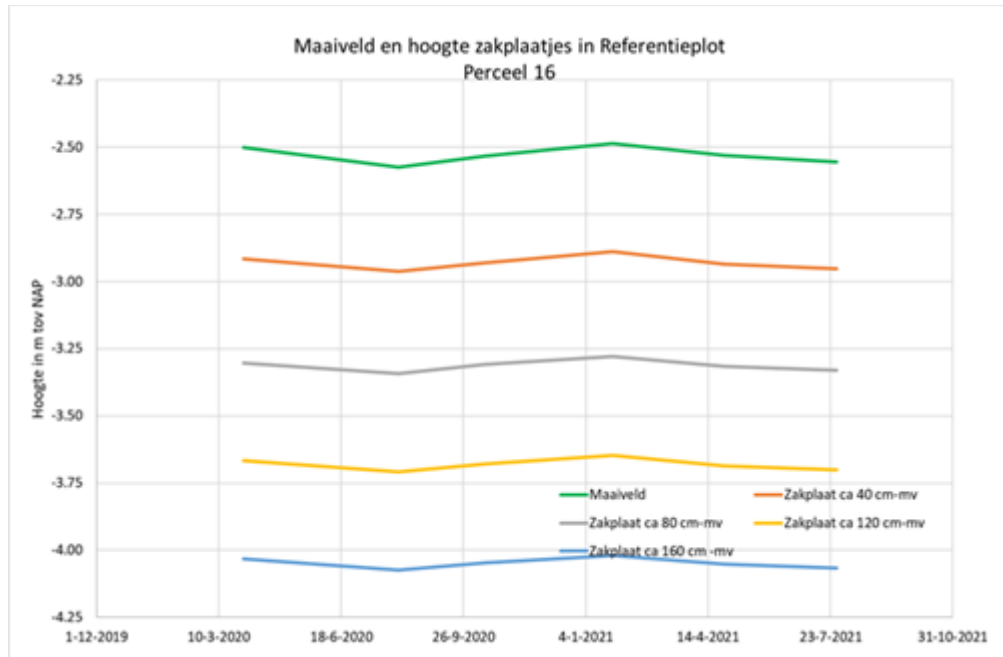
Datum	3-4-2020	5-8-2020	12-10-2020	27-1-2021	26-4-2021	27-7-2021
Perceel	13-Drukdr	13-Drukdr	13-Drukdr	13-Drukdr	13-Drukdr	13-Drukdr
maaiveld	-2.436	-2.448	-2.431	-2.431	-2.431	-2.445
ca 40 cm-mv		-2.872	-2.855	-2.865	-2.875	-2.870
ca 80 cm-mv		-3.147	-3.134	-3.142	-3.149	-3.147
ca 120 cm -mv		-3.668	-3.657	-3.665	-3.668	-3.665
ca 160 cm -mv		-3.974	-3.967	-3.974	-3.976	-3.976
Datum	1-4-2020	5-8-2020	12-10-2020	27-1-2021	26-4-2021	27-7-2021
Perceel	13-Ref	13-Ref	13-Ref	13-Ref	13-Ref	13-Ref
maaiveld	-2.433	-2.488	-2.436	-2.425	-2.433	-2.465
ca 40 cm-mv	-2.826	-2.861	-2.823	-2.811	-2.838	-2.859
ca 80 cm-mv	-3.142	-3.175	-3.138	-3.128	-3.152	-3.165
ca 120 cm -mv		-3.565	-3.538	-3.528	-3.545	-3.559
ca 160 cm -mv		-4.033	-4.008	-4.001	-4.017	-4.025
Datum	1-4-2020	5-8-2020	12-10-2020	27-1-2021	26-4-2021	26-7-2021
Perceel	13-OWD	13-OWD	13-OWD	13-OWD	13-OWD	13-OWD
maaiveld	-2.358	-2.383	-2.353	-2.349	-2.356	-2.372
ca 40 cm-mv	-2.757	-2.773	-2.754	-2.762	-2.772	-2.778
ca 80 cm-mv	-3.043	-3.054	-3.034	-3.037	-3.050	-3.057
ca 120 cm -mv	-3.449	-3.461	-3.443	-3.447	-3.455	-3.462
ca 160 cm -mv			-3.915	-3.916	-3.926	-3.930
Datum	30-3-2020	5-8-2020	14-10-2020	26-1-2021	27-4-2021	28-7-2021
Perceel	16-Drukdr	16-Drukdr	16-Drukdr	16-Drukdr	16-Drukdr	16-Drukdr
maaiveld	-2.527	-2.564	-2.531	-2.522	-2.546	-2.546
ca 40 cm-mv	-2.920	-2.930	-2.908	-2.907	-2.928	-2.922
ca 80 cm-mv	-3.281	-3.287	-3.268	-3.269	-3.286	-3.280
ca 120 cm -mv	-3.671	-3.679	-3.662	-3.663	-3.676	-3.671
ca 160 cm -mv	-4.060	-4.067	-4.053	-4.052	-4.065	-4.061
Datum	30-3-2020	4-8-2020	14-10-2020	26-1-2021	27-4-2021	28-7-2021
Perceel	16-Ref	16-Ref	16-Ref	16-Ref	16-Ref	16-Ref
maaiveld	-2.501	-2.574	-2.532	-2.487	-2.530	-2.554
ca 40 cm-mv	-2.9167	-2.963	-2.932	-2.889	-2.937	-2.952
ca 80 cm-mv	-3.304	-3.343	-3.308	-3.279	-3.317	-3.331
ca 120 cm -mv	-3.667	-3.709	-3.679	-3.648	-3.685	-3.702
ca 160 cm -mv	-4.031	-4.074	-4.047	-4.021	-4.050	-4.067
Datum	30-3-2020	5-8-2020	14-10-2020	26-1-2021	27-4-2021	28-7-2021
Perceel	16-OWD	16-OWD	16-OWD	16-OWD	16-OWD	16-OWD
maaiveld	-2.506	-2.546	-2.515	-2.511	-2.517	-2.548

ca 40 cm-mv	-2.892	-2.911	-2.884	-2.883	-2.892	-2.908
ca 80 cm-mv	-3.252	-3.266	-3.242	-3.240	-3.247	-3.263
ca 120 cm -mv	-3.667	-3.667	-3.646	-3.646	-3.648	-3.665
ca 160 cm -mv	-4.041	-4.056	-4.036	-4.039	-4.039	-4.053

Tabel 2.11. Hoogteverschillen in mm van maaiveld en zakplaatjes perceel 13 en 16 t.o.v. hoogten in januari 2021.

Datum	3-4-2020	5-8-2020	12-10-2020	27-1-2021	26-4-2021	27-7-2021
Perceel	13-Drukdr	13-Drukdr	13-Drukdr	13-Drukdr	13-Drukdr	13-Drukdr
maaiveld	-5	-17	0	0	0	-14
ca 40 cm-mv		-7	10	0	-10	-5
ca 80 cm-mv		-5	8	0	-7	-5
ca 120 cm -mv		-3	8	0	-3	0
ca 160 cm -mv		0	7	0	-2	-2
Datum	1-4-2020	5-8-2020	12-10-2020	27-1-2021	26-4-2021	27-7-2021
Perceel	13-Ref	13-Ref	13-Ref	13-Ref	13-Ref	13-Ref
maaiveld	-8	-63	-11	0	-8	-40
ca 40 cm-mv	-15	-50	-12	0	-27	-48
ca 80 cm-mv	-14	-47	-10	0	-24	-37
ca 120 cm -mv		-37	-10	0	-17	-31
ca 160 cm -mv		-32	-7	0	-16	-24
Datum	1-4-2020	5-8-2020	12-10-2020	27-1-2021	26-4-2021	26-7-2021
Perceel	13-OWD	13-OWD	13-OWD	13-OWD	13-OWD	13-OWD
maaiveld	-9	-34	-4	0	-7	-23
ca 40 cm-mv	5	-11	8	0	-10	-16
ca 80 cm-mv	-6	-17	3	0	-13	-20
ca 120 cm -mv	-2	-14	4	0	-8	-15
ca 160 cm -mv			1	0	-10	-14
Datum	30-3-2020	5-8-2020	14-10-2020	26-1-2021	27-4-2021	28-7-2021
Perceel	16-Drukdr	16-Drukdr	16-Drukdr	16-Drukdr	16-Drukdr	16-Drukdr
maaiveld	-5	-42	-9	0	-24	-24
ca 40 cm-mv	-13	-23	-1	0	-21	-15
ca 80 cm-mv	-12	-18	1	0	-17	-11
ca 120 cm -mv	-8	-16	1	0	-13	-8
ca 160 cm -mv	-8	-15	-1	0	-13	-9
Datum	30-3-2020	4-8-2020	14-10-2020	26-1-2021	27-4-2021	28-7-2021
Perceel	16-Ref	16-Ref	16-Ref	16-Ref	16-Ref	16-Ref
maaiveld	-14	-87	-45	0	-43	-67
ca 40 cm-mv	-27.7	-74	-43	0	-48	-63
ca 80 cm-mv	-25	-64	-29	0	-38	-52
ca 120 cm -mv	-19	-61	-31	0	-37	-54
ca 160 cm -mv	-10	-53	-26	0	-29	-46
Datum	30-3-2020	5-8-2020	14-10-2020	26-1-2021	27-4-2021	28-7-2021
Perceel	16-OWD	16-OWD	16-OWD	16-OWD	16-OWD	16-OWD
maaiveld	5	-35	-4	0	-6	-37
ca 40 cm-mv	-9	-28	-1	0	-9	-25
ca 80 cm-mv	-12	-26	-2	0	-7	-23
ca 120 cm -mv	-21	-21	0	0	-2	-19
ca 160 cm -mv	-2	-17	3	0	0	-14

In Figuur 2.52 is de hoogte van het maaiveld en de vier zakplaatjes in de referentieplot op perceel 16 weergegeven.



Figuur 2.52. Maaiveld en hoogte zakplaatjes in referentieplot perceel 16.

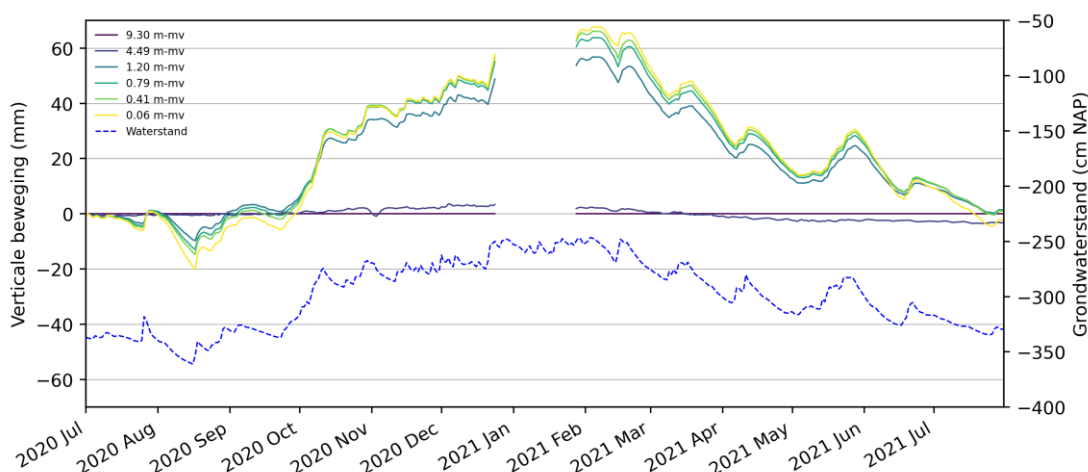
De hoogste waarden voor het maaiveld en de zakplaatjes bij de referentieplot op perceel 16 zijn gemeten in januari 2021 en de laagste waarden in augustus 2020. De verschillen tussen beide meetdata bedragen 87 mm voor het maaiveld en 53 mm voor het zakplaatje op 160 cm-mv. De tussenliggende zakplaatjes geven verschillen tussen beide uitersten.

Referenties

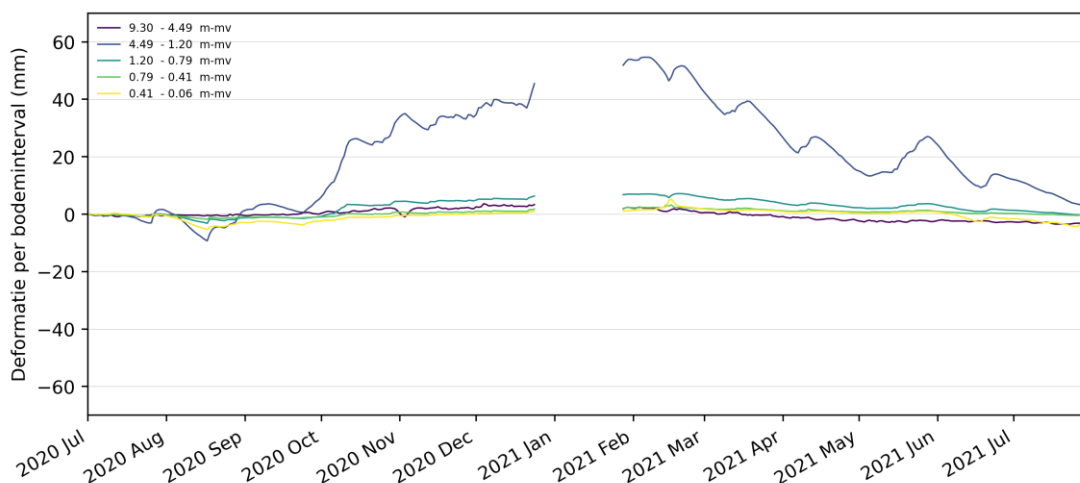
- Beuing, J. en J.J.H. van den Akker, 1996. Maaiveldsdaling van veengrasland bij twee slootpeilen in de polder Zegveldbroek. Vijfentwintig jaar zakkingsmetingen op het ROC Zegveld. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 3777. 158 blz.
- Evans, C.D. et al., 2021. Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. Nature <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1>
- Fritz, C. et al., 2017. Meten is weten bij bodemdalingmitigatie (in Dutch). Bodem no 2, pp 20-22
- Jacobs, C.M.J. et al., 2003. Invloed van waterbeheer op gekoppelde broeikasgasemissies in het veenweidegebied bi ROC Zegveld. Alterra Rap. 840, , Wageningen, The Netherlands
- Schothorst, C.J., 1982. Drainage and Behaviour of Peat Soils. Proc. Symp. on Peatlands below Sea Level. 1982. ILRI publication 30, Wageningen, The Netherlands: 130-163
- Tiemeyer, B. et al., 2020. A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. Ecological Indicators 109 (2020) 105838
- Van den Akker, J.J.H. et al., 2008. Emission of CO₂ from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. Proc. 13th Int. Peat Congress, Tullamore, Ireland. ISBN 0951489046. pp 645-648.

Extensometermetingen (Sanneke van Asselen, Deltares)

Op KTC Zegveld staan er in totaal 5 extensometers. In deze rapportage worden de meetreeksen van de extensometers in het referentie- en drukdrainagedeel van perceel 16 getoond, voor periode 1 juli 2020 tot 1 augustus 2021 (Figuur 2.53, Figuur 2.54, Figuur 2.55 en Figuur 2.56). De meetreeksen van de overige 3 extensometers zijn opgenomen in Bijlage A. Het maaiveld in de referentieplot in Zegveld is in de periode van de zomer (augustus) 2020 tot winter 2021 met ongeveer 80 mm omhoog gegaan. Een dergelijke stijging is op geen enkele andere NOBV meetlocatie met een extensometer gemeten. In de zomer van 2021 is het maaiveldniveau op ongeveer dezelfde hoogte teruggekomen als in de zomer van 2020. Deze extreme stijging en daling wordt voor het grootste deel veroorzaakt door deformatie van de verzadigde veenlaag tussen 4.49 en 1.20 m-mv (Figuur 2.54). Ook is er een sterke relatie te zien tussen de maaiveldbeweging en de dynamiek van het grondwater (Figuur 2.53).

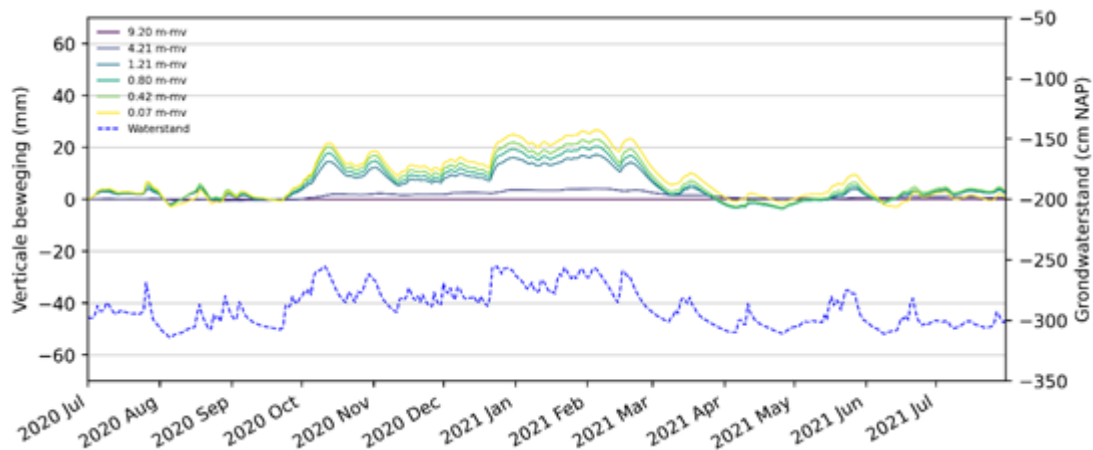


Figuur 2.53 Extensometermeetreeksen van verschillende anker-niveaus op het referentiedeel van perceel 16 te Zegeveld.

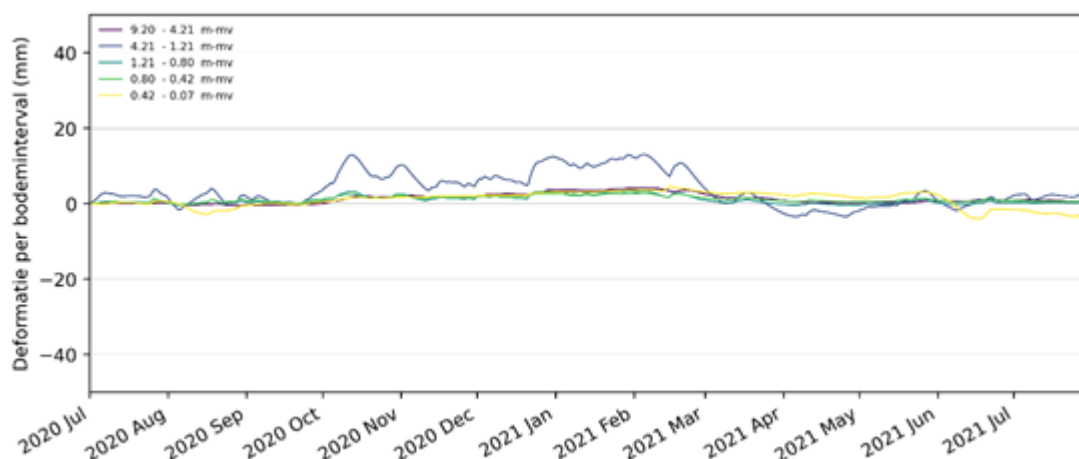


Figuur 2.54. Deformatie van de verschillende bodemlagen op het referentiedeel van perceel 16 te Zegeveld.

Op het drukdrainagedeel van perceel 16 heeft afgelopen jaar een veel minder extreme bodembeweging plaatsgevonden: hier is het maaiveld van zomer 2020 naar winter 2021 ongeveer 20 mm gestegen, en met dezelfde orde grootte weer gedaald in het voorjaar en zomer van 2021 (Figuur 2.55). Ook hier wordt de maaiveldbeweging voor een groot deel veroorzaakt door deformatie van de verzadigde veenlaag tussen 4.71 en 1.21 m-mv (Figuur 2.56) en is deze sterk gerelateerd aan de dynamiek van de grondwaterstand.



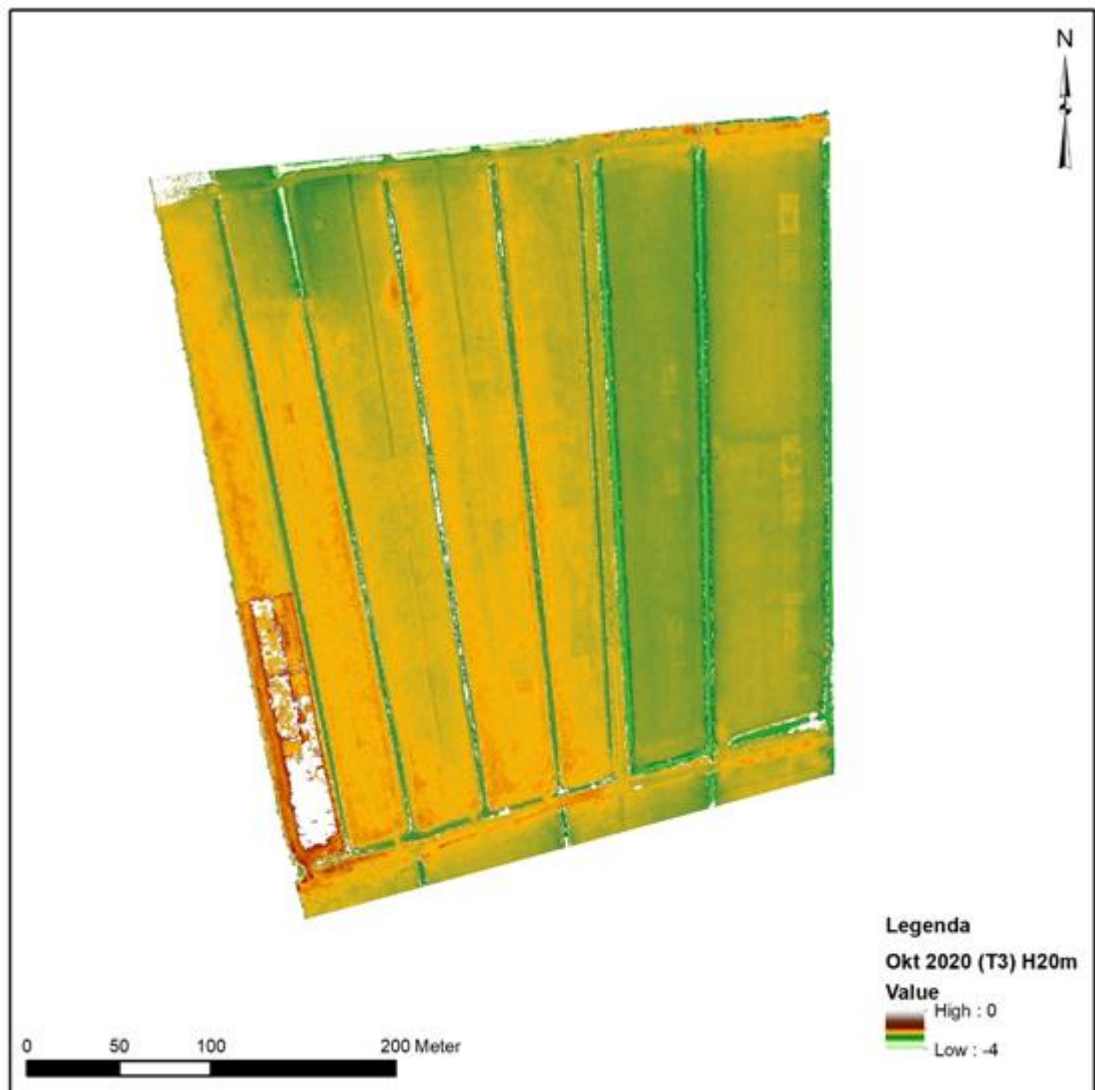
Figuur 2.55. Extensometermeetreeksen van verschillende ankerniveaus op het drukdrainagedeel van perceel 16 te Zegveld.



Figuur 2.56. Deformatie van de verschillende bodemlagen op het drukdrainagedeel van perceel 16 te Zegveld.

LiDAR (Sanneke van Asselen, Deltares)

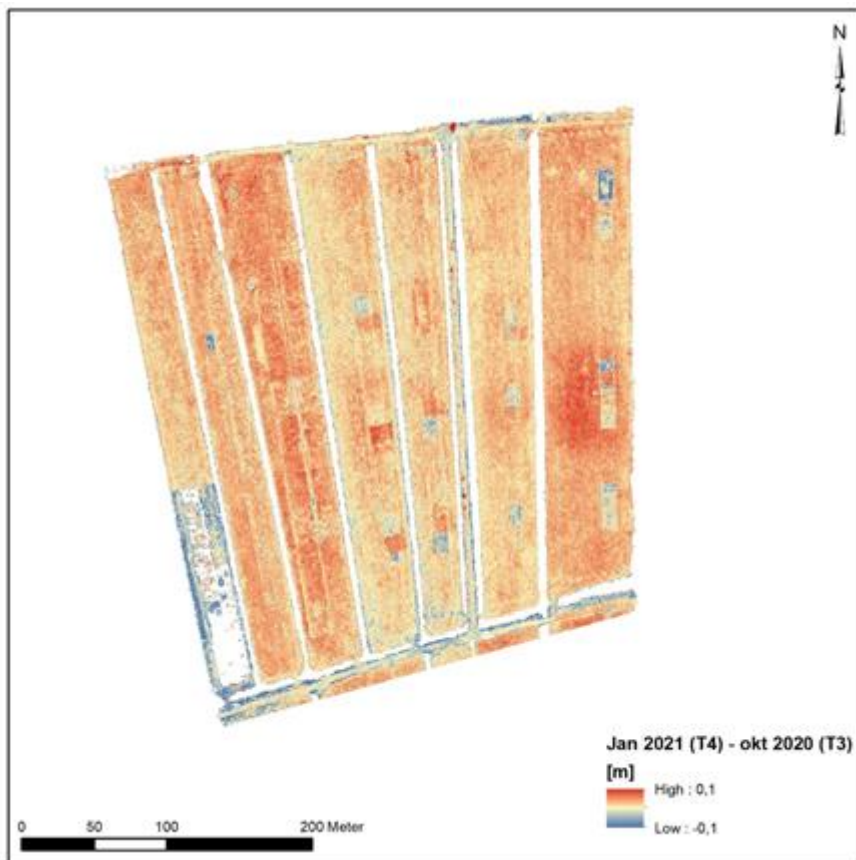
LiDAR metingen op KTC Zegveld zijn uitgevoerd door Shore Monitoring. Er is gemeten vanuit een drone, op twee vlieghoogten: (1) 50 m, waarbij het hele KTC terrein bemeten is, en (2) 20 m, waarbij de percelen 11 t/m 16 bemeten zijn. In meetjaar 2 is gemeten in oktober 2020, januari 2021, mei 2021 en juli 2021. In Figuur 2.57 is een hoogtemodel met 10 cm resolutie gemaakt op basis van de LiDAR puntenwolk (dronevlucht op 20 m hoogte in oktober 2020). Wat opvalt is dat de twee meest oostelijke percelen (15 en 16) over het algemeen lager liggen dan de andere percelen. Het is aannemelijk dat dit wordt veroorzaakt doordat voor deze twee percelen lagere slootpeilen worden gehanteerd dan voor de overige percelen. Ook valt op dat de verschillende meetplots meestal goed te herkennen zijn: de hoogte en ruimtelijke variaties hierin binnen en buiten de plots varieert dus, waarschijnlijk als gevolg van een verschil in maai beleid binnen en buiten de plots.



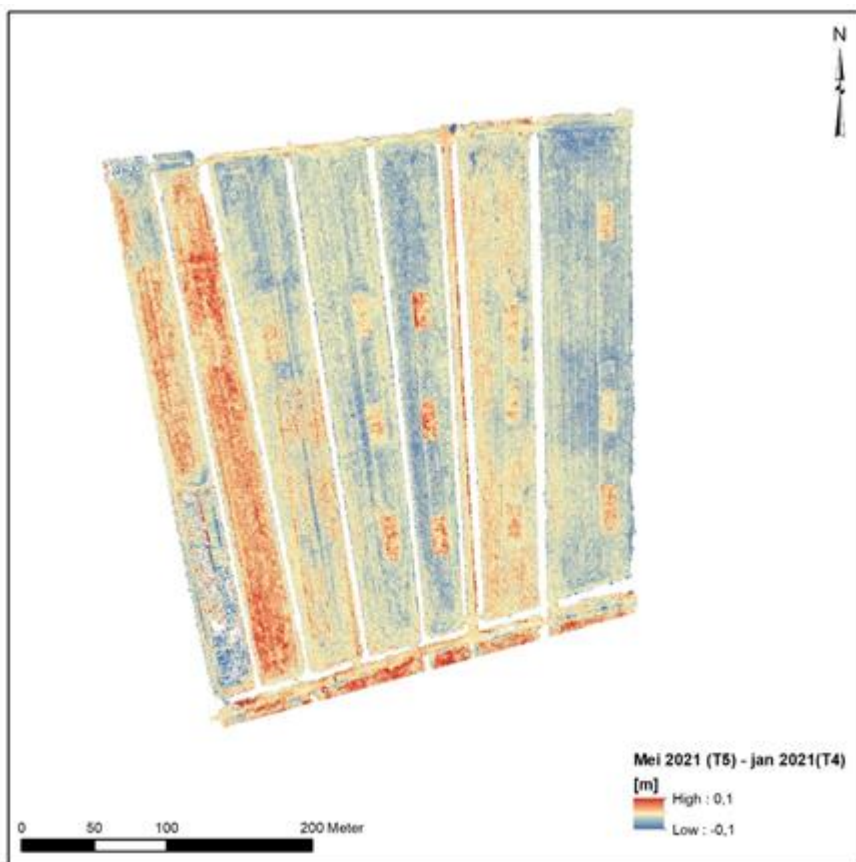
Figuur 2.57. Hoogtemodel van perceel 11 t/m 16, KTC Zegveld, op basis van LiDAR aan drone metingen in oktober 2020 (bron: Shore Monitoring).

Op basis van de hoogtemodellen zijn hoogteveranderingskaarten gemaakt. Van oktober 2020 naar januari 2021 lijkt het maaiveld over het algemeen te zijn gestegen (overheersend rode kleur in Figuur 2.58). Echter, ook hier zijn de verschillende meetplots weer duidelijk te zien, en zijn in een aantal gevallen overwegend blauw, wat een daling impliceert. In de kaart met hoogteverandering tussen januari 2021 en mei 2021 lijkt het maaiveld overwegend te zijn gedaald (overheersend blauw in Figuur 2.59), maar ook hier zijn afwijkende patronen te zien binnen de meetplots, en ook op perceel 11 wat lijkt te zijn gestegen. Hoewel de LiDAR metingen over het algemeen de verwachte dynamiek vertonen, in overeenstemming met extensometer en waterpasmetingen (stijging in herfst/winter en daling in lente/zomer), laat de ruimtelijke variatie en soms afwijkende patronen binnen en buiten de meetplots zien dat de LiDAR metingen sterk worden beïnvloed door, hoogstwaarschijnlijk, de hoogte van het gewas.

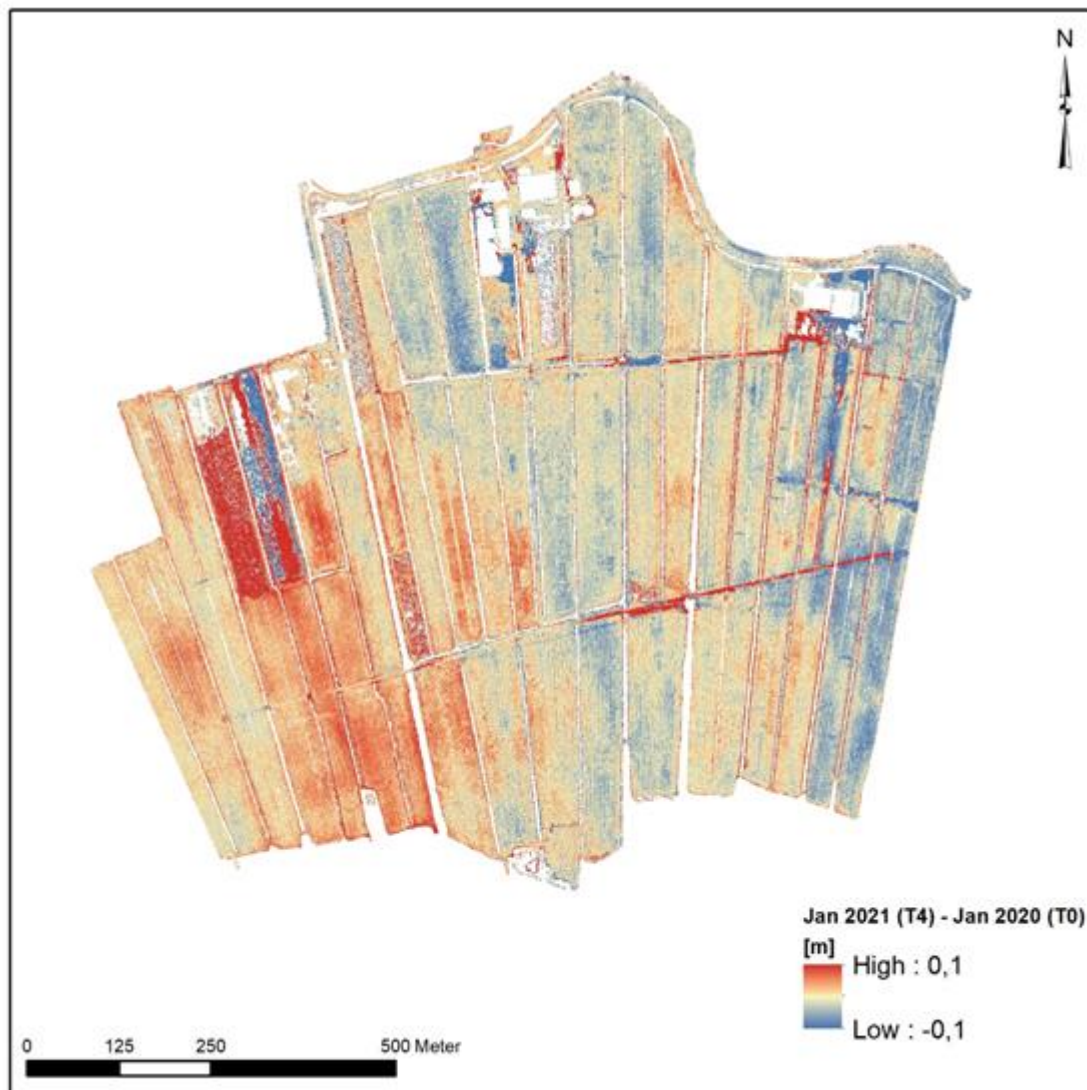
In de winter is de gewashoogte doorgaans laag, en de invloed daardoor minder dan in de andere seizoenen. Daarom is de hoogtekaart van januari 2020 vergeleken met de hoogtekaart van 2021 (Figuur 2.60). Deze kaart laat zien dat er een ruimtelijke variatie is in hoogteverandering op het KTC Zegveld terrein. Een nadere analyse en langere meetreeks zou moeten uitwijzen wat de oorzaak hiervan is; waarschijnlijk speelt gewashoogte nog steeds een rol, aangezien sommige meetplots nog steeds te herkennen zijn.



Figuur 2.58. Hoogteverandering op perceel 11 t/m 16, KTC Zegveld, tussen oktober 2020 en januari 2021.



Figuur 2.59. Hoogteverandering op perceel 11 t/m 16, KTC Zegveld, tussen januari 2021 en mei 2021.



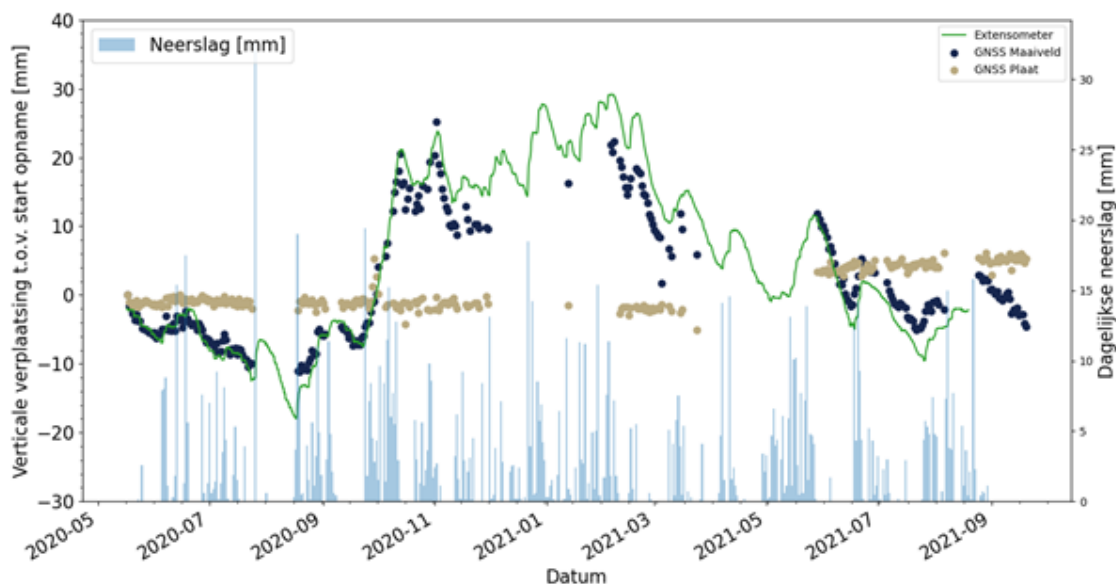
Figuur 2.60. Hoogteverandering KTC Zegveld terrein tussen januari 2020 en januari 2021 op basis van LiDAR aan drone metingen op 50 m hoogte.

GNSS logger metingen

Op Zegveld is nu ruim een jaar gemeten met een GNSS (*Global Navigation Satellite System*) logger bevestigd aan een rooster die meebeweegt met het maaiveld en een GNSS logger die bevestigd is aan een gefundeerde plaat (voor verdere toelichting zie NOBV jaarrapportage meetjaar 1). Deze proef vindt plaats vlak bij de extensometer in het onderwaterdrainage deelvak op perceel 16, waar de metingen vergeleken kunnen worden met extensometermetingen (voor locatie zie jaarrapportage nobv meetjaar 1, 2019-2020). Het doel van deze proef is te onderzoeken of het gebruik van GNSS loggers een mogelijk relatief goedkoop alternatief kan zijn voor het continu monitoren van maaiveldbeweging.

Over het algemeen volgt de GNSS logger na een jaar meten nog steeds goed de beweging van de extensometer (maaiveldniveau). Er wordt nog gewerkt aan het verbeteren van het systeem om te zorgen dat er minder gaten in de meetreeks komen. Als dat lukt lijkt het systeem geschikt voor monitoring kleine bodembewegingen.

In juli 2021 is er een aanpassing gedaan aan de statische antenne (GNSS plaat), waardoor deze nu iets hoger is komen liggen. Dit verklaart de sprong in de tijdserie (bruine stippen in Figuur 2.61).



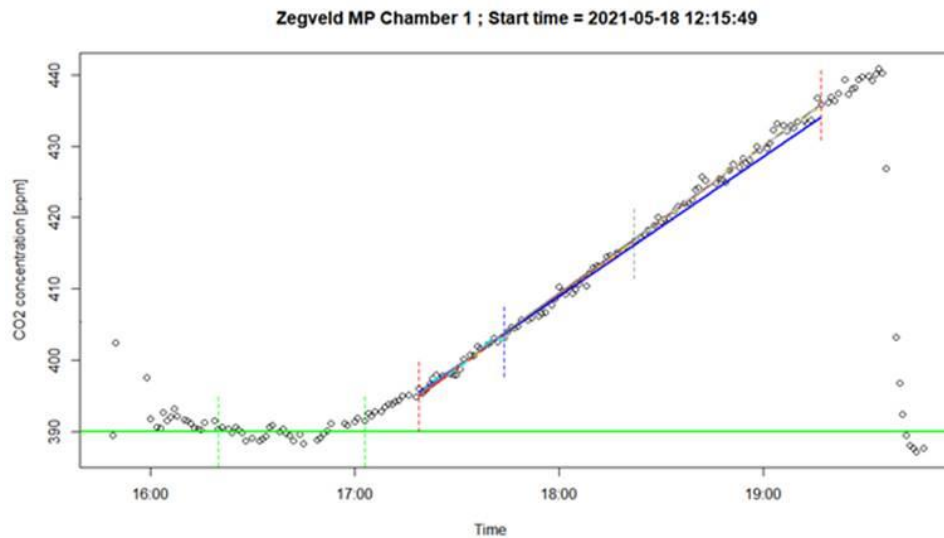
Figuur 2.61. GNSS logger en extensometer(maaiveld) meetreeksen in het onderwaterdrainagevak van perceel 16 in Zegveld.

2.5.3 CO₂ jaarbudgetten

Auteur: Daniël van de Craats (WEnR)

Op proeflocatie Zegveld wordt gebruik gemaakt van de Eosense kamersystemen. Deze bestaan uit een aansturende multiplexer en een aantal doorzichtige kamers welke een voor een automatisch sluiten en openen. In de periode dat de kamers gesloten zijn worden CO₂ en H₂O concentraties gemeten met een Licor gasanalyzer om zo de uitstoot of opname van kooldioxide te meten. Er bevinden zich drie kamers op het maatregelperceel, op 0, ¼ en ½ drainafstand, waarvan allen bemest. Op het referentieperceel bevinden zich vijf kamers, waarvan twee op een onbemest plot en drie op een bemest plot.

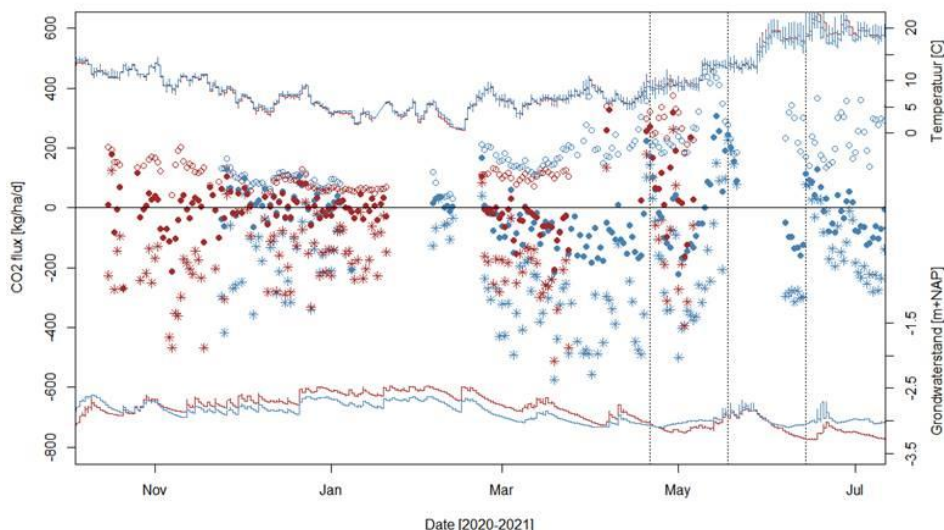
De analyzer meet continu, en de waarden worden ongeveer om de seconde opgeslagen op de multiplexer. Aan de hand van deze data, en de door de multiplexer opgeslagen metadata, kan de flux per kamer worden bepaald. De CO₂ concentratie wordt omgerekend naar de concentratie zoals deze zou zijn in droge lucht doordat ook de H₂O concentraties bekend zijn. Aan de hand van deze data kan een CO₂ flux worden bepaald over de periode dat een kamer gesloten is, door een (lineaire) relatie te fitten door de gemeten CO₂ concentraties als functie van tijd. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 2.62. Deze relatie is niet voor iedere meting even eenduidig als in deze figuur. Er worden daarom ook kwaliteitscontroles en andere stappen in het algoritme gebouwd om foutieve metingen eruit te filteren en de flux bij niet lineaire relaties goed te kunnen bepalen. De verschillende lijnen in Figuur 2.62 zijn hier een voorbeeld van, hoewel in dit specifieke geval het gebruik van een simpele lineaire regressie volstaat.



Figuur 2.62. Metingen van CO₂ concentraties (datapunten) over tijd (weergegeven in min:sec) in de eerste kamer op het maatregelperceel in Zegveld. Na het sluiten van de kamer neemt de concentratie lineair toe. In dit specifieke geval wordt midden op de dag (tijdsaanduiding in titel) een toename in CO₂ gemeten, omdat er net is gemaaid: fotosynthese is gelimiteerd. De groene lijn geeft de achtergrondconcentratie weer, de andere lijnen geven verschillende fits weer.

De kamersystemen in Zegveld hebben gedurende het meetjaar 2020-2021 de nodige problemen en haperingen gehad. Hierdoor mist veel data, zodat het jaarbudget van de locatie niet nauwkeurig te bepalen is. Wel kunnen van een aantal dagen met genoeg metingen de dag, nacht en 24-uurs gemiddelde CO₂ fluxen worden bepaald.

Figuur 2.63 laat de gemiddelde fluxen over de (bemeste) kamers in het maatregelperceel (blauw - drukdrainage) en de bemeste kamers in het referentieperceel (rood) zien. De onbemeste kamers in het referentieperceel zijn hierbij dus niet meegenomen.



Figuur 2.63. Berekende CO₂ fluxen (punten) in het maatregel- (blauw) en referentieperceel (rood) in Zegveld, waarbij positieve fluxen overeenkomen met netto uitstoot, en negatieve fluxen met een netto opname van CO₂. Sterretjes, open rondjes en gesloten rondjes betekenen dag, nacht en 24-uurs gemiddelde fluxen. De gestippelde verticale lijnen zijn maaimomenten. Tevens weergegeven zijn grondwaterstanden (gekleurde lijnen) in de beide percelen, ten opzichte van NAP en bodemtemperatuur op 5 cm diepte.

Ondanks dat de kwaliteitscontrole van de data nog verder verbeterd dient te worden, en er nog onzekerheden zijn wat betreft correcties voor de gebruikte methodiek (zie operationele rapportage), wijst de data wel op bepaalde patronen. Op basis van de metingen in de winterperiode lijkt de nachtelijke respiratie (Reco) voor het maatregelperceel gemiddeld hoger dan voor het referentieperceel. Daar staat ook een hogere opname van CO₂ gedurende de dag tegenover, waardoor de netto uitstoot van de twee percelen in deze periode vergelijkbaar is. Een hogere Reco lijkt samen te hangen met de lagere grondwaterstanden in het maatregelperceel gedurende de winter.

Bij de start van het groeiseizoen, rond maart, lopen de bodemtemperaturen langzaam op en neemt de grondwaterstand langzaam af. Tegelijkertijd is een sterke opname in CO₂ in het maatregelperceel te zien, welke bij het referentieperceel minder duidelijk aanwezig is. Dit is waarschijnlijk een gevolg van de lagere grondwaterstanden in het maatregelperceel in deze periode. Ook Reco neemt meer toe in het maatregelperceel dan het referentieperceel, maar er is duidelijk sprake van een sterkere netto CO₂ opname in het maatregelperceel.

Rond mei komt de grondwaterstand in het referentieperceel duidelijk lager te liggen dan in het maatregelperceel. Hierbij zien we ook een toename in Reco in het referentieperceel, waarbij Reco hoger wordt dan in het maatregelperceel. Aan de andere kant wordt de opname van CO₂ gedurende de dag niet hoger in het referentieperceel, waardoor het referentieperceel gemiddeld over de dag CO₂ uitstoot. Bij het maatregelperceel neemt ook Reco toe, maar is een minder sterke afname van CO₂ opname gedurende de dag waarneembaar.

2.5.4 N₂O en CO₂ metingen Zegveld

Auteurs: Jordy van 't Hull en Gerard Velthof (WEnR)

N₂O flux

Inleiding

Door de hoge gehalten aan organische stof en relatief natte omstandigheden zijn veengronden een grote bron van lachgas. Lachgas (N₂O) wordt onder natte omstandigheden gevormd tijdens de biologische processen nitrificatie en denitrificatie. De kans bestaat dat door verandering van het drainagesysteem, de grootte van de emissie van N₂O verandert en daarmee het netto effect

op de emissie van broeikasgassen in veenweidegebieden. Dit kan zowel een positief als negatief effect zijn. Wageningen Environmental Research heeft in het voorjaar 2019 een proef opgezet op Zegveld om de effecten van onderwaterdrainage en drukdrainage op de emissies van lachgas (N_2O) en CO_2 te bepalen.

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

De resultaten van de CO_2 -metingen kunnen samen met de CO_2 -metingen die in de andere deelprojecten worden uitgevoerd leiden tot een beter inzicht in de effecten van drainagesystemen op CO_2 -emissies en een verbetering van de methode waarmee Nederland de emissies uit veengrond kwantificeert en rapporteert (LULUCF; Land Use and Land Use Change and Forestry). In LULUCF wordt ook de N_2O -emissie gerapporteerd die wordt veroorzaakt door veranderingen in landgebruik. De N_2O -emissie door veenafbraak wordt onder LULUCF gerapporteerd; dit is de N_2O -emissie uit onbemeste gronden.

De broeikasgasmetingen zijn op 4 april 2019 gestart. Deze rapportage loopt tot en met 6 april 2021; het eerste meetjaar liep van 4 april 2019 t/m 6 april 2020 en het tweede meetjaar liep van 6 april 2020 t/m 6 april 2021. De metingen zijn daarna gecontinueerd.

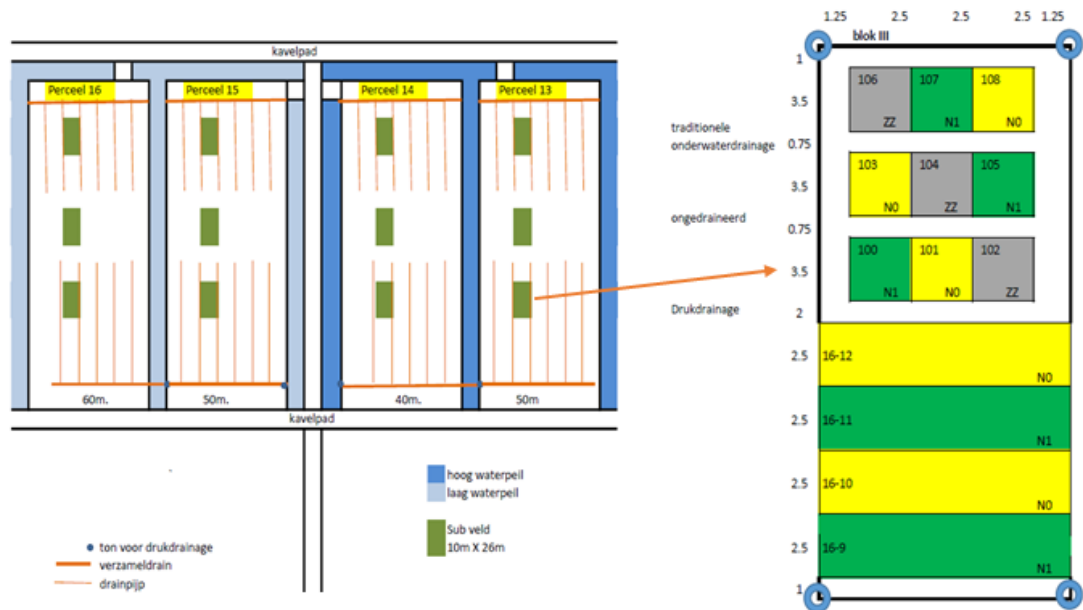
Uitvoering

De metingen voor de proef zijn gehouden op vier percelen (13, 14, 15 en 16) in Zegveld waar 1/3 deel onderwaterdrainage, 1/3 deel geen drainage (wel aanwezig, maar niet aangesloten) en 1/3 deel drukdrainage zijn toegepast (Figuur 2.64). Op de percelen 13 en 14 is de drainage aangelegd met een drainafstand van 6 m met een draandiepte van 65-70 cm beneden maaiveld. Bij deze percelen wordt een vast hoog slootpeil nagestreefd met een drooglegging van 20 cm beneden maaiveld. Op de percelen 15 en 16 is de drainage aangelegd met een dezelfde drainafstand met een draandiepte van 70-75 cm beneden maaiveld en wordt een vast laag slootpeil nagestreefd met een drooglegging van 55 cm beneden maaiveld.

Op elke drainagesysteem is een veldproef aangelegd met drie objecten in drievoud: i) veldjes die onbemest zijn (N0), ii) veldjes die stikstof bemest zijn (N1) en veldjes waarvan de graszode verwijderd zijn (ZZ). De N0 en N1 veldjes zijn nodig voor het bepalen van de N_2O emissie uit veen (LULUCF) en nodig voor bepaling van een N_2O -emissiefactor (NEMA). De ZZ veldjes worden gebruikt voor het bepalen van de CO_2 emissie uit veen (LULUCF). De ZZ veldjes zijn voorbereid door in 2019 de graszode 5-10 cm te verwijderen met een spade. De graszode is verwijderd om effecten van fotosynthese van het gras en koolstofvastlegging door het gras uit te sluiten; de CO_2 -emissie die na verwijderen van de zode wordt bepaald, is de CO_2 afkomstig van het veen. Het verwijderen van het gras heeft ook nadelen, omdat het vochtgehalte, nutriëntenstromen en effecten van wortels op veenafbraak wordt beïnvloed. De metingen op perceel 16 worden in een latere fase van het project vergeleken met continue CO_2 -metingen die op hetzelfde perceel plaatsvinden.

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

onderwaterdrainage, drukdrainage en geen onderwaterdrainage) en 3 objecten in drievoud (N0, N1, ZZ); zie Figuur 2.64.



Figuur 2.64. Schematisch overzicht van de veldproef (Links) en het proefveld (rechts).

De metingen van CO₂ en N₂O vinden plaats met behulp van een fluxkamer. Bij elk plot is een pvc-ring met een diameter van 20 cm in de grond geïnstalleerd (Figuur 2.65). Op deze ring komt een omgekeerde emmer te staan die strak om de pvc-ring gaat. De fluxkamer heeft een inhoud van 4,7 L. Bij de fluxmetingen worden de slangen bevestigd aan de gasmonitor (Figuur 2.66). 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 CO₂ en N₂O fluxen wordt de fluxkamer voor 10-15 minuten gesloten om de concentratie binnen de fluxkamer op te laten lopen. Er wordt vanuit gegaan dat de concentraties CO₂ en N₂O in die sluitingstijd lineair toeneemt (dit wordt regelmatig getest). Door de grootte van de proef was het niet mogelijk om alle veldjes in één dag te meten. Veldjes 13 en 15 werden steeds op één dag gemeten en veldjes 14 en 16 de dag erna.

In het groeiseizoen wordt wekelijks de emissie gemeten en in de winter elke twee weken. In totaal zijn er in deze periode, van 4 april 2019 t/m 6 april 2021, 76 meetmomenten geweest. Deze discrete metingen zullen in het kader van NOBV worden vergeleken met de continue metingen (voor CO₂) met fluxkamers en eddy-correlatie.

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

Voordelen:

- De opzet met onbemeste en bemeste veldjes in verschillende herhalingen voldoet aan de internationale eisen aan proeven waarin N₂O-emissiefactoren worden afgeleid. De afgeleide N₂O-emissiefactoren kunnen worden toegepast in de emissieregistratie.
- Door opzet met herhalingen en meerdere percelen is het mogelijk om verschillen in emissies tussen drainage-systemen statistisch te toetsen.
- Directe meting van de CO₂-emissie uit het veen; er is geen correctie nodig voor C-aan- en afvoer en CO₂-consumptie door het gras.

Nadeel van de opzet:

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



Figuur 2.65. Installatie van de pvc ringen en fluxkamers op N0 en N1 veldjes (bovenste foto's) en ZZ veldjes (onderste foto's).



Figuur 2.66. Emissie meting.

N₂O flux

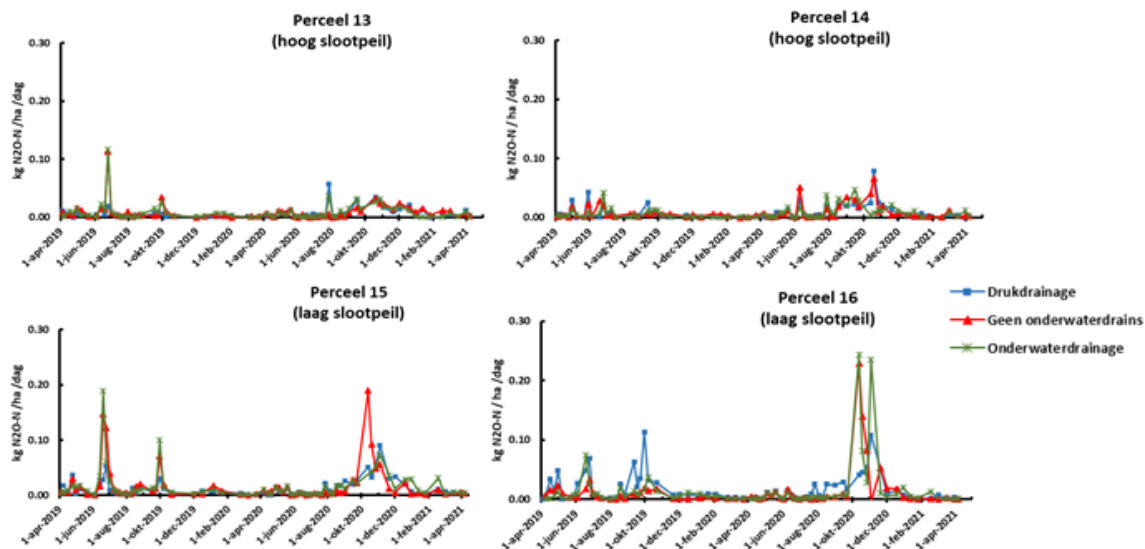
Wageningen Environmental Research heeft in het voorjaar 2019 een proef opgezet op Zegveld om de effecten van onderwaterdrainage en drukdrainage op de emissies van lachgas (N₂O) en CO₂ te bepalen. De broeikasgasmetingen zijn op 4 april 2019 gestart. Deze rapportage loopt tot en met 6 april 2021; de metingen zijn daarna gecontinueerd.

Lachgasemissie

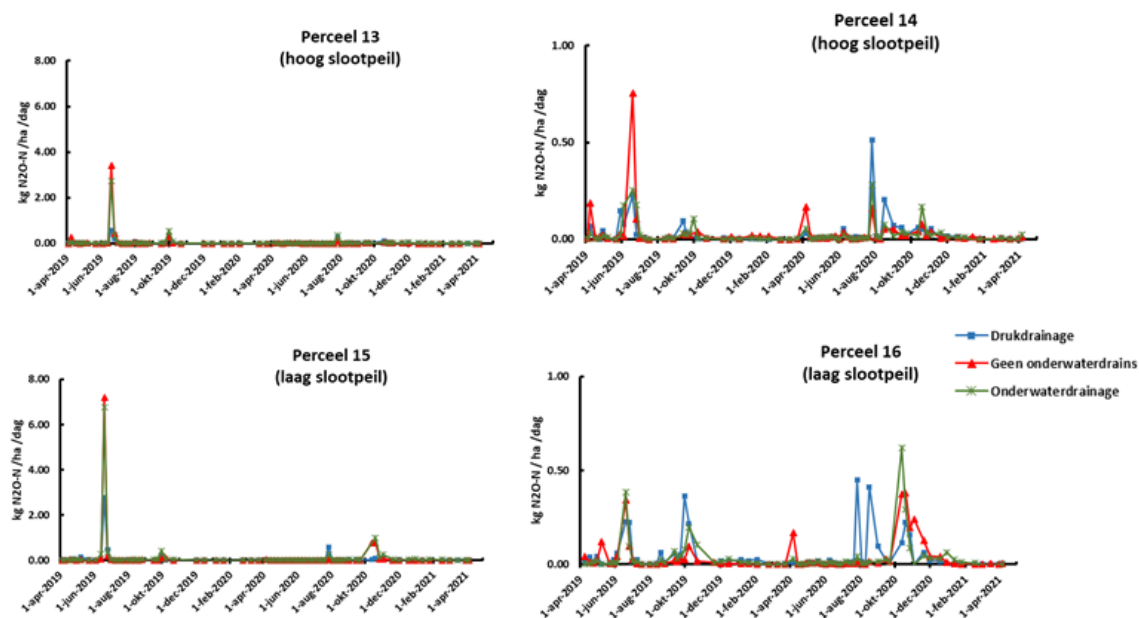
Op enkele momenten in zowel het eerste als het tweede jaar was er sprake van een verhoging van lachgasemissie uit onbemeste veldjes (Figuur 2.67). Deze piek emissies uit onbemeste veldjes lijken te zijn gerelateerd aan grondwaterstand (niet getoond). Bij hoge (winter) en lage (zomer) grondwaterstanden is de N₂O-emissie uit onbemeste veldjes verwaarloosbaar. De effecten van grondwaterstand en de verschillen tussen percelen moet nog nader worden geanalyseerd.

In het algemeen lijkt een fluctuatie in de grondwaterstand te leiden tot een hogere N₂O-emissie uit bemeste veldjes (Figuur 2.68). Bij de bemeste veldjes valt de extreem hoge emissie op in week 25 van het eerste jaar (17-18 juni 2019) op percelen 13 en 15. Deze meting heeft plaatsgevonden drie dagen na bemesting onder extreem natte omstandigheden. De emissie op percelen 14 en 16 zijn een dag later gemeten en waren veel lager. Zulke extreme lachgas metingen zijn in het tweede jaar niet waargenomen.

Een eerste voorlopige analyse van de resultaten laat nog geen statistisch significante verschillen zien in de emissiefactor voor het eerste jaar (Tabel 2.12). Dit wordt veroorzaakt door de grote variatie in N₂O-emissie. De emissiefactoren zijn hoog en veel hoger dan nu wordt gebruikt in emissieregistratie NEMA (gemiddelde emissiefactor voor kunstmestgebruik op veen in NEMA is 3%). Dit wordt veroorzaakt door de extreme waarden in week 25. De berekende emissiefactoren van het tweede jaar zijn nog niet statistisch geanalyseerd, maar zijn wel lager dan de emissiefactoren voor het eerste jaar. Op alle percelen is de emissiefactor bij drukdrainage het laagst. De gegevens betreffen een voorlopig analyse; de emissiefactoren zullen worden afgeleid op basis van metingen gedurende enkele jaren.



Figur 2.67. Lachgasemissie uit onbemeste veldjes.



Figur 2.68. Lachgasemissie uit bemeste veldjes (Let op verschillen Y-as tussen de figuren).

Tabel 2.12. Lachgasemissiefactoren in % van toegediende N, gemiddeld voor hoog slootpeil, laag sloot peil en alle percelen.

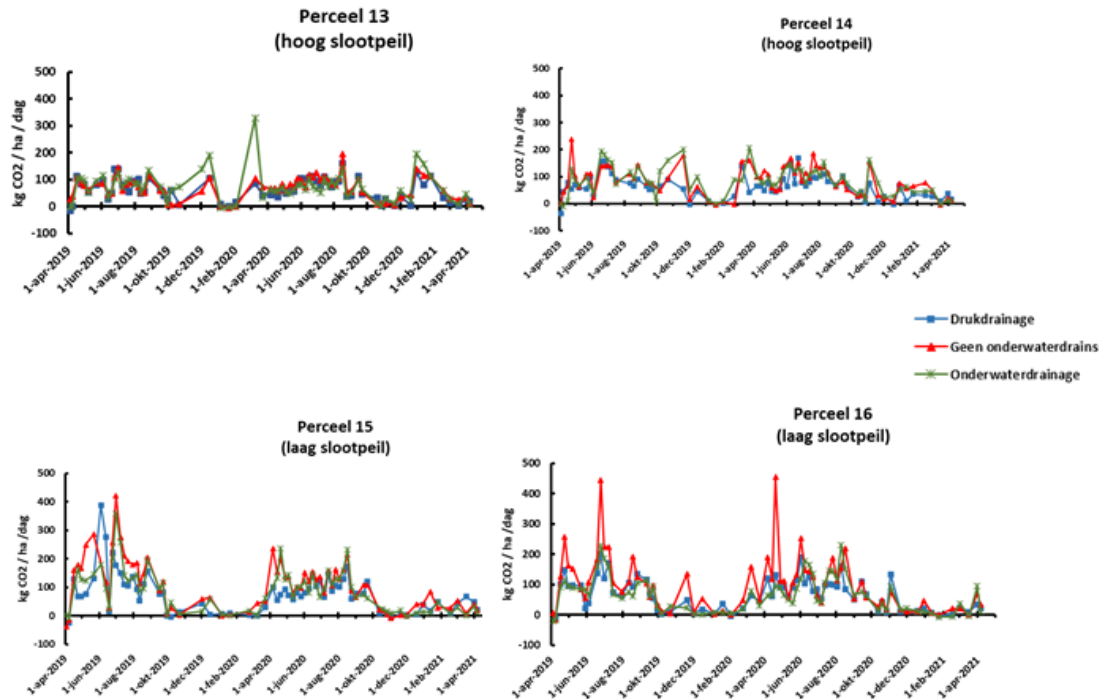
		Perceel 13 + 14 (hoog slootpeil)	Perceel 15 + 16 (laag slootpeil)	Alle percelen
Jaar 1	Drukdrainage	2.9 (± 0.7) ^a	6.3 (± 3.0) ^a	4.6 (± 2.8) ^a
	Geen onderwaterdrains	7.9 (± 3.2) ^a	10.6 (± 7.5) ^a	9.2 (± 5.9) ^a
	Onderwaterdrainage	5.9 (± 3.3) ^a	11.5 (± 7.8) ^a	8.7 (± 6.6) ^a
Jaar 2	Drukdrainage	0.5 (± 0.3)	1.4 (± 0.3)	0.9 (± 0.5)
	Geen onderwaterdrains	0.3 (± 0.1)	4.6 (± 0.7)	2.4 (± 2.2)
	Onderwaterdrainage	0.4 (± 0.2)	3.4 (± 0.9)	1.9 (± 1.6)
Gemiddelde over twee jaar	Drukdrainage	1.7	3.9	3.5
	Geen onderwaterdrains	4.1	7.5	5.8
	Onderwaterdrainage	3.2	7.5	5.3

CO₂-emissie

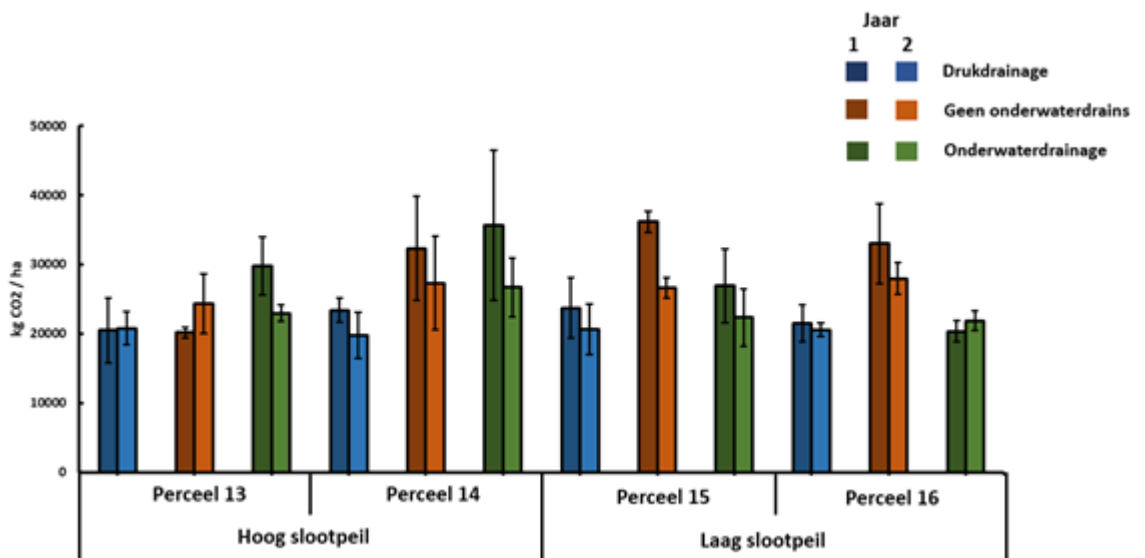
Voor de analyse van de CO₂-emissie zijn de metingen van de veldjes zonder zode (ZZ) gebruikt. Figuur 2.69 geeft de CO₂-emissie over tijd weer voor alle objecten op alle percelen gedurende de periode 4 april 2019 t/m 6 april 2021. De patronen in emissies, de verschillen tussen percelen en de relatie met weer en grondwaterstand moeten nader worden geanalyseerd.

In Figuur 2.70 staat de totale CO₂-emissies gegeven voor zowel het eerste als het tweede jaar, berekend uit de emissies weergegeven in Figuur 2.69. Het betreft een voorlopige berekening. Bij de percelen met een hoog slootpeil regime zijn nauwelijks verschillen te zien; de totale CO₂-emissie uit reguliere onderwaterdrainage is iets hoger dan geen onderwaterdrainage. De emissie bij drukdrainage is wel lager dan die van reguliere onderwaterdrainage en geen onderwaterdrainage op de percelen met een hoog slootpeil.

Op de percelen met een lage grondwaterstand (15 en 16) zijn de verschillen tussen drainage duidelijker. Geen onderwaterdrains geeft een hogere emissie dan onderwaterdrainage en drukdrainage. Benadrukt moet worden dat dit voorlopige resultaten zijn en het mag niet worden uitgesloten dat het beeld verandert bij verdere data-bewerking en het opnemen van emissies uit meerdere jaren. Ook zal er een vergelijking gemaakt worden met de continue metingen op perceel 16.



Figur 2.69. CO₂-emissie over tijd van alle objecten voor alle percelen.



Figur 2.70. Totale CO₂-emissie (gemiddelde en standaardafwijking; n=3) in de periode 4 april 2019 t/m 6 april 2021. Voorlopige resultaten.

2.6 Friesland mobiele metingen

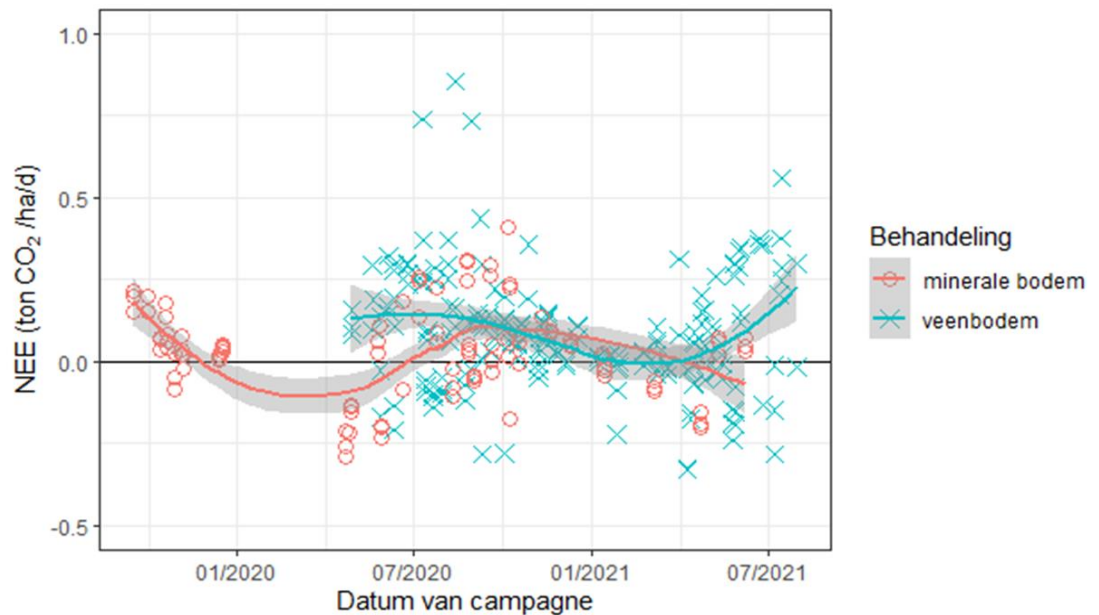
Auteurs: Christian Fritz (RU), Reinder Nouta (WF/RU), Tom Heuts (RU) en Mandy Velthuis (RU)

CO₂ metingen

De CO₂ metingen van het meetjaar 2020 en begin 2021 laten zien dat automatische kamers inzetbaar zijn op 16 percelen voor ruimtelijke metingen. Vergelijkingen tussen maatregel- en controlepercelen zijn in dit geval op basis van CO₂ dagfluxen gemaakt.

De dagfluxen laten met name verschillen zien tussen veenbodems en minerale bodems in periodes met een hogere temperatuur. In Figuur 2.71 valt op dat zowel in juli 2020 als juli 2021, de gefitte lijn duidelijk afwijkt tussen beide type bodems. Bij minerale gronden wordt quite gespeeld tussen de netto opname en emissie tijdens deze maanden, terwijl bij veengronden netto emissie plaatsvindt. In de wintermaanden overlappen deze lijnen bij een lage netto emissie, wat doet vermoeden dat hier geen duidelijk verschil tussen veen en minerale bodem optreedt. Figuur 2.72a en Figuur 2.72b onderstrepen dit verder; op dagen met een hoge gemiddelde of minimum temperatuur wordt vaak CO₂ emissie gemeten. Met name een hoge minimum temperatuur duidt daarbij op een verhoogde emissie door langere warme periodes.

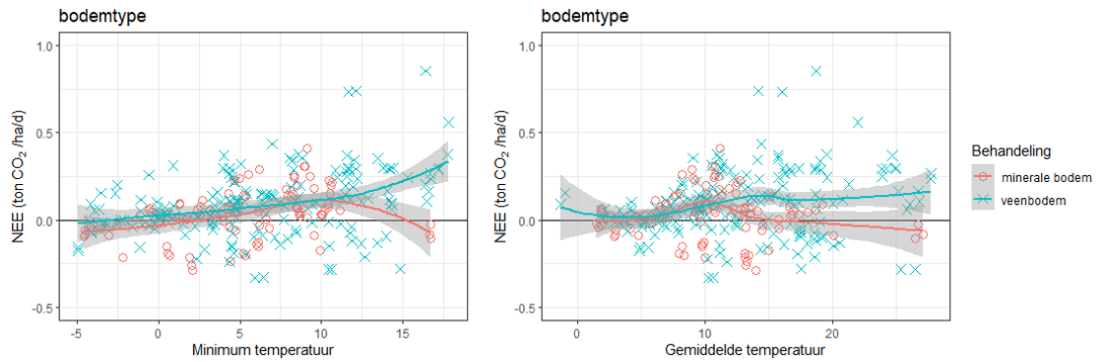
In de zomermaanden valt daarnaast op dat de uitschieters (waarden boven 0.25 ton CO₂/ha/d) met hoge CO₂ emissie met name op veengronden voorkomen (Figuur 2.71), deze trend is tevens op meerdere locaties waargenomen (Nouta e.a. 2021).



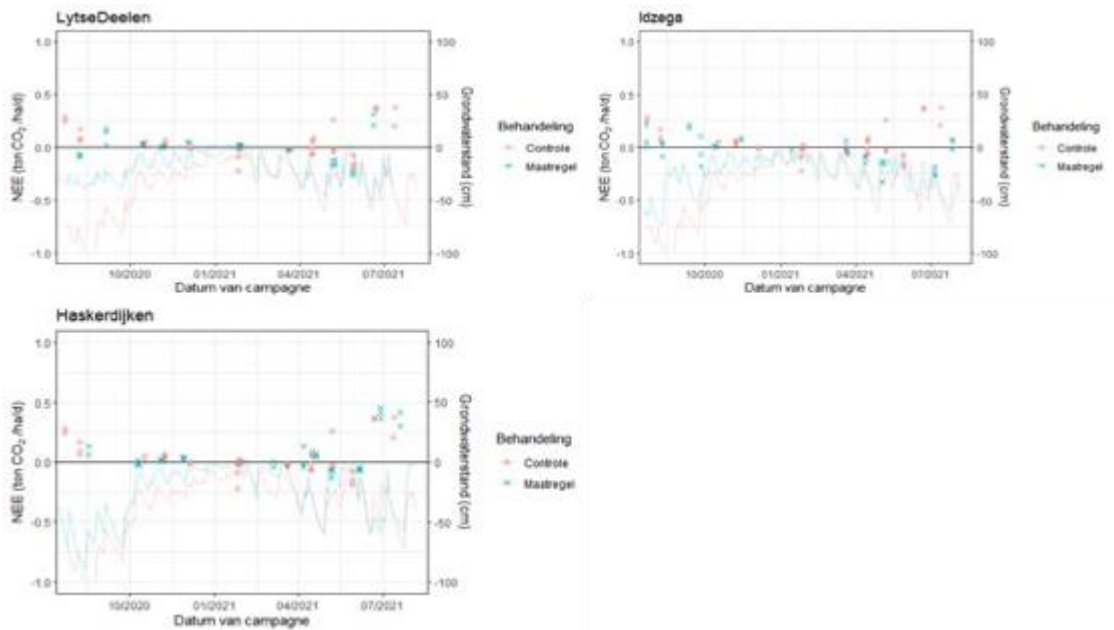
Figuur 2.71 Vergelijking tussen de dagfluxen van veenbodems (kruis, blauw) en minerale bodems (cirkel, rood). In de Nouta e.a. (2021) staat eenzelfde figuur met symbolen per locatie (FIG).

Analyse per locatie

Als vervolgens ingezoomd wordt op locatieniveau, kunnen de metingen op percelen met greppel-infiltratie, HAKLAM en onderwaterdrainage worden vergeleken met die op controleplots. De gemeten dagfluxen op deze locaties worden gemeten, worden met de grondwaterstanden getoond in Figuur 2.73, Figuur 2.74 en Figuur 2.75. Op locaties waar wordt geëxperimenteerd met greppel-infiltratie (Idzega, Haskerdijken & Lytse Deelen), lijkt minder emissie plaats te vinden in vergelijking met de controlepercelen (Figuur 2.73). Bij greppel-infiltratie valt op dat tijdens droge periodes het grondwaterniveau veel hoger blijft in de maatregelplots. Met name in Idzega en Lytse Deelen is dit effect duidelijk, in Haskerdijken is geen significant verschil tussen het controleperceel en het maatregelperceel zichtbaar. Daarbij dient vermeld te worden dat bij Haskerdijken en Idzega geen eigen controleperceel ingericht is, waardoor het controleperceel van Lytse Deelen voor alle drie gebruikt is.

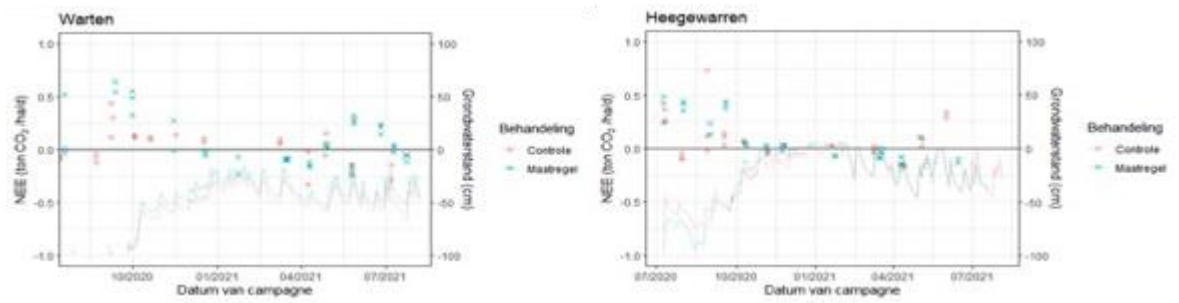


Figuur 2.72. Vergelijking fluxen minerale bodems (cirkel, rood) en veenbodems (kruis, blauw). In Figuur 2.72a (links) worden de dagfluxen uiteen gezet tegen de minimum temperatuur van die dag. In Figuur 2.72b worden de dagfluxen uitgezet tegen de gemiddelde temperatuur van de dag.

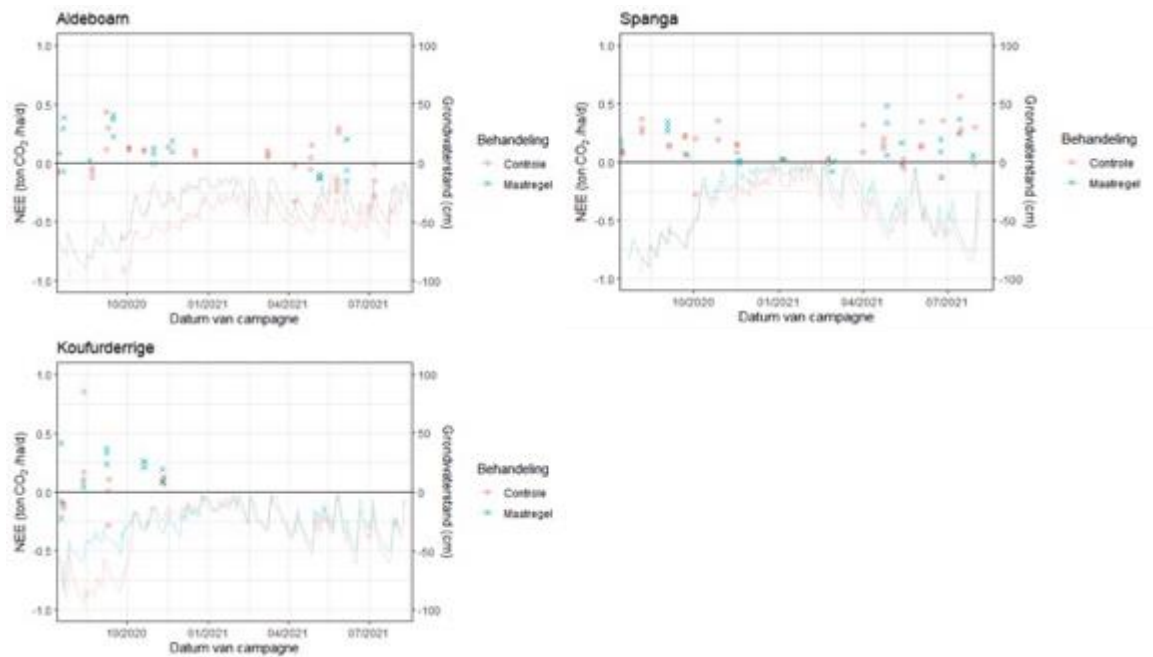


Figuur 2.73 Dagfluxen (primaire y-as) en grondwaterstanden (secundaire y-as) van de percelen Lytse Deelen, Idzega en Haskerdijken, waar greppelinfiltratie wordt toegepast. De dagfluxen van de controleplots zijn in rood aangegeven met een cirkel, de dagfluxen van de maatregelplots in blauw met een kruis. De lijnen geven de grondwaterstanden weer van de controle- en maatregelplots.

Percelen waar HAKLAM (Hegewarren & Warten) of onderwaterdrainage (Spanga, Aldeboarn en Koufurderrige) is toegepast, laten geen verschil zien tussen maatregelplots en controleplots. Bij deze beide methodes valt bovendien op dat het verschil in grondwaterstand tussen de maatregelplots en de controleplots minimaal is.



Figuur 2.74 Dagfluxen (primaire y-as) en grondwaterstanden (secundaire y-as) van de percelen Warten en Hegewarren. Op deze percelen wordt met HAKLAM geëxperimenteerd. De dagfluxen van de controleplots zijn in rood aangegeven met een cirkel, de dagfluxen van de maatregelplots in blauw met een kruis. De lijnen geven de grondwaterstanden weer van de controle- en maatregelplots.



Figuur 2.75. Dagfluxen (primaire y-as) en grondwaterstanden (secundaire y-as) van de percelen Aldeboarn, Spanga en Koufurderrige. Op deze percelen wordt met onderwaterdrainage geëxperimenteerd. De dagfluxen van de controleplots zijn in rood aangegeven met een cirkel, de dagfluxen van de maatregelplots in blauw met een kruis. De lijnen geven de grondwaterstanden weer van de controle- en maatregelplots.

Jaarbudget

In deze rapportage van de mobiele metingen is gekozen om de dagfluxen te laten zien in plaats van een jaarbudget per locatie. De reden hiervoor is dat de dagfluxen alleen gemeten waarden meenemen, waar een jaarbudget ook erg afhankelijk is van interpolatie en daarmee gevoelig voor de gekozen methode. De dagfluxen laten voornamelijk een netto CO₂ emissie zien, wat doet vermoeden dat over het hele jaar ook netto emissie uit veen plaatsvindt (Figuur 2.71). De berekende jaarbudgetten lieten echter een heel ander beeld zien, met netto opname van CO₂ op jaarbasis. Daarom is besloten dat de methode waarmee jaarbudgetten worden bepaald nogmaals kritisch bekeken dient te worden alvorens de resultaten daarvan te publiceren.

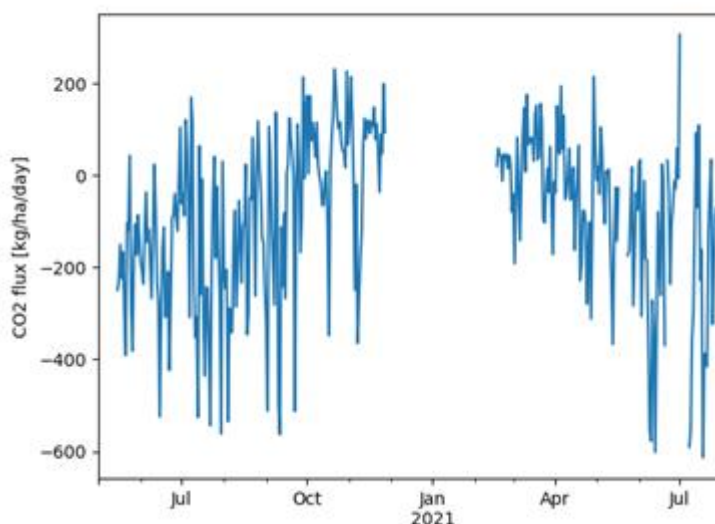
2.7 Zegveld lisdodde

Auteur: Ype van der Velde (VU), Alex Buzacott (VU), Merit van den Berg (VU)

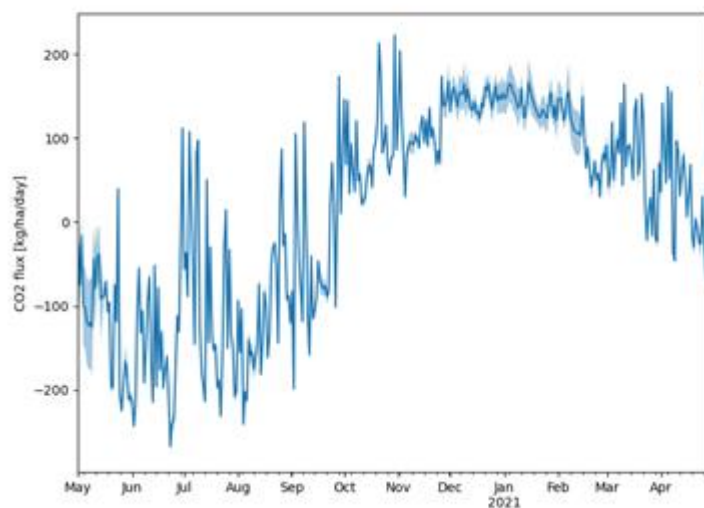
CO₂ metingen

De CO₂ metingen van het afgelopen meetjaar in het lisdoddeveld in Zegveld hebben geleid tot een tijdreeks met relatief veel datapunten. Van het totale jaar mist minder dan 30% van de metingen doordat er bv niet genoeg turbulentie is in de atmosfeer en door een technisch probleem was met de methaanalyzer. De data is vervolgens nog gefilterd op basis van kwaliteitscriteria waardoor uiteindelijk 45% van de data ontbreekt (Figuur 2.76). Gezien het feit dat de EC-opstelling in december en januari uit het veld is geweest, is dit een erg goede score. Bijkomend voordeel is dat de opstelling in de winter uit het veld is gehaald, deze periode heeft een relatief kleine impact op de jaarbalans doordat de respiratie en fotosynthese fluxen kleiner zijn in de winter.

De CO₂ dataset is opgevuld met een neurale netwerk, dit netwerk is een bootstrap aggregaat van 20 individuele netwerken. De resulterende dataset is het gemiddelde van deze twintig netwerken met de onzekerheid van het opvullen uitgedrukt als de standaarddeviatie van de twintig netwerken (Figuur 2.77). De totale jaarbalans komt dan uit op 5,6 ($\pm 2,6$) ton CO₂/ha. Een positief getal betekent een netto uitstoot van de vegetatie naar de atmosfeer. De CO₂ dataset bevat alleen data waar 50%+ van de footprint uit de lisdodde komt.



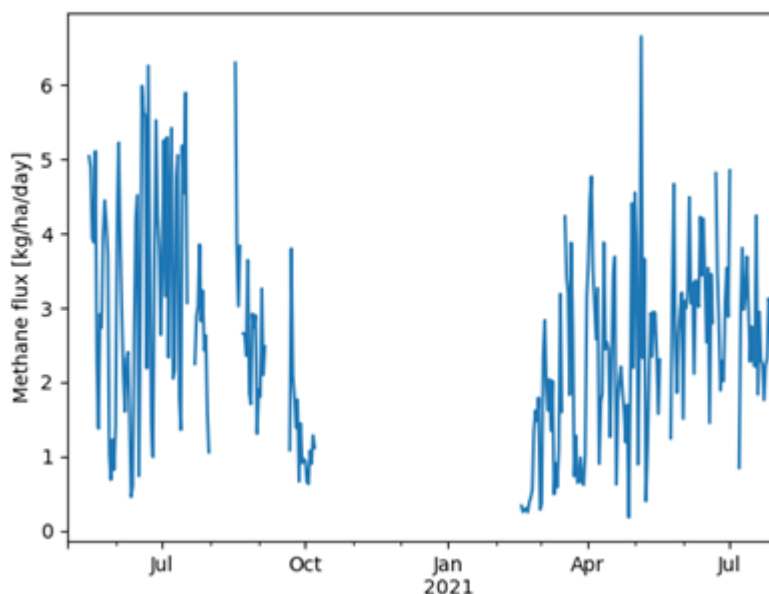
Figuur 2.76. Ruwe dagelijkse gemiddelden CO₂ van Zegveld Lisdodde veld.



Figuur 2.77. Dagelijkse gemiddelden CO₂ met opgevulde missende data. De standaarddeviatie van de modellen is lichtblauw.

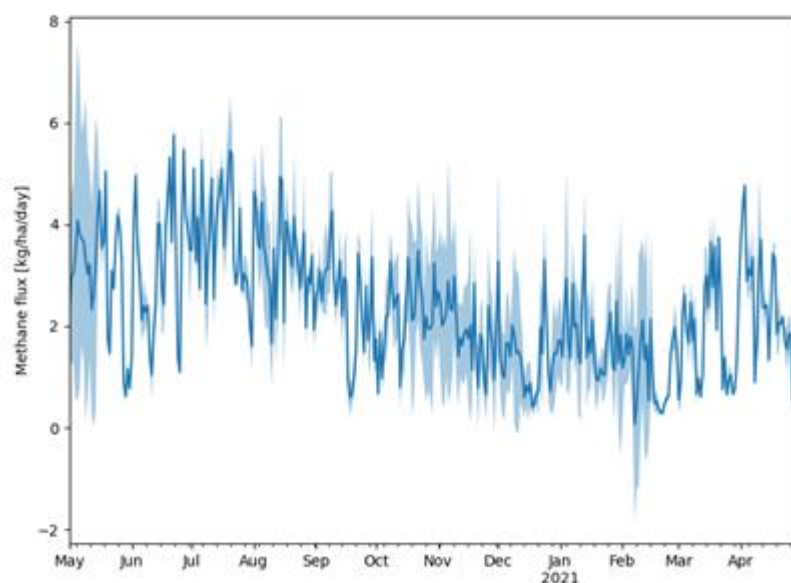
CH₄ metingen

Doordat de methaan sensor gevoeliger voor vuiler worden is dan de CO₂ sensor, missen hier meer waarden dan bij de CO₂ dataset (Figuur 2.78). Over het hele jaar mist er 67% van de data (70% na filteren). Om deze reden hebben we enkele aanpassingen aan de opstelling gemaakt, waaronder een automatische schoonmaak module.



Figuur 2.78. Ruwe dagelijkse gemiddelden CH₄.

De opvulmethode is vergelijkbaar met de methode om de ontbrekende data in te schatten die gebruikt wordt voor de CO₂ set. Het opvullen van methaan is moeilijker en de dataset is kleiner, voor die reden is er een complexer netwerk gebruikt (Figuur 2.79). De totale jaarbalans komt neer op 871 ± 70 kg CH₄/ha.



Figuur 2.79. Dagelijkse gemiddelden methaan met opgevulde missende data. Standaarddeviatie van de modellen is lichtblauw

Maai opbrengst

In februari is het lisdodde veld gemaaid. In totaal is er een opbrengst van 1385 kg droge stof over een veld van 0,42 hectare, wat zou resulteren in een opbrengst van 3233 kg droge stof/ ha. Er zijn wel enkele opmerkingen bij; het hele veld is gemaaid, maar een deel van de opbrengst is niet afgevoerd (0.1-0.2 Ha). Ook zijn er enkele opbrengstbepalingen gedaan voor het maaien met een gemiddelde van 10.9 ± 1.6 ton CO_2 /ha. Deze opbrengstbepalingen zijn meer in lijn met literatuur.

Koolstofbalans

Een koolstofbalans van alle verschillende emissies is belangrijk om een beeld te krijgen hoe deze emissies met elkaar verhoudt. Voor de koolstofbalans hebben we metingen van de CO_2 en methaan emissies en de maaiopbrengsten, de resterende koolstof stromen kunnen we daarmee inschatten (Tabel 2.13). De grootste onzekerheid zit in de opslag van koolstof, daarmee wordt bedoeld de verschillen in koolstof van vegetatie en ondiepe bodem tussen het begin en eind van de balans periode. De koolstofbalans wijst erop dat er nog steeds bodemafbraak is in dit lisdodde systeem.

Tabel 2.13. Koolstoffluxen van het lisdoddeveld uitgedrukt in t CO_2 -eq ha⁻¹ jaar⁻¹. De GPP is de gros primary production (opname van CO_2 door fotosynthese), Reco de ecosysteemrespiratie (zowel bodem als planten), C-export is de oogst en de broeikasgas (BKG) balans een optelsom is van GPP, Reco, CH_4 en C-export.

GPP	Reco	CH_4	C-export	BKG balans
-60	50	30 ± 3	11 ± 2	30

Lisdodde vergeleken met de omliggende veenweide

Het EC-systeem meet niet alleen het lisdodde veld, maar ook de omliggende veenweide. Als we de contributie van het lisdodde veld plotten tegenover de gemeten emissie, kunnen we een beeld krijgen hoe de CO_2 en methaan uitstoot van deze landschappen tot elkaar verhoudt (Tabel 2.14). Met contributie bedoelen we het percentage van het footprint dat binnen het lisdodde veld valt. Deze vergelijking laat zien dat lisdodde duidelijk meer dan 3 keer zoveel methaan uitstoot als

het omliggende veenweide gebied. Voor CO₂ is het verschil tussen lisdodde en veenweide niet duidelijk en de onzekerheid groot.

Tabel 2.14. Emissies (CO₂ en CH₄) vergeleken met de contributie van het lisdodde veld. De rode lijn is een lineair model dat het gemiddelde verband toont tussen beide bronnen: veenweide of lisdodde. De regressie coëfficiënten zijn weergegeven in onderstaand tabel.

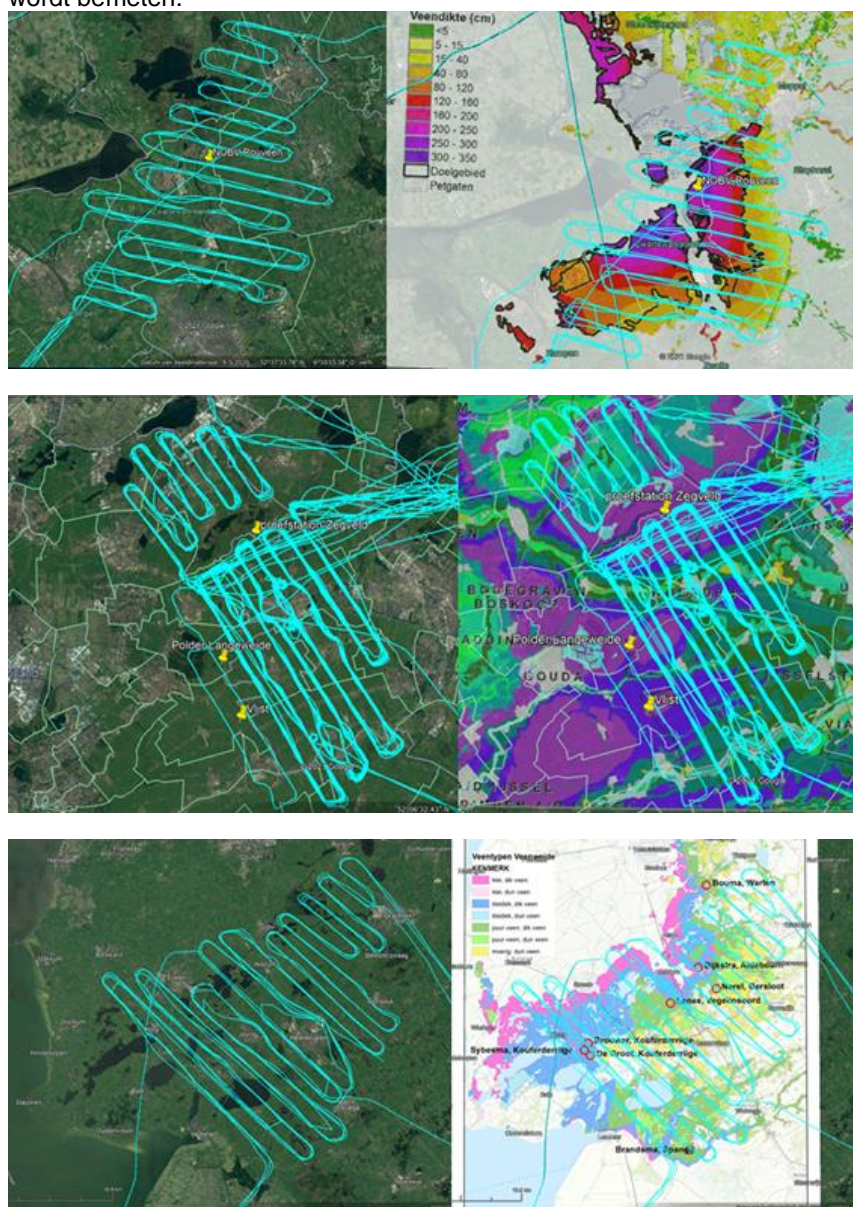
	Contributie coëfficiënt	intercept
CO₂	-5.2 (±11.7)	-68.7 (±8.1)
CH₄	2.5 (±0.1)	1.1 (±0.1)

3 Verdere inzichten en data

3.1 Vliegtuigmetingen

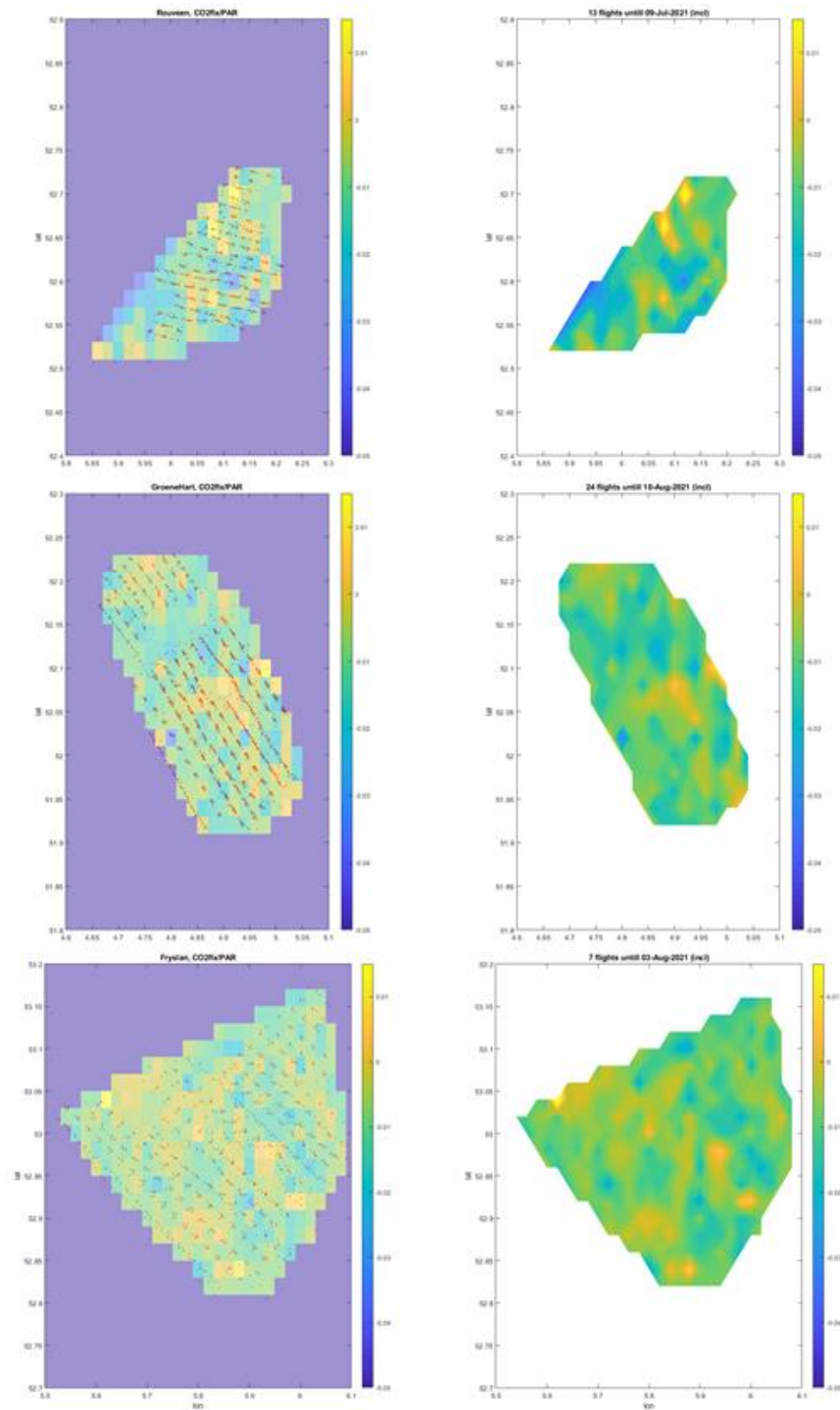
Auteur: Ronald Hutjes (WU)

Om een beeld te krijgen van de ruimtelijke CO₂ fluxen zijn in het tweede meetjaar opnieuw vliegtuigmetingen uitgevoerd. Dit soort metingen geeft vlakdekkende informatie aanvullend op de puntmetingen van de meetplots. Hiermee kan een grootschaliger beeld verkregen van de variatie in de fluxen en mogelijk correlaties worden gemaakt met omgevingsvariabelen, zoals hydrologische condities en veendikte. De drie kaarten in Figuur 3.1 tonen meerdere vluchtroutes, links geplote in GoogleEarth, rechts geplote over een bodem-, dan wel veentypen/dikte kaart. Duidelijk is te zien dat de routes zo zijn ontworpen dat de volledige gradiënt in veentypen/diktes wordt bemeaten.



Figuur 3.1. Vliegroutes. Van boven naar onder: kop van Overijssel, Groene Hart, ZW Friesland.

Alle vliegtuigmetingen per regio zijn gecombineerd in een eerste, en erg grove analyse. Daartoe zijn de CO₂ flux metingen (elke ca 2km gemeten) geschaald met de hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling (PAR), en vervolgens ruimtelijk gemiddeld en geïnterpoleerd naar een raster van 0,02 lengte en breedte graden, ca 2.2 bij 3.7 km, ruwweg de grootte van een footprint. Daarbij is nog geen rekening houdend met de werkelijke *positie* van de footprint, die altijd bovenwinds ligt ten opzichte van de positie van het vliegtuig (en is dus afhankelijk van de windrichting). Elke individuele rode stip op het linker figuur in Figuur 3.2 is één flux waarneming. Het rechterfiguur in Figuur 3.2 heeft dezelfde informatie maar dan als contouren weergegeven. Elk figuur heeft dezelfde kleurcodering.



Figuur 3.2. Resultaten eerste analyse vliegtuigmetingen. Zie tekst voor toelichting.

Voor elk geïnterpoleerd raster (linker deel van Figuur 3.2) zijn de volgende statistieken berekend, voor een heldere zomers dag (PAR = 1600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$):

CO ₂ flux ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	gemiddelde (negatief = opname)	standaard deviatie
kop van Overijssel	-17.8	16.5
Groene Hart	-14.3	10.4
Friesland	-11.9	9.0

Een voorzichtige, voorlopige (en mogelijk zelfs voorbarige) interpretatie suggereert dat

- in Friesland de *netto* fluxen (NEE) in absolute zin kleiner zijn en met minder extreme uitschieters dan in beide andere gebieden
- in de kop van Overijssel de gemiddeld fluxen het grootst zijn, maar ook met de grootste variatie
- het Groene Hart zit tussen deze beide in
- veronderstellen we in alle drie de gebieden een gelijke vegetatie productiviteit (bv GPP = $-25 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, zie bv Jacobs et al 2008, <https://doi.org/10.5194/bg-4-803-200>), dan betekent dat dat de bodememissies (Reco = NEE - GPP) in Friesland het grootst zijn (13.1 voor een GPP van 25) en in de kop van Overijssel het kleinst (7.2 voor dezelfde GPP).

In de kop van Overijssel valt in het ruimtelijke patroon van de CO₂ fluxen op dat

- de relatief positieve hotspots (emissies) samenvallen met het kassengebied bij Kampen (emissies stedelijk gebied en industrie), maar ook omgeving randmeren en Beulakker en Belterwieden en bv
- de relatief negatieve hotspots (opname) samenvallen met diverse natuurgebieden langs Vecht en Zwartewater en bv de Oldematen

In het Groene Hart valt in het ruimtelijke patroon van de CO₂ fluxen op dat

- de positieve hotspots (emissies) samenvallen met LeidseRijn en Woerden en het kassengebied bij Nieuwveen (emissies stedelijk gebied en industrie), maar ook omgeving Langeweide
- de negatieve hotspots (opname) samenvallen met (de omgeving van) de Nieuwkoopse plassen, het gebied rond Benschop en het gebied ten zuiden van Cabauw (beiden rivierklei gebied)

In Friesland valt in het ruimtelijke patroon van de CO₂ fluxen op dat:

- er een gradiënt lijkt te bestaan van ZW, meer emissies, naar NO, meer opname
- de positieve hotspots (emissies) samenvallen met Heerenveen en Sneek (emissies stedelijk gebied en industrie), maar ook met het diverse meren (Tjeukermeer, Sneekermeer, Langweerder Wiel, Koevordermeer)
- de negatieve hotspots (opname) samenvallen met (de omgeving van) verschillende natuurgebieden: de Alde Faenen, De Deelen en de Rottige Meente

De interpretatie van bovenstaande ruimtelijke patronen moet met het nodige voorbehoud genomen worden in afwachting van een veel nauwkeuriger attributie met behulp van de footprint analyse in combinatie met gedetailleerde overlays van landgebruik, bodem/veen karakteristieken en (grond)water peilen.

3.2 EC metingen

Auteur: Bart Kruijt (WU)

Aldeboarn

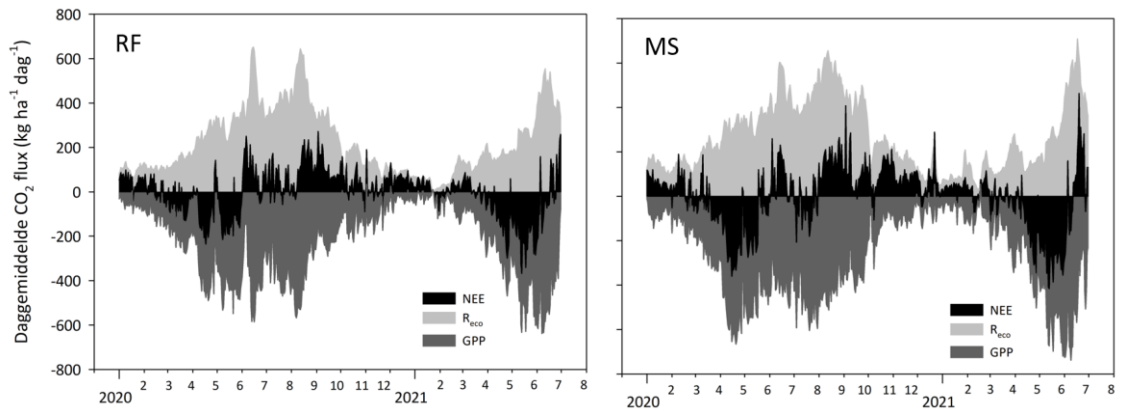
Auteurs: Bart Kruijt (WU), Merit van den Berg (RU/VU)

In Aldeboarn staan sinds 2019, voor een project van Provincie Friesland twee eddy covariance (EC) torens in de noordwest hoek van een maatregel (onderwaterdrainage) en referentieperceel. Sinds 2020 horen deze EC torens bij het NOBV met als doel de fluxen van de percelen te bepalen en een methode vergelijking te hebben (EC vs kamermetingen).

Om tot een koolstofbalans te komen zijn de gaten in de datareeks gevuld met de standaard gap-filling methode voor EC CO₂ data (Falge et al. 2001; Reichstein et al. 2005) waarbij de relatie met inkomende straling, temperatuur en dampspanningsdeficiet in een tijdsperiode van een week tot twee weken rondom de missende data wordt gebruikt.

De jaarbalans bestaat uit de gemeten CO₂ 'net ecosystem exchange' (NEE), de koolstof die door de oogst wordt afgevoerd en de input van koolstof door mest (zie Tabel 3.1). De opbrengst van de oogst is bepaald op de NOBV plot en is daarmee niet direct representatief voor het hele perceel aangezien er een andere bemesting (koemestkorrels i.p.v. drijfmest) en maaifrequentie toegepast wordt. Toch zal de opbrengst redelijk in buurt zitten aangezien de hoeveelheid stikstof in de mest wel zo veel mogelijk hetzelfde wordt gedaan als de rest van het perceel. De hoeveelheid C die op het land wordt gebracht door bemesting en beweiding door de boer is op moment van schrijven nog niet achterhaald. Op basis van data van 2017 en 2018 wordt dat geschat op zo'n 7 t CO₂ ha⁻¹ jaar⁻¹. Hiermee komt zowel de referentie als de maatregelperceel op 17 t CO₂ ha⁻¹ jaar⁻¹ uit en is er dus geen effect van onderwaterdrainage op de jaarbalans gevonden.

De NEE kan gesplitst worden in ecosysteemrespiratie (R_{eco}, de totale respiratie van zowel planten als bodem) en 'gross primary production' (GPP, opname van CO₂ door planten). Dit geeft inzicht in wanneer de grootste pieken in de respiratie en plantengroei te verwachten zijn. Zo zien we in Figuur 3.3 dat in het begin van het seizoen een netto opname te zien is, en dat daarna de R_{eco} toe blijft nemen tot in augustus terwijl de opname van CO₂ door planten niet heel erg toeneemt. Aan het einde van de zomer is er dan ook een netto uitstoot te zien. Het jaarverloop stelt ons ook in staat te achterhalen in welke tijd van het jaar de verschillen tussen de percelen optreden. Dit vraagt nog meer analyse, maar op het eerste gezicht lijkt Figuur 3.3 te laten zien dat zowel GPP and R_{eco} op het maatregel (MS) perceel langer hoog blijven, wellicht omdat de bodem vochtiger blijft. Deze R_{eco} zal dan vooral de respiratie van de planten behelzen omdat de CO₂ opname door planten ook hoger is. Daar staat tegenover dat de gemeten grasopbrengst in het referentieperceel hoger is. Deze schijnbare tegenstelling roept een aantal interessante vragen op, die in de komende jaren nader bestudeerd moeten worden.



Figuur 3.3. Net ecosystem exchange (NEE), verdeeld in ecosysteme respiratie (Reco) en gros primary productions (GPP) voor OWD (links) en controle perceel (rechts) voor de periode 01-01-2020 t/m 30-06-2021. GPP en Reco zijn verkregen met de standaard flux-partitioning methode (Reichstein et al., 2005, Lasslop et al., 2010).

Tabel 3.1. Jaarbalans van de CO₂ fluxen in Aldeboarn voor de periode 20-04-2020 t/m 19-04-2021, bestaande uit gemeten en gegapvulde net ecosystem exchange (NEE), opbrengst van de oogst en C-input van bemesting. Eenheid: t CO₂ ha⁻¹ jaar⁻¹. Opbrengst is de som over de meetperiode van het NOBV meetplot, en dekt daarmee niet de gehele footprint van de EC. C-input is een schatting op basis van data uit 2017-2018.

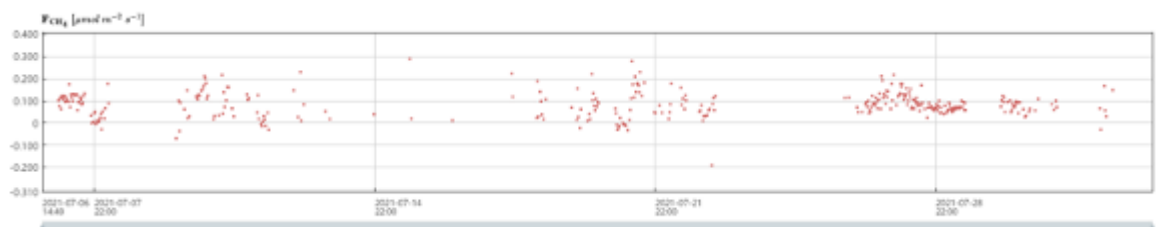
Perceel	NEE	Opbrengst	C-input	Totaal
RF	8,6	15,3	-7	16,9
MS	10,7	13,2	-7	16,9

Ankeveen

Auteurs: Tom Heuts (RU), Merit van den Berg (RU) en Christian Fritz (RU)

De resultaten van de EC metingen omvatten nog een te korte tijdsperiode om conclusies aan te verbinden. De gepresenteerde data gelden daarom ter illustratie voor deze techniek. De voetafdruk van de EC toren laat zien dat noordwestelijke wind dominant was tijdens de maand juli, waar het zuidwesten als de dominante windrichting wordt verwacht (zie operationele rapportage meetjaar 2020-2021). In Figuur 3.4 zijn de CH₄ fluxen weergegeven. Hier valt op dat ook langere periodes aan data missen. In de periode 23-26 juli hebben problemen met de stroomvoorziening zich voorgedaan, waardoor de apparatuur niet kon werken. Andere gaten in de data hebben te maken met lage kwaliteit metingen door slecht weer (7-9 juli) of een ongunstige windrichting voor dit onderzoek (12-17 juli).

Fluxen laten een voor helofyten typische dag-nacht response vermoeden. De invloed van temperatuur en fotosynthese op CH₄ en CO₂ fluxen wordt in de komende jaren verder onderzocht.



Figuur 3.4. CH₄ fluxen voor Ankeveen in juli 2021.

Mobiele EC metingen

De mobiele meetmasten waren medio juni 2021 gereed, en zijn in eerste instantie ingezet op Zegveld in het RF perceel (samen met TNO, zie rapportage hieronder) en op Lange Weide.

Op beide percelen is gekozen voor een meethoogte van 4-5 meter, waardoor de footprint aanzienlijk is (enige honderden meters). In Zegveld is in Juli de meethoogte iets vergroot, om te vergelijken met de lagere mast van TNO, waardoor ook de footprint iets groter werd. Overigens is de windrichting over de meetperiode (juni-augustus) erg variabel geweest, waardoor de footprint niet allen het RF perceel bestreek, maar ook de sloot, het pad en het perceel aan de andere kant van deze masten. We hebben nog niet de nodige filters op de windrichting gezet om deze percelen van elkaar te onderscheiden.

In de figuren hieronder laten we de tijdreeksen en de gemiddelde dagelijkse gang zien bij beide locaties.

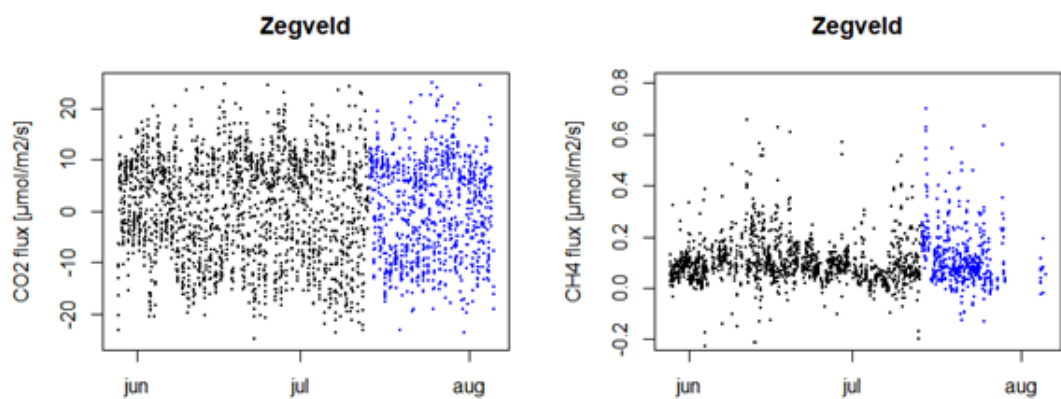
Voor de interpretatie en vergelijking met andere grafieken in dit rapport: $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$ komt overeen met $38 \text{ kg ha}^{-1} \text{dag}^{-1} \text{CO}_2$; $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CH}_4$ komt overeen met $13.8 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{dag}^{-1}$, en dus met $13.8 \times 25 = 345 \text{ kg ha}^{-1} \text{dag}^{-1} \text{CO}_2\text{-equivalent}$, volgens de meest gangbare conventie.

Zegveld

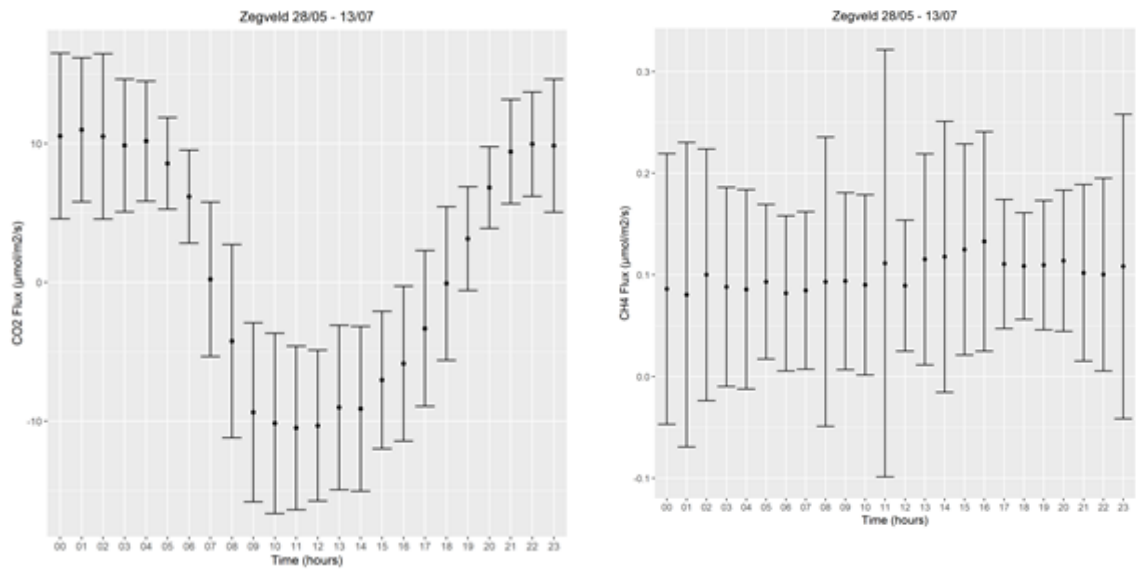
De CO_2 flux gemeten in Zegveld (Figuur 3.5 en Figuur 3.6) laat een consistent beeld zien over de hele zomerperiode, met opname overdag tot $-20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, en een gemiddelde dagelijkse piek van -10 , kenmerkend voor een actief groeiend gewas, en nachtelijke uitstoot van 10 - 15 $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, wat hoog is, maar voor veenweiden met actieve vegetatie en veenafbraak volgens verwachting en vergelijkbaar met andere locaties.

Voor deze zomerperiode ligt de netto CO_2 flux (de NEE) dan gemiddeld op een uitstoot van rond de $3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, dus rond de $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{dag}^{-1}$. In CO_2 equivalenten is de vrij constante methaanuitstoot met gemiddeld $34 \text{ kg CO}_2 \text{ equivalent ha}^{-1} \text{dag}^{-1}$ dan lager dan de CO_2 uitstoot, maar niet onaanzienlijk. Hierbij moet natuurlijk worden meegewogen dat de opname, het geproduceerde gras, voor het grootste deel ook snel weer als CO_2 in de atmosfeer terecht zal komen.

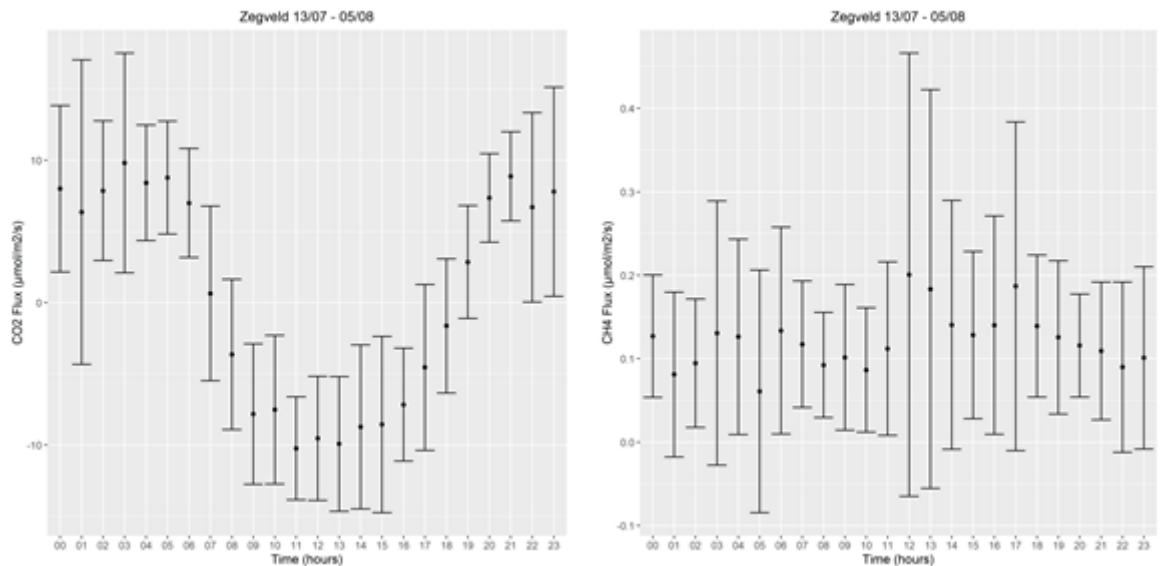
De meethoogte/footprintgrootte (Figuur 3.6 en Figuur 3.7) lijkt op het eerste gezicht weinig invloed te hebben. Er is een niet-significante trend te zien in de dagelijkse gang, waarbij de grotere meethoogte geassocieerd lijkt met iets lagere nachtelijke CO_2 uitstoot en iets hogere CH_4 uitstoot. Voor de methaanfluxen lijken er wel pieken op te treden, en het moet worden nagegaan of deze samenvallen met een footprint die over een sloot valt, of over het lisdoddeveld.



Figuur 3.5. Gemeten tijdreeksen voor CO_2 en CH_4 fluxen op het referentieperceel in Zegveld. de blauwe punten vertegenwoordigen de metingen nadat de meethoogte met 1 m werd verhoogd.



Figuur 3.6. Gemiddelde dagelijkse gang met standaarddeviaties van de CO₂ en CH₄ flux over de eerste meetperiode in Zegveld (zwart in Figuur 3.5).

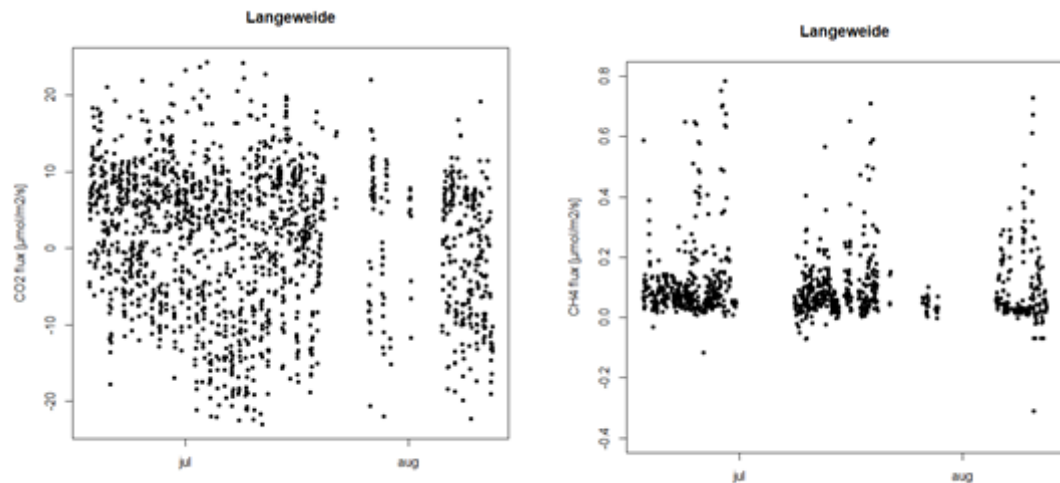


Figuur 3.7. Gemiddelde dagelijkse gang met standaarddeviaties van de CO₂ en CH₄ flux over de tweede meetperiode in Zegveld (blauw in Figuur 3.5) - waarbij de meethoogte groter was dan in de eerste meetperiode.

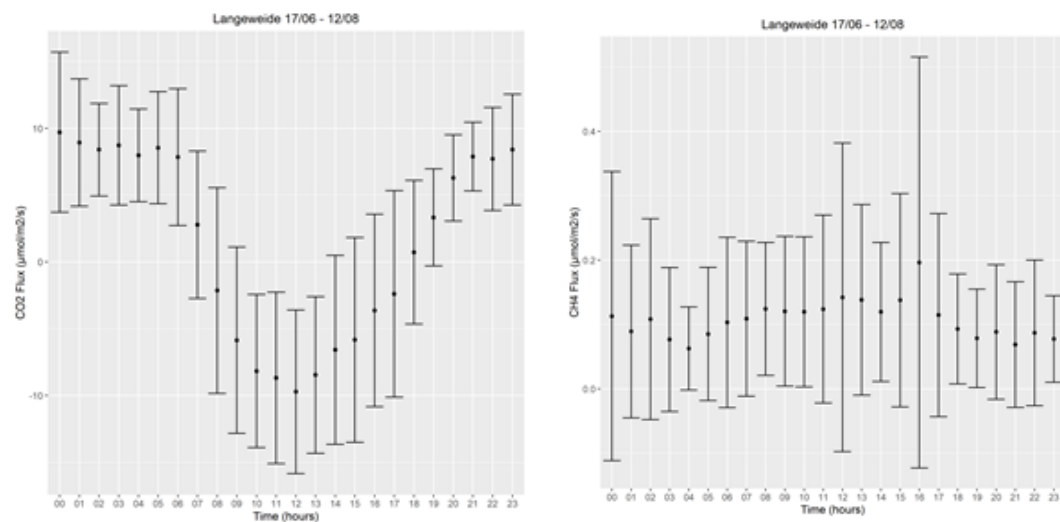
Lange Weide

Figuren Figuur 3.8 en Figuur 3.9 laten zien, dat in grote lijnen de fluxen voor deze zomer vergelijkbaar zijn tussen Zegveld en Lange weide. Zowel uitstoot als opname van CO₂ lijkt iets lager, terwijl de CH₄ flux vergelijkbaar is. Wel zien we een grotere variatie over de tijd in CO₂ flux, hetgeen iets te maken zou kunnen hebben met de windrichting/footprint. Deze mast staat niet ver van een vrij brede sloot, in NO richting. Ook zien we hier een aantal 'gaten' in de data, als gevolg van het falen van de sonische windmeter. Er kan opgemerkt worden dat er verschillen zijn tussen de hier beschreven eerste metingen en de vliegtuigmetingen. Het is nu nog te vroeg, en er zijn nog te korte reeksen, om dit verschil te verklaren anders dan de notie dat de er een groot verschil is in de grootte van de footprint tussen beide methoden. Dit illustreert het belang van het opschalings-

onderzoek (AIO WU). Voor een vergelijking met gebieden zonder onderwaterdrainage is het van belang ook de tijdsdynamiek goed te zien, en dat kan pas als er minstens een jaar gemeten is.



Figuur 3.8. gemeten tijdreeksen voor CO₂ en CH₄ fluxen met de EC in Lange Weide.



Figuur 3.9. Gemiddelde dagelijkse gang met standaarddeviaties van de CO₂ en CH₄ flux over de tweede meetperiode in Zegveld (blauw in Figuur 3.5) - waarbij de meethoogte groter was dan in de eerste meetperiode.

Analyse rapportage N₂O fluxmetingen met eddy correlatie methode NOBV

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

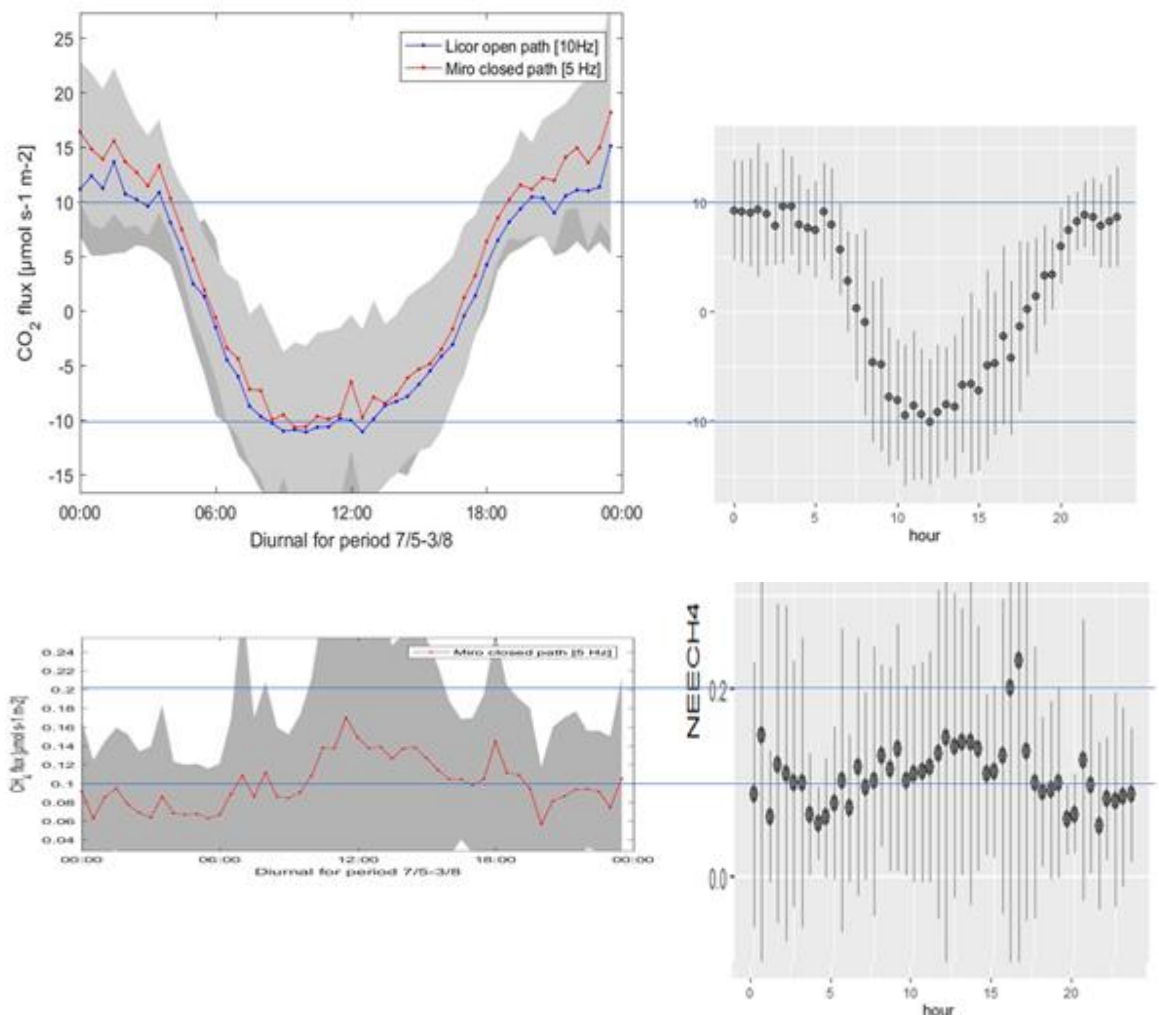
Van 7 Mei tot en met 3 Augustus zijn in Zegveld door TNO N₂O fluxen op basis van eddy covariance gemeten (zie Operationele Rapportage). Doel was de technische en operationele haalbaarheid van dergelijke metingen aan te tonen. Eén meetopstelling is gebouwd rondom een ‘closed path gasanalyzer’ (MIRO MGA9 voor CO₂, H₂O, CH₄, N₂O, NH₃ en O₃, allemaal op 5Hz bemonsterd) gecombineerd met een sonische windmeter, plus een Licor 7500. Ter vergelijking was gedurende dezelfde periode ook een standaard eddy covariance systeem van de WU erbij geplaatst, gebouwd rondom twee ‘open path gas analysers’ (Licor 7500 voor CO₂ en H₂O en Licor 7700 voor CH₄, allemaal op 20Hz) gecombineerd met een 2e sonische windmeter.

In eerste instantie is een vergelijk tussen de drie opstellingen gemaakt. Figuur 3.10 toont een 'versie 0' voorbeeld van de gemiddelde dagelijkse gang van CO₂ en CH₄ fluxen, door beide organisaties apart uitgerekend. Op het eerste gezicht komen de CO₂ fluxen van de drie opstellingen goed overeen, maar bv s'nachts lijken de TNO emissies wat hoger dan die van de WU.

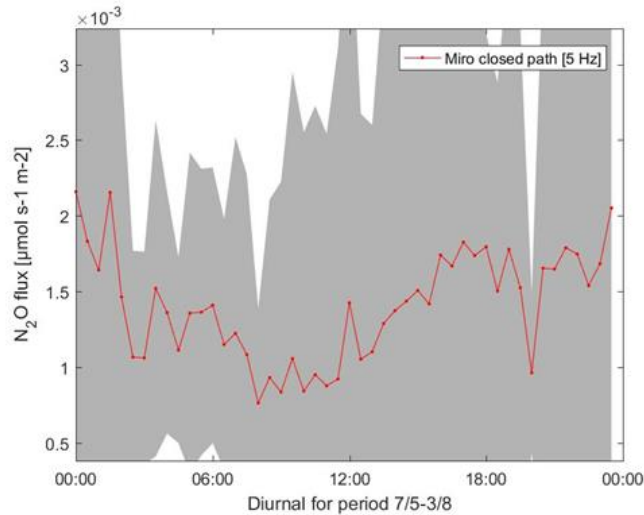
Deze verschillen kunnen (deels) veroorzaakt zijn door verschillen in processing tussen beide datastromen. Een volgende 'versie 1' van beide data stromen zullen de opties in processing gelijk getrokken worden. Het gaat daarbij om het al dan niet uitvoeren van bv. angle of attack correcties op de wind metingen, blok- dan wel lopend gemiddelde middeling, en WPL, u* en evt storage correcties op de fluxen. In volgende analyse stap worden deze opties volledig geharmoniseerd, om een eerlijker vergelijk mogelijk te maken.

Vergelijkbare figuren (hier niet getoond) zijn ook al gemaakt voor de andere fluxen die door alle systemen worden bepaald, zoals voelbare warmte, verdamping, momentum flux. Figuur 3.11 laat die zien voor de lachgas flux. Het gemiddelde van ca 1.4 umol N₂O s⁻¹ m⁻² komt overeen met 53 gN₂O per hectare per dag, of ca 1200 kg CO₂-equiv per hectare over de gehele meetperiode van 86 dagen.

Daarna volgt dan een analyse van de fluxen naar windrichting footprint, een vergelijk met de lachgas kamermetingen in de footprint, en naar bv de verschillende drivers van de N₂O fluxen, zoals maaien, bemesten, neerslag perioden. Deze analyse zal dan ook de basis vormen voor een te bepalen optimale meetstrategie voor 2022.



Figuur 3.10. Vergelijking gemiddelde dagelijkse CO₂ flux (boven) en de CH₄ flux (onder), 7 Mei - 3 Aug 2021, TNO (links) vs WU (rechts). (De figuren zijn enigszins gestrekt om de verticale as gelijk te krijgen).



Figuur 3.11. Gemiddelde dagelijkse N_2O flux, 7 Mei - 3 Aug 2021.

3.3 Samenvatting jaarbalansen

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

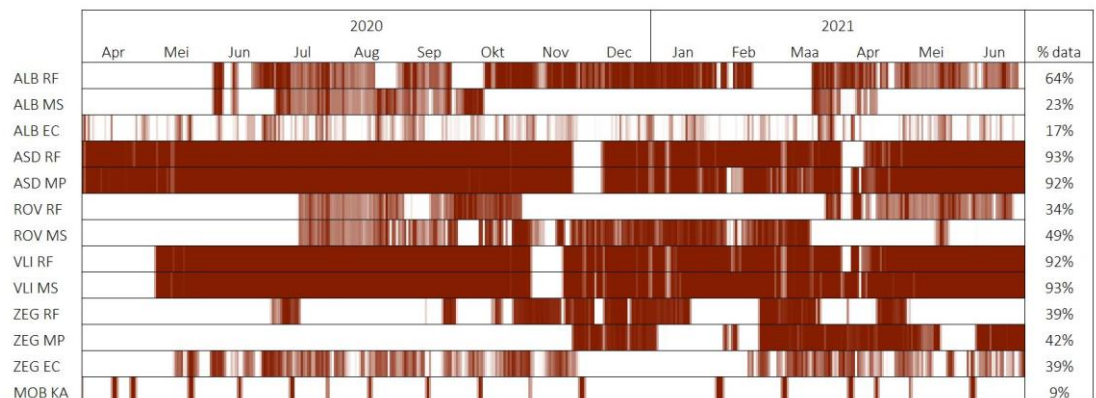
3.3.1 Algemeen

Om te weten of een bodem netto CO_2 uitstoot en hoeveel dat verandert met een maatregel, is het noodzakelijk om een balans te maken van alle koolstofluxen. Planten zorgen ervoor dat er koolstof wordt opgeslagen in de biomassa, waarvan een deel in de bodem terecht komt, een deel wordt afgevoerd (oogst) en een deel wordt gerespireerd. Naast de afbraak van plantenresten in de bodem is er de veenoxidatie. Met de CO_2 fluxmetingen (kamers of eddy covariance) wordt al het koolstof wat in en uit het systeem gaat in de vorm van CO_2 gemeten. Om de balans kloppend te maken is de afvoer van biomassa noodzakelijk. Over een langere periode zullen de kort-cyclische koolstofluxen ($CO_2 \rightarrow$ plant \rightarrow bodem \rightarrow CO_2) in balans zijn, zodat het de netto verlies aan koolstof aan veenoxidatie toegeschreven kan worden. De minimale periode om een koolstofbalans te maken is één jaar, maar onzekerheden rondom het evenwicht in de kortcyclische koolstof is nog groot. Daarnaast is er een grote variatie aan weersomstandigheden mogelijk, waardoor één jaar niet representatief hoeft te zijn voor de CO_2 uitstoot op lange termijn, evenals dat het effect van een maatregel in dat jaar niet representatief hoeft te zijn. Zo was het jaar 2020 erg droog en warm, waardoor grondwaterstanden in de zomer laag waren en de effectiviteit van een maatregel (OWD, drukdrainage) dus gunstig kan zijn. De verwachting is dat in het natte jaar 2021 de fluxen en de effectiviteit lager zullen zijn.

3.3.2 CO_2 fluxmetingen, gapfilling en jaarbalans

Ondanks dat het doel is om zo veel mogelijk continu de CO_2 fluxen te meten, lukt dit niet altijd. De eosence kamers bleken nog niet geschikt te zijn voor langdurige metingen in het veld, wat voor veel uitval heeft gezorgd. Met eddy covariance (EC) is de fluxmeting erg afhankelijk van de windrichting en een turbulente atmosfeer, waardoor er ook gaten in de tijdreeks komen. En soms is er ook bewust voor gekozen om niet continu te meten, maar om de meetapparatuur te verplaatsen tussen een aantal locaties om meer zicht te krijgen in de variatie tussen de locaties (mobiele metingen). In Tabel 3.2 is een overzicht gegeven van de meetfrequentie per meetplot/-locatie over de hele meetperiode.

Tabel 3.2. Meetfrequentie per locatie over de periode 01-04-2020 t/m 30-06-2021, waarbij een gradiënt is aangegeven van donkerrood (maximaal aantal meetpunten, 48 per dag) naar wit (geen meetpunten). De percentages in de laatste kolom geven het aandeel gemeten datapunten aan vanaf de start van de meting t.o.v. het maximaal mogelijke aantal datapunten met continu meten. ALB = Aldeboarn, ASD = Assendelft, ROV = Rouveen, VLI = Vlist, ZEG = Zegveld, RF = referentie, MS = onderwaterdrainage, MP = drukdrainage, EC = eddy covariance, MOB KA = één perceel mobiele kamers.



Wanneer er gaten in de data zijn, moeten die voor een jaarbalans gevuld worden. Dit kan bij kleine periodes (aantal uur tot een dag) met lineaire interpolatie en bij grotere periodes met een andere gapfilling methode waarbij relaties met omgevingsvariabelen (licht, temperatuur, bodemvocht etc.) kan worden gebruikt. Hoe meer datapunten opgevuld moet worden hoe groter de onzekerheid wordt. Ook de lengte van de periode waarin data mist maakt uit, zo zorgen kleine periodes verspreid over het seizoen voor minder onzekerheid dan één lange periode midden in het groeiseizoen.

Voor de locaties Aldeboarn, Rouveen, Assendelft en Vlist is voor de gapfilling gekozen voor een lineaire interpolatie op basis van omliggende datapunten, omdat er weinig data ontbreekt. Door de lagere periodes van missende data voor de kamermetingen in Aldeboarn en Rouveen is gekozen om de data van het maatregel- en referentieperceel samen te voegen en één jaarbalans te maken. Hiermee kan geen vergelijking tussen maatregel en referentie gemaakt worden maar geeft wel een indicatie voor de hoogte van de fluxen en kan dan bijdragen aan de inschatting voor de global warming potential van gedraineerde venen in Nederland. Voor de mobiele kamers zijn de missende data opgevuld met een temperatuurafhankelijke relatie voor de respiratie (gefit op nachfluxen) en een lichtrespons relatie voor de opname overdag of een relatie tussen oogst en GPP bij extreem lage dag NEE schattingen. De EC data in Aldeboarn zijn gevuld met de standaard methode voor EC (Falge et al. 2001; Reichstein et al. 2005) waarbij de relatie met inkomende straling, temperatuur en dampspanningsdeficiet in een tijdperiode van een week tot twee weken rondom de missende data wordt gebruikt. Door de complexiteit van de footprint van de EC toren in Zegveld (op de rand van lisdodde en grasland) en het ontbreken van een standaard gapfilling methode voor methaan is voor een machine learning methode gekozen, waarbij de computer zelf relaties in de data zoekt en gebruikt voor de gapfilling. Voor de locatie Zegveld missen er te veel data om een jaarbalans te kunnen maken.

Voor de locaties met voldoende data voor gapfilling, zijn jaarbalansen gemaakt. Het is onderverdeeld in de gegapfilde gemeten fluxen (= net ecosystem exchange, NEE), en de afvoer van koolstof door oogst. De jaarbudgetten van de verschillende sites liggen tussen de 3 en 28 t CO₂ ha⁻¹ jaar⁻¹, met de hoogste fluxen in Aldeboarn en Rouveen waar de waterstanden laag zijn maar wel even laag zijn als in Vlist en Zegveld. De laagste flux is voor Assendelft MP, met de hoogste waterstand. Het is opvallend dat Zegveld lisdodde nog een hoge CO₂ flux laat zien (16,9 t CO₂ ha⁻¹ jaar⁻¹) ondanks dat de waterstand boven het maaiveld uit komt. Er is nog wel veel onzekerheid in de data wat betreft koolstofafvoer door oogst (waarschijnlijk een overschatting) en

koolstofinput door bemesting (dat wordt op dit moment nog niet meegenomen), waardoor de jaarbalans lager uit komt wanneer die data bekend zijn.

Een foutmarge op de jaarbalans hebben we niet voor elke locatie kunnen maken. Voor Vlist en Assendelft is dit wel gedaan op basis van de gevonden variatie tussen de meetkamers en de opbrengst, dit leverde een standaard deviatie van $\sim 3 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ op. Onzekerheden in oogst/C-export kunnen oplopen tot $6 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. We gaan er voor nu vanuit dat dit voor alle sites zo is, maar een uitvoerige analyse voor de andere locaties is nog nodig. In Assendelft wordt het grootste deel van het maatregel effect op CO_2 jaarbalans door verschillen in grasgroei veroorzaakt ($7,5 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$) bepaald. Een vertaling van jaarbalans in de kamer (meer plantengroei en hogere C-export) naar het perceel zou tot extra variatie in jaarbalans schatting kunnen leiden. Voor een correctie van deze 2 onzekerheden binnen jaarbudgetten zal vaker gebruik van EC metingen gemaakt moeten worden.

In de kamers heerst een aangenaam klimaat voor de planten (hogere temperatuur en luchtvochtigheid) waardoor het gras daar harder groeit. Dit heeft zowel effect op de NEE (er is meer opname van CO_2) als op de oogst (hogere opbrengst). Omdat dit effect voor zowel het referentie- als maatregelperceel geldt, is niet de verwachting dat het kamer effect de effectiviteit van de maatregel zal beïnvloeden.

Nader onderzoek moet uitwijzen wat het effect van een hoger temperatuur en extra gras groei op de netto flux is door middel van onafhankelijke metingen en schattingen van koolstofbudgetten. In Aldeboarn zien we geen effect van de maatregel op de netto flux, wat al uit metingen uit een eerder project (zie Weideveld et al. 2021) was gevonden. Waarschijnlijk zijn het lage peil, de brede percelen en het grote drainerende effect in de winter de oorzaak hiervoor. Wel is er een groot effect te zien bij de drukdrainage perceel in Assendelft, daar wordt de zomergrondwaterstand ook omhoog gebracht tot gemiddeld -17 cm wat tot een veel grotere CO_2 reductie leidt.

Tabel 3.3. Jaarbudgetten voor de locaties Aldeboarn (ALB), Assendelft (ASD), Rouveen (ROV), Vlist (VLI) en Zegveld (ZEG), voor de behandeling referentie perceel (RF), onderwaterdrainage perceel (MS), drukdrainage perceel (MP) en paludicultuur lisdodde (PT). De additie EC bij de locatie staat voor eddy covariance metingen en KA voor kamermetingen. De eenheid is in $\text{t CO}_2\text{-eq ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Alleen in ZEG EC zijn CH_4 fluxen gemeten. *Inschatting bemesting boer is op basis van data van 2017-2018.

Locatie	Behandeling	NEE	CH_4	Oogst	C-input mest	Netto flux
ALB EC	RF	8,6	n.v.t.	15,3	-7*	17
	MS	10,7	n.v.t.	13,2	-7*	17
ALB KA	RF+MS	15,8	n.v.t.	18,0	-6,2	28
ASD KA	RF	-16,4	n.v.t.	31,7	n.v.t.	15
	MP	-21,7	n.v.t.	24,2	n.v.t.	3
ROV KA	RF+MP	9,2	n.v.t.	18,3	n.v.t.	28
VLI KA	RF	-5,4	n.v.t.	27,4	n.v.t.	22
	MS	-11,5	n.v.t.	25,7	n.v.t.	14
ZEG EC	PT	5,5	30	11,4	n.v.t.	47

Naast de jaarbudgetten van netto fluxen hebben we ook jaarbudgetten van nachtelijke CO_2 fluxen berekend. Hiervoor zijn eerst de gaten in de data via lineaire interpolatie ingevuld. Vervolgens is de area under the curve (numerieke integratie via de regel van Simpson) berekend van alle gemiddelde nachtfluxen van een jaar. De jaarbudgetten van nachtfluxen zijn minder gevoelig voor verschillen in fluxberekeningsmethodes die tussen de verschillende locaties zijn gebruikt (verder toegelicht hieronder) en geven daardoor mogelijk een eerlijker beeld van de verschillen in emissiegrootte tussen locaties dan de jaarbudgetten in Tabel 3.3. De jaargemiddelde nachtflux is het hoogst in het referentieplot van Vlist en het laagst in Aldeboarn (Tabel 3.4), wat deels verklaard kan worden met het verschil in opbrengst maar deels ook niet omdat fotosynthese en

plant respiratie nauw met elkaar gekoppeld zijn. Waar Aldeboarn en Rouveen in Tabel 3.3 de hoogste netto fluxen laten zien, behoren de nachtfluxen van deze locaties juist tot de laagste (Tabel 3.4). Deze discrepantie wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verschillende manieren van fluxberekening en door de lagere biomassa op deze locatie wat tot lagere plantrespiratie kan leiden. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.1.4 van de operationele rapportage en paragraaf 3.20 van deze rapportage heeft de toepassing van lineaire regressie een klein effect op nachtfluxen, maar een veel groter effect op dagfluxen vanwege de veel sterkere nonlineariteit van de CO₂ concentratieverandering over tijd overdag. De hoogte van de flux is daardoor sterk afhankelijk van de gekozen start- en eindtijd van de regressie. Daarnaast is het waarschijnlijk niet juist om deze start- en eindtijden te uniformeren, omdat de verschillende typen kamers een verschillend oppervlakte-volume ratio hebben. Dit betekent dat bij sommige typen kamers de CO₂ concentratie in de kamer veel sneller verandert dan bij andere kamers en daarmee ook de noodzaak van het gebruik van een andere start- en eindtijd. Uniformiteit in fluxberekening kan mogelijk wel bereikt worden als er gekozen wordt voor exponentiële regressie. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.1.4 van de operationele rapportage en paragraaf 3.20 van deze rapportage werkt de NOBV kamergroep aan het toepassen en evalueren van alternatieve fluxberekeningsmethodes, welke complexer, maar waarschijnlijk accurater en makkelijker te uniformeren zijn. Dit betekent dat de in deze rapportage vermelde jaarbudgetten na herberekening en -analyse mogelijk herzien worden, wat mogelijk ook leidt tot andere verschillen tussen locaties. Tot slot toont Tabel 3.3 aan dat de koolstofexport (gewasopbrengst) het grootste aandeel vormt van de netto koolstoflux. Dit betekent dat naast de manier van fluxberekening ook de manier en nauwkeurigheid waarmee de grasopbrengst en het koolstofgehalte daarvan wordt bepaald een bron van onnauwkeurigheid is die tot verschillen in netto fluxen tussen locaties kan leiden.

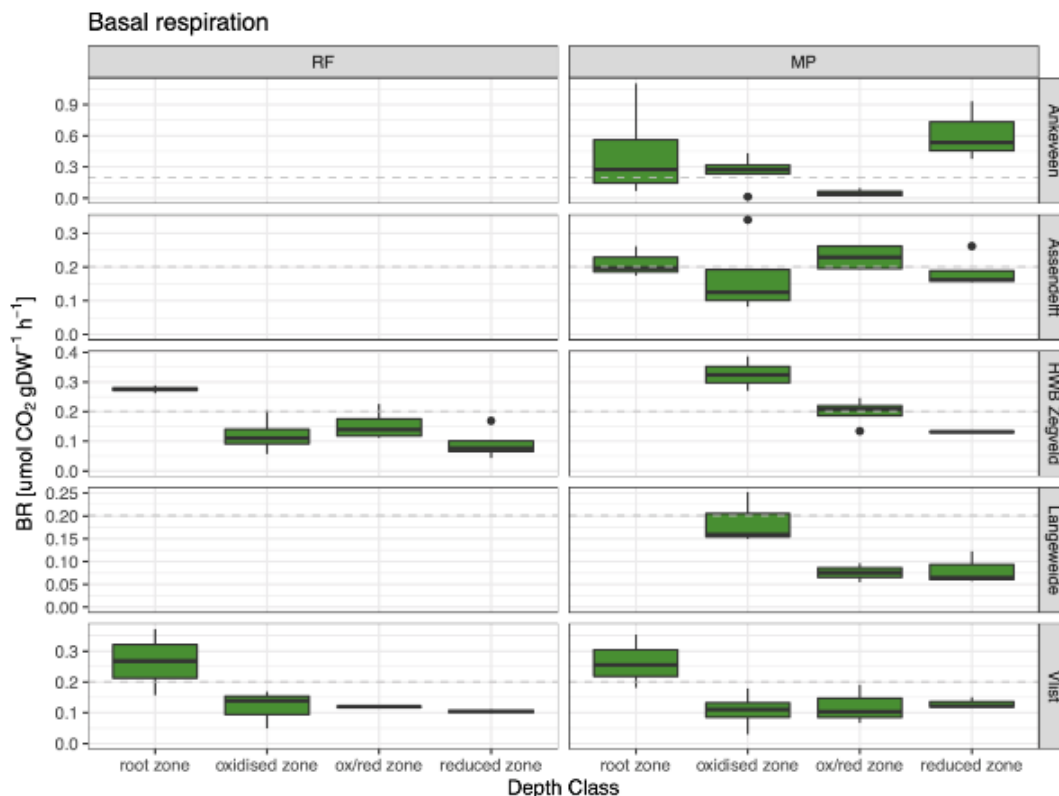
Tabel 3.4. Jaarbudgetten van nachtelijke CO₂ fluxen voor de locaties Aldeboarn (ALB), Assendelft (ASD), Vlist (VLI) en Zegveld (ZEG), voor de behandeling referentie perceel (RF), onderwaterdrainage perceel (MS) en drukdrainage perceel (MP). De eenheid is in t CO₂ ha⁻¹ jaar⁻¹. De startdatum van het jaarbudget was afhankelijk van de beschikbare data.

Locatie	Behandeling	Startdatum jaarbudget	Nachtflux	Dagen zonder data	
ALB	RF + MS	23-6-2020	60	41	
ROV	RF + MS	1-9-2020	64	43	
VLI	RF	1-7-2020	86	33	
VLI	MS	1-7-2020	75	27	
ASD	RF	1-7-2020	77	33	
ASD	MP	1-7-2020	65	20	

3.4 Basale respiratiemetingen

Auteurs: Mariet Hefting (UU), Joost Keuskamp (BR)

In meetjaar 2 zijn basale respiratiemetingen uitgevoerd in Langeweide, Zegveld hoogwaterboerderij en Ankeveen. Daarnaast zijn er begin metingen uitgevoerd voor de lange termijn basale respiratie metingen (LTBR) voor Ankeveen, Zegveld RF, Assendelft MP en Vlist (RF en MP). De potentiële aerobe respiratiesnelheden zijn met de respirometer gemeten onder basiscondities (BR). Alle metingen zijn uitgevoerd bij een vochtgehalte van 70% van de veldcapaciteit en een temperatuur van 20°C.



Figuur 3.12. Afbraaksnelheid onder standaard omstandigheden (basale respiratie) van verschillende lagen in referentie (REF) en maatregelen (MF) plots van de locaties Ankeveen, hoogwater boerderij Zegveld, Langeweide en Vlist. Gemeten in vlnr 1 wortelzone, 2 geoxideerde zone, 3 oxidatie reductie zone en 4 gereduceerde zone. Bij Ankeveen wijkt deze indeling vlnr 1 wortelzone, 2 sterk amorf veen, 3 sterk humeus zand, 4 Matige tot zwak amorf veen.

De basale respiratiesnelheden zijn uitgedrukt in $\mu\text{mol CO}_2$ per gram drooggewicht per uur. De weergegeven data in Figuur 3.12 zijn een combinatie van de basale respiratie serie (gemeten op 3 dieptes) en de nulmeting van de lange termijn basale respiratie (LTBR, inclusief wortelzone).

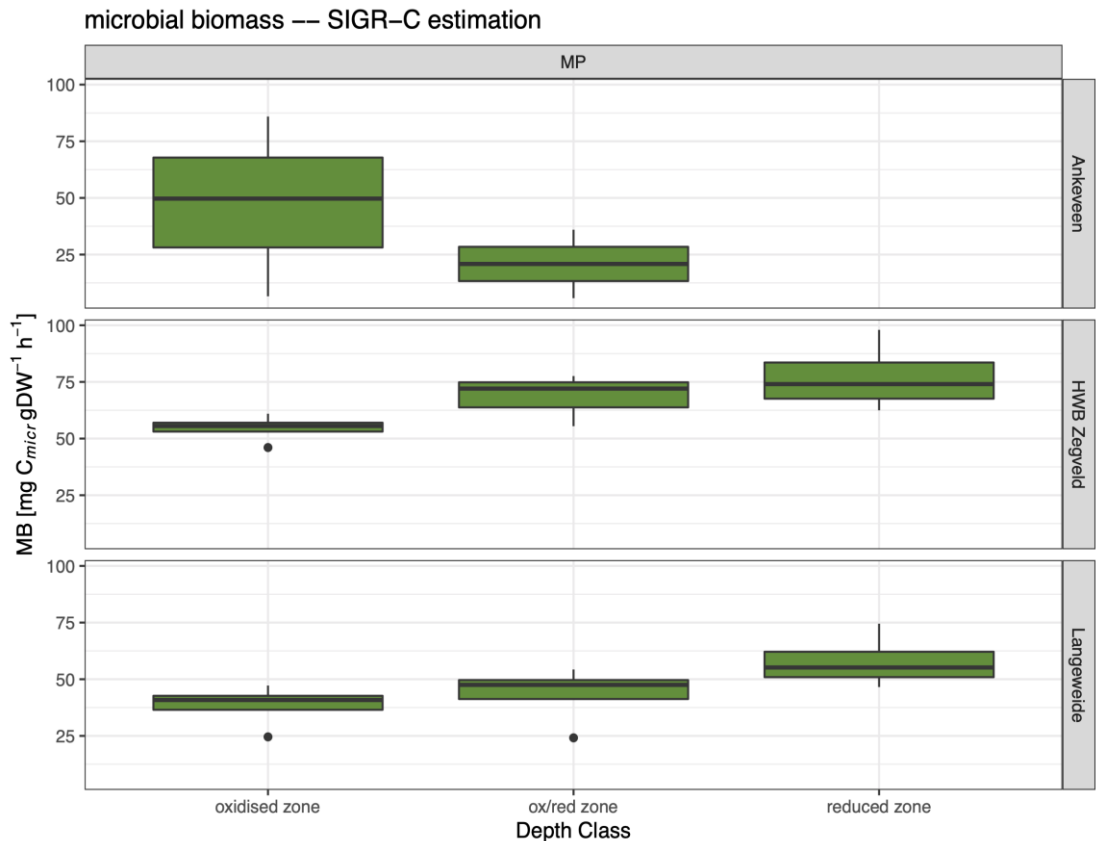
De basale respiratie BR vergeleken over de verschillende bodemlagen

De basale respiratiemetingen laten een redelijk uniform beeld zien van afnemende respiratie snelheden met toenemende diepte. Overeenkomend met de data van 2020 wijkt het patroon in de diepte af bij de locatie Assendelft maar de respiratie snelheden liggen meer in de orde grootte van de andere NOBV-locaties. Voor vergelijkbaarheid met 2020 figuren zullen de data in de vervolganalyse worden omgezet naar CO_2 -emissie snelheden per gram C op basis van de organische stof bepalingen met gloeiverlies en C/N analyses. Het valt op in deze meetserie dat de basale respiratiesnelheden van de Hoogwaterboerderij gemiddeld gezien hoger liggen dan de emissies gemeten aan de Zegveld referentieplot. De hoogste basale respiratiesnelheden worden gemeten bij de matig tot zwak amorf veenlaag in Ankeveen. De laagste respiratiesnelheden worden gemeten in de diepere humeuze zandlagen. Dat heeft deels te maken met de verschillen in bulkdichtheid. Deze zandige lagen hebben een duidelijk hogere bulkdichtheid (rond de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$) en lager koolstofgehalte (onder de $5\% \text{ g C g}^{-1}$ bodem) dan de matig tot zwak amorf veenlagen (bulkdichtheid $0,17 \text{ g cm}^{-3}$, koolstofgehalte 75%). Verder valt op dat de oxidatie/ reductie en reductie zones van de veenbodem in Langeweide een duidelijk lagere basale respiratie snelheid heeft (let ook op de afwijkende schaal van de y-as).

Substraat geïnduceerde respiratiemetingen (SIR)

Naast de BR metingen zijn er ook respiratiemetingen uitgevoerd onder stimulans van labiele koolstofcomponenten (substraat geïnduceerde respiratie SIR-C).

Uit de data van de substraat geïnduceerde respiratie SIR kan een inschatting worden gemaakt van de microbiële groeisnelheid en de aanwezige microbiële biomassa.



Figuur 3.13. Microbiële biomassa bepaald op basis van de SIR-C per gram droge bodem. Gemeten bij de locaties Ankeveen, hoogwater boerderij Zegveld, Langeweide Gemeten in vlnr 1 geoxideerde zone, 2 oxidatie reductie zone en 3 gereduceerde zone. Bij Ankeveen wijkt deze indeling vlnr 1 sterk amorf veen, 2 sterk humeus zand.

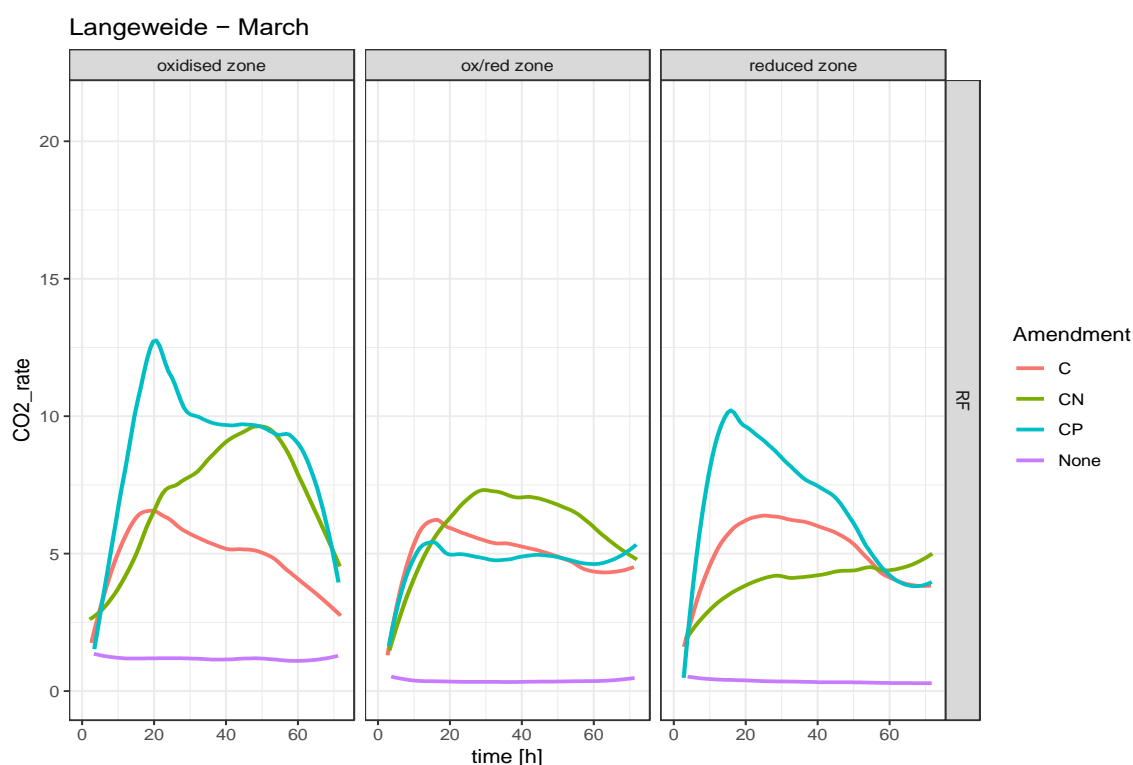
De microbiële biomassa is in Figuur 3.13 uitgedrukt in mg microbiel C per g droge bodem. De verschillen in bulkdichtheid tussen de verschillende lagen bepalen voor een deel de verschillen die worden gevonden tussen de lagen. Zo is de bulkdichtheid in de geoxideerde veenlaag in Ankeveen significant lager in vergelijking met de humusrijke zandlaag daaronder. Dat versterkt het effect van een grotere microbiële biomassa in de geoxideerde bovengrond. Bij de Hoogwaterboerderij en bij Langeweide zien we een hogere microbiële biomassa per gram bodem in de diepte. Dat is zeer waarschijnlijk voor een deel bepaald door een effect van de hogere bulkdichtheid van de bovengrond in Langeweide en de Hoogwater boerderij. Dit patroon geeft echter wel aan er een aanzienlijke microbiële biomassa aanwezig is in de diepere bodemlagen. In de volgende rapportage zal de microbiële biomassa ook worden uitgedrukt per volume.

Uit de data van de substraat geïnduceerde respiratie SIR-C met toevoeging van nutriënten kan een inschatting worden gemaakt van de nutriënten-limitatie voor microbiële groei. We hebben in ons lab gekozen voor een SIR-CP en SIR-CN-behandeling. Op basis van de bevindingen van 2020 werd een SIR-N of SIR-P zonder extra labiele koolstof toevoeging geschrapt. Net als in de meetseries van vorig jaar zien we een duidelijke P-limitatie in de diepere permanent gereduceerde veenlagen (Tabel 3.5). Ook is te zien dat de P-limitatie optreedt in alle bodemlagen bij Zegveld hoogwaterboerderij (Tabel 3.5; Bijlage C Figuur A1-A2). Dit komt overeen met SIR metingen uit 2020 aan veen uit Zegveld.

Tabel 3.5. Nutriëntenlimitatie van de microbiële gemeenschap in meetplots Ankeveen (ANKEV), Langeweide (LANGW) en Zegveld Hoogwater (ZEGHW)

Locatie /Laag	Ox	Ox/red	red
LANGW	P	N	P
ZEGHW	P	P	P
Locatie /Laag	OX/ amorf veen	Humeus zand	matig amorf veen
ANKEV	N	N	P

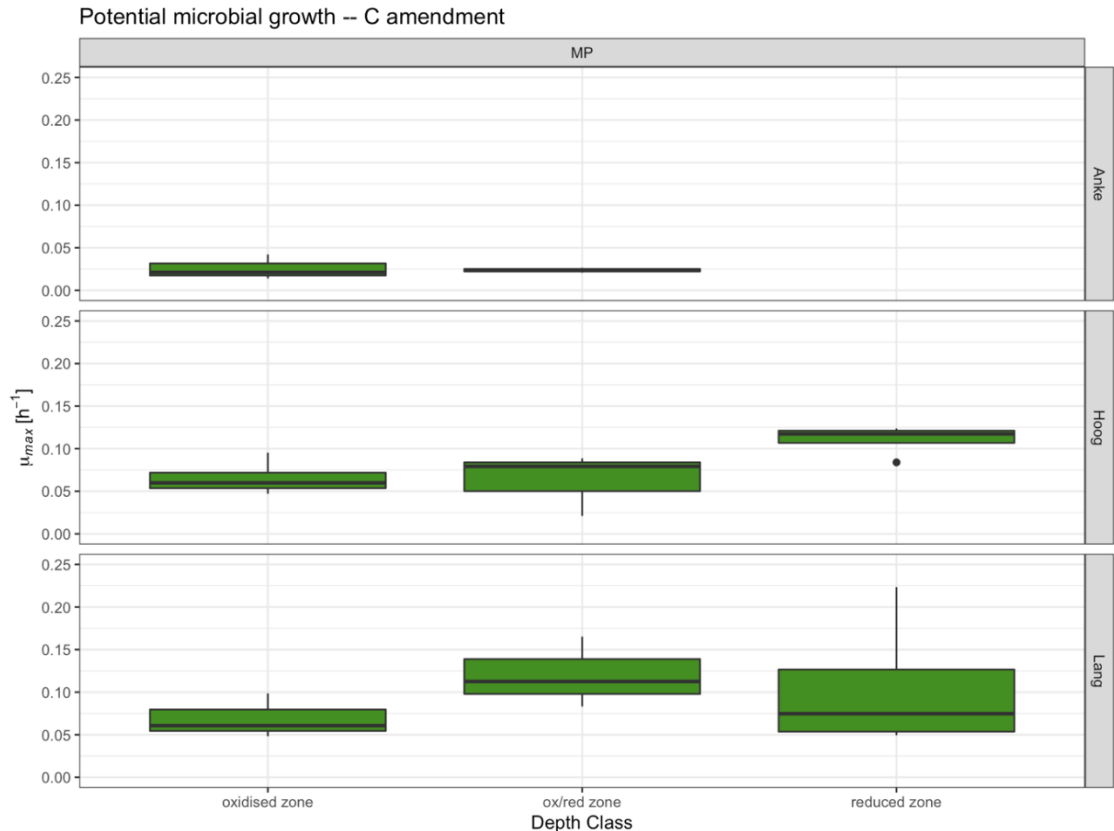
Uit de SIR metingen in Langeweide (Figuur 3.14) is te zien dat de nutriëntenlimitatie in de oxidatie-reductie zone afwijkt van de twee andere lagen. Verhoogde denitrificatiesnelheden in deze oxidatie-reductie zone zouden een stikstofbeperking in deze laag kunnen verklaren.



Figuur 3.14. Substraat geïnduceerde respiratiemetingen (SIR) gemeten in verschillende bodemlagen in van Langeweide

Microbiële gemeenschappen kunnen worden gedifferentieerd in opportunistisch-gedreven gemeenschappen (r-strategen) of weerstands-gedreven gemeenschappen (K-strategen). Door te kijken naar de groeisnelheid van de microbiële gemeenschap na toediening van een energiebron (substrate induced respiration SIR-C) kan een inschatting gemaakt worden van de strategie van de gemeenschap. Hoe groter de groeisnelheid, hoe meer de gemeenschap als opportunistisch kan worden gekarakteriseerd. Analoog met vorig meetjaar zien we dat de microbiële groei van in de verschillende lagen met name hoog is in de gereduceerde lagen (Figuur 3.15). Dit is een mogelijk transitieverschijnsel (overgangseffect) en toont een sterke groei van opportunistische aerobe microbiële micro-organismen op glucose tijdens de incubatie van deze lagen. Deze transitie heeft een sterker effect op de groei van micro-organismen in deze diepere veenlaag door de grote verandering in condities en vanwege een zeer beperkte competitie door de kleinere autochtone microbiële gemeenschap. Incubaties uitgevoerd onder anaerobe omstandigheden

kunnen de verstoring reduceren, en zo in de toekomst meer inzicht in geven in de groei van de autochtone gemeenschap.



Figuur 3.15. Microbiële groeisnelheid (μ_{max}) bij SIR-C na substraat toediening.

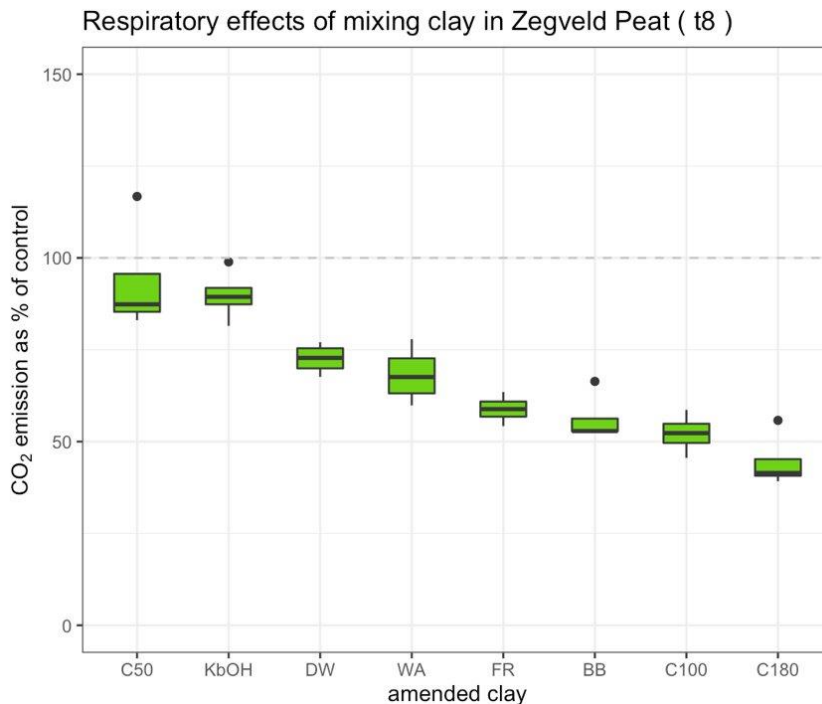
Korte versus lange termijn basale respiratie metingen (BR vs LTBR)

Een langetermijnmeting met veen uit Zegveld (Bijlage C; Figuur A3) laat zien dat de korte termijn basale respiratie niet stabiel blijft op de tijdschaal van maanden tot jaren. Na ongeveer 200 dagen bereikt de basale respiratie een nieuw stabiel niveau. De basale respiratiesnelheden in de eerste weken van de meting voor deze veenmonsters uit Zegveld lag rond de $4 \mu\text{g C g}^{-1} \text{DW h}^{-1}$. Na circa 200 dagen stabiliseert de respiratie rond de $0,8 \mu\text{g C g}^{-1} \text{DW h}^{-1}$. Daaruit zouden we af kunnen leiden dat ca. 20 % van de basale respiratie afkomstig is van het veen terwijl circa 80 % afkomstig is van kort cyclisch C. Gedetailleerde koolstof-fractionatiemetingen van vers en afgebroken veen zullen uiteindelijk meer inzicht geven in het deel van de koolstoffractie dat in deze periode is afgebroken en daarmee een indicatie geven van de bijdrage van de kort-cyclische en lang cyclische C.

Emissiereductie door klei toevoeging aan Veen (klei-in-veen).

Verkennde laboratoriumstudies uitgevoerd door het Louis Bolk instituut, Biont Research en de Universiteit Utrecht hebben aangetoond dat kleitoediening aan veen onder laboratoriumcondities kan leiden tot een substantiële reductie van de CO_2 -emissie, met een maximaal gemeten remming van 50%. De effectiviteit van de maatregel is echter zeer wisselend, waarbij er grote verschillen zijn tussen kleisoorten en de combinatie van kleisoort en veen. Hoewel de meeste combinaties een remmend effect tonen, laat onderzoek ook zien dat klei-inmenging soms geen effect heeft, of de veenafbraak zelfs versneld. 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. Bij het eerste experiment zijn veenmonsters uit Zegveld gemengd met 8 verschillende kleitypen en over een periode van 2 jaar is regelmatig de CO_2 -emissie gemeten. De gebruikte klei is afkomstig van verschillende bronnen

(baggerwerkzaamheden, civiele projecten, afgraving uiterwaarden, verschillende grondlagen). In het experiment is 20 gram (FW) veengrond van Zegveld gemengd met 0,15 gram droge klei en geïncubeerd in flessen op perliet, analoog aan de LTBR-metingen. Het effect van klei-inmenging verschilt per kleitype. Kleisoorten afkomstig van diepe bronnen (afgravingen van meer dan 50 cm diepte) tonen een sterkere emissiereductie in vergelijking met baggerslib met weinig lutum en veenbagger met een hoog organische stof gehalte. Over het geheel is er een duidelijk remmend effect van klei-inmenging meetbaar met een maximale emissiereductie van 60%. De aanlooptijd vanaf de klei-inmenging tot aan het eerste CO₂ remmende effect bedraagt minimaal 5 maanden. Diepere kleisoorten (afgravingen van meer dan 50 cm diepte) geven 35-60% minder CO₂ uitstoot. Baggerslib met weinig lutum en klei uit de bovengrond in de uiterwaarden laten een emissie reductie zien van 10-20%. In Figuur 3.16 is de CO₂-emissie van de controlemeting (veen zonder klei-inmenging) weergegeven met een stippellijn. De emissiereductie is weergegeven in procenten voor de meting op tijdstip 8 na ca. 1,5 jaar incubatie.



Figuur 3.16. Effect van klei-inmenging van verschillende kleisoorten op de afbraak van bosveen uit Zegveld. Anderhalf jaar na menging bedraagt de gemeten reductie tussen de 10 en 60%.

Daarnaast is er een experiment uitgevoerd met twee typen klei op drie verschillende veenbodems (afkomstig van Zegveld, Gersloot en Oldelamer). Hierbij is een sterke interactie te zien tussen klei- en veentype. Hoewel de meeste combinaties een remmend effect geven, laat dit onderzoek zien dat klei-inmenging soms geen effect heeft, of de veenafbraak zelfs versneld (Figuur 3.17). De klei afkomstig uit Blankenberg altijd een substantiële CO₂-emissiereductie laat zien terwijl de klei uit Friesland (afkomstig van een keileemlaag) een zeer wisselend effect heeft op de emissie. Afhankelijk van het veen zorgt de Friese klei voor reductie, geen effect, of zelfs een toename in CO₂-emissie.

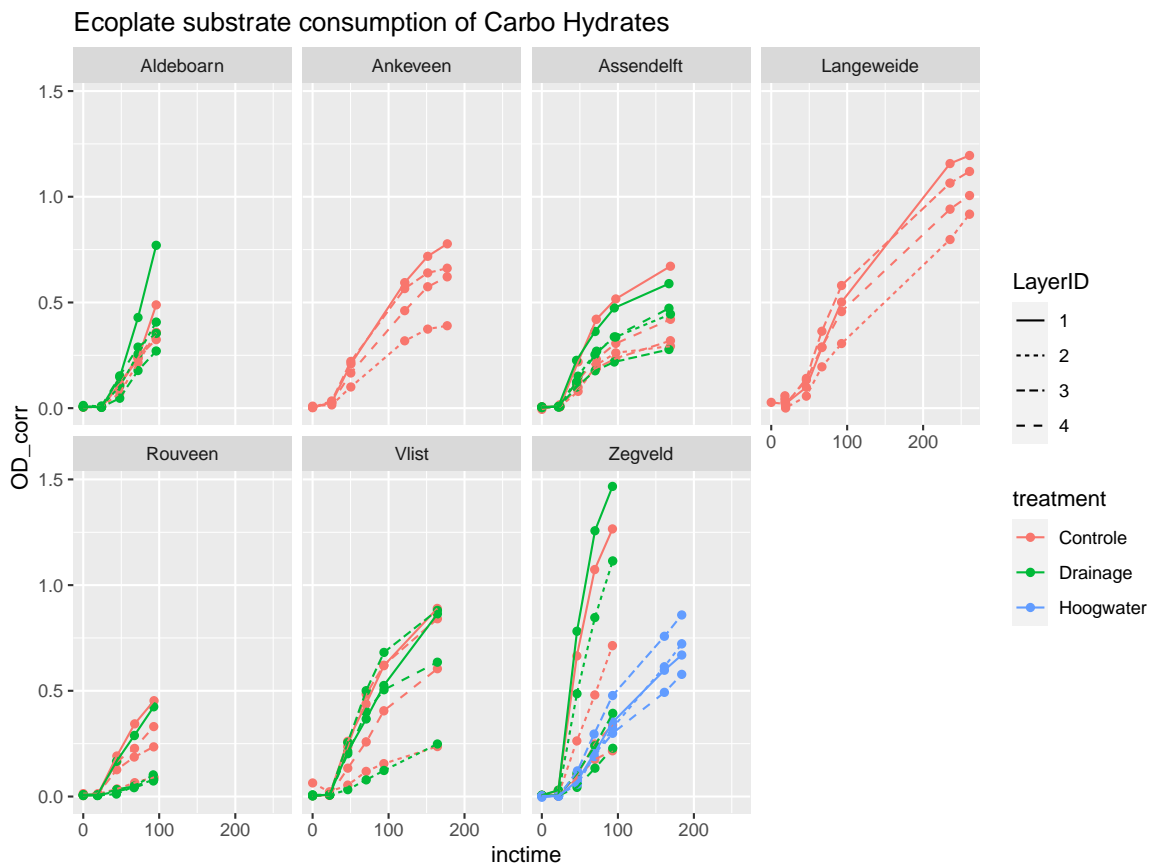


Figuur 3.17. Effect van klei type (Blankenberg en Friesland klei) op de afbraak van veen uit Zegveld, Gersloot en Oldelamer één jaar na inmenging.

Resultaten van de BIOLOG Ecoplate metingen

Met de resultaten van de BIOLOG Ecoplate TM kunnen we verder inzoomen op het specifieke substraatgebruik van de microbiële gemeenschap in de verschillende veenlagen. Met deze methode maak je een fysiologisch profiel van de microbiële gemeenschap. We hebben voor de data-analyse de gegevens de 31 substraten gegroepeerd in zes typen substraat: de aminozuren, amines, koolhydraten, carbonzuren, polymeren en fosfaathoudende koolhydraten. De substraatgebruikssnelheid was het hoogst bij de koolhydraten, aminozuren en polymeren en blijft hoog, terwijl bij de carbonzuren, amines en fosfaat houdende koolhydraten een duidelijke afvlakking in consumptie plaatsvindt. Uiteindelijk zijn uit het substraatgebruikprofiel geen grote verschillen te zien tussen de controle en de maatregel plots (zie groene en rode lijnen in Figuur 3.18, Bijlage C; Figuren A4-A8). "De consumptiesnelheden variëren wel per meetlocatie en per bodemlaag. Substraatconsumptie is het hoogst in de Zegveld controle en drainageplot en duidelijke trager in Ankeveen. Daarnaast is het opvallend dat de substraatconsumptie door de microbiële gemeenschap afkomstig van de hoogwaterboerderij bij alle substraten trager reageert dan de gemeenschappen afkomstig van de nabijgelegen Zegveld controle en drainagesite. Vrijwel alle 31 substraten konden worden geconsumeerd door de aanwezige microbiële gemeenschappen in de NOBV-sites daarmee hadden de gemeenschappen een grote functionele overlap (similarity). Er zijn geen directe aanwijzingen dat stikstof- of fosfaathoudende verbindingen sneller worden geconsumeerd dan verbindingen die deze stoffen niet bevatten. Dit is andergerelateerd aan de in de SIR-CN of SIR-CP vastgestelde nutriëntenlimitatie.

Wanneer we inzoomen op de koolhydraten (Figuur 3.18) dan valt op dat afbraaksnelheden het hoogst zijn bij Langeweide, Zegveld en Aldeboarn in vergelijking tot Assendelft, Vlist en Rouveen. Een iets tragere respons van de afbraak is ook te zien bij Zegveld hoogwater boerderij in vergelijking met de drainage en controle plots. Over het algemeen zien we dat de afbraak sneller verloopt in de wortelzones (doorgetrokken lijn) in vergelijking met de diepere bodemlagen. Bij de hoogwaterboerderij zien we de hoogste afbraaksnelheid bij de oxidatie-reductie zone.



Figuur 3.18. Substraatconsumptie van koolhydraten in NOBV-sites.

3.5 Biogeochemische monitoring

Auteur: Sarah Faye Harpenslager, Gijs van Dijk, Bas van de Riet, Fons Smolders (B-WARE)

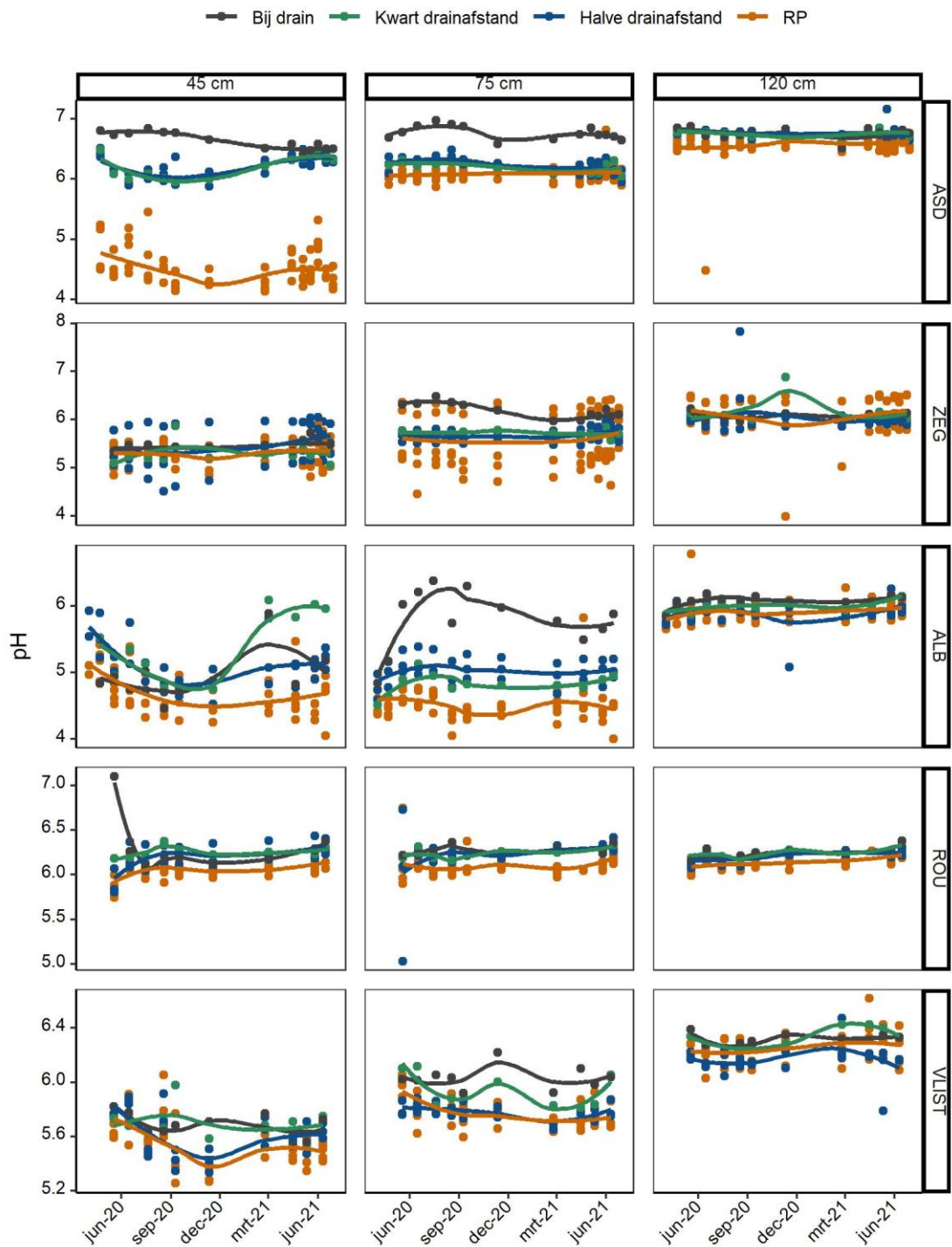
In het kader van het NOBV is gedurende meetjaar 2 door Onderzoekcentrum B-WARE op vijf bestaande meetlocaties (Aldeboarn, Assendelft, Rouveen, Vlist en Zegveld) het biogeochemisch monitoringsprogramma uitgevoerd. Elk van de meetlocaties bestaat uit een perceel waar een maatregel wordt getest (onderwater- of drukdrainage) en een referentieperceel ter controle. Op beide percelen werden metingen verricht aan de biogeochemische samenstelling van de bodem en aan porie-, drain- en oppervlaktewater. De samenstelling van de bodem en vooral het poriewater zijn een goede indicator voor welke biogeochemische processen er in de bodem spelen (o.a. redoxprocessen). Deze hebben een directe relatie met de beschikbaarheid van labiel koolstof, nutriënten en andere stoffen, welke de activiteit van microbiële afbraak en hiermee de uitstoot van broeikasgassen en de bodemdaling beïnvloeden. De relatie tussen bodemgesteldheid en biogeochemische processen in de bodem, het porie-, drain- en -oppervlaktewater is van belang om verschillen in broeikasgasemissies te kunnen verklaren (en later mogelijk voorspellen). Het gaat daarbij zowel om verklaringen van verschillen tussen meetlocaties (effecten die zijn toe te schrijven aan verschillen in bodemtype, -opbouw, waterkwaliteit, etc.) als binnen de locaties (effecten van maatregelen).

Op de vijf bestaande meetlocaties is gedurende een compleet meetjaar de chemische samenstelling bepaald van het poriewater. Door deze poriewaterchemie te vergelijken tussen het maatregel- en referentieperceel kunnen de effecten van de maatregelen bepaald worden. Binnen het maatregelperceel wordt ook gekeken hoe de afstand tot de drain de samenstelling van het poriewater beïnvloedt. Vervolgens worden verschillen tussen de meetlocaties vergeleken. Verder is gedurende meetjaar 2 ook de samenstelling van het oppervlaktewater in de omringende sloten

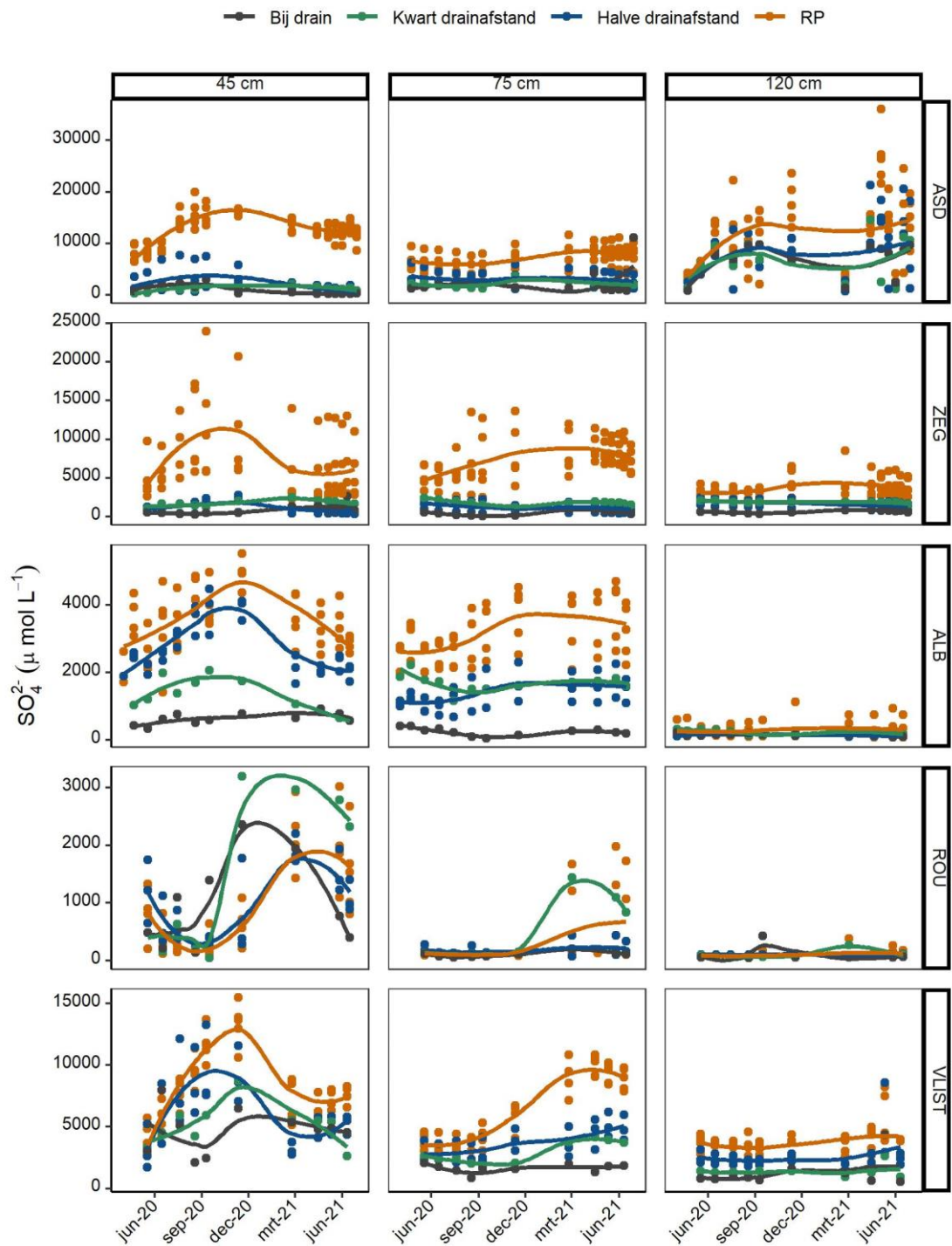
en in de drainagebuizen gemeten. Met de aanvoer van oppervlaktewater in droge perioden worden namelijk mogelijk ook nutriënten en organische verbindingen de veenbodems ingebracht die de afbraak van organisch materiaal door micro-organismen kunnen stimuleren. Vanaf april 2021 zijn metingen uitgevoerd aan onbemeste plots in Aldeboarn en Rouveen, is de meetfrequentie verhoogd in Assendelft en Zegveld, en werd ook de wortelzone (20-25 cm onder maaiveld) bemonsterd op alle bestaande locaties. Omdat hier nog beperkt data van beschikbaar is, worden alleen enkele voorbeelden gepresenteerd. Ten slotte worden de belangrijkste bevindingen samengevat. De bodemchemische analyses zijn wel uitgevoerd, maar de data hiervan is nog niet compleet en zal dus op een later moment worden gerapporteerd.

3.5.1 Effect maatregelen op samenstelling poriewater

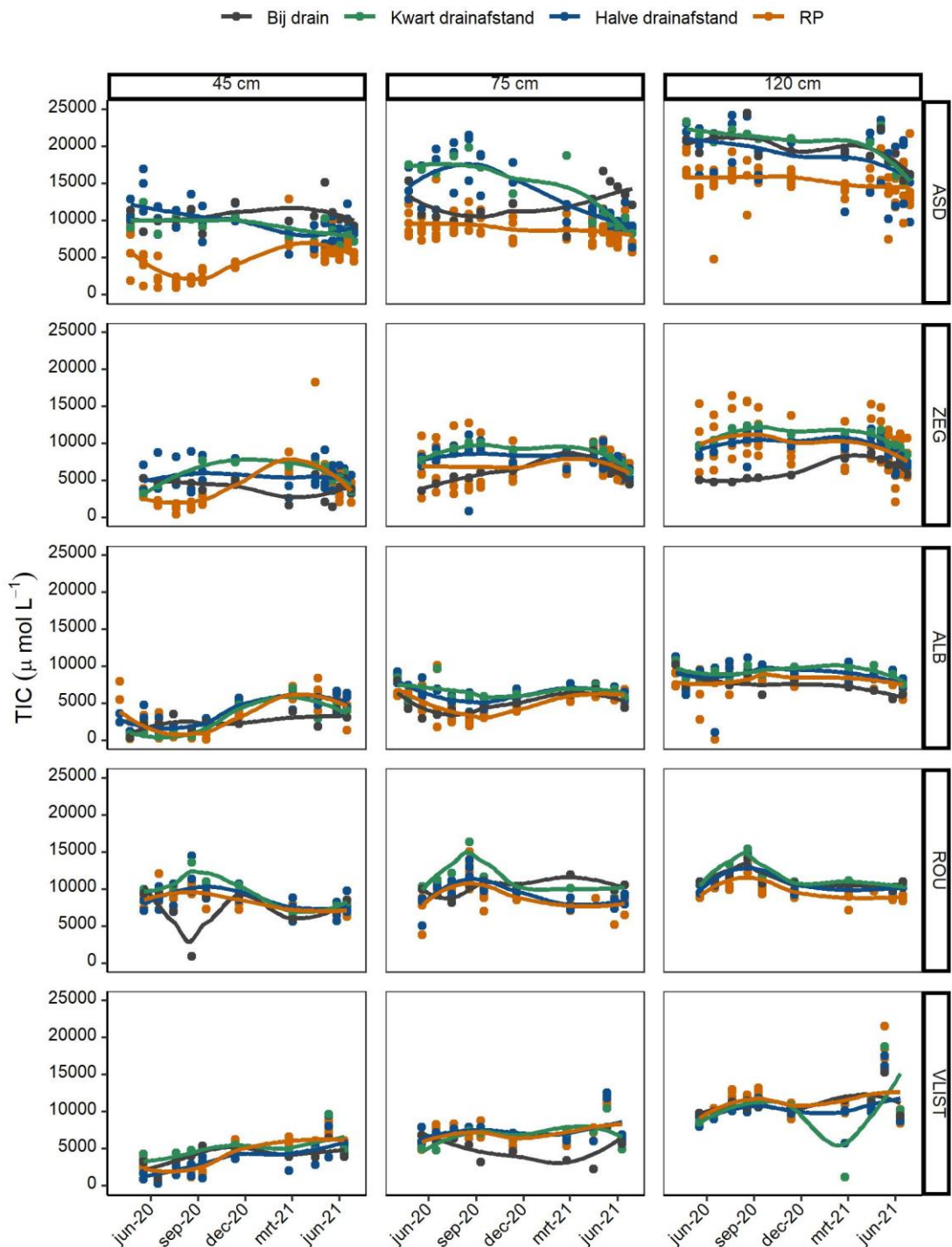
Het toepassen van onderwater- of drukdrainage verhoogt de grondwaterstand in het maatregelperceel gedurende droge perioden (zomer), terwijl in nattere perioden (najaar-vroege voorjaar) juist water afgevoerd kan worden via de drains. De verschillen die hierdoor ontstaan in grondwaterstand tussen het maatregel- en referentieperceel hebben invloed op de optredende bodemprocessen. Deze processen zijn goed te volgen aan de hand van de samenstelling van het bodemvocht. Bij het uitzakken van de grondwaterstand in het late voorjaar en de zomer, kan zuurstof de bodem binnendringen. Dit zorgt voor oxidatie van gereduceerd zwavel in de bovenste bodemlagen. Hierbij wordt sulfaat en zuur geproduceerd. Deze verzuring (Figuur 3.19) en productie van sulfaat (Figuur 3.20) zijn duidelijk te zien in de bovenste bodemlagen op het referentieperceel. Deze processen zijn het duidelijkst zichtbaar in Assendelft, waar de pH zakt naar 4-4.5 en SO_4^{2-} -concentratie toeneemt van 9 naar 20 mmol L^{-1} . Dit is het gevolg van het brakke verleden van Assendelft, waardoor hier veel gereduceerd zwavel aanwezig is. Ook in minder brakke locaties zien we telkens een verdubbeling van de SO_4^{2-} -concentraties. Het zuur dat bij de oxidatie van gereduceerd zwavel vrijkomt reageert met bicarbonaat (HCO_3^-), waardoor de buffering van het poriewater afneemt en de pH uiteindelijk daalt. Hierbij komt ook koolstofdioxide vrij, dat kan uitgassen naar de atmosfeer, waardoor de hoeveelheid anorganisch koolstof (TIC) afneemt (Figuur 3.21). Gedurende de winter zien we dat concentraties van SO_4^{2-} weer afnemen omdat de invloed van zuurstof afneemt als gevolg van de hogere grondwaterstand op de percelen in combinatie met uitspoeling en verdunning door neerslagoverschot in de winter.



Figuur 3.19. De pH van het poriewater verzameld op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld, in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn metingen uitgevoerd op het referentieperceel (oranje) en op het maatregelperceel. Op het maatregelperceel is poriewater verzameld dicht bij de drain (zwart), op kwart (groen) en op halve drainafstand (zwart).

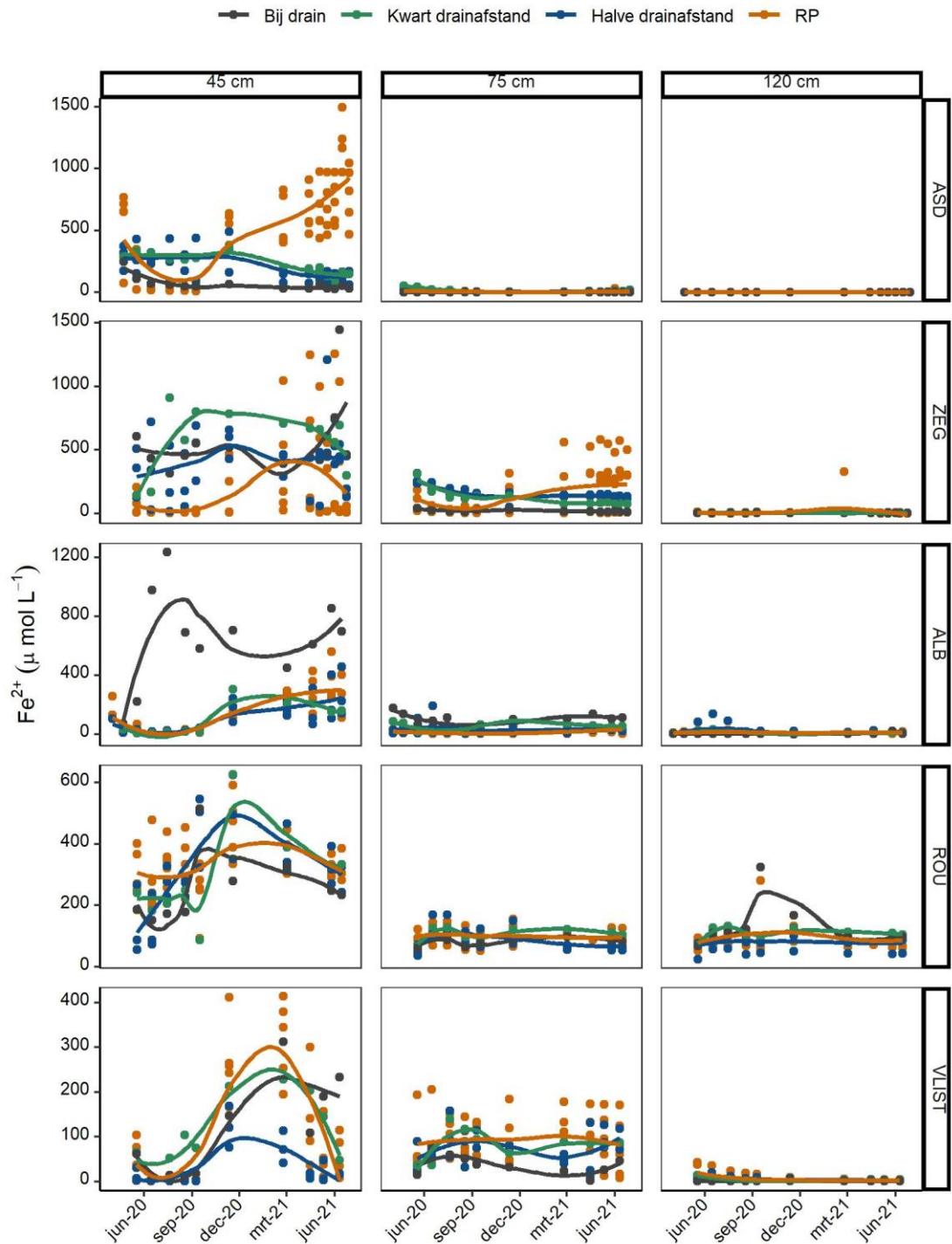


Figuur 3.20. De sulfaat concentratie (SO_4^{2-}) van het poriewater verzameld op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld, in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn metingen uitgevoerd op het referentieperceel (oranje) en op het maatregelperceel. Op het maatregelperceel is poriewater verzameld dicht bij de drain (zwart), op kwart (groen) en op halve drainafstand (zwart).



Figuur 3.21. De concentratie anorganisch koolstof (TIC) van het poriewater verzameld op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld, in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn metingen uitgevoerd op het referentieperceel (oranje) en op het maatregelperceel. Op het maatregelperceel is poriewater verzameld dicht bij de drain (zwart), op kwart (groen) en op halve drainafstand (zwart).

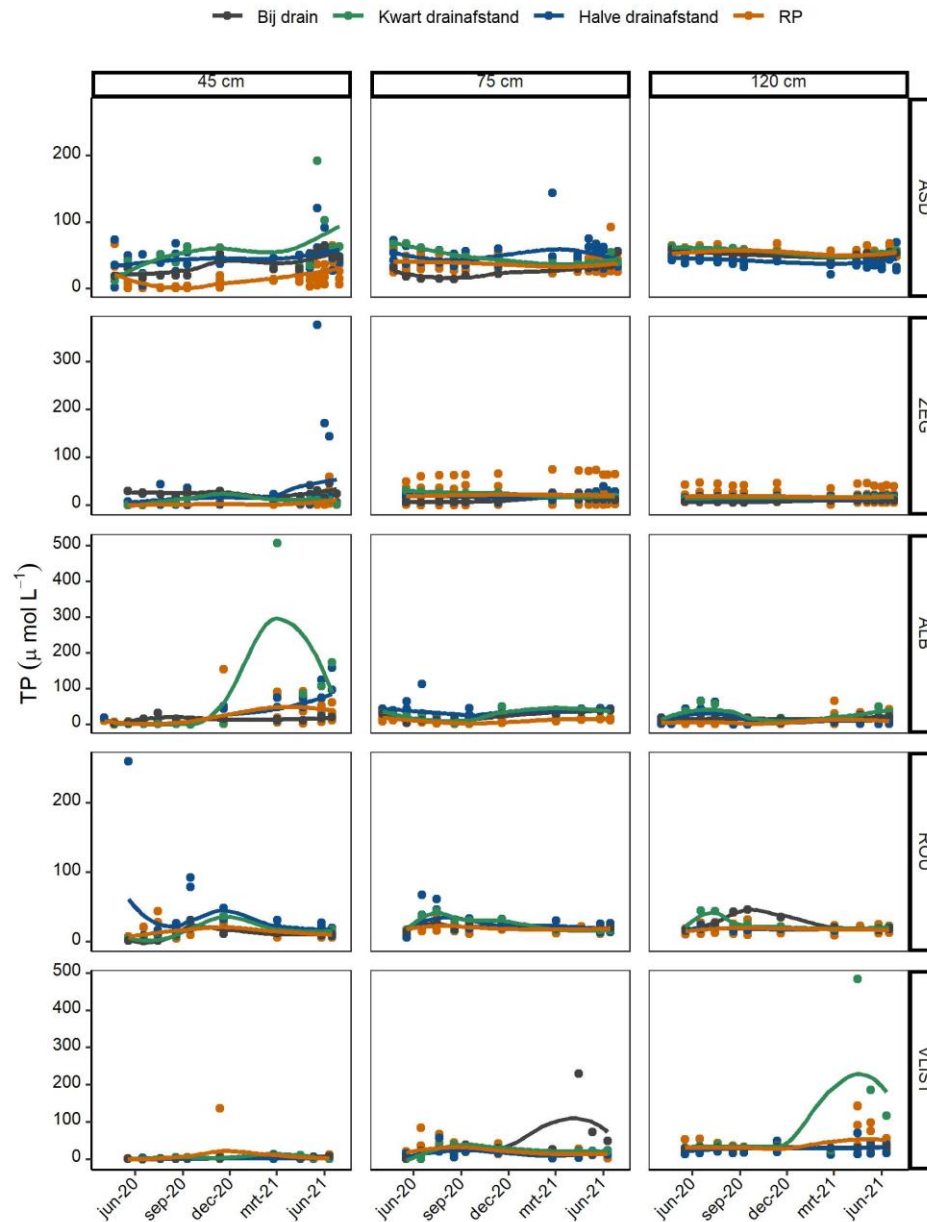
De toplaag van veenbodems is rijk aan geoxideerd ijzer (Fe^{3+}), waardoor onder natte omstandigheden ijzerreductie plaatsvindt. Het aan ijzer gebonden fosfor (P) gaat daarbij ook in oplossing, waardoor het poriewater in waterverzadigde bodems zowel gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) als P bevat. Op de NOBV meetlocaties Aldeboarn, Assendelft en Zegveld zien we deze processen terug in de samenstelling van het bodemvocht in de ondiepe bodemlagen.



Figuur 3.22. De concentratie gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) van het poriewater verzameld op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld, in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn metingen uitgevoerd op het referentieperceel (oranje) en op het maatregelperceel. Op het maatregelperceel is poriewater verzameld dicht bij de drain (zwart), op kwart (groen) en op halve drainafstand (zwart).

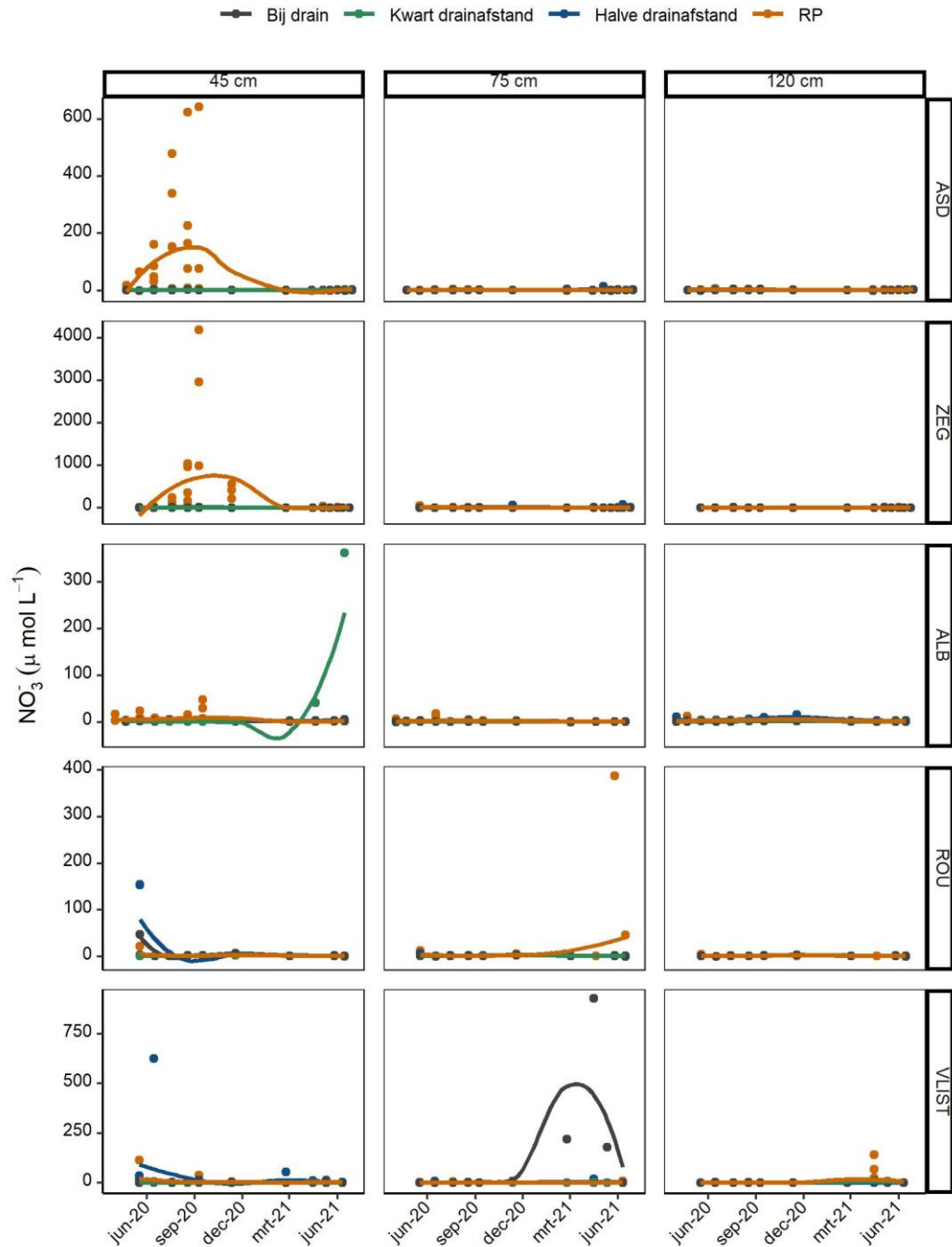
Met het uitzakken van de grondwaterstand (bijvoorbeeld in het voorjaar en de zomer van 2020) nemen de Fe^{2+} concentraties in de geoxideerde laag op het referentieperceel af naar $<50 \mu\text{mol L}^{-1}$ omdat Fe^{2+} wordt geoxideerd tot FeOx (Figuur 3.22). Hierdoor neemt ook de binding van P toe, waardoor de P-concentraties dalen of laag blijven ten opzichte van het maatregelperceel (Figuur

3.23). Op het maatregelperceel blijven de Fe^{2+} concentraties gedurende de zomer juist hoog ($>300 \mu\text{mol L}^{-1}$), en zien we ook een hogere P beschikbaarheid. Vanaf het najaar 2020 nemen de Fe^{2+} - en P-concentratie op het referentieperceel toe als gevolg van de hogere grondwaterstand waardoor geoxideerd ijzer wordt gereduceerd en het gebonden P vrijkomt. In het natte voorjaar van 2021 zakten de grondwaterstanden veel minder diep uit dan in 2020 (zie paragraaf 2.1.1. Aldeboarn, 2.2.1. Assendelft en 2.5.1. Zegveld), waardoor nauwelijks oxidatie optreedt. We zien dan ook sterk oplopende Fe^{2+} -concentraties in het voorjaar van 2021. Dit is ijzer dat gedurende het droge jaar 2020 (zie respectievelijk paragraaf 2.1.1, 2.2.1 en 2.5.1) is vrijgekomen bij de oxidatie van FeS . Dit ijzer accumuleert gedurende de zomer als slecht oplosbaar FeOx in de bodem, maar wordt met een toenemende grondwaterstand gereduceerd tot het veel beter oplosbare Fe^{2+} .

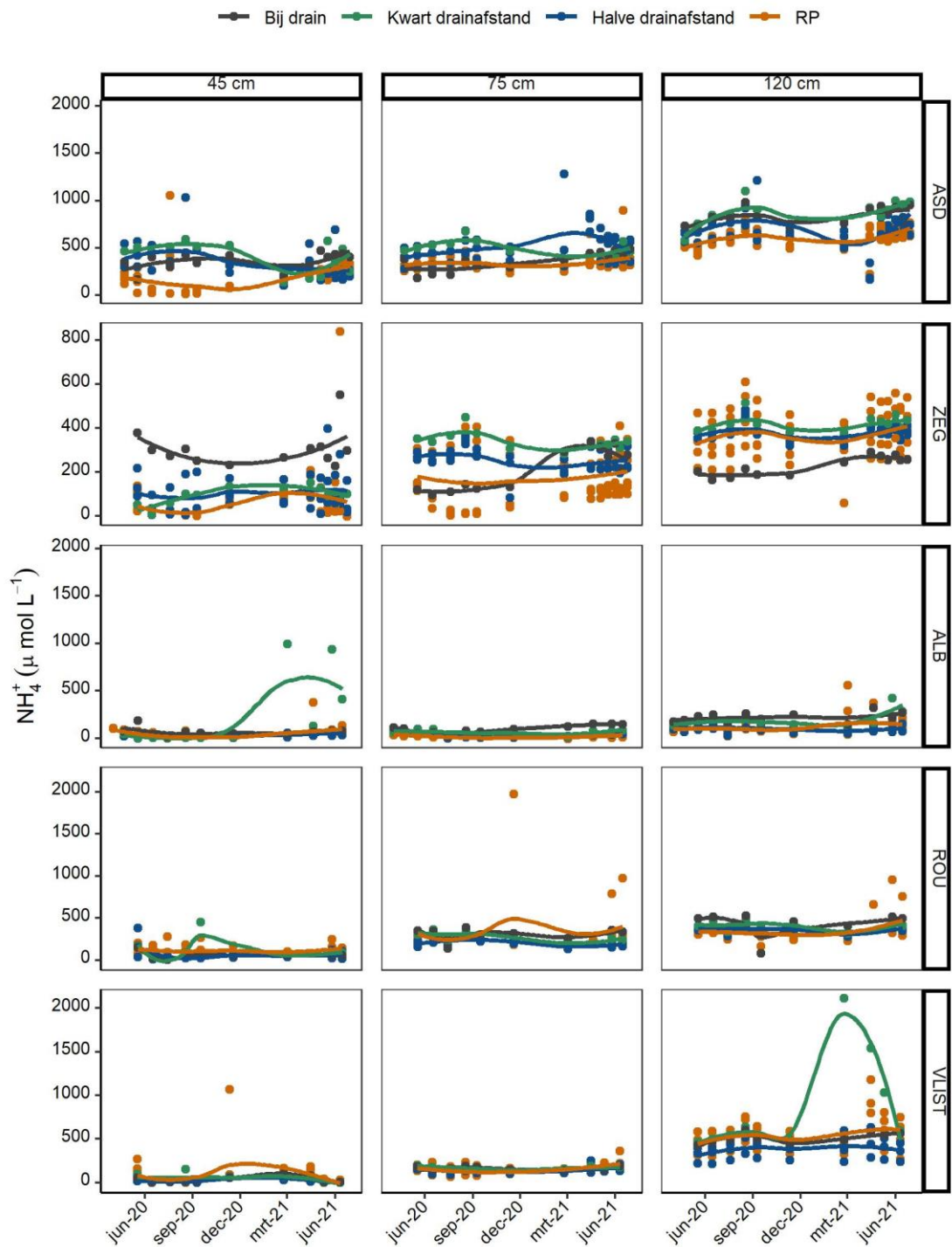


Figuur 3.23. De fosfor concentratie (Totaal-P) van het poriewater verzameld op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld, in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn metingen uitgevoerd op het referentieperceel (oranje) en op het maatregelperceel. Op het maatregelperceel is poriewater verzameld dicht bij de drain (zwart), op kwart (groen) en op halve drainafstand (zwart).

Als zuurstof de bodem binnendringt als gevolg van het uitzakken van de grondwaterstand kan ammonium (NH_4^+) via nitrificatie geoxideerd worden naar nitraat (NO_3^-). Vooral in Assendelft en Zegveld zien we dit duidelijk in de zomer van 2020, met hoge pieken in de NO_3^- -concentratie op het referentieperceel tot 600 (Assendelft) of 3000 (Zegveld) $\mu\text{mol L}^{-1}$ (Figuur 3.24). De concentratie van NH_4^+ is gedurende deze periode hoger op het maatregelperceel (200-500 $\mu\text{mol L}^{-1}$) dan op het referentieperceel (<100 $\mu\text{mol L}^{-1}$), door de hogere grondwaterstand (Figuur 3.25). In het natte voorjaar en vroege zomer van 2021 zien we een toename in NH_4^+ -concentratie op zowel het referentie- als het maatregelperceel.



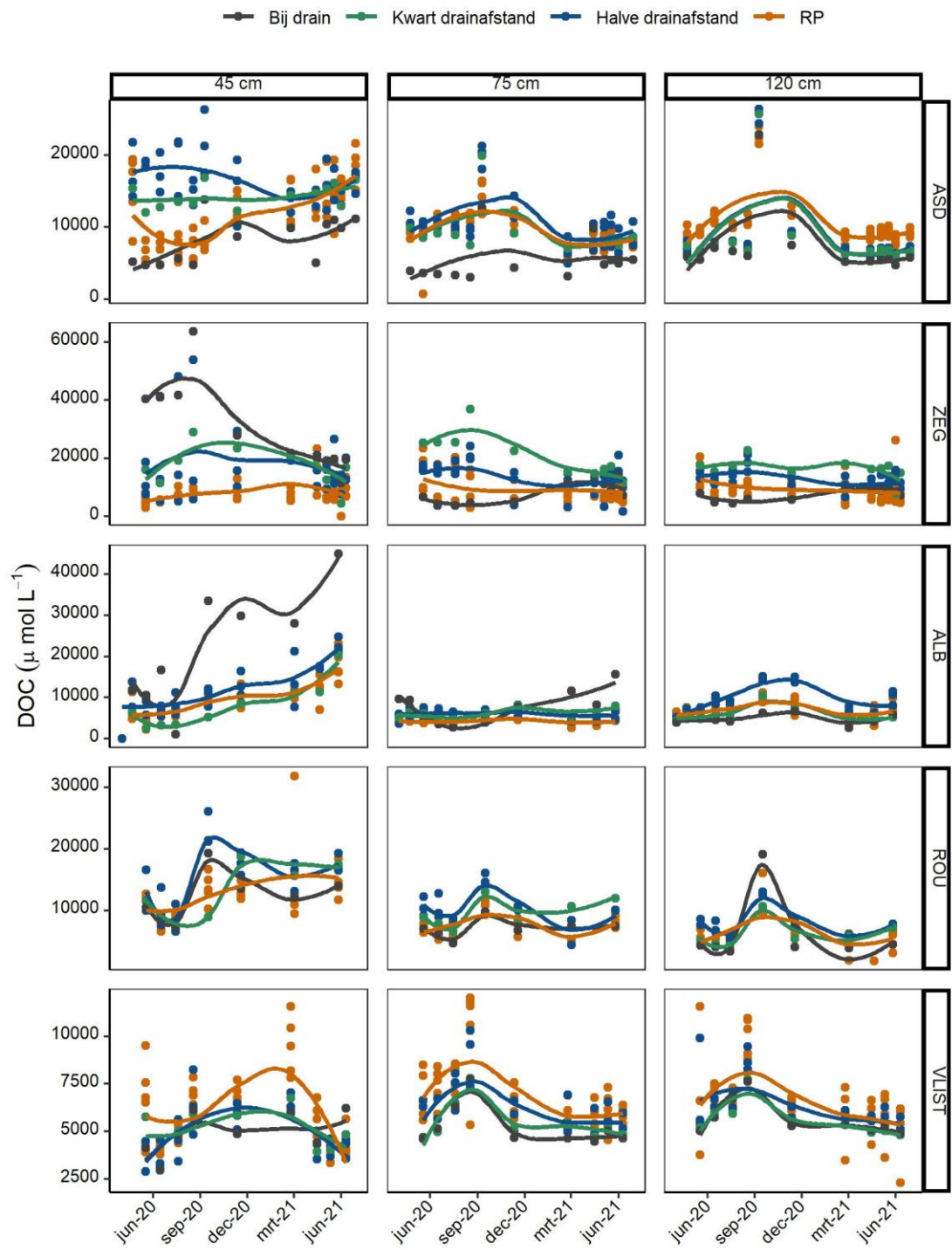
Figuur 3.24. De nitraat concentratie (NO_3^-) van het poriewater verzameld op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld, in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn metingen uitgevoerd op het referentieperceel (oranje) en op het maatregelperceel. Op het maatregelperceel is poriewater verzameld dicht bij de drain (zwart), op kwart (groen) en op halve drainafstand (zwart).



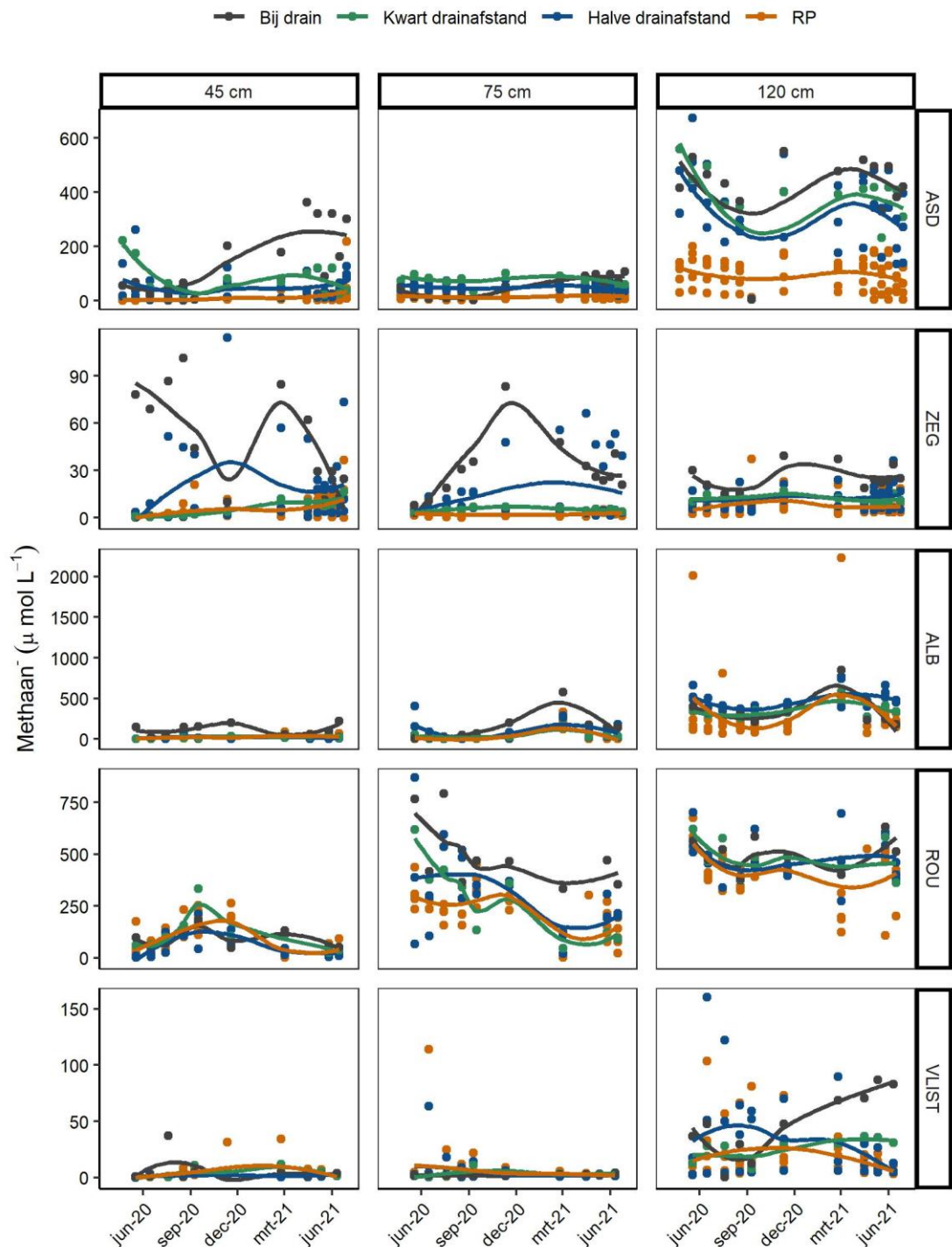
Figuur 3.25. De ammonium concentratie (NH_4^+) van het poriewater verzameld op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld, in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn metingen uitgevoerd op het referentieperceel (oranje) en op het maatregelperceel. Op het maatregelperceel is poriewater verzameld dicht bij de drain (zwart), op kwart (groen) en op halve drainafstand (zwart).

In Zegveld en Aldeboarn zien we dat op het maatregelperceel een hogere DOC-concentratie gemeten wordt in de ondiepere bodemlagen (Figuur 3.26). Op deze locaties zien we dit vooral dicht bij de drains, terwijl in Assendelft vergelijkbare DOC concentraties gemeten worden op de verschillende drainafstanden op het maatregelperceel. In vrijwel alle locaties zien we dat de DOC concentraties toenemen gedurende de zomer en het najaar, en vervolgens weer afnemen in het

voorjaar (m.u.v. Aldeboarn). In Zegveld, Assendelft en Aldeboarn zien we hogere methaanconcentraties in het maatregelperceel (Figuur 3.27). Vooral in Assendelft en Aldeboarn zijn concentraties hoog (200-500 $\mu\text{mol L}^{-1}$).



Figuur 3.26. De concentratie opgelost organisch koolstof (DOC) van het poriewater verzameld op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld, in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn metingen uitgevoerd op het referentieperceel (oranje) en op het maatregelperceel. Op het maatregelperceel is poriewater verzameld dicht bij de drain (zwart), op kwart (groen) en op halve drainafstand (zwart).



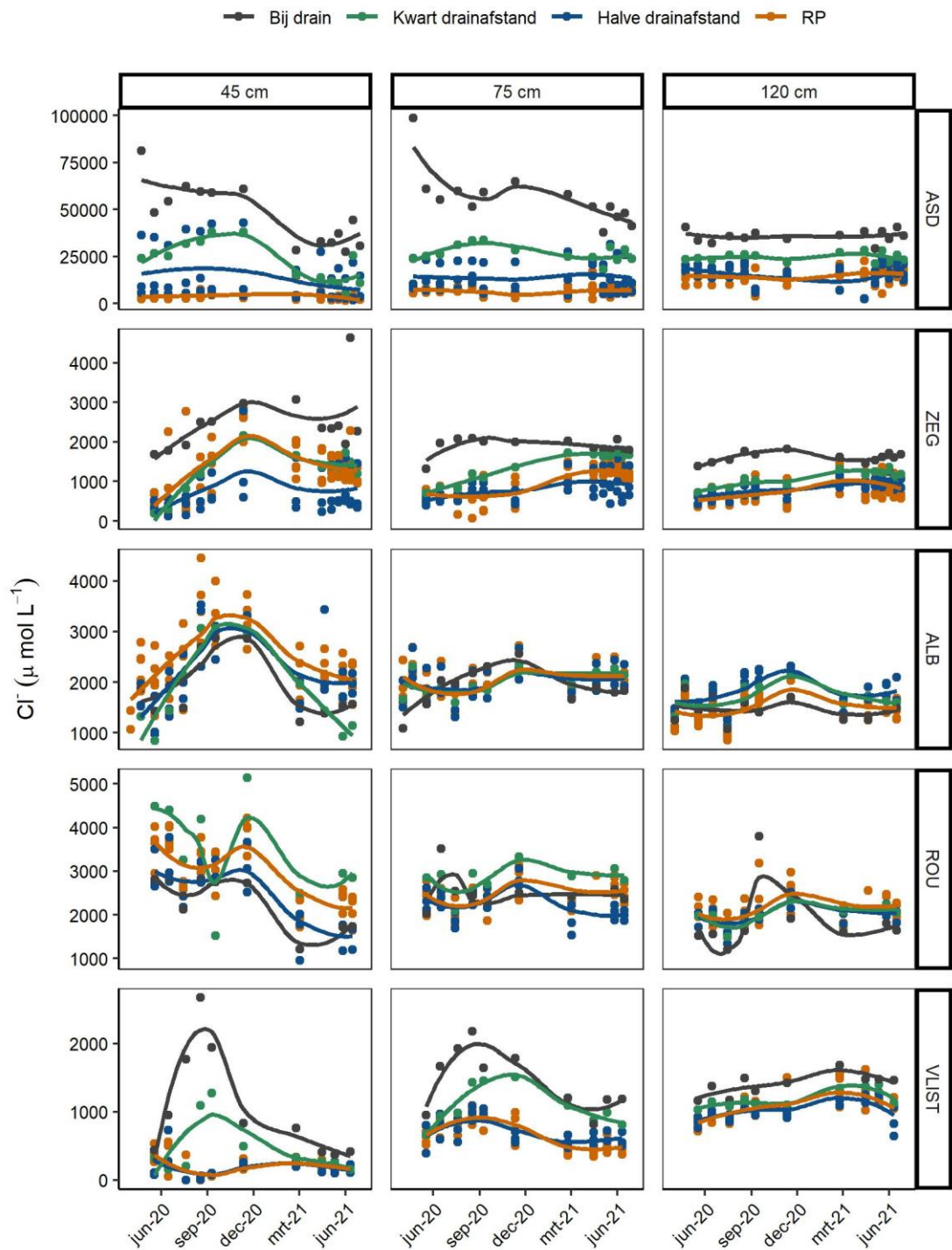
Figuur 3.27. De methaanconcentratie van het poriewater verzameld op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld, in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn metingen uitgevoerd op het referentieperceel (oranje) en op het maatregelperceel. Op het maatregelperceel is poriewater verzameld dicht bij de drain (zwart), op kwart (groen) en op halve drainafstand (zwart).

De hierboven beschreven verschillen tussen het maatregel- en referentieperceel zijn in meer of mindere mate zichtbaar op de NOBV locaties Assendelft, Zegveld, Aldeboarn en Vlist. Deze effecten treden vooral op in het bodemvocht verzameld op 45 cm diepte. Dieper in de bodem zijn de verschillen tussen de beide percelen minder groot omdat deze bodemlagen meestal waterverzadigd zijn. Rouveen is de enige locatie waar nagenoeg geen verschillen zijn

aangetroffen in de biogeochemische samenstelling van het poriewater op het maatregel- en het referentieperceel, zeker in vergelijking met de andere vier onderzoekslocaties.

3.5.2 **Gradiënt ten opzichte van de drain**

De samenstelling van het bodemvocht wordt op het maatregelperceel gemeten op drie verschillende afstanden tot de drain: dicht bij de drain, op een kwart drainafstand en op een halve drainafstand. Via de drains wordt in droge periodes oppervlaktewater aangevoerd. Dit is op de meeste locaties (Assendelft, Zegveld en Vlist) goed te zien aan de hand van de chlorideconcentraties (Figuur 3.28). Dicht bij de drain worden de hoogste concentraties gemeten (op 45 en 75 cm diepte), en deze nemen vervolgens af met toenemende afstand tot de drain en toenemende diepte. Verder zien we in Assendelft, Zegveld, Aldeboarn en Vlist dat dicht bij de drain ook de pH verhoogd is als gevolg van de inlaat van 'hard' (gebufferd) slotwater (Figuur 3.19).



Figuur 3.28. De chloride concentratie (Cl^-) van het poriewater verzameld op 45-50, 75-80 en 120-125 cm onder maaiveld, in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn metingen uitgevoerd op het referentieperceel (oranje) en op het maatregelperceel. Op het maatregelperceel is poriewater verzameld dicht bij de drain (zwart), op kwart (groen) en op halve drainafstand (zwart).

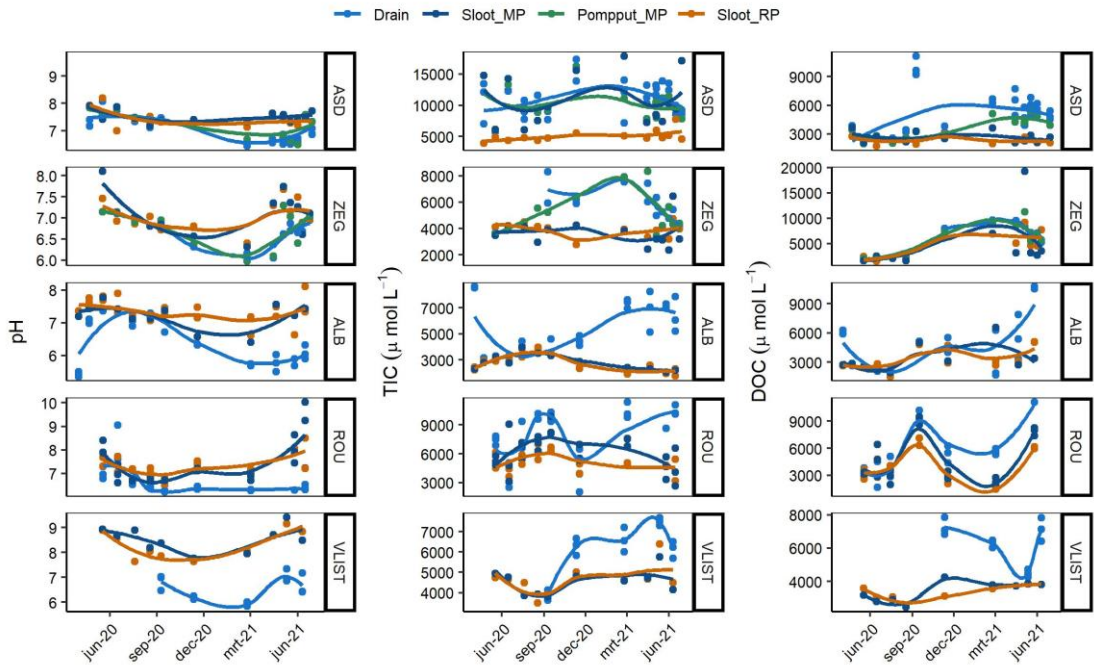
Bij de twee locaties met drukdrainage, Zegveld en Assendelft, worden verder weinig verschillen gezien tussen de verschillende drainafstanden. In Aldeboarn en Vlist daarentegen, worden verder van de drain patronen gezien in het bodemvocht die sterker lijken op bodemprocessen in het referentieperceel. Als voorbeeld zien we de concentraties van SO_4^{2-} , die op het referentieperceel in

droge perioden sterk toenemen als gevolg van oxidatie van gereduceerd zwavel, ook toenemen op grotere drainafstand op het maatregelperceel in Aldeboarn en Vlist (Figuur 3.20). In Aldeboarn zien we dat dicht bij de drain gedurende de zomer veel gereduceerd ijzer (Figuur 3.4.4), P (Figuur 3.4.5) en DOC (Figuur 3.4.8) gemobiliseerd wordt op 45 cm diepte, terwijl concentraties op grotere afstand tot de drain en in diepere bodemlagen laag blijven. In Assendelft, Zegveld, Aldeboarn en Vlist zien we direct naast de drain (in Assendelft op 50 cm diepte, op de andere 3 locaties op 75 cm diepte) lagere concentraties van gereduceerd ijzer dan op grotere drainafstand. Ook zien we in meerdere locaties (Aldeboarn, Assendelft en Zegveld) een hogere methaanconcentratie dicht bij de drain (Figuur 3.4.9). Dit is ook het geval in ondiepere lagen, terwijl op het referentieperceel enkel in de diepere lagen methaan gemeten wordt.

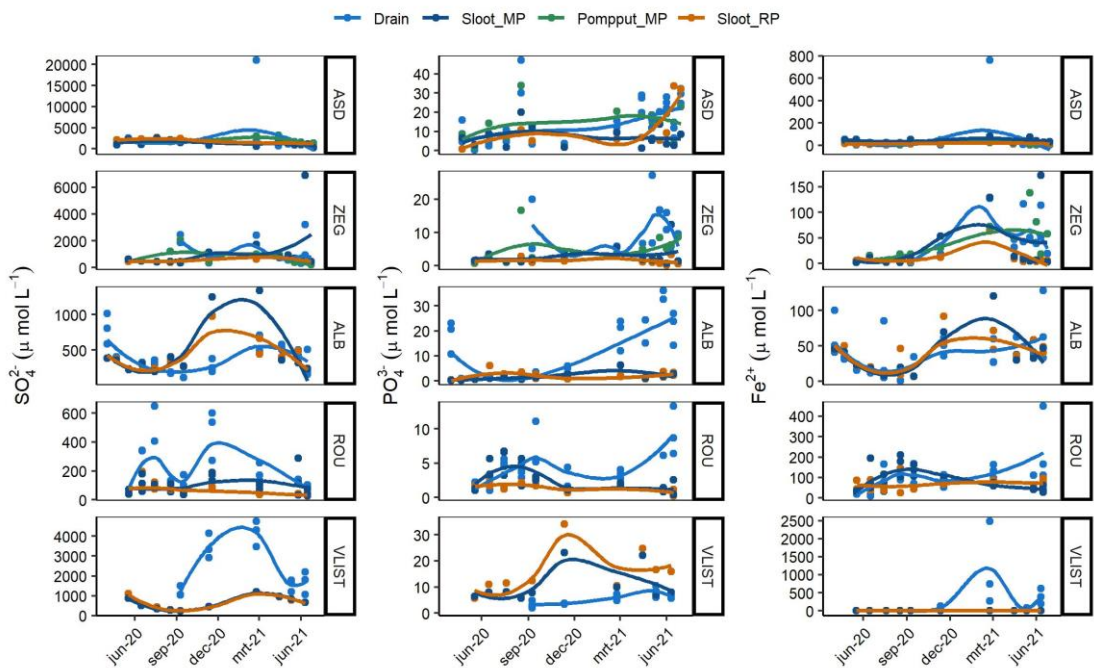
3.5.3 Oppervlaktewaterkwaliteit

Onderwater- en drukdrainagesystemen worden aangelegd om in droge perioden water respectievelijk passief en actief aan te voeren. Het doel is om hiermee de grondwaterstand te verhogen en de aerobe veenafbraak te remmen. Met de aanvoer van oppervlaktewater in droge perioden worden mogelijk ook nutriënten en organische verbindingen de veenbodems ingebracht. Op alle NOBV meetlocaties is gedurende dit meetjaar daarom niet alleen de samenstelling van het poriewater, maar ook die van het oppervlaktewater en water in de drains jaarrond gemeten. Zoals hierboven beschreven zien we dat gedurende periode van vernatting toenames in de TIC concentraties door aanvoer van HCO_3^- vanuit de sloten (Figuur 3.29). Dit HCO_3^- versterkt het bufferend vermogen in het bodemvocht en kan afbraak van organisch materiaal stimuleren. Met oppervlaktewater worden daarnaast ook elektronenacceptoren, zoals zuurstof, nitraat en sulfaat, en labiel koolstof (in de vorm van DOC) aangevoerd, die dienen als substraat voor microbiële processen in de bodem. Zuurstof is de sterkste elektronenacceptor en wordt in een gereduceerde veenbodem snel opgebruikt. Aanvoer van zuurstof zou de verlaagde concentraties van gereduceerd ijzer dicht bij de drains in Assendelft, Zegveld, Vlist en Aldeboarn kunnen verklaren, omdat onder invloed van zuurstof slecht oplosbare ijzeroxiden gevormd worden. In de drains en sloten in Assendelft, Vlist en Aldeboarn werden enkele malen hoge nitraatconcentraties gemeten in het voorjaar en in de zomer (Figuur 3.31). Omdat nitraat zeer mobiel is en het onder natte omstandigheden snel gedenitrificeerd wordt tot stikstofgas of gereduceerd wordt naar ammonium, werden er geen verhoogde nitraatconcentraties gemeten in het bodemvocht rondom de drains op deze locaties. Denitrificatie, een veelvoorkomend proces in natte veenbodems, kan ook leiden tot verhoogde veenafbraak omdat organisch materiaal gebruikt wordt als elektrondonor. Op sulfatrijke locaties, zoals Assendelft en in mindere mate Vlist en Zegveld, zal het aangevoerde oppervlaktewater ook sulfaat bevatten, wat in de veenbodems onder anoxische condities gereduceerd wordt waarbij veenafbraak plaatsvindt. Het hierbij gevormde sulfide kan met ijzer neerslaan als FeS . Met het slootwater wordt ook DOC aangevoerd via de drains, wat als substraat dient bij onder andere methaanproductie. In verschillende locaties zien we dicht bij de drain verhoogde methaanconcentraties in het bodemvocht. Dit kan zowel het gevolg zijn van aanvoer van labiel organisch materiaal, als van de waterverzadigde omstandigheden rondom de drain waar zuurstof en andere elektronenacceptoren snel verbruikt worden en hoge methaanproductie kan optreden. Om de invloed van het aanvoeren van elektronenacceptoren en organisch stof op de veenafbraak te bepalen, is een goede inschatting van de aangevoerde waterkwantiteit nodig, naast de reeds gemeten waterkwaliteit.

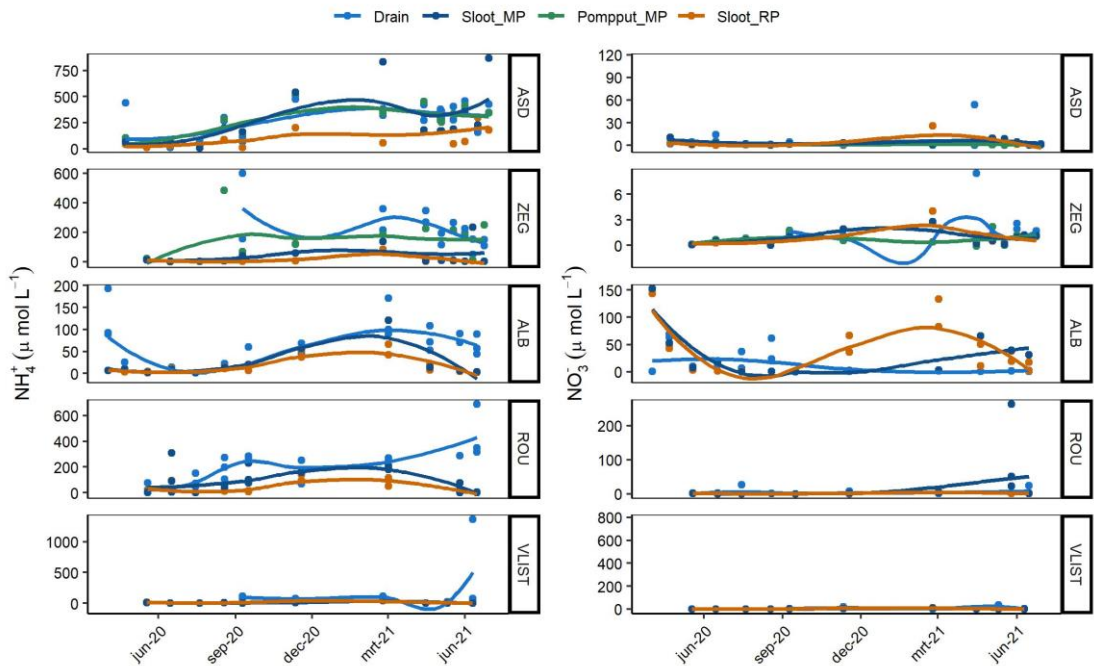
Tijdens natte periodes fungeren de drainagebuizen ook als afvoer. Aangezien onder waterverzadigde omstandigheden processen optreden waarbij nutriënten zoals P, NH_4 en DOC gemobiliseerd worden, kunnen deze in tijden van waterafvoer vanaf de percelen uitspoelen naar het oppervlaktewater. In het najaar en vroege voorjaar, wanneer water via de drains afgevoerd wordt, meten we dan ook verhoogde concentraties van TOC/DOC (Figuur 3.29), P (Figuur 3.30), NH_4 (Figuur 3.31) en HCO_3^- (Figuur 3.29) in het drainwater op alle locaties.



Figuur 3.29. De pH (links), concentratie anorganisch koolstof (TIC; midden) en concentratie opgelost organisch koolstof (DOC; rechts) van het oppervlakte- en drainwater in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn de sloten naast het referentieperceel (oranje) en het maatregelperceel (donkerblauw) en de drainagebuizen (lichtblauw) bemonsterd. Daarnaast zijn in Assendelft en Zegveld de pompputten van de drukdrainage (groen) bemonsterd.



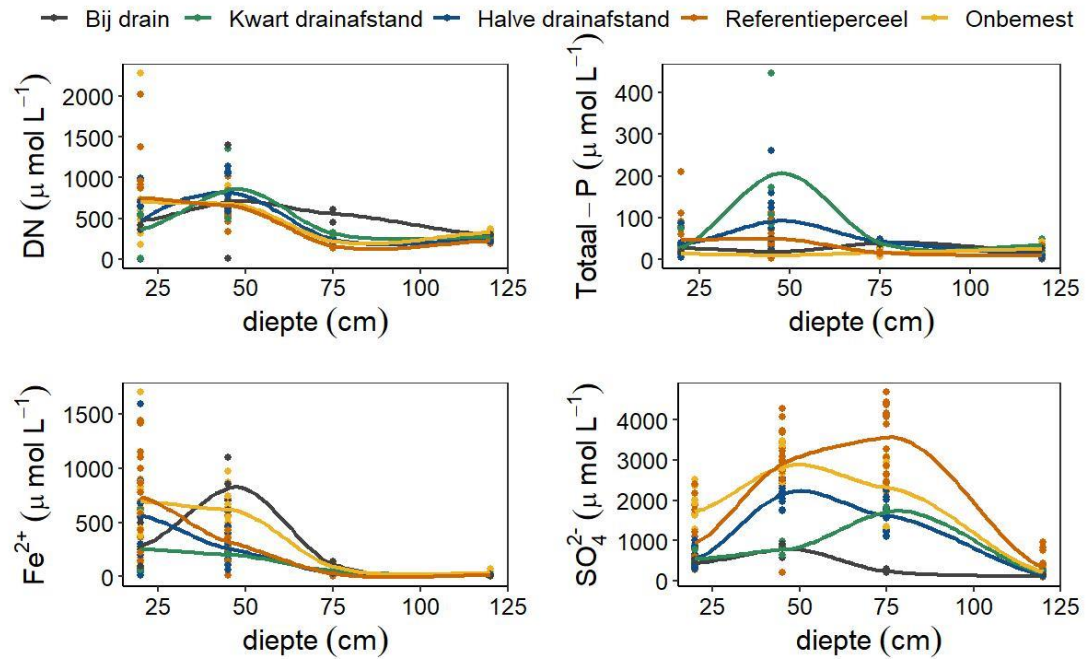
Figuur 3.30. De concentratie van sulfaat (SO₄²⁻; links), fosfaat (PO₄³⁻; midden) en gereduceerd ijzer (Fe²⁺; rechts) van het oppervlakte- en drainwater in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn de sloten naast het referentieperceel (oranje) en het maatregelperceel (donkerblauw) en de drainagebuizen (lichtblauw) bemonsterd. Daarnaast zijn in Assendelft en Zegveld de pompputten van de drukdrainage (groen) bemonsterd.



Figuur 3.31. De concentratie van ammonium (NH_4^+ ; links), en nitraat (NO_3^- ; rechts) van het oppervlakte- en drainwater in de vijf bestaande NOBV onderzoekslocaties: ASD=Assendelft, ZEG = Zegveld, ALB = Aldeboarn, ROU = Rouveen en Vlist. Op alle locaties zijn de sloten naast het referentieperceel (oranje) en het maatregelperceel (donkerblauw) en de drainagebuizen (lichtblauw) bemonsterd. Daarnaast zijn in Assendelft en Zegveld de pompputten van de drukdrainage (groen) bemonsterd.

3.5.4 Diepteprofielen en bemesting

Vanaf april 2021 zijn ook metingen uitgevoerd in de actieve wortelzone (20 cm onder maaiveld), en zijn in Aldeboarn en Rouveen onbemeste plots op het referentieperceel bemonsterd. Hoewel nu slechts enkele maanden data verzameld is, kunnen we aan de hand van diepteprofielen op locatie Aldeboarn al enkele observaties maken (Figuur 3.32). Zo zien we dat de stikstofbeschikbaarheid op onbemeste plots weinig verschilt van bemeste plots, terwijl de P-beschikbaarheid wel een stuk lager ligt in de ondiepere bodemlagen (20-50 cm) van onbemeste plots. In de actieve wortelzone fluctueren concentraties van met name stikstof en gereduceerd ijzer meer dan in diepere lagen. In de sulfaatconcentraties zien we duidelijke diepteprofielen, met toenemende beschikbaarheid tot 45 en 75 cm diepte, door oxidatie van gereduceerd zwavel, en vervolgens een afname naar diepere, waterverzadigde bodemlagen, waar deze oxidatie niet optreedt. Dit patroon zien we vooral op het referentieperceel (onbemest en bemest). Op het maatregelperceel zien we dit patroon wel op grotere afstand van de drain, terwijl dicht bij de drain de sulfaatconcentratie continue laag blijft.



Figuur 3.32. Diepteprofielen van porievocht concentraties van opgelost stikstof (DN; linksboven), totaal fosfor (rechtsboven), gereduceerd ijzer (Fe^{2+} ; linksonder) en sulfaat (SO_4^{2-} ; rechtsonder) in Aldeboarn. Data zijn verzameld tussen april en juli 2021 op het referentieperceel (oranje), in onbemeste plots op het referentieperceel (geel), en op drie verschillende afstanden tot de drain op het maatregelperceel: dicht bij de drain (zwart), op kwart drainafstand (groen) en op halve drainafstand (blauw).

3.5.5 Belangrijkste bevindingen

- In vier van de vijf locaties zien we duidelijke verschillen in de biogeochemische samenstelling van het bodemvocht tussen het maatregel- en referentieperceel. Onder de nattere omstandigheden op het maatregelperceel gedurende het groeiseizoen zien we reductieprocessen optreden in ondiepere bodemlagen, terwijl in deze lagen het referentieperceel voornamelijk oxidatieprocessen plaatsvinden. Alleen in Rouveen worden geen duidelijke verschillen waargenomen tussen de biogeochemische samenstelling van het bodemvocht op het maatregel- en referentieperceel.
- De mate waarin deze effecten van vernatting op de biogeochemie optreden hangt met name af van (1) het effect van de maatregel op de grondwaterstand, (2) de biogeochemische samenstelling van de bodem en (3) de biogeochemische samenstelling van het oppervlaktewater.
 - In Assendelft zien we bijvoorbeeld een veel sterkere verzuring optreden in droge bodems dan in Zegveld, omdat er als gevolg van de brakke invloeden op deze locatie veel meer gereduceerd zwavel beschikbaar is.
 - Dit illustreert ook het belang van onderzoek doen op verschillende locaties met verschillende historie, bodemopbouw en chemische samenstelling.
- Aan de hand van de aangetroffen biogeochemische verschillen op een gradiënt t.o.v. de drain, zien we verschillen tussen de werking van drukdrainage en onderwaterdrainage
 - In de beide locaties met drukdrainage zien we weinig verschil in de samenstelling van het porievocht dicht bij de drains of op grotere drainafstand. In Aldeboarn en Vlist zien we dat de onderwaterdrainage een sterker effect heeft op de biochemische samenstelling dicht bij de drain, terwijl de biogeochemische samenstelling van het porievocht op grotere drainafstand vergelijkbaar is met dat op het referentieperceel.
- Naast seizoensale fluctuaties gedurende het jaar, zien we ook sterke verschillen in de chemische samenstelling van het bodemvocht tussen de meetjaren 2020 en 2021.

Doordat een nat jaar (2021) nu volgt op een droog jaar (2020), zien we niet alleen verschillen in de werking van maatregelen (vernatting heeft een sterker effect in een droog jaar dan in een droog jaar), maar ook interactieve effecten. Dit illustreert het belang van langjarige meetreeksen.

- Tijdens een droog jaar wordt bijvoorbeeld veel gereduceerd ijzer geoxideerd tot slecht oplosbaar FeOx, wat ophoopt in de bodem. Door aanhoudende natte omstandigheden vanaf het najaar 2020, wordt dit ijzer gereduceerd waardoor zowel Fe²⁺ als gebonden P gemobiliseerd wordt. Omdat er nu in de geoxideerde referentiepercelen meer ijzer beschikbaar is om gereduceerd te worden lopen de ijzerconcentraties hier in het natte voorjaar/zomer van 2021 veel sterker op dan in de maatregelpercelen.

3.6 Geotechnische bepalingen

Auteur: Harry van Essen (Deltares)

De geotechnische bepalingen hebben tot doel het deel van de bodemdaling ten gevolge van de mechanische processen (consolidatie en kruip), die niet samenhangen met veenafbraak, te kwantificeren met modellen. Hiermee kunnen we onder andere de maaiveldmetingen ontrafelen, maar deze informatie kan ook gebruikt worden bij het processen van bijvoorbeeld radarsatelliet data (op termijn).

Op de meetlocaties Zegveld, Assendelft, Vlist en Rouveen zijn hiervoor de volgende

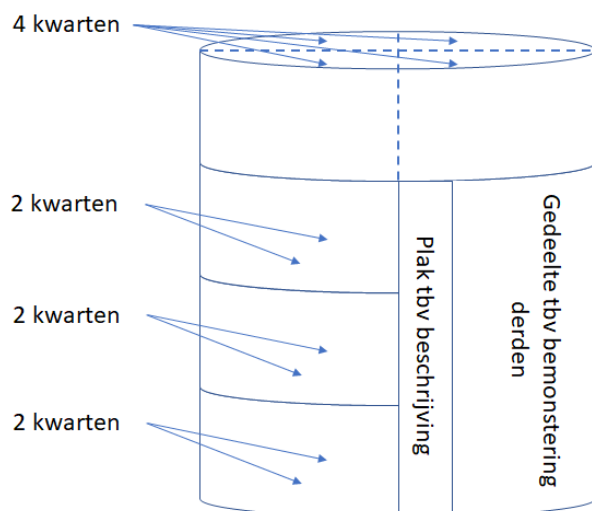
veenmonsters met DLDS (Deltares Large Diameter Sampler;

<https://www.deltares.nl/en/news/supersized-peat-samples-predicting-land-subsidence/>) bussen gestoken (Tabel 3.6):

Tabel 3.6. Overzicht van de gestoken DLDS bussen op de meetlocaties.

bus-nummer	Diepte DLDS bussen [m-MV]							
	Zegveld		Assendelft		Vlist		Rouveen	
	van	tot	van	tot	van	tot	van	tot
bus 1	0.30	0.80	0.20	0.70	0.35	0.85	0.30	0.80
bus 2	0.80	1.30	0.70	1.50	1.50	2.00	0.80	1.30
bus 3	1.30	1.80	1.20	1.70	2.50	3.00	1.30	1.80
bus 4	1.80	2.30	1.70	2.20	4.15	4.65	1.80	2.30
bus 5	5.00	5.50	2.20	2.60	5.15	5.65	2.30	2.80
bus 6	-	-	-	-	-	-	2.80	3.30

Het materiaal uit de bussen van de locaties Zegveld en Assendelft is als volgt verdeeld (Figuur 3.33):



Figuur 3.33. Schematische weergave preparatie DLDS bussen

Het gedeelte rechts van de plak voor de beschrijving wordt gebruikt voor afbraakmetingen door de Universiteit van Utrecht.

Een deel van de samendrukkingsproeven is reeds uitgevoerd. De proeven op monsters van de meetlocaties Zegveld en Assendelft zijn gereed. De proeven op monsters van Vlist zijn op dit moment in uitvoering. De resultaten van de samendrukkingsproeven zijn opvraagbaar bij Deltares. In Figuur 3.34 is een overzicht van de belangrijkste grondparameters weergegeven. De interpretatie van de proeven richt zich met name op de kruipparameters en de relatie daarvan met de Overconsolidatie Ratio (OCR) en de intrinsieke tijd in de isotachen modellen (NEN, lineaire rek en abc, natuurlijke rek). In meeste gangbare zettingsmodellen zijn de volgende grondparameters nodig bij de invoer:

1. Een voorbelaste stijfheidsparameter die geldt tot de grensspanning (CR of a)
2. Een maagdelijke stijfheidsparameter die geldt na de grensspanning (RR of b)
3. De grensspanning die samenhangt met de hoogste (effectieve) spanning die op een bepaald niveau heeft geheerst en de veroudering, ageing (Overconsolidatie Ratio, OCR)
4. de kruipreksnelheid (c_α of c)
5. De ouderdom of intrinsieke tijd die een maat is voor de actuele kruipreksnelheid en samenhangt met de tijd die verstreken is sinds de laatste belastingsverhoging of, indien niet van toepassing de tijd sinds de vorming van de desbetreffende bodemlaag.

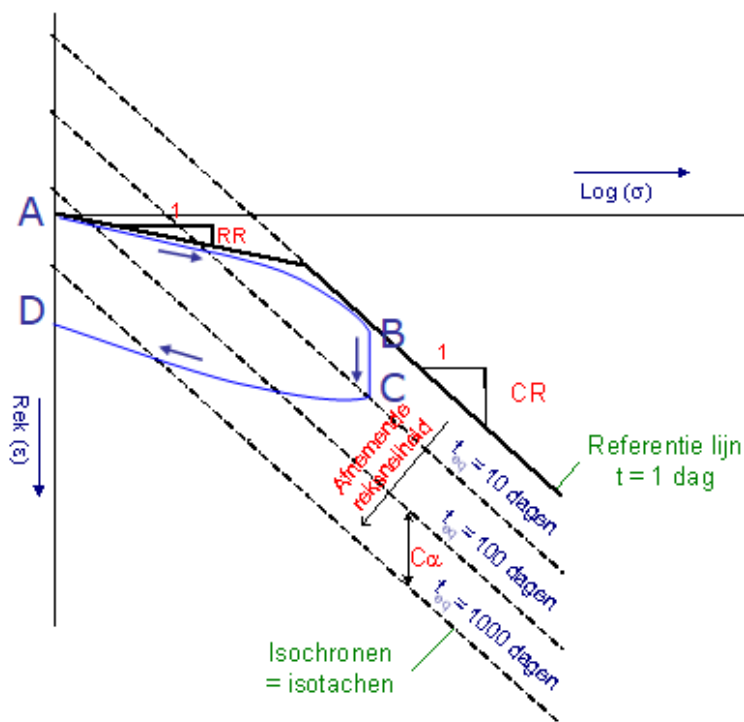
Waarin:

RR, CR en c_α : de parameters van het lineaire rek-isotachenmodel

a, b en c: de parameters uit het natuurlijke rek-isotachenmodel

De eerste vier type parameters volgen meestal uit de interpretatie van een samendrukkings- of (K_0)CRS-proef, de laatste uit metingen van zettingen, bijvoorbeeld niveauveranderingen van het maaiveld en/of extensometergegevens.

In geotechnische vraagstukken wordt meestal gerekend met de zetting ten gevolge van belastingsveranderingen (bijvoorbeeld de aanleg van een weg- of dijklichaam), in dit geval is de maaiveldzakking het gevolg van het oneindig durende kruipproces zonder dat er sprake is van echte belastingsveranderingen. In Figuur 3.34 is een schematische weergave van maaiveldzakkingen in isotachenmodellen ten gevolge van belastingsveranderingen (σ) en tijd (t).



Figuur 3.34 Schematische weergave van maaiveldzakking (rek) ten gevolge van belastingsveranderingen en tijd in isotachen zettingsmodellen.

In Figuur 3.34 is een voorbeeldpad aangegeven volgens welk schema een belastingsgeschiedenis kan verlopen: Vanaf punt A naar B een belastingsverhoging tot voorbij de grensspanning, waarbij eerst de zetting verloopt zoals gegeven door de parameter voor belasting onder de grensspanning (RR of b) en daarna boven de grensspanning reageert het materiaal slapper, waarbij de zetting toeneemt zoals beschreven door de maagdelijke parameter (CR of a). Na het bereiken van de spanning in punt B wordt 10 dagen gewacht en kruipt het materiaal van de referentie isotach voor 1 dag tot de isotach voor 10 dagen is bereikt. Vervolgens wordt ontlast tot D. Dit betekent een verhoging van de intrinsieke tijd (een virtuele veroudering) tot bijna 10.000 dagen, wat een reductie van de kruipreksnelheid met een factor 10 impliceert. In het geval van het NOBV onderzoek is het van belang een correcte waarde van de intrinsieke tijd over de hoogte in de veenlaag te verkrijgen. De maaiveldzakking ten gevolge van geotechnische processen in de onderzochte veenweidegebieden is het gevolg van kruip, het vaststellen van de juiste kruipreksnelheid is dus essentieel. Hiervoor is de koppeling van de resultaten van de laboratorium met de langjarige maaiveldniveau en de extenso-metingen van belang.

Klassieke samendrukkingsproeven zijn elementproeven op kleine monsters waarvan de zetting/rek onder opeenvolgende belastingen wordt gemeten. Elke belastingsstap duurt in principe 1 dag. Zoals uit Figuur 3.34 blijkt is de kruipreksnelheid (weergegeven door de parameter c_a in de figuur) afhankelijk van de ouderdom in termen van tijd sinds de voorgaande belastingsverhoging of vorming van de veenlaag (uitgedrukt in de intrinsieke tijd): hoe groter de intrinsieke tijd, hoe lager de kruipreksnelheid. Om deze reden worden lange kruipfasen van enkele dagen uitgevoerd bij de terreinspanning (de actuele intrinsieke tijd) en bij een spanning ver boven de huidige waarmee de intrinsieke tijd is teruggebracht tot 1 dag.

In de volgende tabellen zijn de resultaten van de proeven weergegeven, met in Tabel 3.7 de algemene monstergegevens, in Tabel 3.8 de parameters van het isotachenmodel gebaseerd op natuurlijke rek en in Tabel 3.9 de parameters van het isotachenmodel gebaseerd op lineaire rek.

Tabel 3.7 Algemene gegevens van de op samendrukking geteste monsters

Meet-locatie	Monster nummer	Diepte	Diepte	Grondbeschrijving	monstergegevens			MVI	
		van	tot		$\gamma_{r,ini}$	$\gamma_{d,ini}$	w_{ini}		
		[m - MV]	[m - MV]		[kN/m ³]	[kN/m ³]	[%]		
Assendelft	1A	-0.31	-0.33	Klei, sterk siltig, sterk humeus, wortel resten	12.35	6.38	97.01	1.4	
	2A	-0.39	-0.41	Veen, sterk kleiig, wortel resten	10.37	4.23	192.97	2.2	
	3A	-0.52	-0.54	Veen, mineraalarm, rietresten, plantenresten	9.09	1.36	464.36	2.8	
	4A	-0.66	-0.68	Veen, mineraalarm, rietresten	9.19	1.24	460.92	2.1	
	5A	-0.78	-0.80	Veen, mineraalarm, plantenresten	9.83	1.99	322.11	2.9	
	6A	-0.91	-0.93	Veen, mineraalarm, plantenresten	9.87	1.84	357.39	2.8	
	7A-2	-0.98	-1.00	Veen, zwak kleiig, plantenresten, rietresten	9.81	1.81	327.30	2.7	
	8A-2	-1.15	-1.17	Veen, mineraalarm, plantenresten	9.89	1.83	364.60	2.5	
	10A	-1.41	-1.43	Veen, mineraalarm, plantenresten	9.42	0.95	528.19	2.4	
	17a	-1.86	-1.88	Veen, mineraalarm, rietresten	8.88	0.85	524.63	4.0	
	18a	-1.96	-1.98	Veen, mineraalarm, rietresten	9.39	1.00	540.06	3.3	
	20a	-2.10	-2.20	Veen, mineraalarm, rietresten	9.58	1.24	572.63	1.9	
	Zegveld	2	-0.58	-0.60	Veen, mineraalarm	9.57	1.39	586.67	3.9
		1A	-0.74	-0.76	Veen, mineraalarm	9.80	1.44	578.25	1.0
		7A2	-0.90	-0.92	Veen, mineraalarm	9.02	1.19	655.90	7.7
		8A2	-1.01	-1.03	Veen, mineraalarm	9.40	1.81	420.40	7.0
		8A3	-1.01	-1.03	Veen, mineraalarm	9.58	1.40	584.86	5.6
20A		-1.46	-1.58	Veen, mineraalarm	9.41	1.22	673.05	4.1	
20B		-1.46	-1.58	Veen, mineraalarm	9.34	1.21	675.00	4.7	
21A		-1.62	-1.64	Veen, mineraalarm	9.53	1.34	612.27	2.4	
29A1		-5.10	-5.12	Veen, mineraalarm	9.25	0.97	852.72	4.0	
29A2		-5.10	-5.12	Veen, mineraalarm	9.13	0.98	830.36	4.5	
31A		-5.28	-5.38	Veen, mineraalarm	9.60	1.02	842.69	3.8	
24A1		-1.92	-1.94	Veen, mineraalarm	9.11	1.29	607.88	5.5	
26A2		-2.06	-2.18	Veen, mineraalarm	10.24	1.70	500.75	4.1	

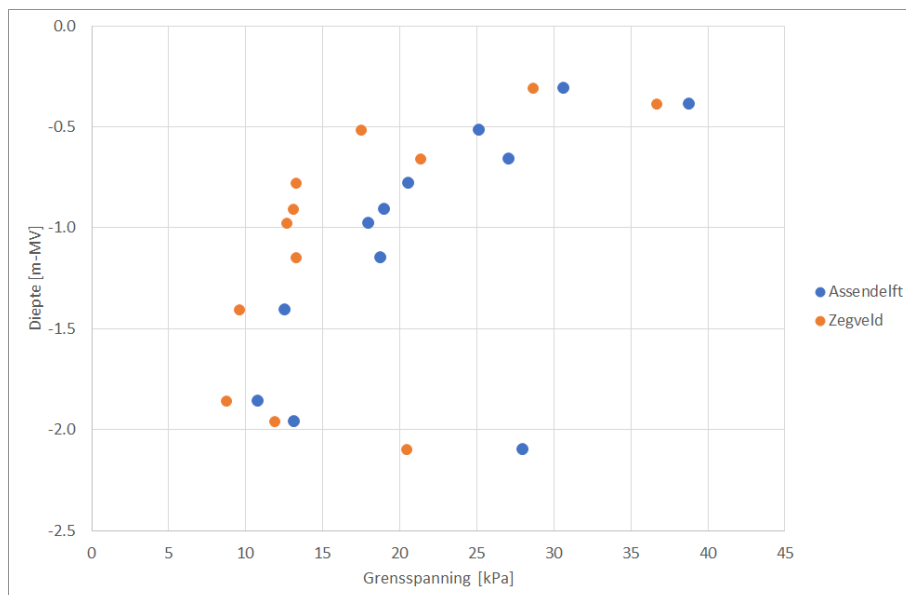
Tabel 3.8. Overzicht van de bepaalde zettingsparameters (natuurlijke rek, Den Haan isotachenmodel)

Locatie	Monster nummer	Diepte	Diepte	natuurlijke rek parameters				
		van	tot	a	b	c	Pc	
		[m - MV]	[m - MV]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	
Assendelft	1A	-0.31	-0.33	9.2E-03	8.2E-02	2.1E-03	30.7	
	2A	-0.39	-0.41	1.2E-02	1.1E-01	9.5E-03	38.8	
	3A	-0.52	-0.54	3.6E-02	3.8E-01	2.4E-02	25.2	
	4A	-0.66	-0.68	2.5E-02	3.5E-01	2.3E-02	27.1	
	5A	-0.78	-0.80	4.0E-02	2.8E-01	1.3E-02	20.6	
	6A	-0.91	-0.93	5.3E-02	3.1E-01	1.7E-02	19.0	
	7A-2	-0.98	-1.00	4.3E-02	2.7E-01	1.6E-02	18.0	
	8A-2	-1.15	-1.17	4.6E-02	2.6E-01	1.4E-03	18.8	
	10A	-1.41	-1.43	4.3E-02	3.8E-01	1.6E-02	12.6	
	17a	-1.86	-1.88	5.0E-02	3.7E-01	1.6E-02	10.8	
	18a	-1.96	-1.98	6.6E-02	3.8E-01	1.0E-02	13.2	
	20a	-2.10	-2.20	1.4E-02	3.7E-01	1.7E-02	28.0	
	Zegveld	2	-0.58	-0.60	5.0E-02	3.8E-01	1.9E-02	18.9
		1A	-0.74	-0.76	2.2E-02	3.1E-01	1.7E-02	17.9
7A2		-0.90	-0.92	3.2E-02	2.8E-01	2.2E-02	12.4	
8A2		-1.01	-1.03	3.0E-02	2.7E-01	1.9E-02	16.2	
8A3		-1.01	-1.03	3.2E-02	2.8E-01	1.8E-02	17.7	
20A		-1.46	-1.58	4.6E-02	3.0E-01	1.5E-02	10.7	
20B		-1.46	-1.58	3.5E-02	2.9E-01	1.5E-02	11.8	
21A		-1.62	-1.64	4.7E-02	3.5E-01	1.6E-02	15.4	
29A1		-5.10	-5.12	4.4E-02	3.6E-01	1.3E-02	15.2	
29A2		-5.10	-5.12	4.9E-02	3.6E-01	1.3E-02	15.3	
31A		-5.28	-5.38	3.5E-02	2.6E-01	1.6E-02	12.9	
24A1		-1.92	-1.94	3.4E-02	2.7E-01	1.5E-02	12.4	
26A2	-2.06	-2.18	3.0E-02	2.6E-01	1.3E-02	12.2		

Tabel 3.9. Overzicht van de bepaalde zettingsparameters (lineaire rek, Bjerrum isotachenmodel)

Locatie	Monster nummer	Diepte	Diepte	lineaire rek parameters				Becker	
		van	tot	CR	RR	C_{α}	Pc	Pc	
		[m - MV]	[m - MV]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]	
Assendelft	1A	-0.31	-0.33	1.7E-01	2.0E-02	4.6E-03	28.7	33.4	
	2A	-0.39	-0.41	2.2E-01	2.6E-02	2.1E-02	36.7	41.4	
	3A	-0.52	-0.54	5.1E-01	6.6E-02	4.8E-02	17.5	25.2	
	4A	-0.66	-0.68	5.3E-01	4.9E-02	3.9E-02	21.4	28.3	
	5A	-0.78	-0.80	3.9E-01	7.1E-02	2.1E-02	13.3	17.5	
	6A	-0.91	-0.93	4.3E-01	9.3E-02	3.3E-02	13.1	17.6	
	7A-2	-0.98	-1.00	4.0E-01	7.6E-02	1.6E-02	12.7	17.4	
	8A-2	-1.15	-1.17	4.0E-01	8.3E-02	1.6E-02	13.3	17.6	
	10A	-1.41	-1.43	5.8E-01	6.2E-02	2.8E-02	9.6	15.0	
	17a	-1.86	-1.88	5.5E-01	6.5E-02	3.1E-02	8.8	16.3	
	18a	-1.96	-1.98	6.2E-01	9.7E-02	2.6E-02	11.9	16.5	
	20a	-2.10	-2.20	6.0E-01	7.0E-02	2.0E-02	20.5	26.4	
	Zegveld	2	-0.58	-0.60	5.2E-01	7.9E-02	3.6E-02	12.4	17.1
		1A	-0.74	-0.76	4.7E-01	4.0E-02	2.5E-02	13.2	14.3
7A2		-0.90	-0.92	4.0E-01	4.7E-02	4.5E-02	9.1	19.6	
8A2		-1.01	-1.03	3.5E-01	4.8E-02	3.7E-02	10.8	18.2	
8A3		-1.01	-1.03	3.6E-01	9.4E-02	3.8E-02	11.0	18.2	
20A		-1.46	-1.58	4.8E-01	6.6E-02	2.9E-02	9.2	16.4	
20B		-1.46	-1.58	5.0E-01	7.7E-02	2.9E-02	10.4	16.6	
21A		-1.62	-1.64	6.1E-01	7.6E-02	3.0E-02	14.4	17.6	
29A1		-5.10	-5.12	5.5E-01	6.7E-02	3.0E-02	12.6	17.2	
29A2		-5.10	-5.12	5.6E-01	7.5E-02	2.7E-02	13.2	17.5	
31A		-5.28	-5.38	4.2E-01	5.8E-02	3.0E-02	11.3	17.5	
24A1		-1.92	-1.94	4.2E-01	5.3E-02	2.8E-02	9.9	17.5	
26A2	-2.06	-2.18	4.3E-01	4.9E-02	3.2E-02	10.2	17.0		

Een volledige analyse van de gegevens heeft nog niet plaatsgevonden, maar uit een eerste analyse van de grensspanning wordt een opvallend en voor beide locaties overeenkomend verloop over de diepte gezien, zie Figuur 3.35.



Figuur 3.35 Verloop van de grensspanning over de diepte

3.7 INSAR metingen

Auteurs: Freek van Leijen (TUDelft), Ramon Hanssen (TUDelft), Sanneke van Asselen (Deltares)

3.7.1 Satellietradarinterferometrie (InSAR)

Door middel van satellietradarinterferometrie worden bewegingen van het aardoppervlak op millimeterniveau gemeten. De techniek is gebaseerd op een vanuit een satelliet uitgezonden radarsignaal dat, na reflectie op het aardoppervlak, deels weer wordt opgevangen door het radarinstrument op de satelliet. Uit de fase meting van het inkomende signaal kan, in principe, de bodembeweging worden geschat. De bruikbaarheid van de gemeten fase is voornamelijk afhankelijk van de consistentie van de reflecties in de loop van de tijd. De meest consistente reflecties zijn afkomstig van specifieke objecten op het oppervlak, zoals gebouwen, bruggen en andere vormen van infrastructuur. Deze vormen de basis voor bijvoorbeeld bodemdalingskaart.nl. Hierbij geldt dat de geschatte bodembeweging afhankelijk is van de wijze van fundering van de reflecterende objecten.

Voor oppervlakken waar de reflecties minder consistent zijn, zoals akkers en weilanden, is het schatten van de beweging veel uitdagender. Binnen het NOBV project werken we aan de ontwikkeling en toepassing van geavanceerde schattingstechnieken om desondanks toch informatie over de bodembeweging van weilanden te verkrijgen. De voorgenomen strategie is mede gebaseerd op het groepsgewijs middelen van meerdere resolutiecellen van de radar interferogrammen binnen een gebied, zodat de ruis veroorzaakt door reflectieveranderingen zoveel mogelijk wordt onderdrukt, terwijl de mogelijke beweging van de hele groep toch goed wordt geschat. Verder zijn op een aantal NOBV-locaties zogenaamde Integrated Geodetic Reference Stations (IGRS) geïnstalleerd, waarmee een gecontroleerd referentiepunt kan worden verkregen.

In de afgelopen periode is gewerkt aan de ontwikkeling van de verwerkingsstrategie, waarbij voornamelijk de testlocaties in Zegveld en Rouveen zijn gebruikt. De tussenresultaten worden hier gepresenteerd. In het vervolgtraject zal de verwerking verder worden uitgewerkt, en worden toegepast op de huidige vijf testlocaties van het NOBV.

3.7.2 Integrated Geodetic Reference Stations

Een Integrated Geodetic Reference Station (IGRS) is een constructie waarmee verschillende geodetische metingen kunnen worden geïntegreerd, zie Figuur 3.36 (Hanssen, 2018, Kamphuis 2019). Door middel van de continue GNSS-ontvanger wordt de 3D positie van de IGRS gemeten in een wereldwijd geodetisch referentiestelsel. Hiermee kunnen andere, lokale, schattingen ook naar dit stelsel worden gerefereerd. Vervolgens kunnen de schattingen ook eenvoudig naar andere referentiestelsels, bijvoorbeeld het Nederlandse RD-NAP stelsel, worden getransformeerd. InSAR-resultaten zijn inherent relatief, zowel in ruimte als in tijd. Door de integratie met de GNSS-metingen kunnen de InSAR resultaten 'absoluut' worden gemaakt. Daarnaast is de fundering van belang. Doordat de IGRS gefundeerd wordt op een relatief stabiele diepere zandlaag, is deze ongevoelig voor bodembeweging als gevolg van ondiepere processen, zoals veenoxidatie of -dynamiek. Hiermee vormt de IGRS een goede referentie voor het monitoren van maaiveldvaling. Omdat de IGRS een tweetal radarreflectoren heeft, kunnen zowel InSAR datasets uit de klimmende als de dalende satellietbanen worden geïntegreerd. Dit betekent dat er voor elke locatie drie of vier datasets beschikbaar zijn, opgenomen door de Sentinel-1 (C-band, 5.6 cm golflengte). Dit levert bijna-dagelijks vernieuwde resultaten op.

Naast GNSS en InSAR, kunnen ook waterpasmetingen (bijvoorbeeld naar peilmerken van het NAP netwerk), vliegtuiglaserhoogtemetingen, fotogrammetrische metingen, hoek- en afstandsmetingen met een total station, en relatieve zwaartekrachtmetingen gekoppeld worden. Nog niet al deze andere metingen zijn gedaan op de NOBV-locaties; dit behoort tot de mogelijkheden in de toekomst.



Figuur 3.36. Voorbeeld van een Integrated Geodetic Reference Station (IGRS). Een IGRS maakt het mogelijk om metingen met zeven verschillende geodetische technieken te integreren.

De IGRS in Zegveld en Rouveen zijn weergegeven in Figuur 3.376 en Figuur 3.387, respectievelijk.



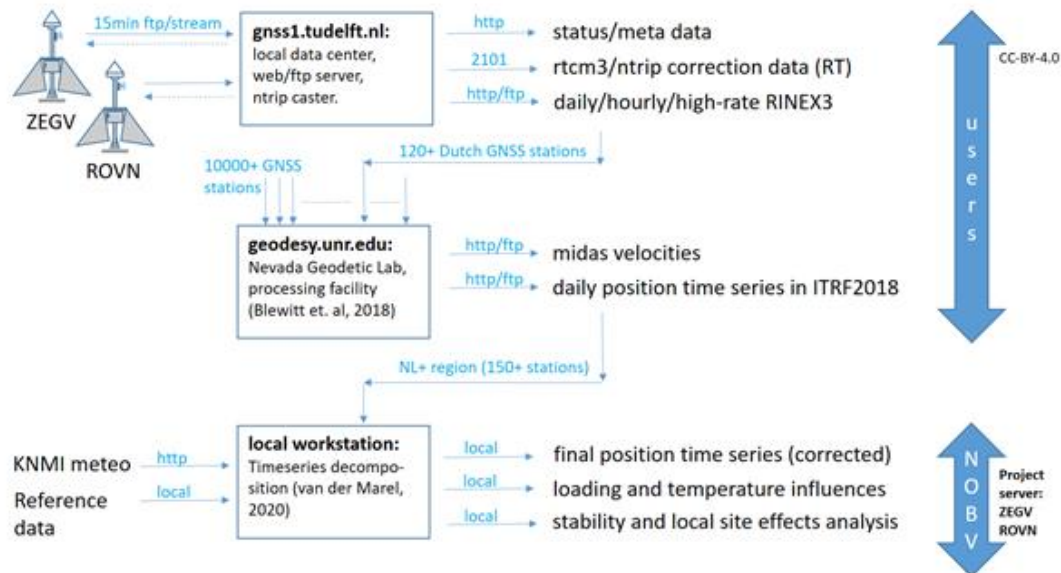
Figuur 3.37. IGRS in Zegveld (ZEGV). Links) Locatie van het IGRS. Rechts) Foto van het IGRS na installatie.



Figuur 3.38. IGRS in Rouveen (ROVN). Links) Locatie van het IGRS. Rechts) Foto van het IGRS na installatie.

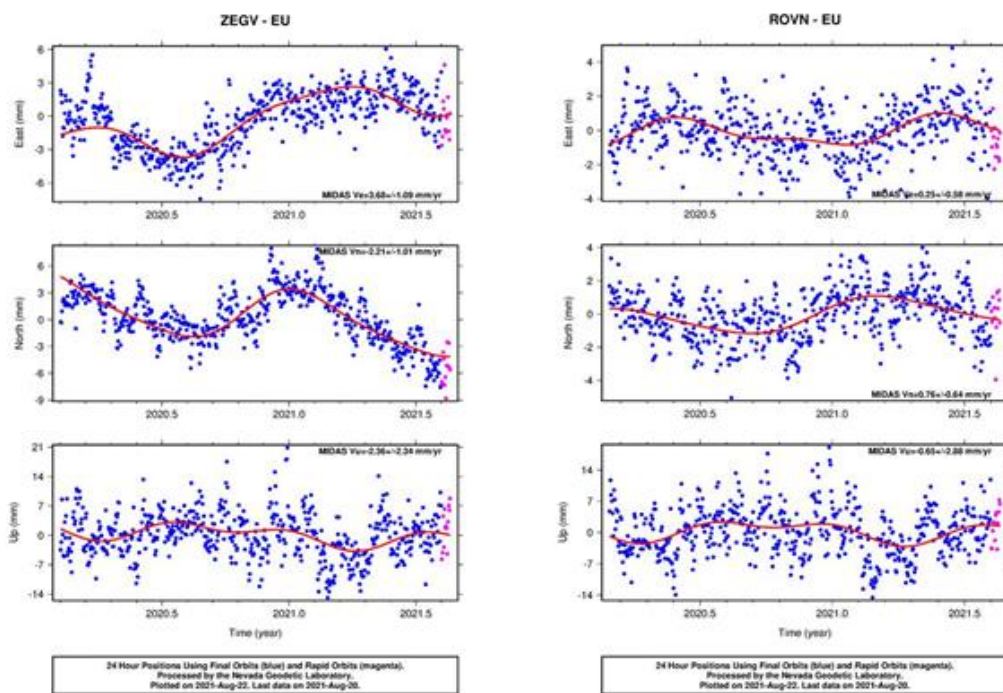
3.7.3 IGRS GNSS-analyse

De GNSS-dataverwerking wordt voor een groot deel uitgevoerd door de TU Delft. De verschillende stappen zijn weergegeven in het stroomschema in Figuur 3.39. De data van de GNSS-ontvangers (op dit moment in Zegveld (ZEGV) en Rouveen (ROVN)) worden automatisch gedownload en verwerkt. Vervolgens wordt deze data (in RINEX3 formaat) publiekelijk beschikbaar gesteld op de gnss1.tudelft.nl server. Verschillende partijen kunnen deze gegevens verwerken. Het Nevada Geodetic Laboratory (Blewitt et al., 2018) zorgt bijvoorbeeld voor een systematische verwerking in de zogenaamde Precise Point Positioning (PPP) modus van meer dan 10000 GNSS stations wereldwijd, en nemen hierbij ook de ZEGV en ROVN stations mee. De uitkomsten hiervan kunnen we vervolgens weer gebruiken voor verdere analyse en zijn weergegeven in Figuur 3.40.



Blewitt, G., W. C. Hammond, and C. Kreemer (2018), Harnessing the GPS data explosion for interdisciplinary science, *Eos*, 99, <https://doi.org/10.1029/2018EO104673>.
 H van der Marel (2020), Comparison of GNSS Processing Methodologies for Subsidence Monitoring: NAM GNSS Alternative Processing Method Project, 81 p.

Figuur 3.39. Stroomschema van de GNSS analyse.



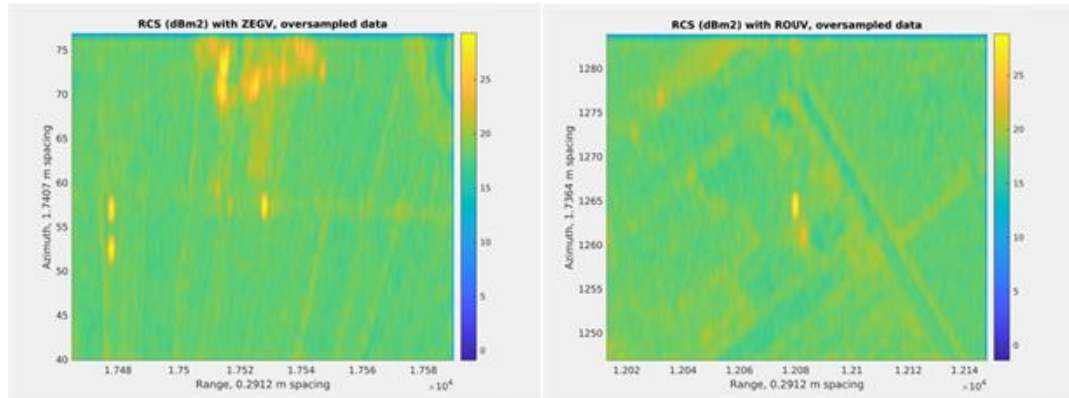
Figuur 3.40. GNSS tijdreeksen (oost, noord en zenith richting) voor de IGRS in Zegveld (ZEGV) en Rouveen (ROVN), verwerkt door de TU Delft en het Nevada Geodetic Lab.

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.

3.7.4 IGRS InSAR-analyse

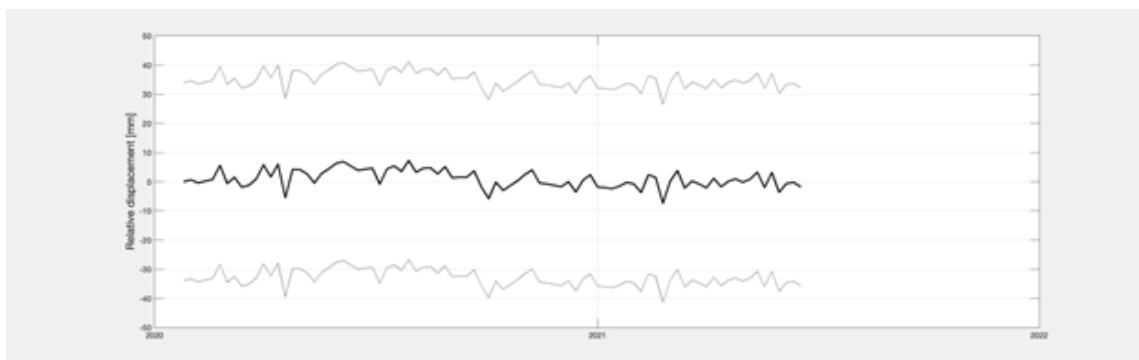
De kwaliteit van de IGRS InSAR metingen is onder ander afhankelijk van 1) de juiste oriëntering van de radarreflectoren ten opzichte van de satellietbanen en de richting van het uitgezonden

radarsignaal, 2) eventuele schade of verstoring (vuil, sneeuw), en 3) mogelijke reflecterende objecten in de omgeving. Dit laatste is van tevoren geïnventariseerd, bij het bepalen van de locatie van de IGRS. Toch kan de situatie veranderen. Een goede, maar niet alles uitsluitende, indicatie voor de integriteit van de radarreflectoren is een analyse van de reflectiesterkte, zowel van de IGRS als van de omgeving. Als voorbeeld worden in Figuur 3.41 de gemiddelde radarreflectiesterkten over de volledige tijdreeksen voor een bepaalde satellietdataset weergegeven. De IGRS staan in het midden van de figuren. Voor de locatie Zegveld zijn relatief sterke reflecties zichtbaar van het Innovatiecentrum. Deze reflectiepunten liggen echter op voldoende afstand van het IGRS. In geval van Rouveen is de reflectiesterkte van omliggende punten, in ieder geval vanuit deze satellietbaan, beperkt.

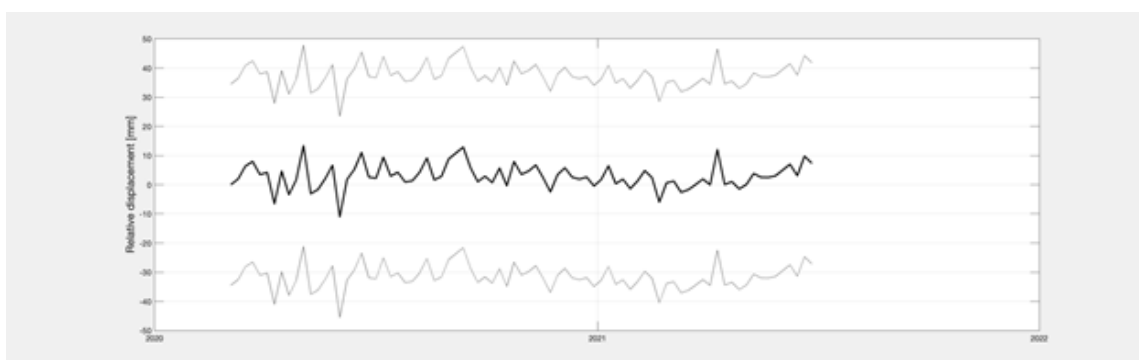


Figuur 3.41. Radarreflectiesterkte (uitgedrukt in Radar Cross Section (RCS, dBm²)) voor een IGRS (midden van figuren) en omgeving. Links: Zegveld (ZEGV, Sentinel-1, klimmende baan 088). Rechts: Rouveen (ROVN, Sentinel-1, dalende baan 037).

Vanzelfsprekend is het voor NOBV van belang om de maaiveldbeweging te schatten van het veenweidegebied, en niet van andere objecten. Voor het gebruik van een IGRS als referentie voor analyse van de maaiveldvaling in de omliggende akkers en weilanden, moet de tijdreeks van fase-metingen afkomstig van het IGRS worden gebruikt. Omdat InSAR een relatieve techniek is, kan deze tijdreeks niet geïsoleerd worden geïnterpreteerd. Een absolute analyse kan plaatsvinden via de link met de beweging van de GNSS antenne. Alternatief kan ter validatie ook de relatieve beweging ten opzichte van een ander objectpunt worden geschat. Figuur 3.42 laat de relatieve beweging zien van de IGRS reflector in Zegveld ten opzichte van een reflectiepunt op een gebouw van het naastgelegen Innovatiecentrum (zie Figuur 3.37). De relatieve beweging is hierbij zeer stabiel. Omdat de afstand tussen de twee punten beperkt is, zal de invloed van residuale atmosferische effecten beperkt zijn. De ruis in de tijdserie is daarom de optelsom van versturende reflecties in de directe omgeving van het reflectiepunt, en de standaardafwijking per punt is daarom in ieder geval beter dan 2 mm per epoche. Figuur 3.43 laat dezelfde relatieve beweging zien tussen 'De Veldschuur' en het IGRS in Rouveen.



Figuur 3.42. Relatieve verticale beweging van het IGRS ten opzichte van een gebouw van het Innovatiecentrum in Zegveld (Sentinel-1, klimmende baan 088). De zwarte lijn geeft de relatieve beweging. Het ruisniveau in deze tijdreeks is de optelsom van verstoringen in de reflectie op beide locaties. De grijze lijnen geven de eventuele alternatieve oplossingen weer met een volle fasecyclus meer of minder.



Figuur 3.43. Relatieve verticale beweging van het IGRS ten opzichte van het gebouw 'De Veldschuur' in Rouveen (Sentinel-1, dalende baan 037). De zwarte lijn geeft de relatieve beweging. Het ruisniveau in deze tijdreeks is de optelsom van verstoringen in de reflectie op beide locaties. De grijze lijnen geven de eventuele alternatieve oplossingen weer met een volle fasecyclus meer of minder.

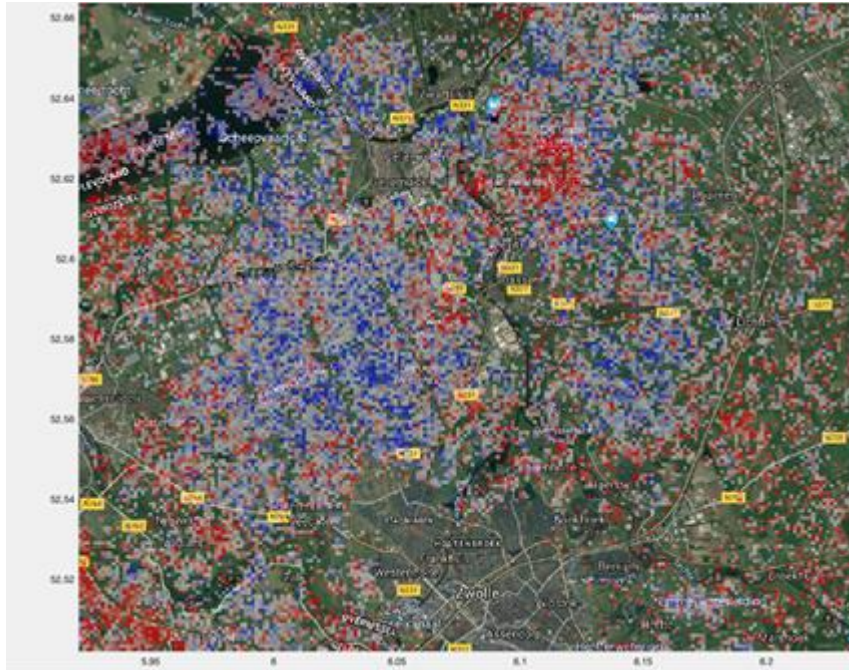
In de toekomst zullen de fasemetingen van de IGRS worden gebruikt ter referentie van de analyse van weilanden en akkers.

3.7.5 Analyse weilanden en akkers

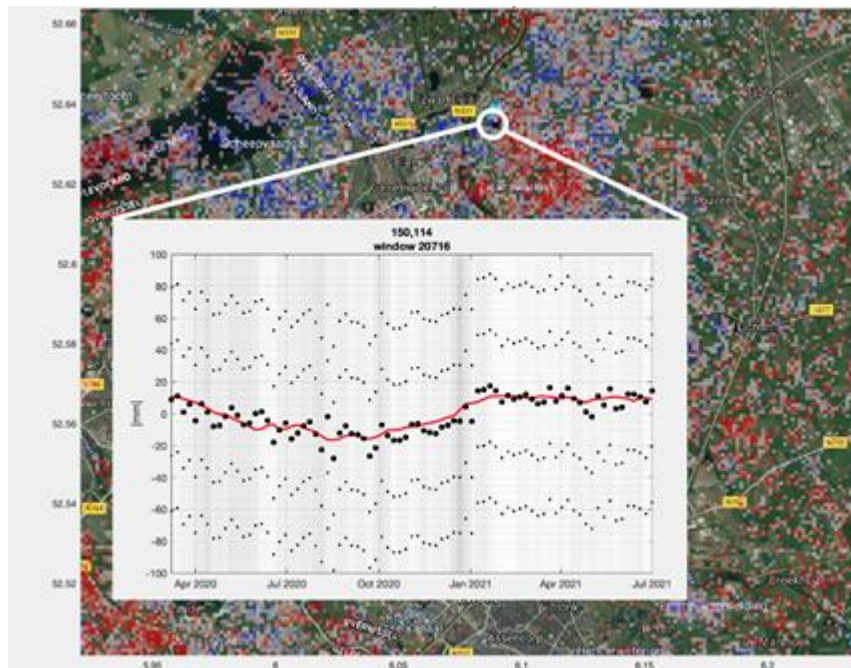
De groei van gras, en de zaai/groei/oogst/ploeg cyclus op akkers, zorgen voor een verstoring van de radarreflecties (Morishita and Hanssen, 2015a, 2015b). Door meerdere resolutiecellen in de radar interferogrammen te combineren, kan de ruis enigszins onderdrukt worden, en kan getracht worden alsnog een bewegingstijdreeks te schatten. Bijkomend probleem hierbij is de snelle en significante verandering in beweging als gevolg van vernatting (na regenval) en opdroging van de grond. Vooral bij regenval kan de grond relatief snel omhoogkomen in vergelijking met de herhalingsperiode en radar golflengte van de metingen (zes dagen voor Sentinel-1 over Nederland met een golflengte van 5.6 cm). Een voorbeeld van gebieden waarvoor een schatting kan worden verkregen voor het gebied rondom Rouveen is weergegeven in Figuur 3.44. Op dit moment is de kleurenschaal nog niet kwantitatief interpreteerbaar. In Figuur 3.45 is een voorbeeld weergegeven van een geschatte tijdserie, waarbij gebruik is gemaakt 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 van overgangen tussen verschillende percelen en andere oppervlakken. De vervolgstap zal daarom zijn om de analyse te baseren op perceelgrenzen. Een voorbeeld voor Rouveen en omgeving is weergegeven in Figuur 3.46. Daarnaast zullen onze modellen (nu

bestaande uit regen- en verdampingsdata) uitbreiden met andere contextuele informatie, zoals bodemopbouw en grondwatermodellen.



Figuur 3.44. Illustratie van gebieden waarvoor een schatting kan worden gemaakt van de maaiveldbeweging voor het gebied rondom de NOBV-locatie Rouveen. De kleurschaal is op dit moment nog niet kwantitatief interpreteerbaar, maar de ruimtelijke correlatie van de kleuren suggereert een locatieafhankelijk verband. De coördinaten zijn weergegeven in lengte- en breedtegraden (WGS84).



Figuur 3.45. Voorbeeld van een geschatte oplossing voor een bewegingstijdreeks gebruikmakend van een regen- en verdampingsmodel (rode lijn). In december 2020 is een natte periode zichtbaar; dit zorgt voor een snelle stijging van het maaiveld zorgt. De coördinaten zijn weergegeven in lengte- en breedtegraden (WGS84).



Figuur 3.46. Perceelgrenzen voor een gebied rondom Rouveen. In de vervolgstappen zullen deze perceelgrenzen gebruikt worden in de InSAR analyse, om zo tot een homogenere selectie van radarreflecties te komen voor het schatten van maaiveldbeweging.

3.7.6 Conclusies

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, zelf over tijdsintervallen van minder dan een week. 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.

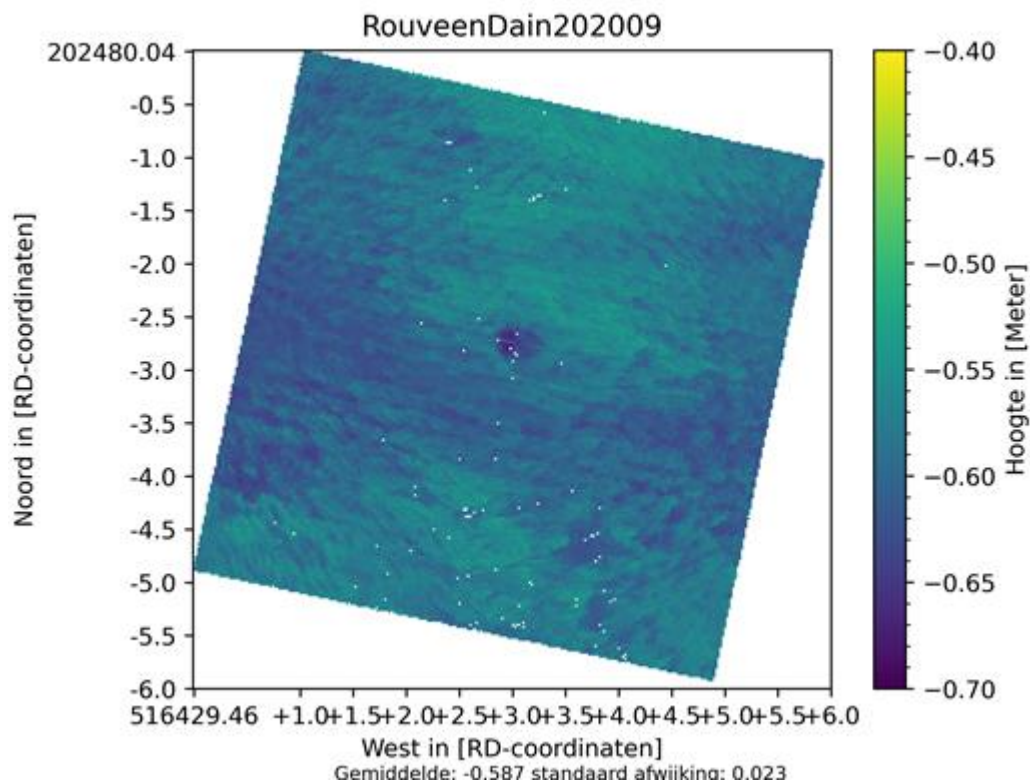
3.7.7 Referenties InSAR

- Blewitt, G., W. C. Hammond, and C. Kreemer (2018), Harnessing the GPS data explosion for interdisciplinary science, *Eos*, 99, <https://doi.org/10.1029/2018EO104623>.
- Hanssen, R.F. (2018). A radar retroreflector device and a method of preparing a radar retroreflector device," U.S. Patent 2018236215, Dec. 27, 2018.
- Kamphuis, J. (2019). Co-location of geodetic reference points: On the design and performance of an Integrated Geodetic Reference Station, MSc thesis, Delft University of Technology.
- Morishita, Y., and Hanssen, R. F. (2015a). Deformation parameter estimation in low coherence areas using a multi-satellite InSAR approach. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(8), 4275-4283.
- Morishita, Y., and Hanssen, R. F. (2015b). Temporal decorrelation in L-, C-, and X-band satellite radar interferometry for pasture on drained peat soils. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(2), 1096-1104.
- Van der Marel, H. (2020), Comparison of GNSS Processing Methodologies for Subsidence Monitoring: NAM GNSS Alternative Processing Method Project, 81 p.

3.8 Laser-aan-statief metingen

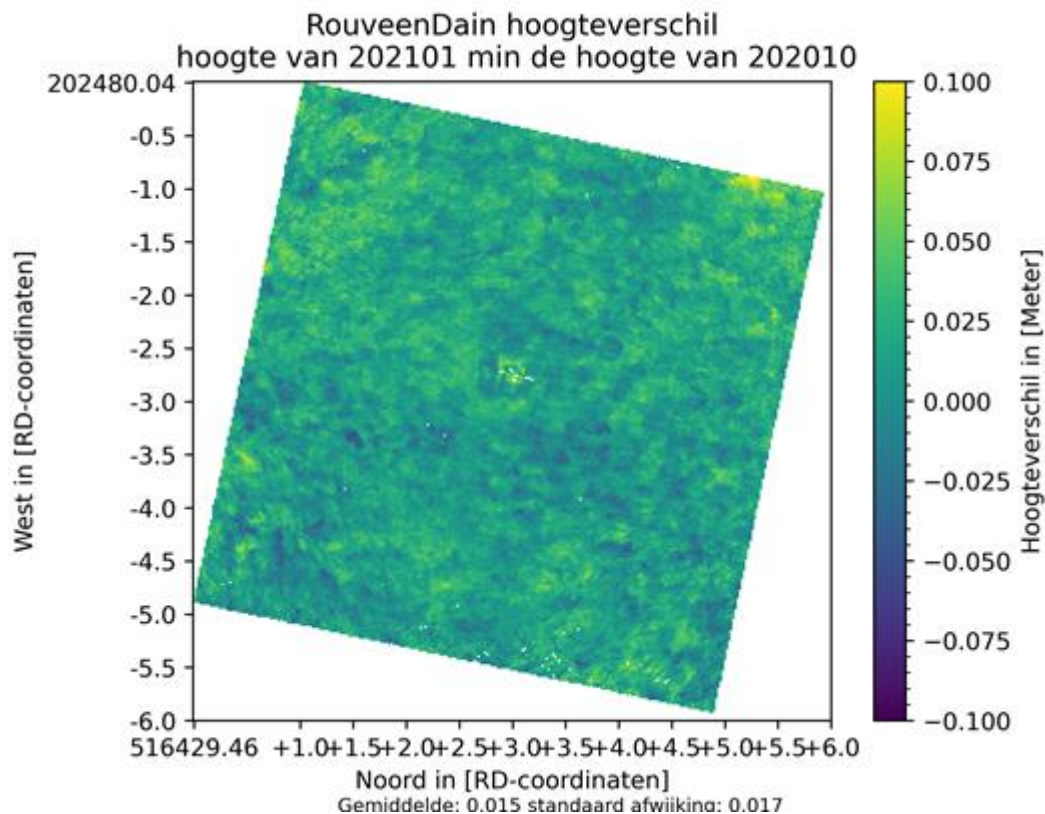
Auteur: Sanneke van Asselen (Deltares)

In Zegveld en Rouveen is er in mei 2020, september 2020, oktober 2020, januari 2021 en april 2021 gemeten met laser aan statief (methode beschreven in NOBV jaarrapportage meetjaar 1). In deze rapportage wordt een aantal resultaten van deze metingen getoond voor Rouveen. Er worden resultaten getoond voor het voorafgaand aan de meting gemaaide oppervlak van 5 x 5 meter. In Figuur 3.47 is een voorbeeld van een hoogtemodel getoond, gemaakt op basis van de laser aan statiefmeting, voor het maatregelperceel in Rouveen.

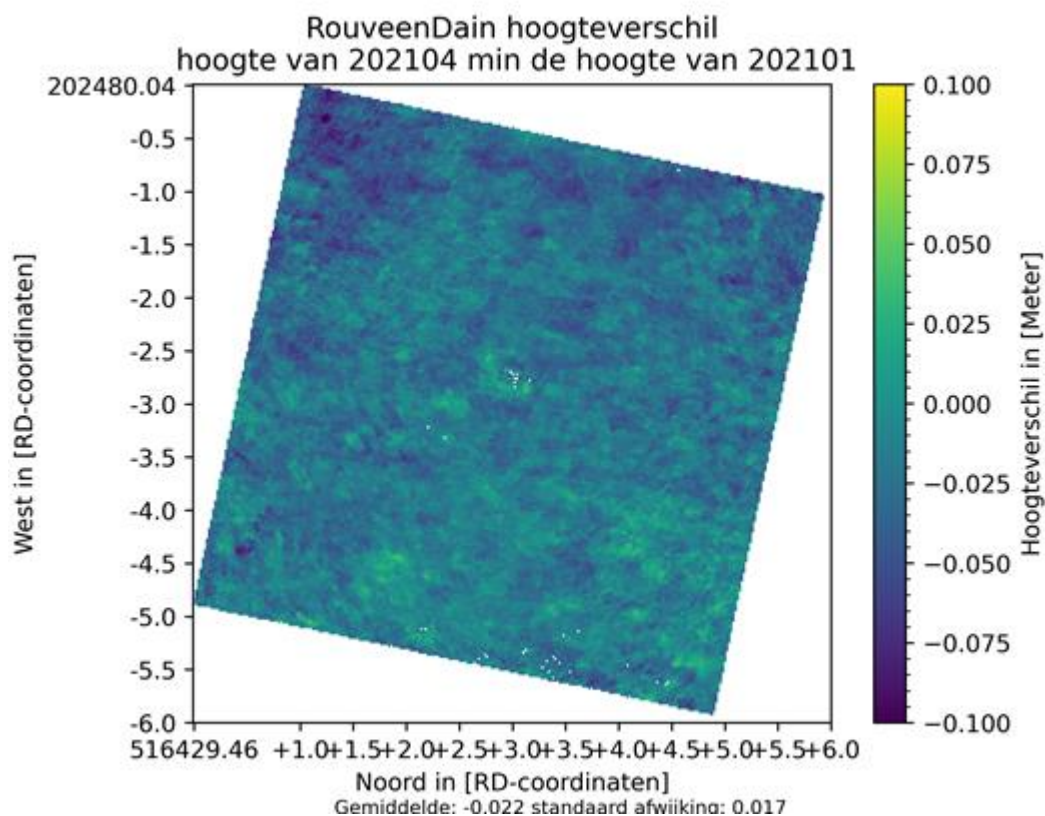


Figuur 3.47. Hoogtemodel (m NAP) op basis van een laser aan statief meting in september 2020 in het maatregelperceel in Rouveen.

Door de hoogtemodelkaarten voor verschillende meetmomenten van elkaar af te trekken kunnen hoogteveranderingskaarten worden gemaakt. Het maaiveldniveau in het maatregelperceel in Rouveen is gemiddeld genomen gestegen tussen oktober 2020 en januari 2021: 0.015 m stijging met een standaardafwijking van 0.017 (Figuur 3.48). Wel is een ruimtelijke variatie te zien waarbij er ook delen zijn die in lichte mate zijn gedaald. Tussen januari 2021 en april 2021 is het maaiveld gemiddeld genomen gedaald met 0.022 m met een standaardafwijking van 0.017 (Figuur 3.49). Ook hier is een ruimtelijke variatie te zien. De waargenomen dynamiek in het referentieperceel is vergelijkbaar als die in het maatregelperceel, en beide zijn vergelijkbaar met de dynamiek gemeten met de extensometer en waterpassen.



Figuur 3.48. Hoogteverandering in het maatregelenperceel in Rouveen van oktober 2020 naar januari 2021, op basis van laser aan statiefmeting.



Figuur 3.49. Hoogteverandering in het maatregelenperceel in Rouveen van januari 2021 naar april 2021, op basis van laser aan statiefmeting.

3.9 Inzichten op basis van extensometermetingen

Auteur: Sanneke van Asselen (Deltares)

Op basis van de extensometer meetreeksen van ruim een jaar van de 13 extensometers op de NOBV meetlocaties zijn tot nog toe de volgende bevindingen gedaan:

- Op alle meetlocaties met extensometers is er voor de periode 1 juli 2020 - 1 juli 2021 een verschil in dynamiek waargenomen tussen het referentie- en maatregelperceel, met een grotere dynamiek in het referentieperceel;
- Over de periode juli 2020 tot juli 2021 is er geen netto daling opgetreden, in een aantal gevallen ligt het maaiveld in de zomer van 2021 zelfs iets hoger dan in de zomer van 2020 (wat mogelijk te wijten is aan de relatief natte zomer van 2021);
- Deformatie van de verzadigde veenlaag (gerelateerd aan processen die leiden tot veranderingen in hydrostatische druk in deze laag) draagt op de meeste meetlocaties relatief veel bij aan de totale maaiveldbeweging. Maatregelen gericht op het verminderen van bodembeweging/-daling zouden op locaties waar dit aan de orde is, gericht moeten zijn op het beïnvloeden van deze processen.
- De dynamiek van de beweging van de ondergrondse ankerniveaus, representatief voor de betreffende bodemlagen, is sterk gerelateerd aan de grondwaterstandsdynamiek. Dit geldt in minder mate voor de bovenste bodemlaag (meestal 0 – 40 cm-mv); deze laag laat een andere, vlakke deformatiedynamiek zien. Dit wijst erop dat er in deze bovenlaag andere processen dominant zijn in het bepalen van de deformatiedynamiek dan in de diepere bodemlagen.

3.10 Hydrologie veenweideperceel

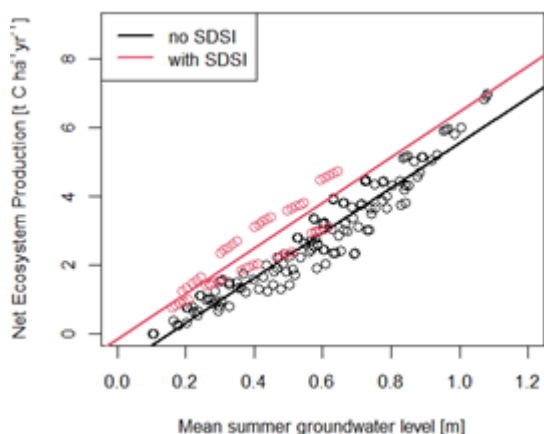
Auteurs: Jim Boonman (VU), Ype van der Velde (VU)

De VU is op dit moment bezig met de afronding van een (Hydrus) modelstudie met als doel om de effectiviteit van slootwaterpeilopzet en onderwater-/drukdrainage te berekenen in verschillende situaties ([Boonman et al., in review](#)). In dit stuk lichten we kort de bevindingen van deze modelstudie toe, voor details verwijzen we naar [het artikel](#). Tot nu toe is gebleken dat (1) slootwaterstandverhoging altijd leidt tot een reductie in veenafbraak, (2) onderwaterdrainage vooral effectief is bij droogte en/of wegzijging maar juist vaak een *toename* in veenafbraak veroorzaakt in een nat jaar en/of bij kwelcondities en (3) dat het toepassen van drukdrainage of onderwaterdrainage met peilopzet leidt tot een (veel) beter resultaat dan met alleen onderwaterdrainage bereikt wordt. Zonder kwel of wegzijging verwachten we dat het effect van onderwaterdrainage voornamelijk bepaald wordt door het voorkomen van droge jaren.

Verschuivende effecten van onderwaterdrainage op bodemvocht- en -temperatuurcondities bepalen uiteindelijk de reductie van veenafbraak bij het toepassen van onderwaterdrainage. Gedurende de zomer spelen de volgende processen een belangrijke rol bij onderwaterdrainage: (1) drainage in natte warme tijden waardoor veenafbraak toeneemt, (2) het opwarmen van de bodem waardoor veenafbraak toeneemt, (3) vernatting in droge tijden waardoor de diepte van veenafbraak afneemt maar waardoor (4) de intensiteit van veenafbraak in de bovenste bodemlagen kan toenemen -dit wordt veroorzaakt doordat onderwaterdrainage voor een onverzadigde zone kan zorgen waarin de bodemvochtcondities dicht bij het relatief warme maaiveld voor een lange tijd optimaal blijven voor veenrespiratie. Over het algemeen domineren het eerste en derde proces, los van meteorologische omstandigheden.

Uit het onderzoek is gebleken dat jaarlijks gemiddelde zomergrondwaterstanden (van mei tot september) een indicatie kunnen geven van de te verwachten jaarlijkse veenrespiratie. Deze gemiddelde zomergrondwaterstand lijkt beter bruikbaar dan de gemiddelde grondwaterstand over het hele jaar. Er wordt een duidelijk verschil gevonden tussen deze zomergrondwaterstandrelatie voor veenweidepercelen met en zonder onderwaterdrainage, zoals zichtbaar in Figuur 3.50. Dit

betekent dus ook dat bestaande relaties waarbij gemiddelde grondwaterstanden worden gelinkt aan uitstoot- of bodemdalingsverwachtingen de uitstoot van onderwater- of drukdrainagepercelen onderschatten. Eenzelfde gemiddelde zomergrondwaterstand zorgt met onderwaterdrainage gemiddeld ongeveer voor 1 ton C ha⁻¹ jr⁻¹ extra aan uitstoot, waardoor er bij een gemiddelde zomer grondwaterstand van 0.6 m –mv de uitstoot met 25% onderschat wordt (dit wordt veroorzaakt door effecten 2 en 4 in de vorige alinea). Bestaande relaties zouden hiervoor gecorrigeerd moeten worden. Het lijkt dat deze ‘extra’ uitstoot bij onderwaterdrainage wordt veroorzaakt door hogere bodemtemperaturen (dit wordt deels bevestigd met de veldmetingen van Assendelft en Vlist) en de toenemende intensiteit van veenafbraak in de onverzadigde zone dicht bij het maaiveld (effect 4 in de vorige alinea).



Figuur 3.50. De gemodelleerde gemiddelde zomergrondwaterstand uitgezet tegen de verwachte CO₂ uitstoot (Net Ecosystem Production, NEP) voor percelen met en zonder onderwaterdrainage (= SDSI in legenda).

3.11 Bodemvochtmetingen

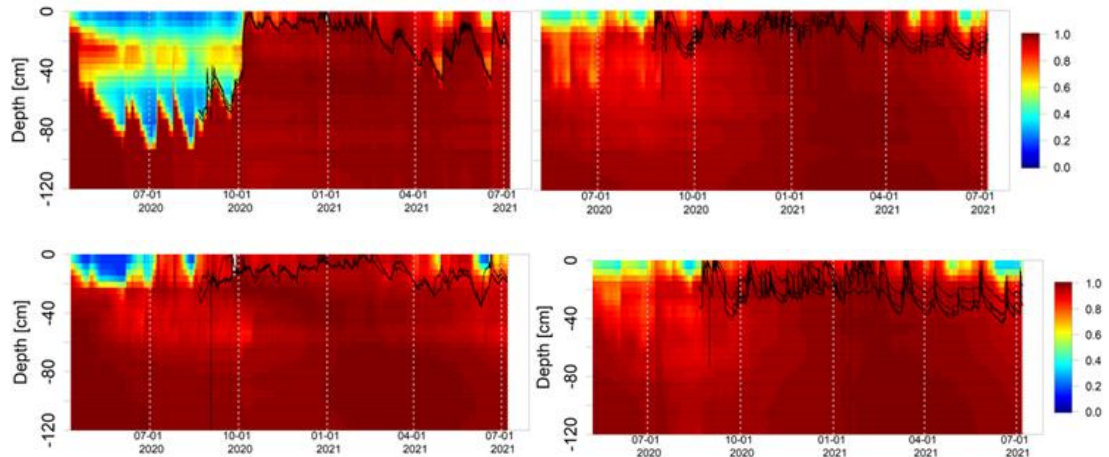
Auteur: Jim Boonman (VU)

Bodemvochtcondities zijn bepalend voor de snelheid van veenafbraak in de onverzadigde bodemzone. Daarom wordt het bodemvocht gemeten op verschillende diepten op alle NOBV locaties. Zoals besproken in de operationele jaarrapportage van NOBV meetjaar 2 gebruiken we op dit moment de Sentek sensoren om de bodemvochtcondities in de onderzoekplots te monitoren. De relatieve sensorwaarden geven een algemeen beeld van de vochtomstandigheden in de bodem daar het nog niet mogelijk is om de metingen uit te drukken in percentages bodemvocht omdat de benodigde kalibratiecurven nog ontwikkeld moeten worden.

Op alle locaties wordt duidelijk dat onderwaterdrainage in de droge warme zomer van 2020 zorgt voor hogere bodemvochtcondities en daardoor een minder diepe onverzadigde zone, behalve bij Rouveen (Figuur 3.51). In Rouveen lijken de bodemvochtcondities redelijk gelijk, maar zien we wel dat de grondwaterstand lager lijkt te liggen in het maatregelperceel dan in het referentieperceel. Onderwaterdrainage lijkt hier dus niet effectief wat waarschijnlijk te maken heeft met de sterke kwelcondities in Rouveen. In het bovenste deel van de onverzadigde zone lijken bodemvochtcondities in natte perioden juist lager te zijn wanneer maatregelen tegen veenafbraak zijn toegepast (bijvoorbeeld bij de verdroging in juni 2021), doordat de vernattingsmaatregelen (drukdrainage en onderwaterdrainage) dan drainerend werken. Hoe vaak dit zich voordoet in een natter jaar zal duidelijk worden bij verdere analyse van meetjaar 2021.

Het is echter niet vanzelfsprekend dat een hogere bodemvochtwaarde op een bepaalde plek in de bodem altijd leidt tot minder veenafbraak, omdat er een veenafbraak optimum lijkt te bestaan rond 70% porieverzadiging (Saurich et al., 2019). Een absolute bepaling van bodemvochtcondities

blijft noodzakelijk om uitspraken te doen in hoeverre bodemvochtcondities op welk moment en op welke diepte optimaal zijn voor veenafbraak. Zaak blijft dat de diepte van de onverzadigde zone, waar aerobe veenafbraak zich concentreert, bij droogte wordt gereduceerd dankzij het toepassen van onderwater- of drukdrainage.



Figuur 3.51. Relatieve Sentek bodemvochtmetingen over tijd (x-as) en diepte (y-as) van Assendelft (links) en Rouveen (rechts) op het referentie perceel (boven) en maatregel perceel (onder). De zwarte lijnen zijn de gemeten grondwaterstanden

Referenties

Boonman, J., Hefting, M. M., van Huissteden, C. J. A., van den Berg, M., van Huissteden, J., Erkens, G., Melman, R., and van der Velde, Y.: Cutting peatland CO₂ emissions with rewetting measures, <https://doi.org/10.5194/bg-2021-276>, 2021.

Säurich, A., Tiemeyer, B., Dettmann, U., and Don, A.: How do sand addition, soil moisture and nutrient status influence greenhouse gas fluxes from drained organic soils?, *Soil Biol. Biochem.*, 135, 71–84, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.04.013>, 2019.

3.12 Redox- en zuurstofmetingen

Auteur: Jim Boonman (VU)

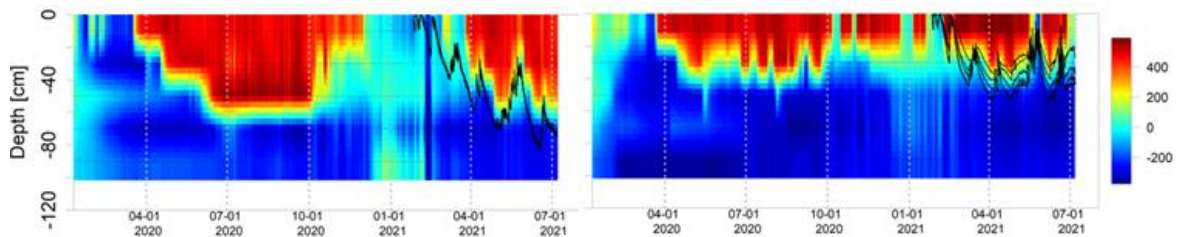
Redox (**re**ductie –**ox**idatie) reacties zijn verantwoordelijk voor de afbraak van het veen –ook wel veenoxidatie. Bij dit verbrandingsproces dienen twee stoffen aanwezig te zijn: een oxidator, zoals zuurstof of nitraat, en een reductor, zoals organisch materiaal. Tijdens een redoxreactie vindt er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

Reductoren en oxidatoren verschillen per soort in redoxpotentiaal (kracht). Een hoger verschil in redoxpotentiaal tussen twee stoffen betekent dat er meer energie beschikbaar is om de redoxreactie te laten verlopen. Het is voor microben makkelijker en energie-efficiënter om organisch materiaal af te breken wanneer er oxidatoren beschikbaar zijn met een hoog redoxpotentiaal. Daarom gaat veenafbraak meestal sneller als zuurstof beschikbaar is (hoog redoxpotentiaal) en langzamer met sulfaat (laag redoxpotentiaal). Het redoxpotentiaal in de bodem zou daarom een indicatie kunnen geven van de dominante processen die veenafbraak veroorzaken over diepte en tijd.

Omdat de bodem een heterogene mix is van verschillende chemische stoffen en organismen die invloed uitoefenen op het redoxpotentiaal is het niet gemakkelijk de metingen te interpreteren. Daarnaast geven wetenschappelijke bronnen geen eenduidige indicatiewaarden voor de aanwezigheid van oxidatoren, omdat deze veelal afhangen van de meettechnieken en het

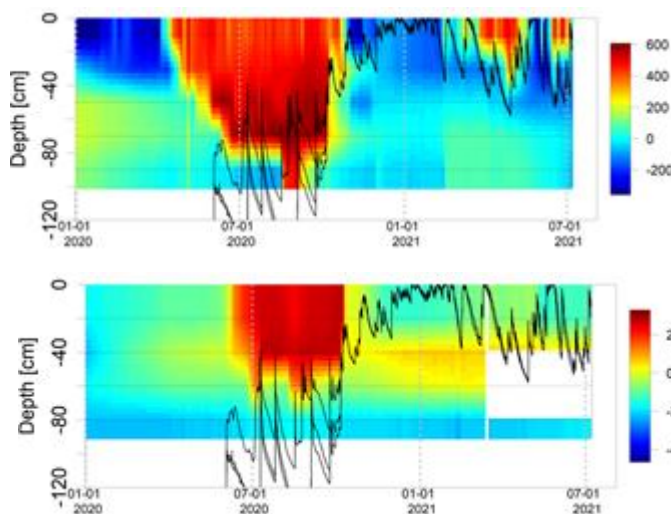
meetmilieu. Met de informatie die nu beschikbaar is, denken we dat een redoxpotentiaal boven de 500-600mV de aanwezigheid van zuurstof bevestigt. In anaerobe condities zijn de indicatiewaarden voor nitraat, ijzer en sulfaat respectievelijk 400-500mV, 100mV en -100mV.

De redoxmetingen van afgelopen jaar laten op alle meetlocaties grote correlaties zien met de grondwaterstanden (Figuur 3.52), waarbij een zakkende grondwaterstand zorgt voor een hoger redoxpotentiaal. Ook zien we op dit moment dat hoge redoxpotentialen diep in de bodem (> 50 cm) op de referentiepercelen vaker voorkomen dan op de maatregelpercelen, zoals te zien is in Figuur 3.52. Dit kan betekenen dat op deze diepten veenafbraak wordt geremd door de nattere omstandigheden veroorzaakt door de maatregelen.



Figuur 3.52. De redoxcondities [mv] over diepte (y-as) en tijd (x-as) op het referentieperceel (links) en maatregelperceel (rechts) in Zegveld. De zwarte lijnen zijn de grondwaterstanden die gemeten zijn op de betreffende plots.

In Figuur 3.53 is een duidelijke correlatie te zien tussen redox- en zuurstofmetingen in de bodem. De diepte van zuurstofindringing lijkt in de meeste gevallen echter beperkter dan de redoxmetingen doen vermoeden. Komende tijd wordt de samenhang van redoxmetingen, zuurstofmetingen en de chemische poriewaterkarakteristieken bepaald, zodat er met meer zekerheid uitspraken gedaan kunnen worden over de betekenis van de redoxmetingen.



Figuur 3.53. De redoxcondities [mv] (boven) en zuurstofcondities (onder) over diepte (y-as) en tijd (x-as) op het referentieperceel in Aldeboarn. De zwarte lijnen zijn de grondwaterstanden die hier gemeten zijn.

3.13 Tensiometermetingen

Auteur: Daniël van de Craats

Methode

Met iedere tensiometer wordt iedere twee minuten druk (in kPa) en temperatuur (in °C) gemeten. Iedere dertig minuten wordt de dan geldende waarde, alsook de standaardafwijking op basis van de verschillende metingen in het voorgaande half uur geregistreerd. Bij goed functionerende metingen blijkt de standaardafwijking zeer minimaal te zijn, waardoor grote standaardafwijkingen een indicatie geven van problemen met de metingen.

De gemeten drukwaarden (p_{tensio}) bedragen de som van de luchtdruk (p_{atmos}) en het matrixpotentieel (p_{matric}) in de bodem. Deze laatste is relevant voor het gewas; dit bepaald (in grote mate) de kracht die een plant moet uitoefenen om water op te kunnen nemen uit de bodem, en is dus een relevante parameter voor gewasontwikkeling. Om de gemeten druk om te rekenen naar zuigspanning (doorgaans gegeven in cm), wordt gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$h = (p_{tensio} - p_{atmos}) * 10.197 \text{ [cm]}$$

Een negatieve zuigspanning geeft onverzadigde situaties weer, een positieve zuigspanning geeft verzadigde condities weer. De gebruikte tensiometers kunnen zowel positieve als negatieve drukken meten, waarbij de maximale meetbare negatieve zuigspanning -850 cm bedraagt. Dit komt overeen met een pF waarde van $\log_{10}(850)=2.9$. Bij lagere spanningen slaat de tensiometer door, doordat het water uit de tensiometer cup wordt gezogen.

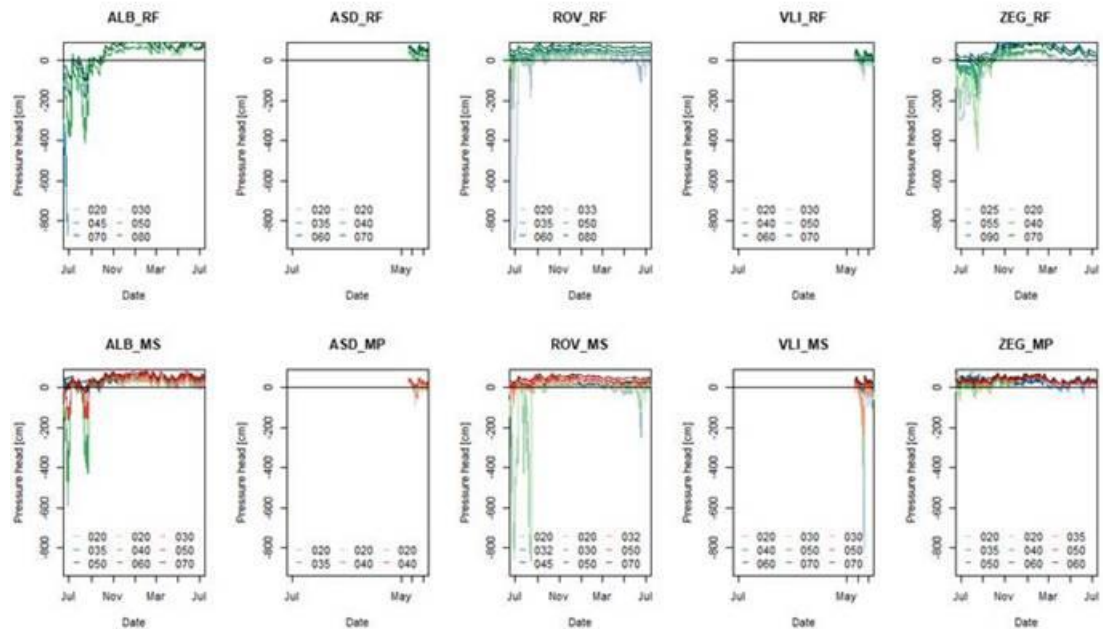
Zuigspanning kan worden omgerekend naar vochtgehalte middels de retentiecures of pF curves. Deze zijn bepaald voor de verschillende sites (zie hoofdstuk 3.15). Een positieve druk kan daarnaast ook gebruikt worden als indicatie voor de grondwaterstand, hoewel deze minder precies is dan een grondwaterstandsbuis. Wanneer de plaatsingsdiepte van de tensiometer bekend is, kan de grondwaterstandsdiepte onder maaiveld berekend worden als $H = h - z$, waarbij z de plaatsingsdiepte (als positief getal) is.

Metingen

Algemeen

Figuur 3.54 geeft een overzicht van de gemeten zuigspanningen (in cm) over het afgelopen meetjaar. Het grootste deel van de tijd zijn de meeste tensiometers verzadigd, er wordt een positieve druk gemeten. Er doen zich slechts enkele situaties voor waarbij er een sterkere uitdroging plaatsvindt, en dan natuurlijk met name in de toplaag. Dit was in de zomer van 2020 op iedere site waar toen tensiometers geïnstalleerd waren (Aldeboarn, Rouveen en Zegveld). In de zomer van 2021 (tot juli) heeft zo'n situatie zich alleen in Rouveen en Vlist voorgedaan. Op de andere drie sites is geen sprake geweest van een sterkere uitdroging van de toplaag, als gevolg van de relatief grote hoeveelheden neerslag.

Opvallend is dat de uitdroging van de toplaag na de winterperiode over het algemeen eerder begint in de gedraineerde percelen. Door iets lagere grondwaterstanden als gevolg van drainage gedurende de winter treedt eerder verdroging van de toplaag op. Hierbij kan ook meespelen dat gewasgroei eerder begint waardoor de verdamping verder toeneemt, mogelijk ook geholpen door een gemakkelijkere opwarming van de bodem onder iets drogere condities.



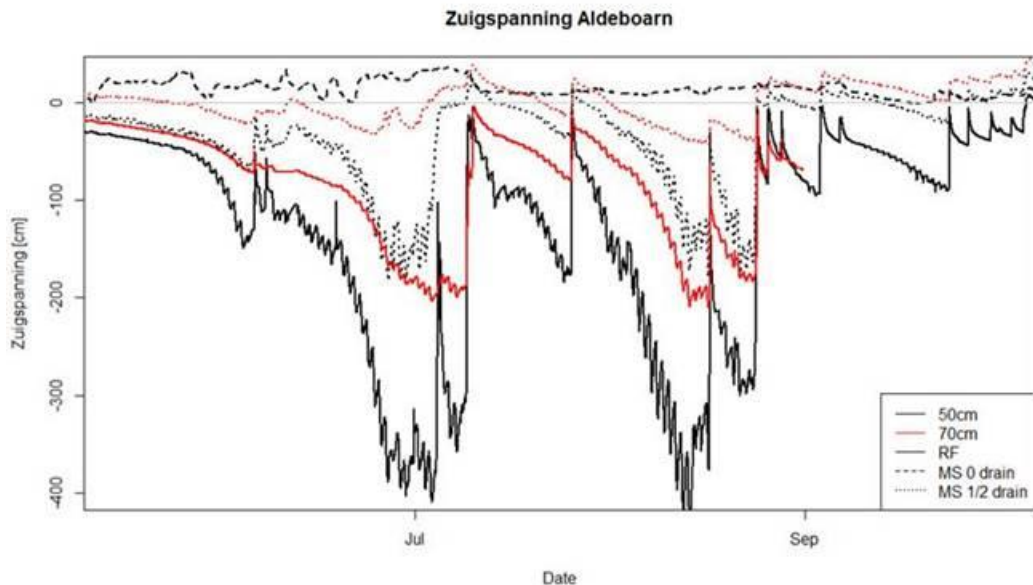
Figuur 3.54. Overzicht van de gemeten drukhoogten of zuigspanningen voor de verschillende sites. Negatieve waarden geven onverzadigde condities weer, positieve waarden geven verzadigde condities. Gedurende het jaar is een aantal sensoren uitgevallen. Metingen in Assendelft en Vlist zijn begin mei 2021 opgestart, de overige sites liepen vanaf het begin van het meetjaar.

Voorbeeld Aldeboarn

Door de bijzonder natte condities in Friesland gedurende het jaar 2021, in combinatie met uitval en doorschieten van sensoren, is er weinig interessante informatie beschikbaar over het jaar 2021. Het jaar 2020 biedt echter wel veel informatie.

Figuur 3.55 geeft een overzicht van de gemeten zuigspanningen op relatief grote dieptes, van 15 mei 2020 (net na installatie) tot 1 oktober 2020. Het referentieperceel is duidelijk droger dan het maatregelperceel, met meer negatieve zuigspanningen gemeten op vergelijkbare dieptes. De ondiepere tensiometers zijn in niet weergegeven, aangezien deze in het referentieperceel al in mei zijn uitgedroogd. In het maatregelperceel zijn de sensoren op 20 cm diepte niet uitgedroogd, wat wijst op een duidelijk voordeel van oppervlaktewaterinfiltratie in dit gebied voor de vochtvoorziening.

Er is een zeer duidelijk verschil waarneembaar in gemeten zuigspanningen dicht bij de drain en midden tussen de drain. Bij de drain is de tensiometer op 50 cm-mv continu verzadigd, terwijl dit midden tussen de drains duidelijk niet het geval is, met waarden tot -200 cm (met een 'water filled pore space (WFPS)' van 0.83). Dit is echter nog altijd duidelijk natter dan in het referentieperceel op dezelfde diepte, met waarden tot -400 cm (WFPS 0.74). Zelfs op een diepte van 70 cm is de bodem gedurende deze zomer niet verzadigd, met zuigspanningen tot -200 (WFPS 0.82) in het referentieperceel, en -40 (WFPS 0.93) midden tussen de drains in het maatregelperceel. Het duurt tot in oktober voordat de grondwaterstand in het referentieperceel weer structureel boven de 50 cm-mv ligt, en pas in december komt de grondwaterstand in het referentieperceel duidelijk hoger dan in het maatregelperceel. In het maatregelperceel is te zien dat de grondwaterstand vanaf halverwege september hoger ligt midden tussen de drains dan boven de drains, wat erop wijst dat de drains vanaf dat moment weer een drainerende werking krijgen.



Figuur 3.55. Zuigspanningen gemeten in Aldeboarn op 50 en 70 cm diepte tussen 15 mei en 1 oktober 2020.

3.14 Bodemprofielen nieuwe meetlocaties

Auteur: Gert Stoffelsen (WEnR)

Bodemkundige boringen zijn uitgevoerd in Zegveld Hoogwater, Lange Weide en Ankeveen.

Zegveld Hoogwater

Bodemkundig bestaat het gehele perceel 31 uit veengronden. Alle profielen rond deze meetplot hebben een kleiige moerige (venige) eerdlaag. In de bodemclassificatie spreken we dan van koopveengronden (stpc_sub=1d). De veraarde bovengrond varieert in dikte van 25 tot 35 cm, het organische stofgehalte hierin varieert van 30 tot 38%. Plaatselijk kunnen we spreken van een min of meer duidelijk toemaakdekje. Het betreft de boringen 4, 6, 9 en 13 (zie Figuur 3.56). Deze zgn. toemaak is een mengsel van koemest, slootbagger en wat zand, met soms wat resten aardewerk en baksteen.

Onder de eerdlaag treffen we een verweerde veenlaag, met weinig herkenbare plantenresten, aan tot ca. 45 à 60 cm –mv. Vanaf deze diepte begint doorgaans het eutrofe broekveen (duidelijk herkenbare plantenresten), dikwijls overgaand, op 50 tot 70 cm diepte, in gereduceerd bosveen, soms slibrijk, met weinig tot zeer veel houtresten.



Figuur 3.56. Ligging en nummering van de grondboringen, Zegveld Hoogwater.

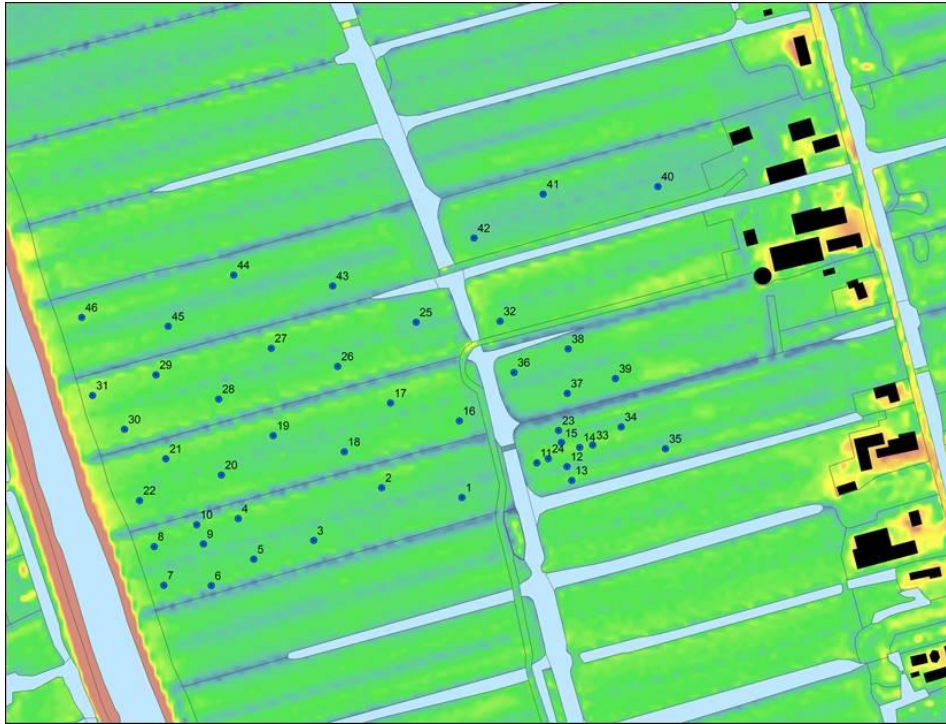
Lange Weide

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). De veraarde bovengrond varieert in dikte van 15 tot 35 cm, het organische stofgehalte hierin varieert van 24 tot 30%.

Naast koopveengronden bestaat ongeveer twee derde van de profielen uit weideveengronden (stpc_sub=1r). Deze gronden hebben, in tegenstelling tot de koopveengronden, een humusrijke kleibovengrond waarin een 'minerale eerdlaag' is ontwikkeld, een derde van deze gronden heeft echter een kleiige moerige (venige) eerdlaag van 15 tot 25 cm dikte, met daaronder een humusrijke klei-tussenlaag. De dikte hiervan varieert van 15 tot 30 cm, het organische stofgehalte van 16 tot 22% en het lutumgehalte van 40 tot 45%. We treffen de weideveengronden verspreid aan, maar ook vooral binnen de directe invloedssfeer van de sloten, vanwege mogelijke kleiaanrijking via slootbagger. Overigens verschillen de koopveen- en weideveengronden binnen deze percelen minimaal, het omslagpunt ligt rond de 25% organische stof bij een lutumgehalte van rond de 45%.

Het sporadisch aangetroffen toemaakdekje is ca. 15 cm dik. Het betreft de boringen 6, 7, 11 en 30 (Figuur 3.57). Deze zgn. toemaak is een mengsel van koemest, slootbagger en wat zand, met soms wat resten aardewerk en baksteen.

Onder de eerdlaag treffen we een verweerde veenlaag aan, met weinig herkenbare plantenresten tot ca. 55 à 70 cm –mv. Vanaf deze diepte begint het eutrofe broekveen (duidelijk herkenbare plantenresten) met weinig tot zeer veel houtresten, deze loopt door tot minimaal 200 cm diepte, of gaat op 120 tot 180 cm –mv. over op gereduceerd bosveen, soms slibrijk, met eveneens weinig tot zeer veel houtresten.



Figuur 3.57. Ligging en nummering van de grondboringen, Lange Weide

Ankeveen

Bodemkundig bestaan nagenoeg alle onderzoeksvelden uit veengronden. Vooral in veld 1 (Figuur 3.59) hebben de profielen een moerige (venige) eerdlag. In de bodemclassificatie spreken we dan van madeveengronden (stpc_sub=1h), deze behoren tot de eerdveengronden. De veraarde bovengrond varieert in dikte van 20 tot 25 cm, het organische stofgehalte hierin varieert van 25 tot 40%. De zandondergrond met een sterk ontwikkelde humuspodzol (Bhe-horizont) bevindt zich op 60 tot 80 cm beneden maaiveld. Op het maaiveld bevond zich een waterkolom van 15 tot 20 cm.

Het overgrote deel van de overige profielen bestaat uit vlierveengronden (stpc_sub=1v). Deze gronden hebben, in tegenstelling tot de madeveengronden, een venige bovengrond die over minder dan 15 cm veraard is en tot de rauwveengronden wordt gerekend. Het organische stofgehalte van de bovengrond varieert van 20 tot 50%. De zandondergrond met een sterk ontwikkelde humuspodzol bevindt zich op 50 tot 130 cm beneden maaiveld. Ook op veld 3 bevond zich een waterkolom van 15 tot 20 cm boven het maaiveld.

Op de velden 5 en 6 treffen we veengronden aan met een zandige bovengrond. In de bodemclassificatie spreken we dan van meerveengronden (stpc_sub=1t), deze behoren ook tot de rauwveengronden. Het organische stofgehalte van de bovengrond varieert van 10 tot 15%. De zandondergrond met een sterk ontwikkelde humuspodzol bevindt zich op 80 tot 130 cm beneden maaiveld.

Er is een duidelijke tendens in veendikte binnen de (proef)velden van ca. 130 cm in het westen tot ca. 50 cm in het oosten. In zijn algemeenheid bestaat de veenlaag onder de bovengrond uit verweerd veen, verslagen veen, zeggeveen en rietzeggeveen.

Omdat er mogelijk in de toekomst nog een uitbreiding van de proefvelden in oostelijke richting zal plaatsvinden zijn ook hier nog een viertal boringen verricht. Boring 19 betreft evenals boring 8 (in veld 2, zie ook Figuur 3.58) een moerpodzolgrond (stpc_sub=2n), hierbij is de venige bovengrond slechts 20 tot 35 cm dik, dus spreken we niet meer van een veengrond. Boring 20 betreft een veldpodzolgrond met een kleiige bovengrond als 'toemaakdek' (stpc_sub=2o), boring 21 is een veldpodzolgrond (stpc_sub=2r). Dit profiel heeft een toemaakdek met daar onder een laag van 20

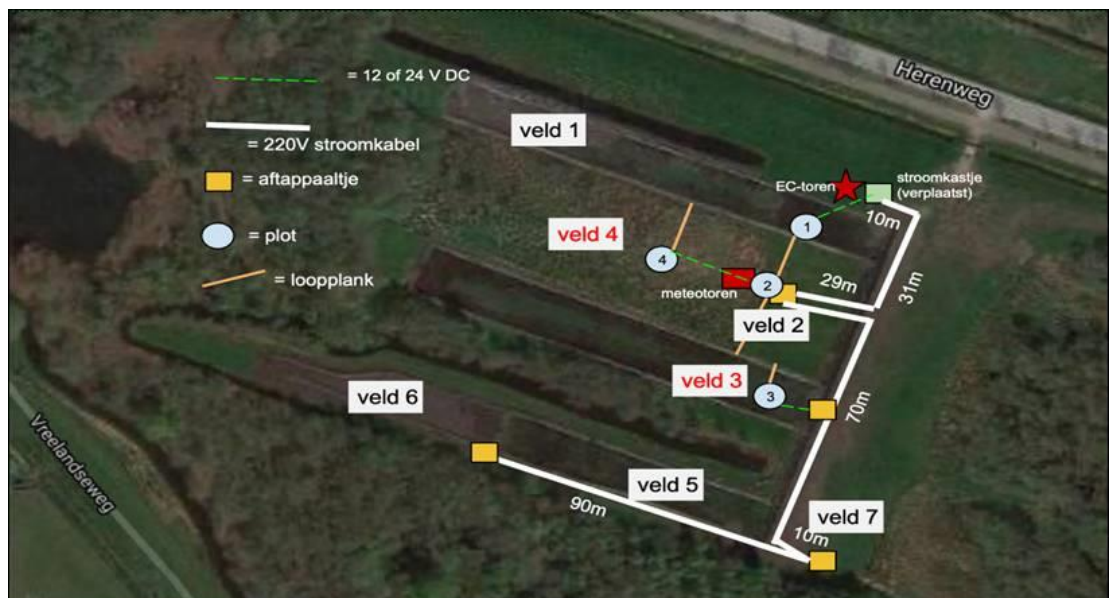
tot 45 cm beneden maaiveld met verwerkte laag met veenbrokken en zand, maar is in zijn totaliteit niet moerig.

Profiel 22 betreft een dampodzolgrond (stpc_sub=2m), hier treffen we tussen 20 en 45 cm beneden maaiveld een zandige veenlaag aan met een toemaakdekje er boven.

Deze zgn. toemaak is een mengsel van koemest, slootbagger en wat zand, met soms wat resten aardewerk en baksteen.



Figuur 3.58. Ligging en nummering van de grondboringen. De met een + aangeduide locaties zijn boringen van Deltares.



Figuur 3.59. Ligging en nummering van de proef(velden), technische onderdelen en meetopstellingen. Bron: RU.

3.15 Bodemkundige analyses WENR

Auteurs: Rudi Hessel (WEnR), Daniël van de Craats (WEnR)

BRO - retentiecurves

Methodes

Per monster wordt een relatie bepaald tussen vochtgehalte en druk (zuigspanning), voor verschillende waarden van druk. De monsters worden in evenwicht gebracht met de gewenste druk met behulp van een 'zandbak' voor pF 0 tot 2 (vochtgehaltes groter dan veldcapaciteit), met drukplaten voor vochtgehaltes van pF 2 tot pF 4.2 (tot verwelkingspunt) en gedroogd aan de lucht voor pF 6.0. Per monster zijn acht metingen gedaan, voor pF waarden 0.5, 1, 1.5, 1.85, 2, 3.5, 4.15 en 6.

Op basis van deze metingen kan een retentiecurve worden gefit. De in Nederland veel gebruikte functie is de Van Genuchten (1980) curve, gegeven als

$$S_e = \left[\frac{1}{1 + (\alpha|h|)^n} \right]^{1-\frac{1}{n}}$$

waarbij h = druk (in cm) en α [cm⁻¹] en n [-] zijn de fitting parameters. S_e is de 'effective saturation' of 'Water filled pore space', gegeven als

$$S_e = \frac{\theta_h - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

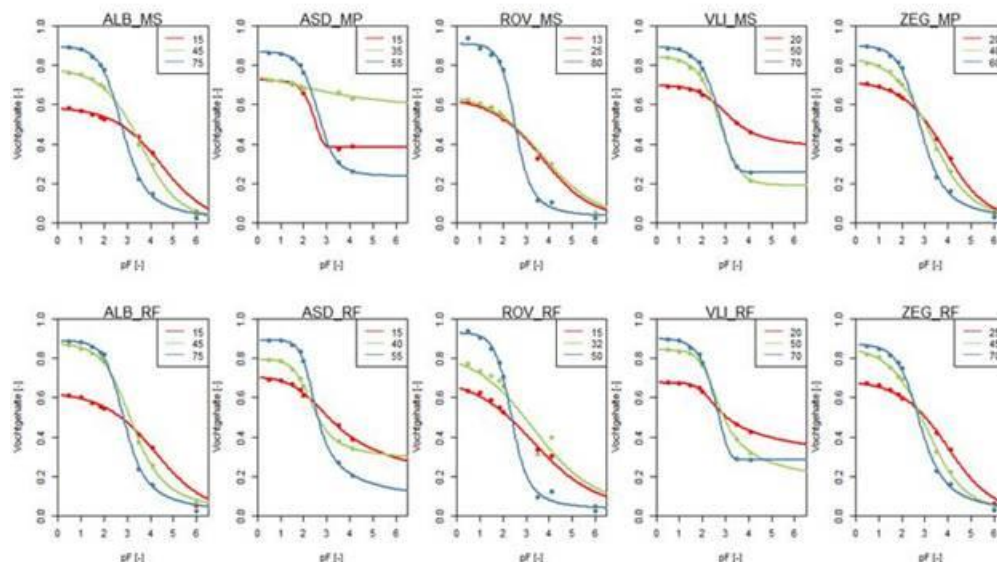
Waarbij θ het vochtgehalte voor verzadigde (subscript s), residuele (subscript r) en actuele (subscript h) condities is.

Een andere relatie, die in het geval van onze metingen zeer nauwkeurig de metingen volgt, is de Fredlund and Xing (1994) curve. Deze is gegeven als

$$S_e = \left[\frac{1}{\ln \left[\exp(1) + \left(\frac{|h|}{a} \right)^n \right] } \right]^m$$

Waarbij a [cm⁻¹], n en m fitting parameters zijn.

Voor ieder monster is zowel de Van Genuchten als de Fredlund and Xing curve gefit. De waarden van deze fits staan in Tabel 3.10, de bijbehorende retentievervalsingen (pF curves) staan weergegeven in Figuur 3.60. Let wel, de waarden voor Assendelft en Vlist zijn nog niet definitief.



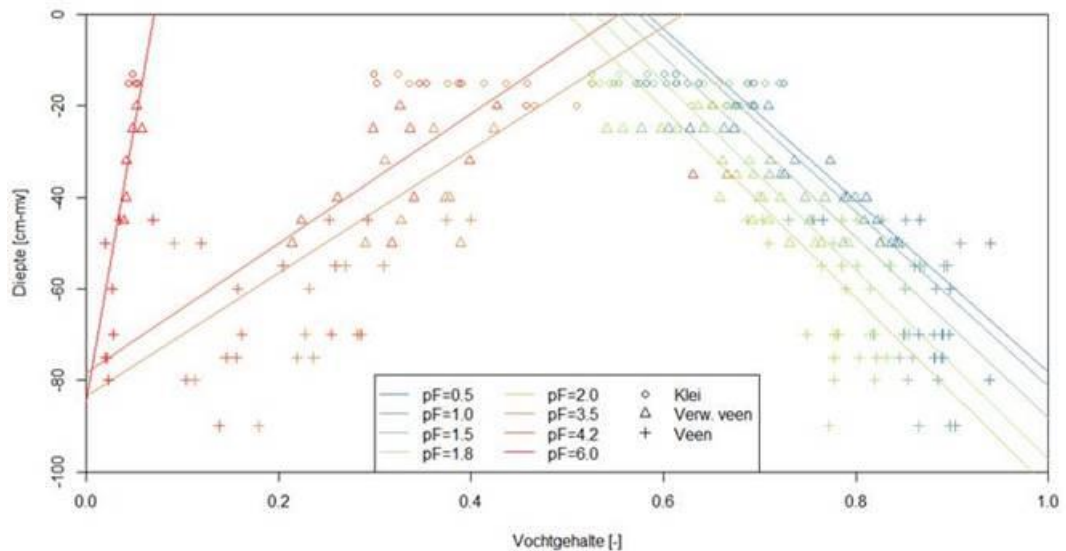
Figuur 3.60. Retentiecurves volgens Fredlund & Xing (1994) van de bemonsterde sites, met van rood via groen en blauw ondiepe naar diepere bemonsteringslocaties. De exacte bemonsteringsdiepte is weergegeven per grafiek. De bepaling van het laatste deel van de retentiecurves van Vlist en Assendelft is nog niet correct. Echter, de invloed van deze missende op de 'vochtige kant' van de retentiecurve is minimaal.

Figuur 3.61 laat de individuele retentiecurves voor iedere bemonsterde laag zien. Voor iedere bemonsterde locatie is duidelijk te zien dat de hoogste porositeit, of vochtgehalte bij verzadiging (pF 0), optreedt voor de diepst bemonsterde punten. Voor al deze punten is sprake van (relatief) onverstoorde veen, met een grote waterinhoud. Voor de ondiepste monsters is de porositeit in alle gevallen duidelijk lager, meestal ongeveer 60 à 70%, zowel voor de sterk verweerde veenlagen als voor kleiige toplagen. Tevens is duidelijk te zien dat, met een toenemende verdroging, er sneller water verdwijnt uit de diepere (veen) monsters dan uit de ondiepere kleiige of sterk verweerde monsters. Dit is in overeenstemming met de lage bulkdichtheid van deze gronden, waardoor er weinig water capillair gebonden kan worden in kleine poriën in de bodem.

Tabel 3.10. Gefitte parameters voor vocht karakteristieken (pF curves), op basis van ringmonsters gestoken op de weergegeven diepte (plus en min 5 cm ivm monsterhoogte van 10 cm). FX zijn de gefitte parameters voor Fredlund & Xing (1994), VG zijn de gefitte parameters voor Van Genuchten (1980).

	ALB MS1	ALB MS2	ALB MS3	ALB RF1	ALB RF2	ALB RF3	ASD MP1	ASD MP2	ASD MP3	ASD RF1	ASD RF2	ASD RF3
Diepte	15	55	75	15	45	75	15	35	55	15	40	90
FX θ_s	0.587	0.783	0.897	0.631	0.877	0.890	0.724	0.757	0.869	0.709	0.797	0.901
FX θ_r	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.381	0.288	0.232	0.000	0.269	0.044
FX a	37020	3525.1	311.6	16860	641.3	360.4	10881.3	2.21	379.7	106.2	105.2	90.1
FX m	2.71	2.40	1.46	2.49	1.44	1.30	261.52	0.20	2.27	0.49	1.14	0.94
FX n	0.41	0.50	0.98	0.37	0.73	1.11	1.31	0.48	1.12	0.67	1.18	2.05
VG θ_s	0.583	0.766	0.891	0.613	0.867	0.889	0.725	0.726	0.866	0.693	0.791	0.903

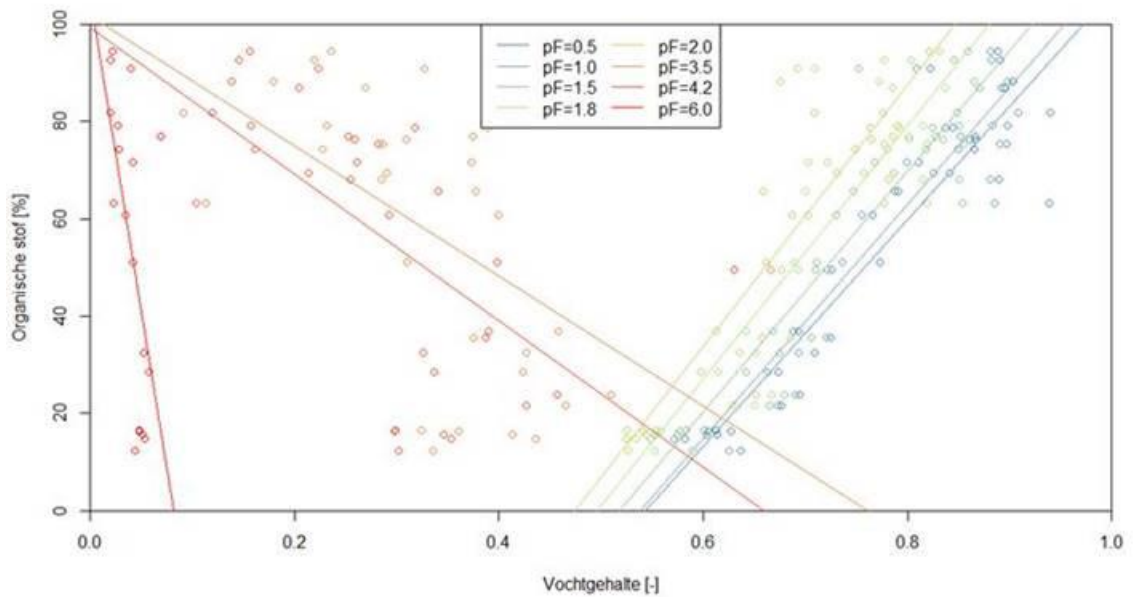
VG θr	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.016	0.378	0.610	0.225	0.095	0.305	0.133
VG α	0.0017	0.0074	0.0075	0.0083	0.0072	0.0050	0.0074	0.0674	0.0071	0.0198	0.0135	0.0103
VG n	1.15	1.21	1.44	1.13	1.27	1.48	2.30	1.20	1.66	1.12	1.51	1.86
	ROV MS1	ROV MS2	ROV MS3	ROV RF1	ROV RF2	ROV RF3	VLI MS1	VLI MS2	VLI MS3	VLI RF1	VLI RF2	VLI RF3
Diept e	13	25	80	15	32	50	20	50	70	20	50	70
FX θs	0.635	0.661	0.910	0.702	0.830	0.930	0.699	0.844	0.896	0.676	0.843	0.902
FX θr	0.000	0.000	0.021	0.000	0.001	0.026	0.365	0.187	0.255	0.000	0.087	0.282
FX a	400. 3	3967. 0	237. 9	992. 2	825. 3	162. 7	389.2	860. 2	5477. 7	92.8	158. 8	7553. 9
FX m	2.28	2.27	1.67	1.94	1.84	1.72	1.22	3.42	16.86	0.23	0.66	37.52
FX n	0.39	0.35	1.34	0.33	0.34	1.26	0.75	0.84	0.86	1.47	1.34	0.96
VG θs	0.612	0.628	0.939	0.636	0.774	0.940	0.694	0.842	0.889	0.676	0.844	0.897
VG θr	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.033	0.296	0.111	0.232	0.381	0.250	0.265
VG α	0.0176	0.0174	0.0086	0.0335	0.0383	0.0115	0.0103	0.0090	0.0072	0.0083	0.0068	0.0076
VG n	1.15	1.15	1.64	1.14	1.14	1.63	1.18	1.42	1.78	1.39	1.48	1.96
	ZEG MP1	ZEG MP2	ZEG MP3	ZEG RF1	ZEG RF2	ZEG RF3						
Diept e	20	40	60	25	45	70						
FX θs	0.721	0.843	0.902	0.687	0.857	0.871						
FX θr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000						
FX a	7674	1373	326.8	10730	844.6	284.1						
FX m	2.54	2.10	1.43	2.57	2.11	1.36						
FX n	0.45	0.51	0.97	0.42	0.53	0.96						
VG θs	0.709	0.811	0.899	0.673	0.822	0.866						
VG θr	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.013						
VG α	0.0076	0.0157	0.0073	0.0090	0.0209	0.0081						
VG n	1.17	1.21	1.43	1.15	1.22	1.40						



Figuur 3.61. Gemeten vochtgehaltenes voor verschillende pF waarden, als functie van bemonsteringsdiepte. Data van Aldeboarn, Assendelft, Rouveen, Vlist en Zegveld is hierbij geaggregeerd, maar er wordt wel onderscheid gemaakt in bodemtype door middel van symbolen. De data voor pF=6.0 is incompleet.

Figuur 3.61 laat een relatie zien tussen het gemeten vochtgehalte in het lab voor verschillende pF waarden als functie van de bemonsteringsdiepte, waarbij de data van alle locaties (voor zover beschikbaar) is geaggregeerd. De geplote lijnen laten een simpele lineaire regressie door de betreffende punten met eenzelfde pF zien. Er wordt in Figuur 3.61 kwalitatief onderscheid gemaakt tussen de verschillende bodemtypes klei, verweerd veen en veen. Hierbij valt op dat klei en verweerd veen met name boven te vinden zijn, en normaal veen met name onderin het profiel, overeenkomstig de veel voorkomende bodemopbouw.

Logischerwijs zijn de gemeten vochtgehaltenes voor de laagste pF waarden het hoogst, en voor de hoogste pF waarden het laagst. De porositeit, ofwel het vochtgehalte bij verzadiging (pF 0), neemt duidelijk toe met de diepte. Voor iedere meting tot een pF waarde 2 is een vergelijkbare constatering te maken; het vochtgehalte bij dezelfde druk is hoger onder in het profiel. Bij metingen met een meer negatieve druk (pF waarden van 3.5 en meer) is deze relatie echter omgekeerd: het vochtgehalte neemt dan af als functie van de diepte. Bij een pF van 6 (luchtdroog, ver beneden het verwelkingspunt) is deze relatie nog altijd zichtbaar. Het residuele vochtgehalte is dus hoger voor de ondiepere bodemonsters, welke over meer klei of verweerd veen beschikken. Dit alles hangt direct samen met de dichtheid van de bodem. In de diepere lagen, welke in de praktijk nagenoeg altijd verzadigd zijn, of dicht tegen verzadiging aan zitten, is de dichtheid van de bodem dusdanig laag dat er grote poriën aanwezig zijn. Bij uitdroging kunnen deze slecht water (capillair) aan zich binden. Voor kleibodems werkt dit duidelijk anders: daar kan water in de kleine poriën juist goed gebonden blijven, waardoor daar de afname in vochtgehalte veel geringer is bij een uitdrogende bodem.



Figuur 3.62. Gemeten vochtgehaltenes voor verschillende pF waarden, als functie van organische stofgehaltenes in het betreffende monster. Data van Aldeboarn, Assendelft, Rouveen, Vlist en Zegveld is hierbij geaggregeerd. De data voor pF=6.0 is incompleet.

Figuur 3.62 laat een vergelijkbaar beeld als Figuur 3.61 zien. Hierbij is het gemeten organische stofgehalte uitgezet tegen het vochtgehalte bij verschillende pF waarden. Voor pF waarden onder de 2 geldt dat hoe hoger het organische stofgehalte, hoe hoger het vochtgehalte bij een gegeven pF waarde.

Doorlatendheid (tekst Harry Massop)

De resultaten van de boorgatmetingen zijn per locatie samengevat in een factsheet (Bijlage D).

De factsheet is opgebouwd uit de volgende onderdelen:

- Locatie, topografische kaart van de onderzoek locatie
- Eerdere metingen, op een aantal percelen waar nu de NOBV-plots zijn ingericht zijn in het verleden al eens boorgatmetingen uitgevoerd, de gegevens die betrekking hebben op de percelen zijn hier vermeld.
- Metingen 2020-2021, tabel met gemiddelde k-waarde, uitgangsgroundwaterstand, diepte boorgat en coördinaten.
- Gevoeligheidsanalyse.

Om het effect van eventuele fouten in de waarnemingen op de k-waarde te onderzoeken is een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij zijn de volgende effecten onderzocht:

- Boorgat 1 cm wijder ($r+0,5$ cm),
- Boorgat 1 cm krapper ($r-0,5$ cm),
- Boorgat is 5 cm dieper ($Bg+5$ cm),
- Boorgat is 5 cm ondieper ($Bg-5$ cm),
- Grondwaterstand is 5 cm dieper ($Hi+5$ cm),
- Grondwaterstand is 5 cm ondieper ($Hi-5$ cm).

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn in een tabel weergegeven in de factsheet.

Bij de bepaling van het gemiddelde hebben uitschieters, veelal zijn dit de hoge k-waarden, een groot effect als de waarden worden gemiddeld. De verdeling van de k-waarden op een locatie is mogelijk scheef, de k-waarde is nl. altijd groter dan 0 m/d. Grotere k-waarden liggen mogelijk verder verwijderd van het gemiddelde dan kleinere waarden. In dat geval kan men bijv. uitgaan van een lognormale verdeling. Uit vergelijkend veld- en laboratoriumonderzoek betreffende de doorlatendheid blijkt dat bij een scheve verdelingen de mediaanwaarde of het geometrisch gemiddelde beter aansluit bij veldomstandigheden. Ter vergelijking zijn in de tabellen voor de NOBV-plots drie waarden voor het gemiddelde weergegeven, nl.:

- gemiddelde,
- mediaan,
- geometrische gemiddelde.

Voor de berekening van de drainafstand (L) zijn de volgende gegevens nodig.

q	specifieke aan/afvoer (m.d ⁻¹),
k1	doorlaatfactor van de laag boven draindiepte (m.d ⁻¹)
k2	doorlaatfactor van de laag beneden draindiepte (m.d ⁻¹)
m	opbolling (m)
d	dikte van de equivalent laag (m)
r	diameter van de drainbuis (m).

Om een indruk te krijgen van de drainafstand is een globale berekening uitgevoerd op basis van enkele aannamen. Sommige aannamen kunnen mogelijk meer specifiek gemaakt worden per locatie, maar dit vergt meer onderzoek c.q. inventarisatie van gegevens. Voorlopig is uitgegaan van dezelfde aannamen voor alle locaties, alleen voor de doorlatendheid boven en onder de drain is uitgegaan van een waarde nl, het geometrische gemiddelde van de boorgatmetingen op die locatie. Verder is uitgegaan van een specifieke aan/afvoer van 3 mm/d, dit zijn niet de ontwateringsnormen die liggen bij 7 mm/d, maar is meer gebaseerd op de compensatie van de gemiddelde verdamping in een droge periode. Voor de opbolling wordt 0.15 m aangehouden bij een open waterpeil van 0,40 m., d.w.z. grondwaterstand zakt uit tot 0,55 m -mv . Als diepte van de toplaag is standaard 5 m aangehouden, deze is nodig om de dikte van de equivalentlaag te berekenen. En als straal voor de drainbuizen is 0,03 m aangehouden. Op basis van deze aannamen en het geometrisch gemiddelde is een drainafstand (L) en dikte van de equivalentlaag (d) berekend volgens Hooghoudt.

Onlangs is een beoordelingsrichtlijn voor het ontwerpen, de aanleg en nazorg van buisdrainage en veenweideinfiltratie verschenen (2021). Deze richtlijn zegt het volgende over Veenweideinfiltratiesystemen (VWI) met drainerende functie:

Bij waterinfiltratie moeten de infiltratiebuizen horizontaal liggen. De bovenkant van de infiltratiebuis, moet minimaal 60 cm beneden maaiveld liggen en bij een rechtstreekse verbinding met de sloot minimaal 20 cm lager dan het slootpeil.

De lengte van ieder afzonderlijk infiltratiebuis welke ook een drainerende functie heeft mag maximaal 150 meter zijn bij een onderlinge afstand van 4 meter.

Afhankelijk van de veensoort en doorlatendheid kan er een grotere onderlinge afstand tot maximaal 6 meter worden toegestaan, mits onderbouwd in een drainageplan door middel van onderzoek of berekening.

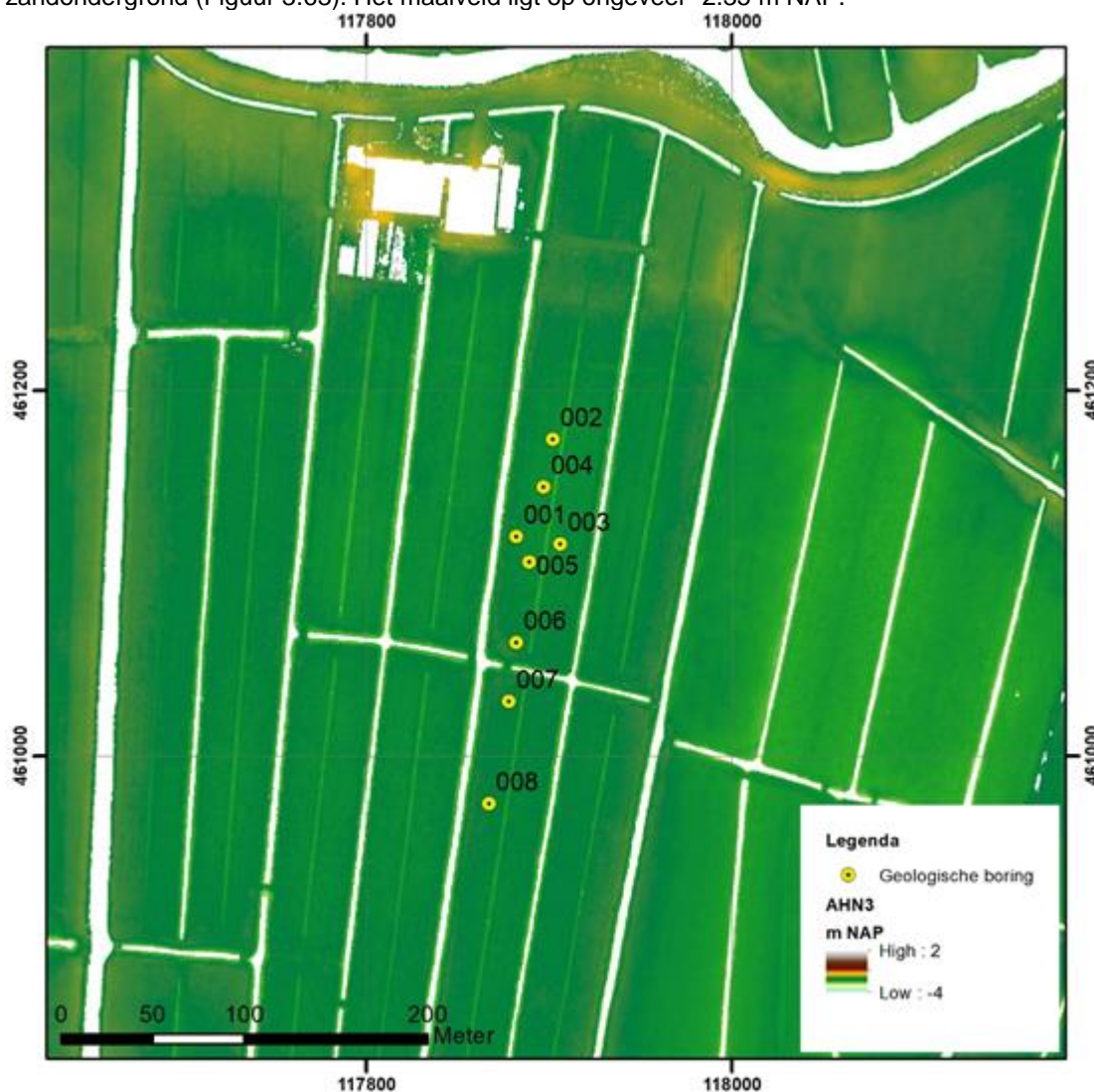
3.16 Geologie nieuwe meetlocaties

Auteur: Sanneke van Asselen (Deltares)

Voor vier nieuwe meetlocaties is grondonderzoek uitgevoerd door middel van handboringen. Deze nieuwe locaties zijn Zegveld Hoogwater, Lange Weide, Ankeveen en Kalenberg (Weerribben). De locaties zijn gekozen op basis van het type broeikasgasuitstoot-reducerende maatregel: In Zegveld Hoogwater en Lange Weide worden hoge grondwaterstanden gehanteerd. In Zegveld Hoogwater wordt er met drukdrains gestuurd op een grondwaterstand van 20 cm-mv. In Lange Weide wordt met onderwaterdrainage en slootpeilbeheer gestreefd naar een grondwaterstand van 40 cm-mv. In Ankeveen worden lisdodde en andere potentieel CO₂ vastleggende gewassen geteeld. De locatie in de Weerribben (bij Kalenberg) is uitgekozen vanwege de grote eenvormige footprint: dominant veenmos-rietland in alle richtingen voor 800m (dit m.b.t. de Eddy Covariance metingen). Onderstaande paragrafen beschrijven de geologische opbouw uit boringen. De boorbeschrijvingen en versimpelde profielen zijn beschikbaar in Bijlagen E, F, G en H.

3.16.1 Zegveld Hoogwater

Op de meetlocatie Zegveld Hoogwater is op 18 maart 2021 door Deltares geologisch onderzoek verricht. In totaal zijn er 8 handboringen gezet, waarvan 6 boringen tot in de Pleistocene zandondergrond (Figuur 3.63). Het maaiveld ligt op ongeveer -2.35 m NAP.

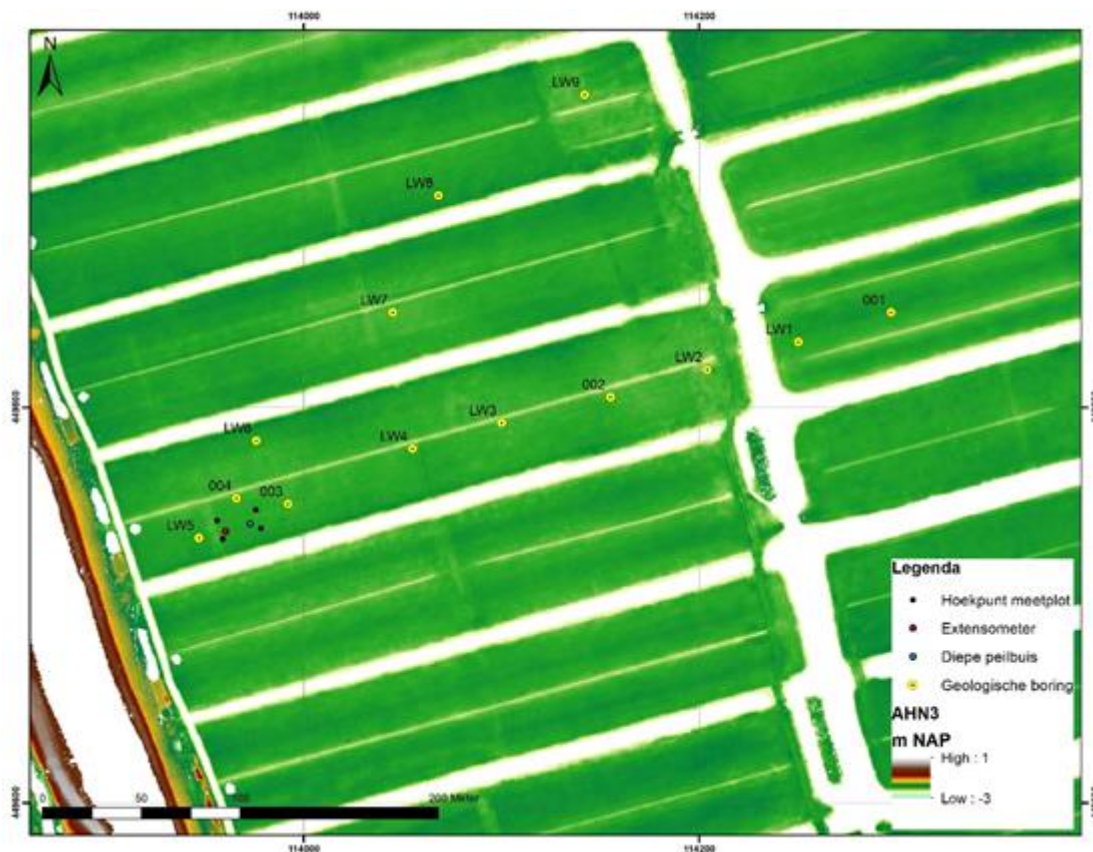


Figuur 3.63. Geologische boringen op locatie Zegveld Hoogwater. Coördinaatsysteem: Rijksdriehoekstelsel.

De geologische boorbeschrijvingen zijn opgenomen in Bijlage E. De Holocene deklaag is op deze locatie 620 tot 650 cm dik en bestaat hoofdzakelijk uit veen. Het bovenste deel van het Holocene pakket bestaat uit een matig tot sterk humeuze kleilaag van tussen de 20 en 45 cm dik. Het onderliggende veenpakket bestaat hoofdzakelijk uit zegge- en bosveen, waarbij in het onderste deel ook soms rietveen (tussen 450 – 500 cm-mv; boring 4 en 6 in Figuur 3.63) en mosveen (rond 600 cm-mv; boring 1, 3, 4 en 5) is aangetroffen. In een aantal boringen is tussen de 200 en 300 cm-mv een kleiig interval aangetroffen, bestaande uit gyttja-achtige humeuze klei (boringen 5 en 6), zwak kleiig veen (boringen 2 en 4) of detritus (boring 1; Figuur 3.63). Rond de 450 cm-mv komt ook een kleiig interval voor, bestaande uit (humeuze gebande klei, soms met plat riet, groengrijze gyttja of kleiig veen; boringen 1, 2, 4 en 5). Deze kleiige intervallen wijzen op perioden met meer buiten hun oever tredende waterlopen in de omgeving.

3.16.2 Lange Weide

In Lange Weide is op 8 maart 2021 door Deltares geologisch onderzoek gedaan. In totaal zijn er 13 handboringen gedaan (Figuur 3.64; Bijlage F). Het maaiveld ligt op ongeveer -2 m NAP. Er is geboord tot een diepte van 350 à 500 cm, behalve op locatie 4, naast de meetplot, waar tot 870 cm diepte is geboord (tot in de Pleistocene zandondergrond). De Holocene deklaag is 815 cm dik op boorlocatie 4 (Figuur 3.64; zie ook sondering in Bijlage F). Aan het oppervlak ligt een 30 tot 50 cm dikke humeuze kleilaag. Daaronder ligt een veenpakket dat wordt gedomineerd door matig tot sterk amorf bos- en zeggeveen. Dieper (> 250 cm -mv) komt ook rietveen voor (boring 1, 3, 4, LW1, LW3; Figuur 3.64). Op een diepte variërend tussen de 250 (boringen LW 8 en LW9) en 385 cm -mv begint een kleilaag, wisselend in mate van siltigheid en humeusiteit, meestal met plantenresten, soms verspoeld hout. De kleilaag is minstens 15 cm dik (boring LW5), en meestal dikker dan dit. In boring LW8 zijn op de diepte van de kleilaag geulafzettingen aangeboord (schelpresten) met daarboven gyttja-achtige klei en ingespoeld hout. Waar door de kleilaag heen is geboord is vaak rietveen aangetroffen (boringen 3, 4, LW1, LW3, LW5, LW6).

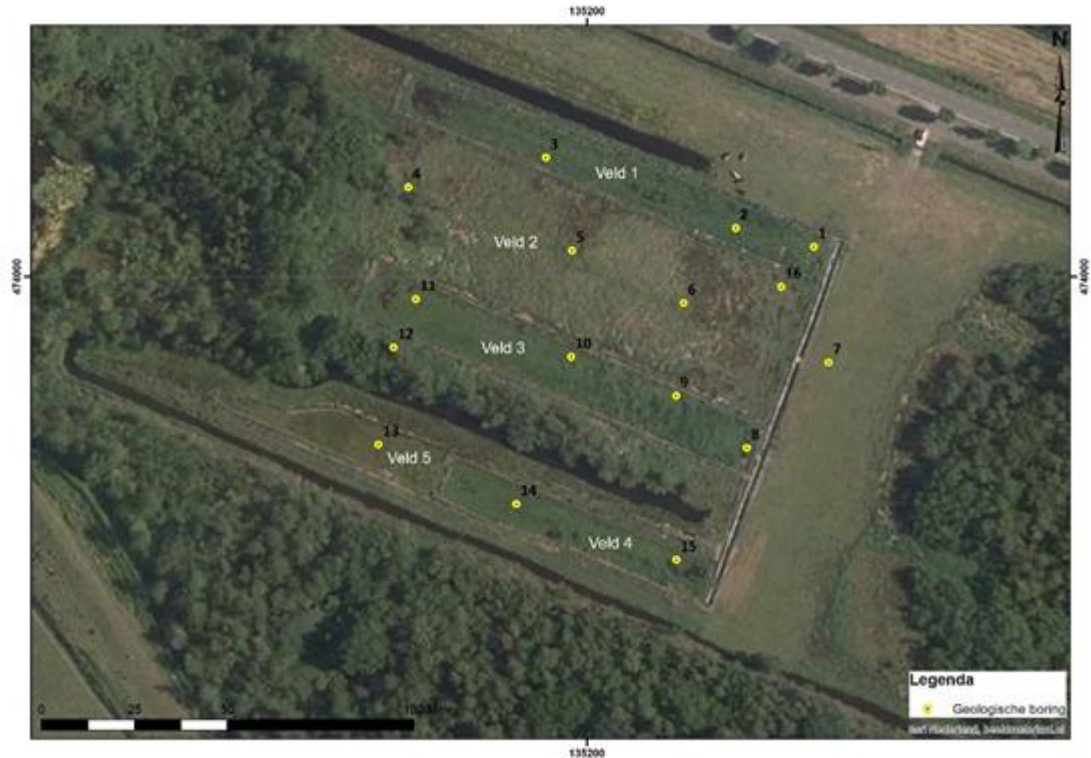


Figuur 3.64. Geologische boringen op meetlocatie Lange Weide. Coördinatensysteem: Rijksdriehoekstelsel.

3.16.3 Ankeveen

Op 14 april is door Deltares geologisch onderzoek gedaan op de meetlocatie Ankeveen. In totaal zijn er 16 handboringen gezet (Figuur 3.65; Bijlage G). Het maaiveld ligt rond de -1.2 á -1.4 m NAP. De bodemopbouw verschilt per veld. In veld 1 is er op het moment van boren een 20 cm waterlaag op 10 cm detritus aangetroffen (in boring 1 geen detritus aangetroffen). Daaronder bevindt zich een laag vergraven/opgebracht, soms zandig of kleiig, veen. In boring 3 is een 8 cm dik niet-vergraven sterk amorf veen aangetroffen, met daaronder een 4 cm dikke laag gliede. De Pleistocene (dek)zandondergrond in veld 1 begint op respectievelijk 38, 41 en 62 cm onder het wateroppervlak. De top van het dekzand is humeus, er heeft zich een podsol in ontwikkeld. In veld 2 bestaat de bovenste 10 à 20 cm uit water en/of detritus. Daaronder is wederom een laag vergraven veen op een laag van 8 à 14 cm dik origineel veen aangetroffen. Op de overgang van het veen naar het onderliggende zand is in boring 4 en 6 een dun laagje (<2 cm) gliede aangetroffen. In het dekzand heeft zich een podsol ontwikkeld. In veld 3 bestaat de bovenste 25 tot 50 cm uit een waterlaag op detritus. Deze is het dikst aan de westkant van het perceel (boring 11). Hieronder bevindt zich een 20 tot 40 cm dikke laag opgebracht zand (boringen 8 en 9) of klei (boringen 10 en 11). Onder de opgebrachte minerale laag is een 4 tot 13 cm dikke veenlaag aangetroffen. Het dekzand begint op 60 tot 93 cm beneden het wateroppervlak tijdens boren (dieper naar het westen toe; tussen de -1.5 en -2.2 m NAP). In het dekzand heeft zich een podsol ontwikkeld. In veld 4 en 5 ligt een laag opgebracht zand en/of klei aan het oppervlak. Op boorlocatie 15 bestaat de bovenste 28 cm hierbij uit een soort blubber (veenvormend materiaal). Op boorlocaties 14 en 15 is de onderliggende veenlaag slechts enkele centimeters dik. Op boorlocatie 13 bevindt zich onder de opgebrachte zandlaag van 30 cm dik een 30 cm dikke veenlaag met daaronder een 20 cm dikke water(drijf)laag op 8 cm detritus. Mogelijk is hier een petgat opgevuld met veen. Boring 12 is gezet op een tussenliggende (leg)akker waar nu bomen groeien en waar geen veen is afgegraven. Hier komt van 0 tot 85 cm-mv een originele veenlaag voor, waarin een mooie

verlandingssequentie is te zien: onderin 35 cm rietveen, daarboven 35 cm zeggeveen, en daarboven een 15 cm dikke laag bosveen. Het dekzand begint op 85 cm -mv. De bovenste 10 cm van het zand bestaat uit sterk humeus zand, daaronder heeft zich een podsol ontwikkeld.



Figuur 3.65. Locatie en nummer van geologische boringen op meetlocatie Ankeveen. Coördinatenstelsel: Rijksdriehoekstelsel.

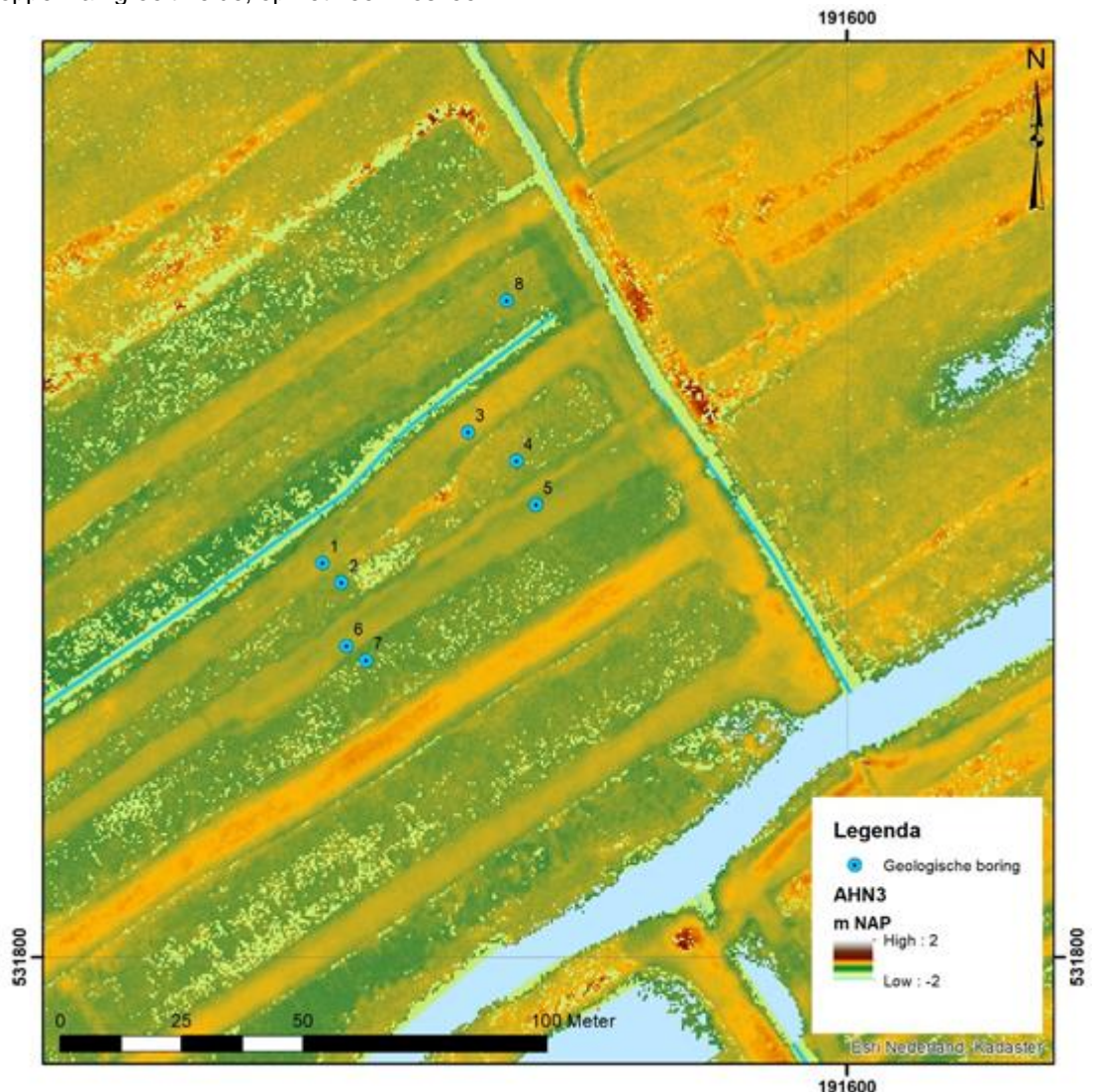
3.16.4 Weerribben

Op 8 juli 2021 heeft Deltares geologische onderzoek gedaan op de meetlocatie Kalenberg-Weerribben. In totaal zijn er 8 handboringen gezet, tot in de Pleistocene zandondergrond (Figuur 3.66; Bijlage H). De Holocene deklaag in dit gebied is 170 tot 240 cm dik. Het huidige landschap bestaat uit kraggen en ribben, dit is ook duidelijk te zien op het AHN beeld (Figuur 3.66). Boringen 1, 3, 5 en 6 zijn op een rib geplaatst, boringen 2, 4 en 7 in een krag. Boring 8 is geplaatst in een stukje moeras waar heide, berkjes, veenmos en bladmos groeit.

De rib waar boring 1 en 3 op zijn gezet wordt gekenmerkt door een veenpakket van ongeveer 2 m dik bestaande uit een afwisseling van (veen)mosveen, zeggeveen, en rietveen. Onderin boring 1 is 13 cm wollegrasveen aangetroffen, onderin boring 3 is 20 cm bosveen (met bladmos) aangetroffen. In het veenpakket komen humeuze kleilagen en kleiige veenlagen voor. Ook komen er zwarte lagen voor die duiden op bodemvorming. De interpretatie is dat dit profiel hiermee verschillende fases laat zien van opgebracht veen (ribvorming) en bodemvorming, waarbij er soms sprake is geweest van klei-inspoeling, waarschijnlijk door overstromingen van de Zuiderzee). De rib waar boring 5 en 6 op liggen wordt gekenmerkt door een 25 à 30 cm dikke humeuze kleilaag op een veenpakket tot 183 à 190 cm -mv; op deze diepte begint het dekzand. Het veenpakket is mineraalarm en bestaat uit op boorlocatie 5 uit veenmosveen op bosveen, en op boorlocatie 6 uit rietveen op veenmosveen op bosveen op (zandig) rietveen.

De kraggen worden gekenmerkt door 50 à 60 cm zeer vezelig (vers) veenmosveen en/of rietveen op een laag zeer slap detritus, wat grotendeels bestaat uit water en gezien kan worden als een drijfslag. Op ongeveer 150 cm diepte begint een slappe veenlaag bestaande uit voornamelijk wollegrasveen op bosveen. In boring 7 ontbreekt het wollegrasveen.

In boring 8 is een vergelijkbare opbouw aangetroffen als in de kraggen: een veenmos- op rietveenlaag (deze laatste zeer slap; drijf laag) op detritus, op het onderliggende veenpakket dat op deze locatie bestaat uit bos- op rietveen. Het zand begint op deze locatie op 239 cm-mv. Aan het oppervlak groeit heide, op het veenmosveen.



Figuur 3.66. Geologische boringen op meetlocatie Kalenberg, met het AHN3 als achtergrond. Coördinatenstelsel: Rijksdriehoekstelsel.

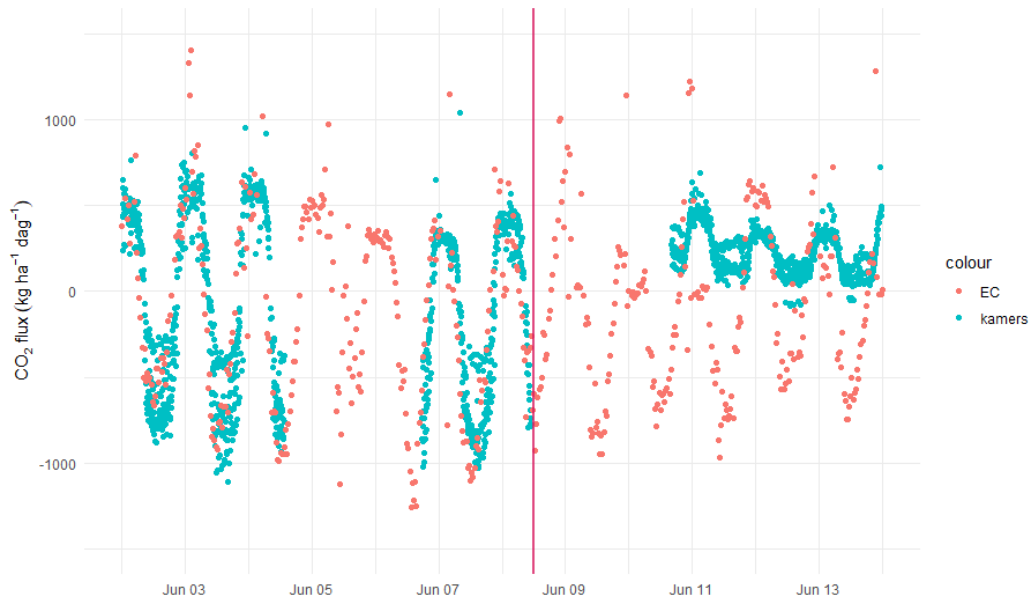
3.17 Vergelijkingen van CO₂-flux meetmethodes

Auteurs: Ralf Aben (RU), Christian Fritz (RU), Bart Kruijt (WU), Merit van den Berg (RU/VU), Reinder Nouta (RU/WF) en Coline Boonman (RU)

3.17.1 Vergelijking CO₂ fluxen door automatische kamers en eddy covariance

Figuur 3.67 toont CO₂ fluxen gemeten door eddy covariance (EC) en Eosense automatische kamers voor en na het maaien van gras binnen de meetkamers. Waar vóór het maaien de fluxen van beide methodes goed overeenkomen, is dit na het maaien niet meer zo. Een eerlijke vergelijking tussen de twee meetmethodes is daarom alleen mogelijk wanneer de omstandigheden binnen de EC footprint en meetplot grotendeels hetzelfde zijn. Het is daarom essentieel dat variabelen zoals graslengte, bodemvochtgehalte en temperatuur regelmatig worden gemeten binnen de EC footprint en meetplot en dat beheeractiviteiten van de boer en NOBV

veldmedewerkers goed gedocumenteerd worden. Komende tijd wordt er gewerkt aan het in kaart brengen van periodes waarin de omstandigheden binnen de footprint vergelijkbaar waren met die van de meetplot, zodat de mate van overeenkomst tussen beide methodes nauwkeuriger kan worden geëvalueerd.

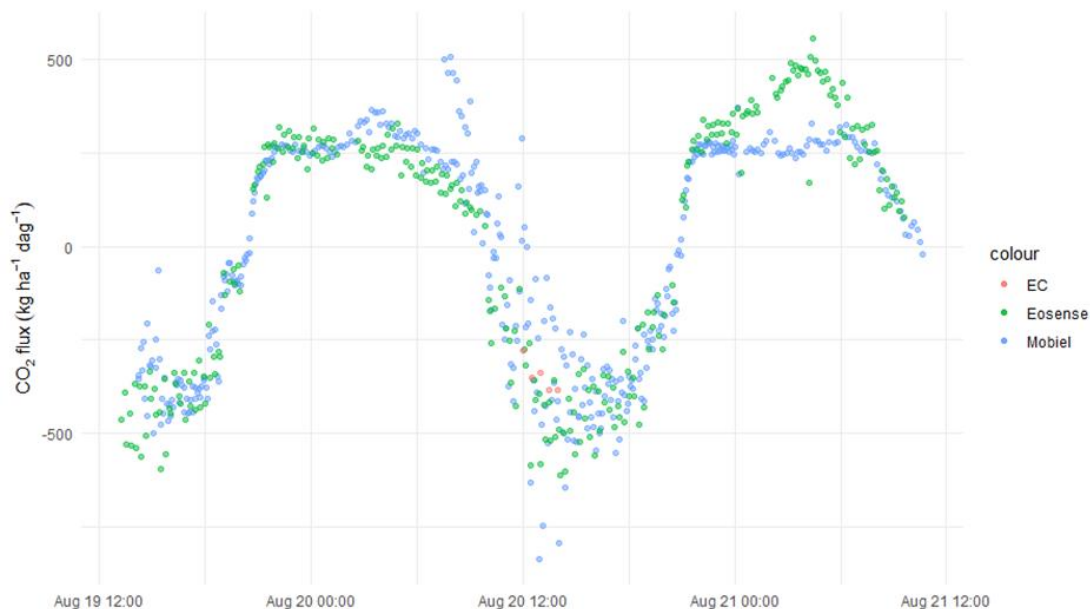


Figuur 3.67. CO₂ fluxen gemeten door eddy covariance (rood) en kamers (groen) op het referentieperceel in Aldeboarn. De verticale rode lijn geeft aan wanneer het gras binnen de meetkamers gemaaid is.

3.17.2 Vergelijking automatische kamers mobiel meten en Eosense kamers

Voor het maatregelplot van Aldeboarn zijn er in 2020 en 2021 op een tiental datums gelijktijdig metingen verricht met de (permanente) automatische kamers van Eosense en de automatische kamers die voor het mobiel meten gebruikt worden. Deze data moeten nog in detail geanalyseerd worden. Voor nu kunnen we alvast laten zien dat fluxen soms grotendeels vergelijkbaar zijn (Figuur 3.68) en soms grote verschillen laten zien (Figuur 3.69). Bij Figuur 3.69 wordt het verschil waarschijnlijk (deels) verklaard door het maaien van het gras binnen de Eosense kamers wat op 29 juli plaatsvond en daardoor voor sterke verschillen in grasbiomassa zorgde tussen de 2 typen kamersystemen. Het maaien van gras zorgt voor sterk gereduceerde CO₂ opname overdag (en mogelijk gereduceerde emissie 's nachts). Andere verschillen, zoals het verschil in fluxen tussen systemen in twee opeenvolgende nachten (Figuur 3.68) zijn vooralsnog minder goed te verklaren en vereisen een diepteanalyse waarbij o.a. gekeken zal worden naar lucht- en bodemtemperaturen in beide typen kamers.

Sowieso brengt een directe vergelijking van 2 meetsystemen in een veldsituatie altijd onzekerheid met zich mee door ruimtelijke variatie binnen meetplots en andere factoren die we niet in de hand hebben (e.g. activiteit van (knaag)dieren en andere toevalsprocessen).



Figuur 3.68. CO₂ fluxen van Eosense kamers, mobiele kamers en, wanneer beschikbaar, eddy covariance (EC) in het maatregelplot van Aldeboarn.



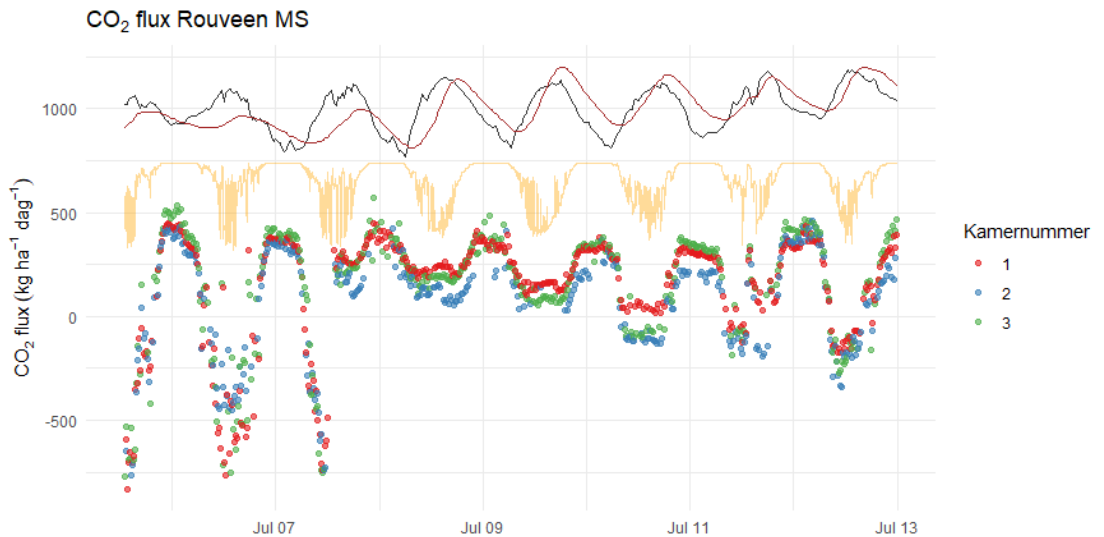
Figuur 3.69. CO₂ fluxen van Eosense kamers, mobiele kamers en, wanneer beschikbaar, eddy covariance (EC) in het maatregelplot van Aldeboarn.

3.18 Effect van beheer op de CO₂ fluxen

Auteurs: Ralf Aben (RU), Coline Boonman (RU) en Christian Fritz (RU)

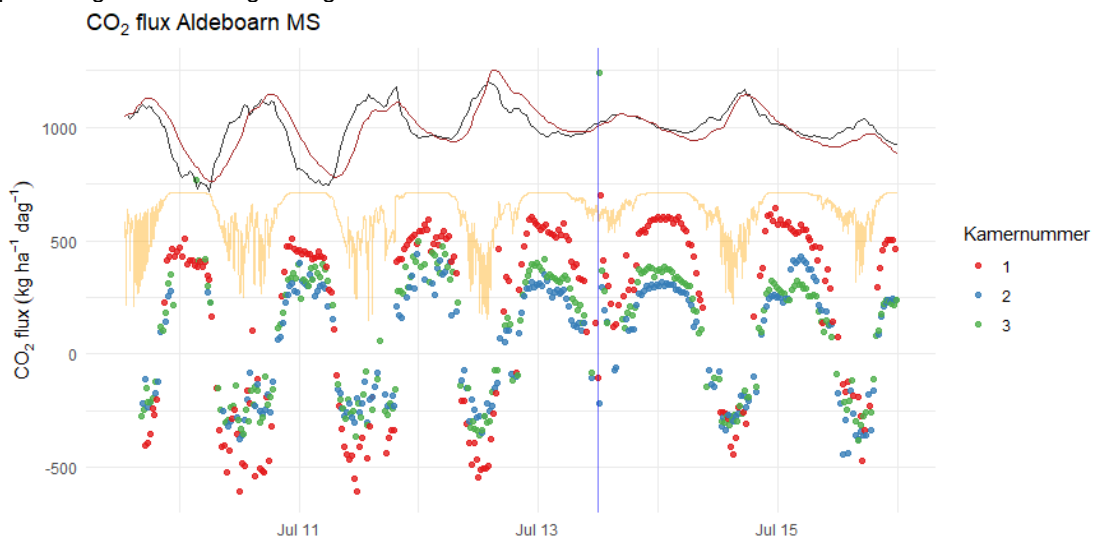
Voor locaties Aldeboarn en Rouveen is een begin gemaakt met de analyse van effecten van beheeractiviteiten op CO₂ fluxen, specifiek het maaien en bemesten. Voor beide plots in Aldeboarn en Rouveen is duidelijk te zien dat het maaien van gras een groot effect op de CO₂ flux heeft (Figuur 3.70; meer voorbeelden zijn opvraagbaar via de auteurs (RU)). Voor het vaststellen van de grootte van (jaarlijkse) CO₂ emissies en het kunnen vergelijken van maatregel- en referentieplot is het daarom belangrijk om de grasopbrengst en het koolstofgehalte daarvan goed

te kwantificeren en, voor de analyse van fluxen, belangrijk de maaimomenten goed te documenteren.



Figuur 3.70. Een voorbeeld van het effect van maaien (7 juli 2021) op de CO₂ flux van het maatregelplot (MS) in Rouveen. Na het maaien vindt er een omslag plaats van netto opname naar netto emissie overdag. In de week na het maaien vindt geleidelijk weer een omslag naar netto CO₂ opname overdag plaats. Lijnen staan voor de geschaalde luchttemperatuur op 2 m hoogte (zwart), bodemtemperatuur op 5 cm diepte (bruin) en fotosynthetisch-actieve straling (geel).

Bemesting heeft geen zichtbaar effect op de CO₂ fluxen (Figuur 3.71). Te zien is dat er een kortdurende stijging in de CO₂ flux is direct na de bemesting, maar in de dagen en nachten na bemesting is, bij vergelijkbare temperatuur- en lichtomstandigheden, de CO₂ flux vergelijkbaar met die vóór de bemesting. Merk op dat op de dag van bemesting er veel minder zoninstraling was dan op de andere dagen, wat de lagere CO₂ opname overdag verklaart. Komende tijd willen we verdere en diepere analyses van dit soort 'events' gaan doen, waaronder ook regenval en plotselinge veranderingen in grondwaterstand.



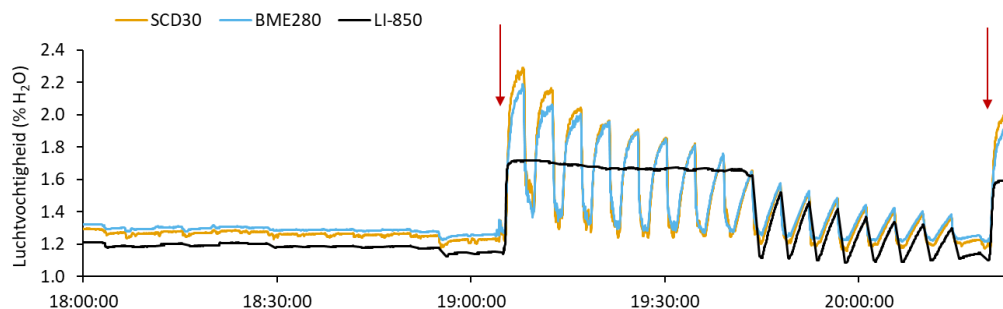
Figuur 3.71. Een voorbeeld van een bemestingsmoment met drijfmest (blauwe verticale lijn) in het maatregelplot (MS) in Aldeboarn. De bemesting leidt tot een kortdurende stijging in de CO₂ emissie, maar heeft geen duidelijk effect op de CO₂ fluxen in de dagen na bemesting. Lijnen staan voor de geschaalde luchttemperatuur op 2 m hoogte (zwart), bodemtemperatuur op 5 cm diepte (bruin) en fotosynthetisch-actieve straling (geel).

3.19 Effecten van meetkamers op bodem en gras

Auteur: Ralf Aben (RU)

In paragraaf 2.1.3 en 2.1.5 van de operationele jaarrapportage worden effecten van kamers op gras en bodem besproken die mogelijk de representativiteit van de gemeten fluxen kunnen beïnvloeden en daarom onderzocht moeten worden. Een voorbeeld hiervan is het beslaan van het glas van de meetkamers: Wanneer kamers in dichte positie zitten vindt er meestal condensvormig aan de binnenkant van het glas plaats, met name bij vochtige omstandigheden, lang gras en sterke instraling. Gecondenseerd water in kamer en/of slangen kan de CO₂ concentratie in de meetkamers beïnvloeden doordat het effectieve gasvolume van de meetkamers kleiner wordt en via absorptie-desorptie van CO₂, wat tot een overschatting van de CO₂ flux kan leiden tijdens netto CO₂ emissie (Rochette and Hutchinson, 2005). Echter, deze effecten zijn waarschijnlijk klein bij grotere meetkamers, zoals degenen die binnen NOBV gebruikt worden. Een mogelijk belangrijker effect van een sterke verdamping is dat het de CO₂ concentratie verdunt en de gasdruk op laat lopen (dit laatste ook bij temperatuurstijging), waardoor er gas uit de meetkamer lekt. Dit zorgt voor een onderschatting bij emissie en een overschatting bij opname van CO₂. Overdag kan condensatie de CO₂ flux beïnvloeden doordat de hoeveelheid fotosynthetisch-actieve straling (PAR) die het gras in de meetkamers bereikt, minder wordt, waardoor mogelijk een (grote) onderschatting van de CO₂ flux optreedt (Zhao et al. 2018). Een hoger vochtgehalte binnen de meetkamer kan echter mogelijk ook de mate van opening van huidmondjes in het gras en daarmee de CO₂ uitwisseling beïnvloeden. Het is dus belangrijk om te onderzoeken in hoeverre omstandigheden zoals vocht en temperatuur binnen de meetkamers anders zijn dan daarbuiten en hoe dit van invloed is op de fotosynthese en respiratie van gras en bodem binnen de meetkamer. Door de geplande uitbreiding van sensoren bij het kamersysteem (zie paragraaf 2.14 van de operationele rapportage) wordt getracht hier meer inzicht in te krijgen.

Hoewel de CO₂ analyzer van de automatische kamersystemen ook vocht (H₂O) meet, is het de vraag in hoeverre dit vochtgehalte representatief is voor het gas in de meetkamer, aangezien deeltjesfilters en de mate van water in de gasslangen (door regen en/of condensatie) mogelijk tot een ander vochtgehalte van het gas leiden dan die in de meetkamer. In het voorjaar van 2020 is er een labtest uitgevoerd waarbij 2 vochtsensoren (SCD30 en BME280) in een Eosense meetkamer zijn geplaatst en waarbij het gemeten vochtgehalte in de meetkamer is vergeleken met het vochtgehalte van gas dat via de gasslangen de LI-850 CO₂/H₂O analyzer bereikt. De resultaten van deze test zijn te zien in Figuur 3.72. Op twee momenten (aangegeven met rode pijlen) is er een kom met kokend water in de meetkamer gezet om verdamping na te bootsen en het vochtgehalte te verhogen. Te zien is dat gemeten vochtgehalten relatief dicht bij elkaar liggen, waarbij de laagste vochtgehalten door de LI-850 CO₂/H₂O analyzer gemeten worden. Op het moment dat er kokend water in de meetkamer is gezet meet de LI-850 een hoger en min of meer constant vochtgehalte. De vochtsensoren in de meetkamer meten echter een veel hoger vochtgehalte. Daarnaast laten de 2 sensoren in de meetkamer ook de verwachte dynamieken in vochtgehalte zien als gevolg van het afwisselend openen en sluiten van de meetkamer (vocht loopt op als kamer dicht is en zakt als kamer open gaat). Pas na circa een half uur is het vochtgehalte dusdanig gedaald dat de LI-850 weer dezelfde vochtdynamieken laat zien als de 2 vochtsensoren in de meetkamer. Mogelijk blijft bij hogere vochtgehalten een deel van het ingezogen vocht hangen in het partikelfilter en de gasslangen waardoor de gemeten vochtconcentratie in de LI-850 lager is en variatie in vochtgehalte (effect openen/sluiten van kamer) gebufferd wordt. Deze resultaten impliceren dat vochtgehalten, gemeten door de LI-850 CO₂/H₂O analyzer, niet altijd representatief zijn voor het vochtgehalte in de meetkamer, waardoor mogelijk extra luchtvochtigheidssensoren in de meetkamer gewenst zijn voor verdere analyse van effecten van meetkamers op bodem, gras en CO₂ fluxen.



Figuur 3.72. Absolute luchtvochtigheid gemeten door 2 sensoren in de meetkamer (SCD30 en BME280) en de LI-850 CO₂/H₂O analyzer welke via gaslangen circulerend gas van en naar de meetkamer ontvangt. De rode pijlen markeren momenten waarop er een kom met kokend water in de meetkamer is gezet.

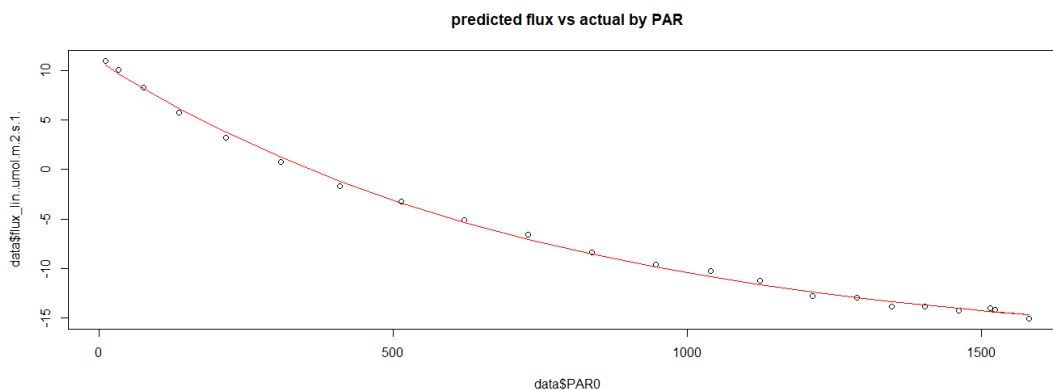
Referenties

- Rochette, P., & Hutchinson, G. L. (2005). Measurement of soil respiration in situ: chamber techniques.
- 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.

3.20 CO₂-flux rekenmethodiek

Auteur: Ralf Aben (RU)

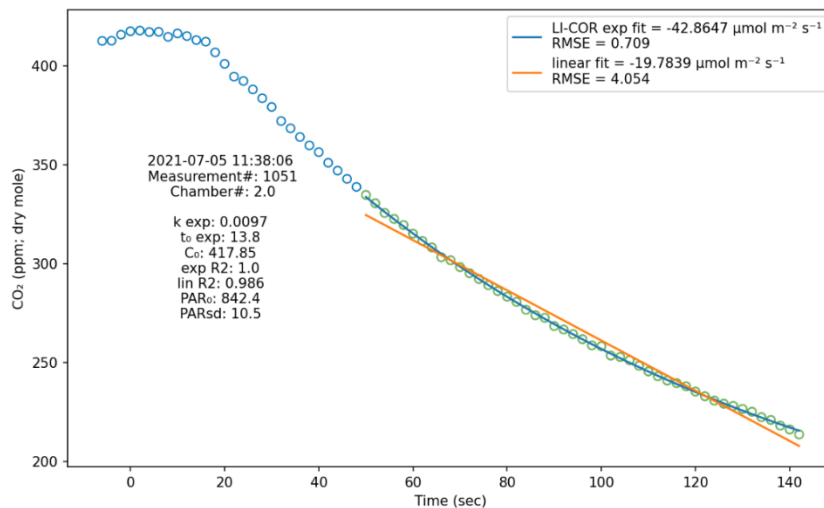
Momenteel werken we aan betere methodes voor gapfilling. Doordat meetkamers niet continu meten, maar hoogfrequent (ca. 1 fluxmeting per kamer per half uur) zijn er altijd gaten in de data. De schatting van dagelijkse CO₂ fluxen kan mogelijk sterk verbeterd worden door fluxen van hoge kwaliteit (kwaliteitsgecontroleerd) te koppelen aan variabelen die meer frequent worden gemeten, zoals temperatuur en fotosynthetisch-actieve straling (PAR). In Figuur 3.73 is hiervan een voorbeeld opgenomen. De goede relatie tussen PAR en de CO₂ flux geeft vertrouwen dat we volgend meetjaar—als methodes verder ontwikkeld zijn—beter in staat zullen zijn om gaten in meetdata op te vullen en daarmee nauwkeurigere schattingen van CO₂-dag- en -jaarbudgetten kunnen geven.



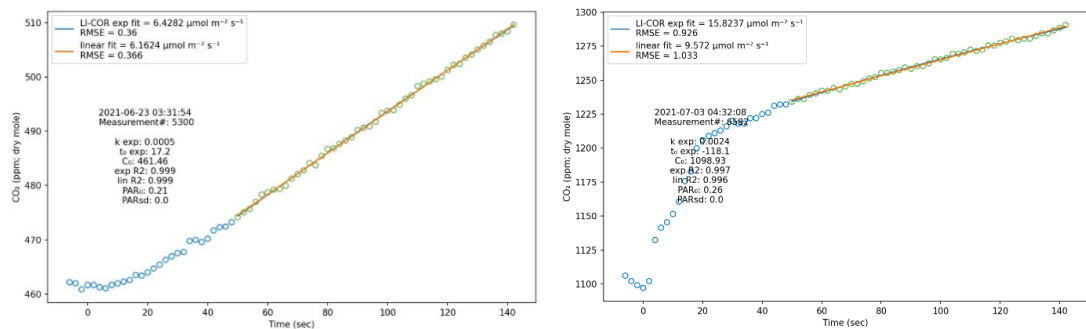
Figuur 3.73. Een voorbeeld van de relatie tussen fotosynthetisch-actieve straling (PAR; x-as) en de CO₂ flux (y-as) van één kamers in Aldeboarn.

Daarnaast werken we aan het evalueren en testen van verschillende rekenmethodes om CO₂ fluxen vanuit de kamerdata te berekenen. Nu wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van lineaire regressie van CO₂ concentraties over tijd om fluxen te berekenen. Het verloop van de concentratie over tijd is echter vaak (m.n. overdag) niet lineair, waardoor onder- en overschattingen kunnen ontstaan (Zhao et al. 2018, Kutzbach et al. 2007). Andere methodes zoals exponentiële

regressiemethodes zijn wellicht beter geschikt (Figuur 3.74). Exponentiële fits kunnen echter soms voor onrealistisch hoge fluxwaardes zorgen, waardoor we geschikte kwaliteitscontroles moeten ontwikkelen om deze rekenmethodiek op een betrouwbare manier te kunnen toepassen. Daarnaast vereisen bijzondere omstandigheden, zoals atmosferische stratificatie een diepte-analyse. Atmosferische stratificatie—en daarmee ophoping van CO₂ dicht bij de grond—treedt regelmatig op in m.n. zomerse nachten. Waar tijdens een normale nacht de CO₂ concentratie lineair toeneemt, is bij nachten met stratificatie een sterke toename van de CO₂ concentratie te zien kort na het sluiten van de kamer (Figuur 3.75). Het is onduidelijk welk deel van de verandering in CO₂ concentratie over tijd representatief is voor emissie buiten de meetkamers. De eerste 20-50 seconden aan data wordt vaak weggelaten uit de regressie, omdat daar vaak plotselinge fluctuaties in CO₂ concentratie optreden.



Figuur 3.74. Een voorbeeld van CO₂ opname op een zonnige dag, waarbij duidelijk te zien is dat de CO₂ concentratie op een niet-lineaire manier afneemt binnen de meetkamer. De blauwe en oranje lijnen geven respectievelijk een exponentiële en lineaire regressie weer.



Figuur 3.75. Een voorbeeld van de verandering van de CO₂ concentratie over de tijd tijdens een normale nacht (atmosferische mixing; linkergrafiek) en een nacht met een stabiele atmosfeer waarin de achtergrond CO₂ concentratie accumuleert (rechtergrafiek).

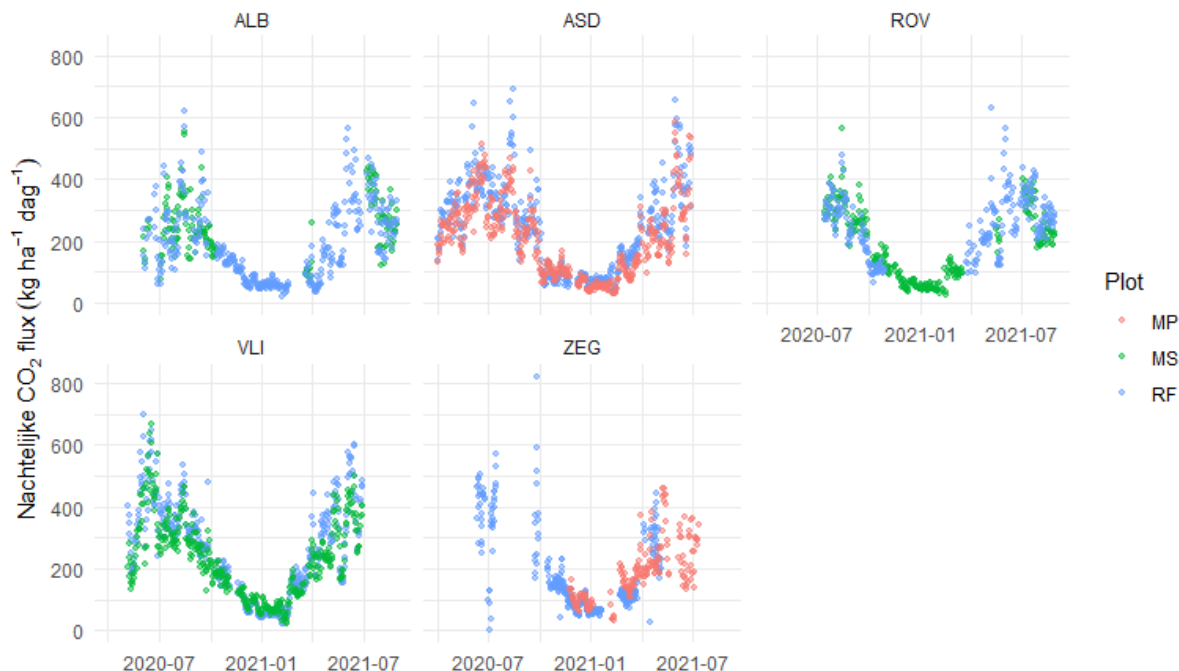
Referenties

- 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.
- Kutzbach, L., Schneider, J., Sachs, T., Giebels, M., Nykänen, H., Shurpali, N. J., ... & Wilmking, M. (2007). CO₂ flux determination by closed-chamber methods can be seriously biased by inappropriate application of linear regression. *Biogeosciences*, 4(6), 1005-1025.

3.21 CO₂-nachtfluxen en de relatie met grondwaterstand

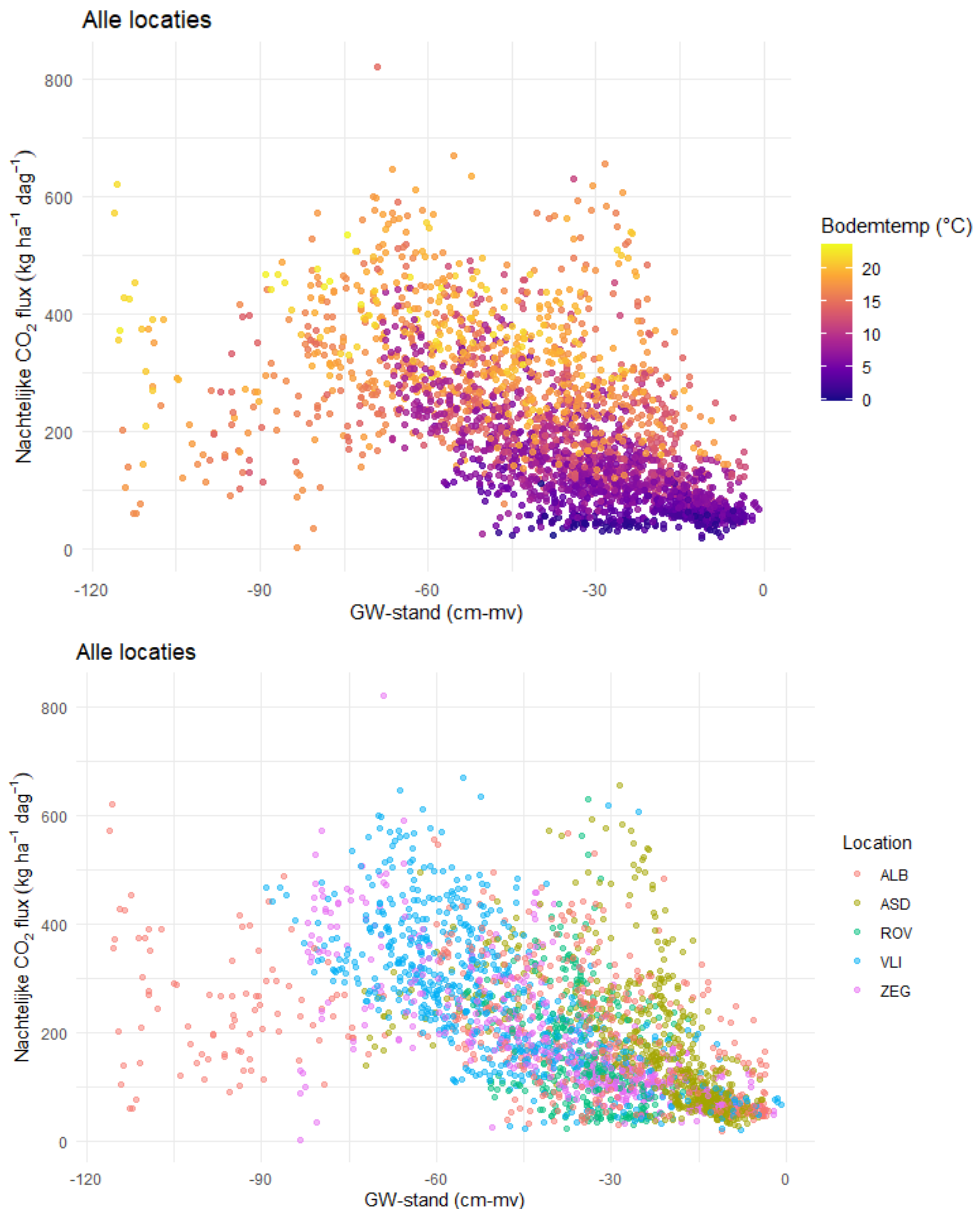
Auteur: Ralf Aben (RU), Coline Boonman (RU), Christian Fritz (RU), Daniël van de Craats (WEnR), Jim Boonman (VU), Harry Massop (WEnR) en Sanneke van Asselen (Deltares)

Voor alle locaties is een vergelijking van de nachtgemiddelde CO₂ fluxen gemaakt (Figuur 3.76). Dit overzicht laat zien dat geen van de 5 locaties een duidelijke uitschieter is in nacht CO₂ fluxen. Locaties Vlist en Assendelft laten over het algemeen de hoogste nacht-CO₂ fluxen zien.



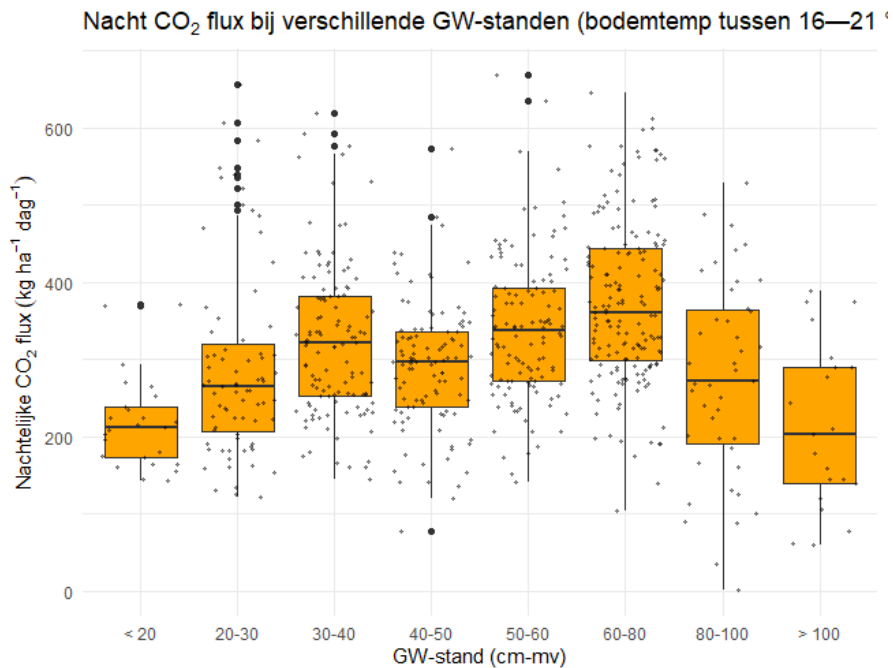
Figuur 3.76. Een overzicht van nachtgemiddelde CO₂ fluxen voor Aldeboarn (ALB), Assendelft (ASD), Rouveen (ROV), Vlist (VLI) en Zegveld (ZEG). MP, MS en RF staan respectievelijk voor drukdrainage, onderwaterdrainage en referentie plot.

Voor alle locaties zijn de gemeten nacht CO₂ fluxen gekoppeld aan de bodemtemperatuur op 5 cm diepte en de grondwaterstand beneden maaiveld (-mv), zodat de effecten hiervan geanalyseerd konden worden. Figuur 3.77 (boven) laat een trend zien van lagere emissies bij lagere bodemtemperaturen en lagere grondwaterstanden in het bereik van grondwaterstanden tussen de 0 en 70 cm-mv. Figuur 3.77 (onder) laat opnieuw de grondwaterstand tegen de nacht CO₂-fluxen zien, waarbij ditmaal de fluxen ingekleurd zijn op basis van de meetlocatie.

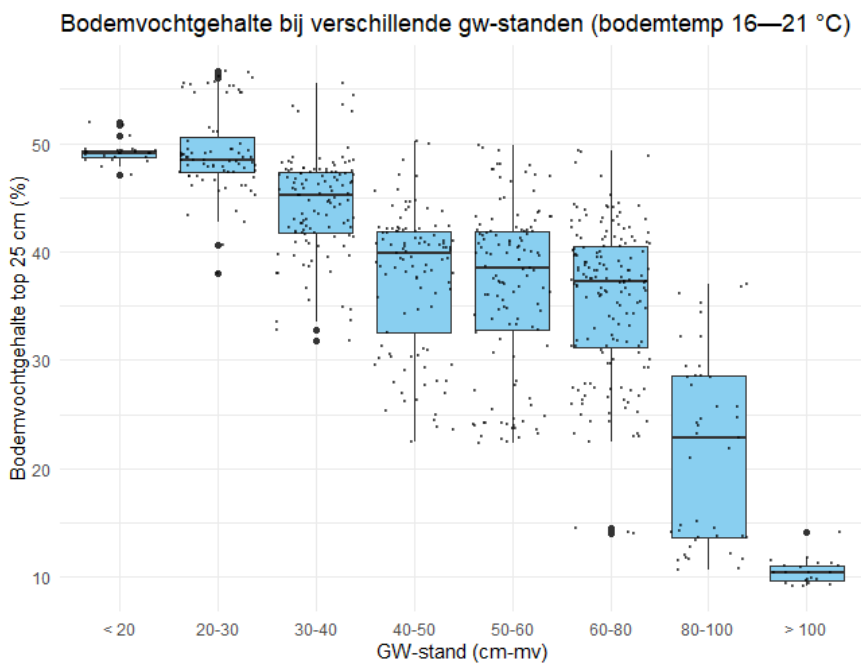


Figuur 3.77. De nachtgemiddelde CO₂ fluxen van alle locaties uitgezet tegen de grondwaterstand. In het bovenste plaatje zijn de individuele nachtfluxen ingekleurd op basis van de bodemtemperatuur op 5 cm diepte en in het onderste plaatje op basis van de locatie waar ze gemeten zijn.

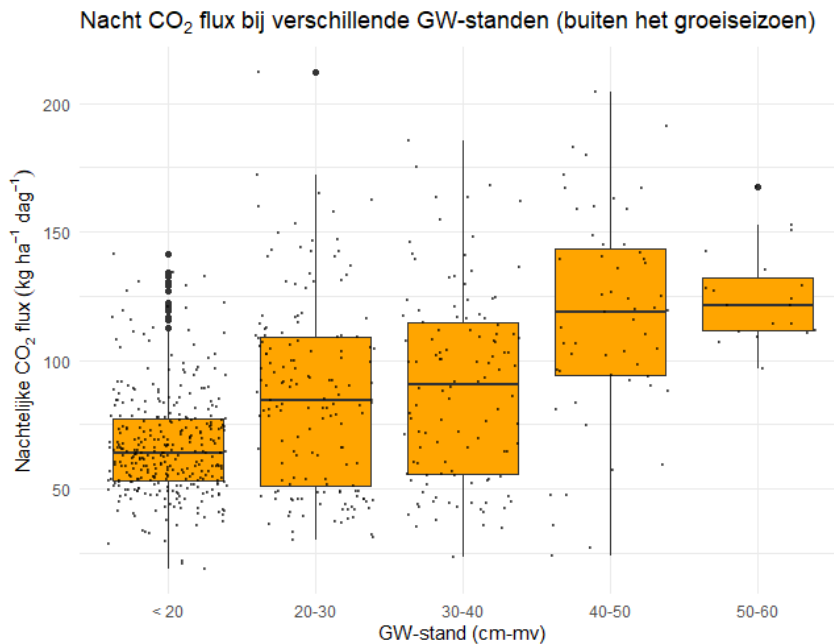
Figuur 3.77 maakt duidelijk dat voor het eerlijk kunnen vergelijken van CO₂ fluxen bij verschillende grondwaterstanden het noodzakelijk is dat er in ieder geval rekening gehouden wordt met het sterke effect van de bodemtemperatuur. Om die reden zijn de CO₂ fluxen ingedeeld in verschillende grondwaterstand-categorieën binnen een klein temperatuurbereik. Figuur 3.78 laat de resultaten zien voor CO₂ nachtfluxen met een bodemtemperatuur tussen de 16 en 21 °C. Er is te zien dat er een trend van lagere emissies is bij hogere grondwaterstanden wanneer de grondwaterstand boven de 40 cm-mv uitkomt. Het valt echter ook op dat emissies lijken af te nemen wanneer de grondwaterstand beneden de 80 cm-mv uitzakt. Dit is mogelijk een gevolg van verdroging, waarbij microbiële afbraak en grasrespiratie geremd worden door een vochttekort. In Figuur 3.79 is duidelijk te zien dat bij grondwaterstanden beneden de 80 cm-mv vochtgehalten in de top 25 cm van de bodem (de laag waarin de meeste wortelbiomassa zich bevindt) sterk gereduceerd zijn t.o.v. het vochtgehalten bij hogere grondwaterstanden.



Figuur 3.78. Nacht CO₂ fluxen van alle locaties bij bodemtemperaturen tussen de 16 en 21 °C opgesplitst in verschillende grondwaterstands-categorieën.

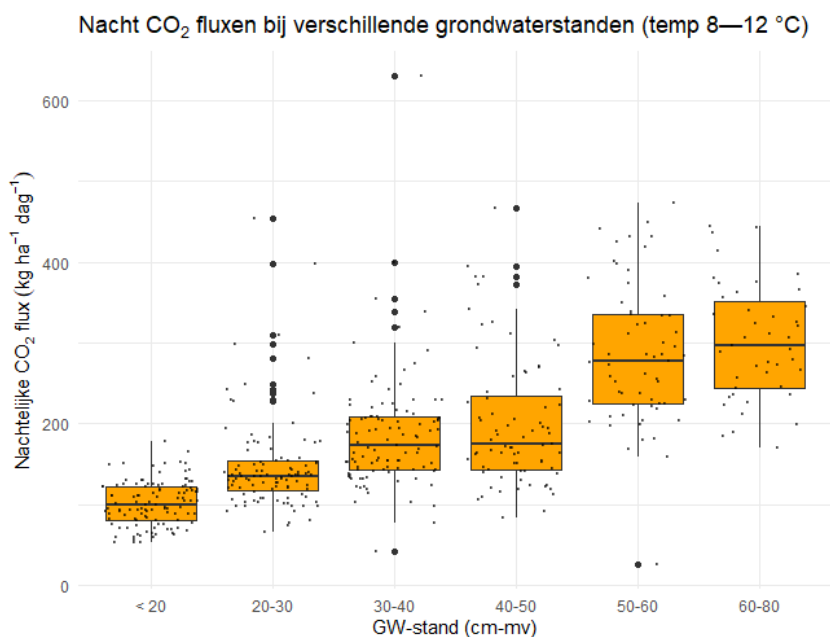


Figuur 3.79. Vochtgehalten (ongekalibreerd) van de bovenste 25 cm bodem bij verschillende grondwaterstanden en bodemtemperaturen tussen de 16 en 21 °C.



Figuur 3.80. Nacht CO₂ fluxen van alle locaties buiten het groeiseizoen (15 oktober – 15 maart) en bij bodemtemperaturen beneden de 8 °C opgesplitst in verschillende grondwaterstands-categorieën.

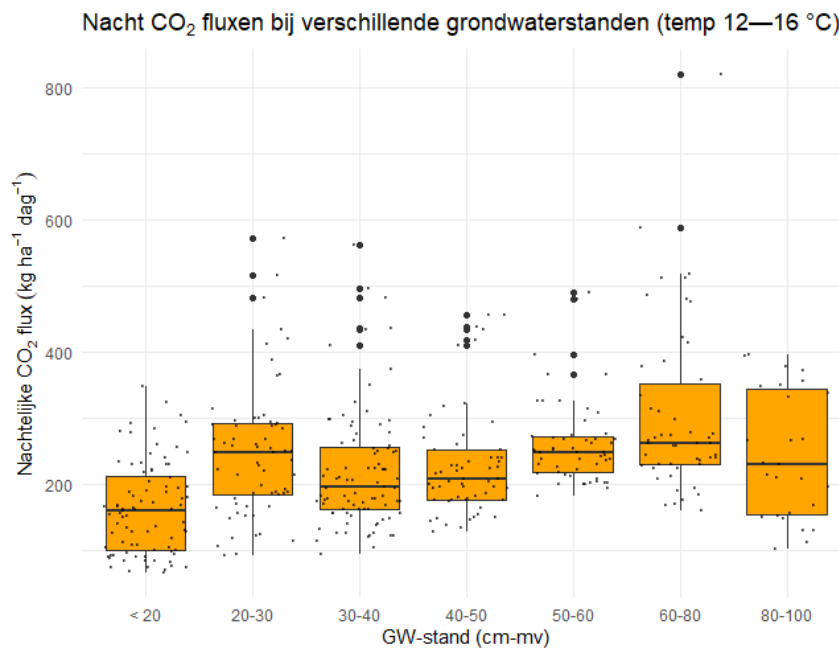
Om variatie in grasbiomassa (en het effect daarvan op de CO₂ fluxen) zoveel mogelijk te minimaliseren is ook gekeken naar het effect van grondwaterstand buiten het groeiseizoen en bij een bodemtemperatuur beneden de 8 °C (Figuur 3.80). Ook hier is een trend van lagere emissies bij hogere grondwaterstanden te zien wanneer de grondwaterstand boven de 40 cm-mv uitkomt.



Figuur 3.81. Nacht CO₂ fluxen van alle locaties bij bodemtemperaturen tussen de 8 en 12 °C opgesplitst in verschillende grondwaterstands-categorieën.

Bij bodemtemperaturen tussen de 8 en 12 °C is een duidelijke trend te zien van lagere emissies bij hogere grondwaterstanden wanneer de grondwaterstand boven de 60 cm-mv komt (Figuur

3.81). Een regressie over deze data resulteert in een hellingshoek van -3.85, wat zich vertaalt in ca. 4 kg CO₂ ha⁻¹ dag⁻¹ emissiereductie per cm grondwaterstandsverhoging bij grondwaterstanden boven de 60 cm-mv.



Figuur 3.82. Nacht CO₂ fluxen van alle locaties bij bodemtemperaturen tussen de 12 en 16 °C opgesplitst in verschillende grondwaterstands-categorieën.

Bij bodemtemperaturen tussen de 12 en 16 °C (Figuur 3.82) is er een minder duidelijk effect van de grondwaterstand te zien, mogelijk door meer variatie in andere milieuv variabelen. Ook hier is echter een trend van laagste emissies bij grondwaterstanden hoger dan 20 cm-mv te zien.

Komende tijd zal het effect van andere milieuv variabelen op de CO₂ fluxen onderzocht worden, zodat mogelijk—net zoals voor temperatuur—in de analyse hiervoor gecontroleerd kan worden, waardoor het effect van grondwaterstand op CO₂ fluxen met grotere nauwkeurigheid kan worden bepaald. Achterliggende informatie en grafieken (i.e. nachtgemiddelde CO₂ fluxen per locatie) zijn opvraagbaar bij de auteurs (RU).

4 SOMERS

4.1 Proces gebaseerde emissieberekeningen op landelijke schaal

Auteur: Roel Melman (Deltares)

In het Klimaatakkoord is voor het veenweidegebied een reductiedoelstelling vastgelegd van de jaarlijkse emissie: 1,0 Mton in 2030. Om zicht te houden op de voortgang van de reductieopgave, moet vanaf 2020 jaarlijks de reductie door de aanleg van maatregelen worden bijgehouden. Aangezien de geregistreerde CO₂-reductie in lijn moet zijn met de landelijke CO₂-uitstoot uit het veenweidegebied, moeten beide met een soortgelijke rekenmethodiek worden bepaald.

Aangezien belangrijke CO₂-reducerende maatregelen zoals onderwater- en drukdrainage de uitstoot op perceelsniveau beïnvloeden, moeten er op grote schaal kleinschalige maatregelen worden toegepast om te kunnen voldoen aan de reductiedoelstelling. Daarbij varieert het effect van een maatregel in ruimte en tijd, doordat lokale omstandigheden (e.g. afmetingen perceel, type ondergrond, kwel/wegzijing, etc.) en het weer (e.g. neerslag en verdamping) variëren.

In meetjaar 2 is daarom gestart met de ontwikkeling van SOMERS (Subsurface Organic Matter Emission Registration System), een modelraamwerk waarmee in potentie:

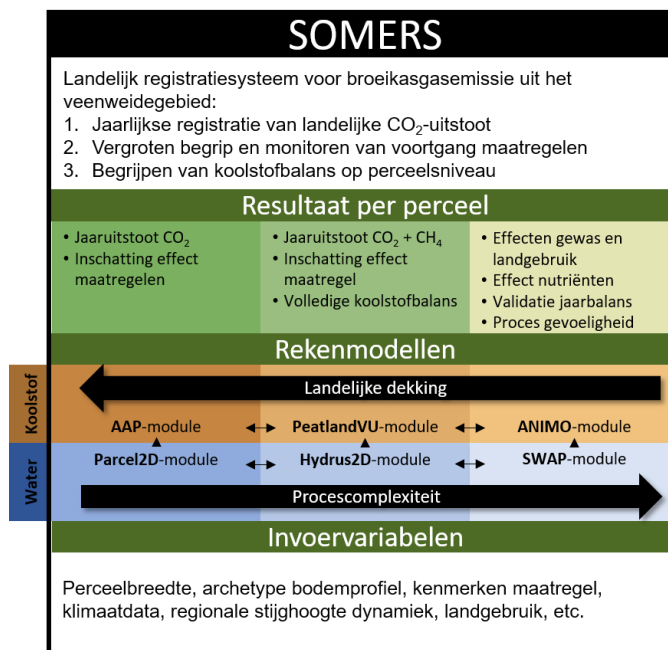
1. de voortgang van de reductieopgave kan worden bijgehouden, en;
2. de landelijke CO₂-uitstoot uit het veenweidegebied kan worden berekend.

Om daadwerkelijk de gerealiseerde reductie te kunnen monitoren moet naast de rekensystematiek ook landelijk in beeld worden gebracht waar welk type maatregelen wordt toegepast. Deze landelijke registratiesystematiek wordt door de subwerkgroep monitoring opgesteld. Dit maakt geen onderdeel uit van het NOBV.

De bestaande systematiek die in het kader van de LULUCF is ontwikkeld is niet geschikt de jaarlijkse monitoring van het effect van maatregelen. Deze methode is gebaseerd op empirische relaties tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), bodemdaling en CO₂-uitstoot. De GLG is gedefinieerd als het dal van de grondwaterregimecurve die doorgaans over een periode van minimaal 8 jaar wordt vastgesteld. Dit maakt de relatie ongeschikt voor jaarlijkse monitoring. Daarnaast is op dit moment onbekend hoe maatregelen de GLG beïnvloeden en of de empirische relatie tussen de GLG, bodemdaling en CO₂-uitstoot ook geldig zijn voor percelen met maatregelen.

Het is op dit moment ook (nog) niet mogelijk om op landelijke schaal de CO₂-uitstoot uit het veenweidegebied te meten. Daarom zijn we in deze fase afhankelijk van (proces)modellen die gebaseerd zijn op onze kennis over het grondwater- en bodemsysteem.

Het SOMERS-raamwerk omvat meerdere procesmodellen met een verschillende complexiteit, zie Figuur 4.1. Voor berekeningen op landelijke schaal zijn in meetjaar 2 Parcel2D en AAP-module ontwikkeld. De andere modellen binnen SOMERS zijn vanwege de lange rekentijden hiervoor minder geschikt. De lange rekentijden worden veroorzaakt omdat de modellen werken met een grotere proces complexiteit en deze zullen daarom vooral worden gebruikt om GRO2D en AAP-module te verbeteren en valideren. Ook worden deze modellen ingezet bij het analyseren van de metingen en het opbouwen van het mechanistische begrip van het systeem. Komende jaren zal SOMERS dienen als een ontvangststation voor nieuwe kennis (uit het NOBV) om de systematiek verder te verbeteren.



Figuur 4.1: Overzicht van SOMERS als registratiesysteem.

De uitstoot van broeikasgassen is afhankelijk van de omzetting van organische stof door microben. Deze microbiële omzetting is in grote mate afhankelijk van: 1) de aanwezigheid van organische stof in de bodem, 2) de aanwezigheid van zuurstof (of andere oxidator), 3) het bodemvochtgehalte en 4) de bodemtemperatuur (Davidson et al., 2012). Samen bepalen deze factoren de afbraakcondities. Veel van de deze variabelen zijn terug te voeren op de:

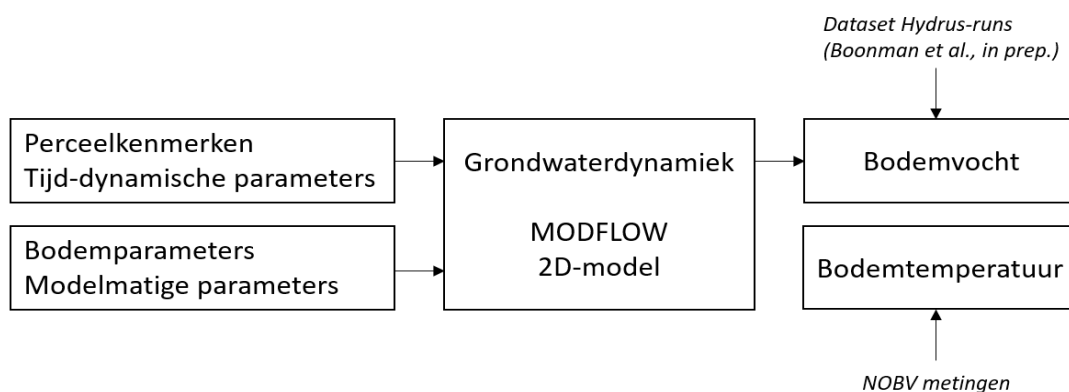
- Weersgesteldheid (neerslag, verdamping, temperatuur)
- Grondwaterstand (effect maatregel, bodemvochtprofiel, temperatuurprofiel, zuurstofconcentratie);
- Bodemopbouw (effect maatregel, aanwezigheid organische stof, hydrologische eigenschappen bodem (doorlatendheid, freatische berging, etc.)).

Ondanks dat de verschillende modules variëren in complexiteit staan in SOMRES de hydrologie en bodemopbouw centraal: met een hydrologisch model kunnen de randvoorwaarden zoals bodemvocht en -temperatuur worden bepaald, terwijl met een emissie-model op basis van deze randvoorwaarden de daadwerkelijk uitstoot kan worden bepaald. Hieronder wordt de opzet van de verschillende model-combinaties toegelicht.

4.2 Parcel2D en AAP-module

4.2.1 Parcel2D

Parcel2D is een 2D-grondwatermodel, waarmee op basis van karteerbare informatie de grondwaterdynamiek, bodemvocht- en bodemtemperatuurprofielen op perceelschaal kan worden berekend. Figuur 4.2 geeft schematisch de opzet van Parcel2D weer. Hieronder zullen de verschillende onderdelen apart worden toegelicht.



Figuur 4.2: schematische opzet Parcel2D.

Grondwaterdynamiek

De grondwaterdynamiek wordt – zoals Figuur 4.2 laat zien – op basis van een 2D MODFLOW model gesimuleerd (Langevin et al., 2017). Er wordt onderscheid gemaakt tussen vier type parameters:

1. Perceelkenmerken: slootafstand, maaiveldniveau, winter- en zomerpeil en waterhuishoudkundige maatregel;
2. Tijd-dynamische parameters: neerslag, verdamping, kwel en wegzijging;
3. Bodemparameters: bodemopbouw, doorlatendheid, vocht karakteristiek en freatische berging coëfficiënt;
4. Modelmatige parameters: drainageweerstand onderwater- en drukdrainagesystemen.

Perceelkenmerken en tijd-dynamische parameters zijn op perceelschaal min of meer bekend. Dit geldt niet voor de bodemopbouw en hydraulische eigenschappen, die ruimtelijk sterk kunnen variëren en niet op landsdekkende schaal gekarteerd zijn. Daarnaast tonen grondwatermetingen dat het effect van onderwater- en drukdrainagesystemen op de grondwaterstand sterk van locatie tot locatie kan verschillen. Dit verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verschillende factoren: de wijze waarop meetpunten worden ingericht, de lokale hydrologie, status technische installatie en de bedrijfsvoering.

Om toch realistische aannames te kunnen maken voor deze onbekende parameters is een stochastische analyse op basis van archetype bodemprofielen opgezet. Het veenweidegebied is op basis van de BRO bodemkaart en gekarakteriseerde bodemprofielen (de Vries, 1999) onderverdeeld in 28 archetype bodemprofielen. De onderverdeling berust op vergelijkbare verdeling van horizonten en veentypen. Acht archetypes beslaan ongeveer 90% van het Nederlands veenweidegebied.

De freatische bergingscoëfficiënt en horizontale doorlatendheid zijn gekalibreerd op basis van gemeten grondwaterstanden uit West-Nederland, Overijssel en Friesland. Overige hydraulische parameters zijn constant gehouden of onder vaste verhoudingen met de horizontale doorlatendheid gevarieerd. Door alle aannames en de vereenvoudigde modelopzet zal het model lokaal een aanzienlijke fout kunnen hebben. In de kalibratieprocedure wordt daarom aangenomen dat een representatieve set van parametercombinaties geldt in plaats van één unieke parametercombinatie. Ruim 600 parametercombinaties zijn geëvalueerd op basis van 26 grondwatermeetreeksen uit West Nederland, Overijssel en Friesland.

Om het effect van drainage-infiltratiemaatregelen, zoals onderwaterdrainage en drukdrainage, te bepalen is een soortgelijke stochastische analyse uitgevoerd. Op basis van ongeveer 30 gemeten grondwaterreeksen van maatregelpercelen uit West Nederland, Overijssel en Friesland, is de

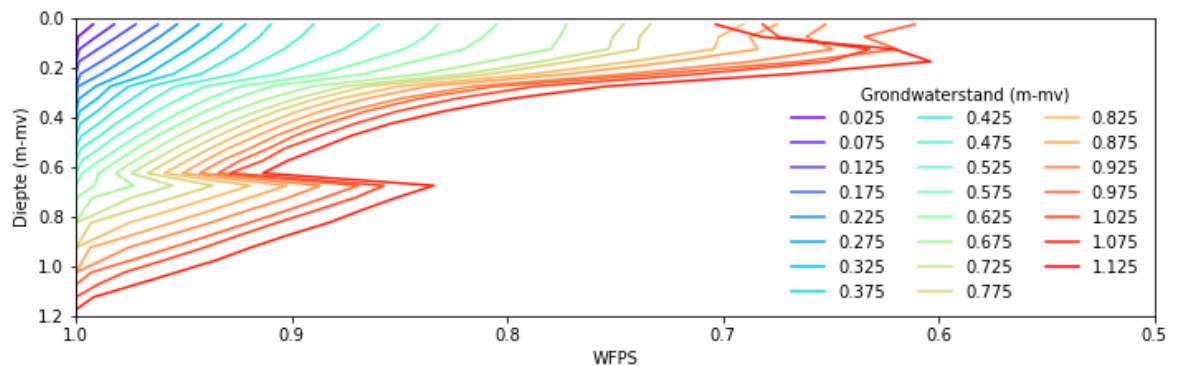
drainageweerstand van het buisdrainagesysteem gekalibreerd in relatie tot de geselecteerde hydraulische parameter combinaties. De drainageweerstand is in dit geval de weerstand die de grondwaterstroming naar of weg van de drains ondervindt. Er wordt op dit moment geen onderscheid gemaakt tussen een verschillende drainage- en infiltratieweerstand.

Bodemvocht

Als nabewerking van de grondwatermodellering wordt op dagbasis bodemvochtprofielen toegewezen op basis van de gemodelleerde grondwaterstand. Hoewel een toegewijd bodemvochtmodel op perceelsschaal een meer nauwkeurig resultaat geeft, is de inzet van bodemvochtmodellen op landelijke schaal gezien de lange rekentijden en vereiste inputparameters niet realistisch. Daarnaast grijpen belangrijke maatregelen, zoals onderwaterdrainage en drukdrainage, via de grondwaterstand in op de het bodemvochtprofiel.

Figuur 4.3 toont de archetype bodemvochtprofielen in relatie tot de grondwaterstand. De profielen zijn gebaseerd op de gemiddelde relatie tussen de grondwaterstand en bodemvocht (water filled porespace) uit 75 simulaties met het bodemvochtmodel Hydrus voor verschillende randvoorwaarden (Boonman et al., in prep.). De simulaties zijn gemaakt voor een perceel met een slootafstand van 35 m met een typisch veenweidebodem zonder kleilaag met veraard veen tot 60 cm onder maaiveld. De gebruikte vochtprofielen zijn representatief voor de situatie op 1/3 van de slootafstand. Er wordt op dit moment nog geen rekening gehouden met verschillende bodemarchetypes of de aanwezigheid van maatregelen. Beiden hebben mogelijk wel een significant effect op het bodemvochtprofiel. In meetjaar 3 zal worden gekeken of deze factoren expliciet kunnen worden toegevoegd aan de systematiek.

Naast de grondwaterstand wordt het bodemvochtprofiel beïnvloed door bodemeigenschappen zoals onverzadigde doorlatendheid en porositeit en door neerslag en (gewas)verdamping. Op dit moment wordt met geen van deze factoren expliciet rekening gehouden. Wel zit bijvoorbeeld de relatie tussen neerslag/verdamping impliciet in deze archetype profielen, omdat een lage gemiddelde grondwaterstand gemiddeld vaker in situaties met relatief veel verdamping voorkomt.



Figuur 4.3: Relatie tussen bodemvochtprofielen en de grondwaterstand (Boonman et al. in prep.)

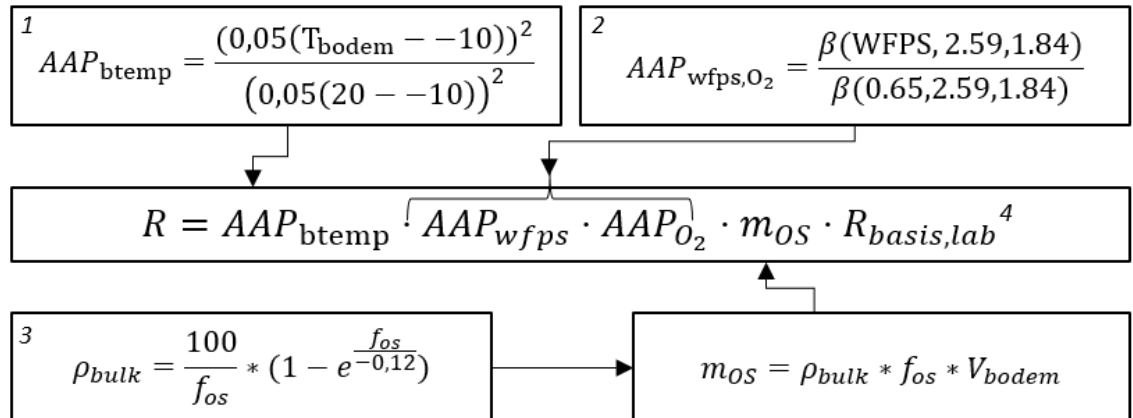
Bodemtemperatuur

Bodemtemperatuur wordt op alle NOBV-meetlocaties gemeten. De metingen uit 2020-2021 tonen relatief weinig verschil tussen de verschillende locaties. Er is daarom gekozen om een gemiddelde zomer en winterbodemtemperatuurprofiel toe te wijzen op basis van deze metingen. In meetjaar 3 zal worden onderzocht of de bodemtemperatuur op een eenvoudige wijze op basis van de luchttemperatuur en bodemeigenschappen kan worden gemodelleerd.

4.2.2 AAP-module

In deze emissiemodule wordt op basis van de bodemvochtprofielen en bodemtemperatuurprofielen uit Parcel2D en de massa organische stof in het archetype

bodemprofiel (de Vries, 1999) de CO₂-uitstoot op jaarbasis per hectare berekend. Via de Aerobe Afbraak Potentie (AAP) wordt bepaald in welke mate bodemtemperatuur, bodemvocht en zuurstof beperkend zijn t.o.v. een basis CO₂-uitstoot gemeten onder laboratoriumcondities. Figuur 4.4 geeft dit schematisch weer. Op deze manier wordt de aerobe afbraakpotentie voor het onverzadigde deel van het bodemprofiel bepaald met een verticale resolutie van 5 cm. Indien de veldcondities exact overeenkomen met de laboratoriumcondities (bodemtemperatuur is 20 °C en het fractie bodemvocht in porieruimte (water filled porespace) is 0.65) is de aerobe afbraakpotentie gelijk aan 1.



- 1: Bååth, E. (2018), Bader et al. (2018), Ratkowsky et al. (1983) & Jim Boonman et al. (in prep.)
 2: Säurich(2019) & Jim Boonman et al. (in prep.)
 3: Erkens et al. (2016)
 4: Erkens et al. (2021)

Figuur 4.4: schematische opzet AAP-module.

De aerobe afbraakpotentie is gebaseerd op relaties uit de literatuur tussen de bodemtemperatuur en -vocht en microbiële activiteit. Deze zijn door Boonman et al. (in prep.) geschikt gemaakt voor het Nederlandse veenweidegebied. De CO₂-uitstoot onder referentiecondities is afkomstig uit respiratie experimenten uit meetjaar 1. Deze experimenten hebben laten zien dat de CO₂-uitstoot uit verschillende veenmonsters behoorlijk vergelijkbaar zijn indien gecorrigeerd voor de fractie organische stof in het monster. Dit betekent andersom ook dat de maximale uitstoot afhangt van het organische stofgehalte in de bodem. De metingen worden hiervoor gecorrigeerd op basis van het organische stofgehalte in de archetype bodemprofielen. Samen met de berekende aerobe afbraakpotentie bepaald dit de CO₂-uitstoot (zie Figuur 4.4).

4.2.3 Voorlopige resultaten

Hieronder zullen een aantal belangrijke resultaten en conclusies omtrent de ontwikkeling van SOMERS worden besproken. In meetjaar 2 is hoofdzakelijk gewerkt aan het goed modelleren van de freatische grondwaterstand en het maken van eerste inschattingen van het relatieve effect van maatregelen. Bodemtemperatuur-, bodemvochtprofielen en de afbraakrelaties uit de literatuur, zijn nu een op een toegepast en hier valt nog weinig over te melden. Het is belangrijk om in meetjaar 3 een idee te ontwikkelen voor de gevoeligheid van het model voor deze aannames. Daarnaast is het belangrijk om te vermelden dat de validatie van de absolute CO₂-uitstoot op dit moment nog erg beperkt is. Door de vele metingen die vanuit het NOBV worden verricht zullen de validatiemogelijkheden hopelijk sterk verbeteren komende jaren.

Freatische grondwaterstand

De stochastische kalibratieprocedure voor het selecteren van parametercombinaties leidt over het algemeen tot behoorlijk goede resultaten voor het modelleren van de freatische grondwaterstand.

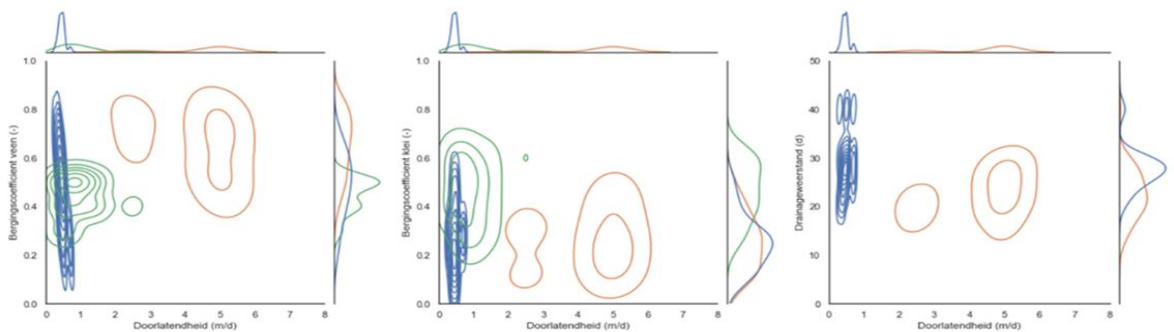
Voor ca. 80% van de kalibratiepercelen is het model in staat om de grondwaterdynamiek goed te simuleren. Wel zijn er sterke regionale verschillen: het model presteert aanzienlijk beter in West-Nederland en Friesland dan in de kop van Overijssel.

Vermoedelijk speelt het ontbreken van (aanzienlijke) weerstand in de deklaag een rol bij het veroorzaken van deze regionale verschillen. In de kop van Overijssel – maar ook in mindere mate in Friesland – is de deklaag over het algemeen dun, waardoor de stijghoogtedynamiek in het 1^e watervoerende meer invloed heeft op de grondwaterstand. In parcel2d worden de uitkomsten van het landelijk hydrologisch model (LHM) als randvoorwaarden voor het 1^e watervoerende pakket gebruikt. De fout van het LHM is echter aanzienlijk voor het veenweidegebied (Validatie en toetsing LHM 4.1, 2021), waardoor dit vermoedelijk ook tot uiting komt in de resultaten van het parcel2d. Daarbij is in de invloed van het 1^e watervoerende pakket in de kop van Overijssel extra groot doordat er lokaal een sterke kwelsituatie is.

Mogelijk spelen ook andere factoren een rol, zoals:

- Fouten in de meting
- Beïnvloeding als gevolg van de meetopstelling
- Lokaal sterk afwijkende hydrologie (bijv. hogere doorlatendheid deklaag door preferente stroming);
- Onzekerheden in de metadata (bijv. daadwerkelijk slootpeil wijkt sterk af van het streefpeil);
- Fouten als gevolg van de modelopzet.

Figuur 4.5 laat de relatie tussen de gekalibreerde parameters zien voor de verschillende regio's. In principe is iedere parametercombinatie even waarschijnlijk. In eerste instantie is de kalibratie per bodemarchetype uitgevoerd. Er zijn op dit moment echter te weinig grondwatermetingen van de verschillende archetypes om hierin te kunnen differentiëren. Figuur 4.5 laat wel sterke regionale verschillen zien. Zo is de verdeling voor de horizontale doorlatendheid voor West-Nederland erg nauw en liggen de waarden relatief laag, terwijl voor Overijssel de verdeling relatief breed is en de waarden een stuk hoger liggen. Het is op dit moment niet duidelijk of deze verschillen duiden op fysieke verschillen in de doorlatendheid van het veen tussen de regio's of dat de verschillen het gevolg zijn van de effectieve kalibratie. Dit zal in meetjaar 3 verder worden uitgezocht. Voor nu wordt er vastgehouden aan de verschillende parametersets voor de afzonderlijke regio's.



Figuur 4.5: relaties tussen doorlatendheid, fretische bergingscoëfficiënt veen, bergingscoëfficiënt klei en drainageweerstand voor verschillende kalibratieregio's. Op het moment van schrijven zijn de drainageweerstand voor de kalibratieregio Friesland nog niet bekend.

Voor percelen met een drainage-infiltratiemaatregel is de drainageweerstand als extra parameter meegenomen in de stochastische analyse. De drainageweerstand is voor de maatregel onderwaterdrainage relatief goed identificeerbaar. Voor drukdrainage ligt dit anders. Het effect van drukdrainage verschilt sterk per locatie, waardoor ook de drainageweerstand relatief breed verdeeld is. De brede verdeling komt mogelijk voort uit verschillen in bedrijfsvoering. Uit een rondvraag blijkt dat het drukpeil regelmatig kan worden losgelaten, ook in de zomer. Idealiter zou

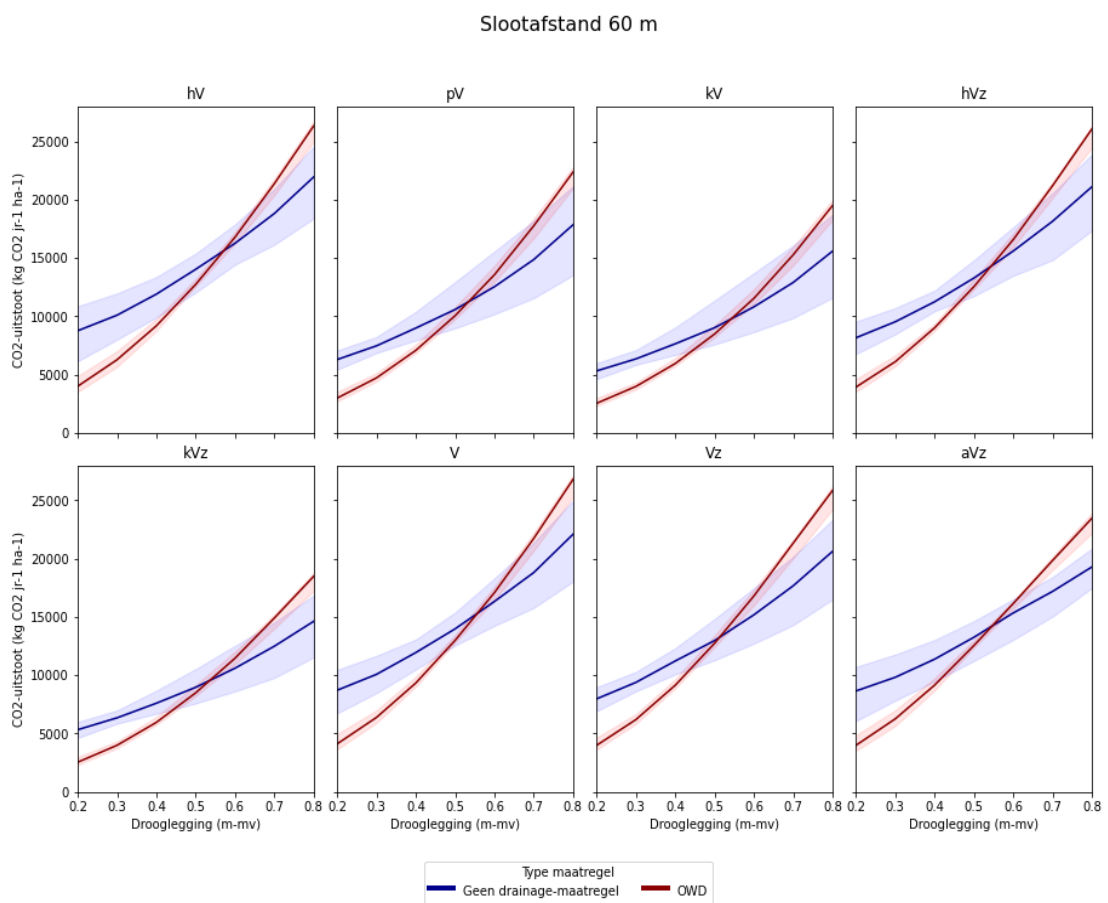
drukdrainage dus met het een expliciet gemeten putpeil worden gemodelleerd, in ieder geval voor de kalibratieprocedure. Dit soort metingen zijn echter lang niet altijd beschikbaar.

4.2.4 Effect maatregelen

Figuur 4.6 toont de gemodelleerde CO₂-uitstoot voor verschillende situaties in west-Nederland. Het gaat in dit geval niet om een fysiek bestaand perceel, maar een voorbeelduitwerking voor verschillende situaties in drooglegging en bodemopbouw. Alle situaties zijn gemodelleerd met het referentie weer voor de periode 2010-2019. De archetypes waarvoor de berekeningen gemaakt zijn de meest voorkomende archetypes in Nederland.

Door situaties te vergelijken kan een inschatting van het effect van een maatregel gemaakt worden. Zoals gezegd is de absolute CO₂-uitstoot heel beperkt gevalideerd, maar het relatieve effect dat uit deze resultaten blijkt van bijvoorbeeld een peilverhoging of de aanleg van onderwaterdrainage komt goed overeen met veldervaringen. Uit de resultaten blijkt in ieder geval voor een gemiddeld weerjaar het volgende:

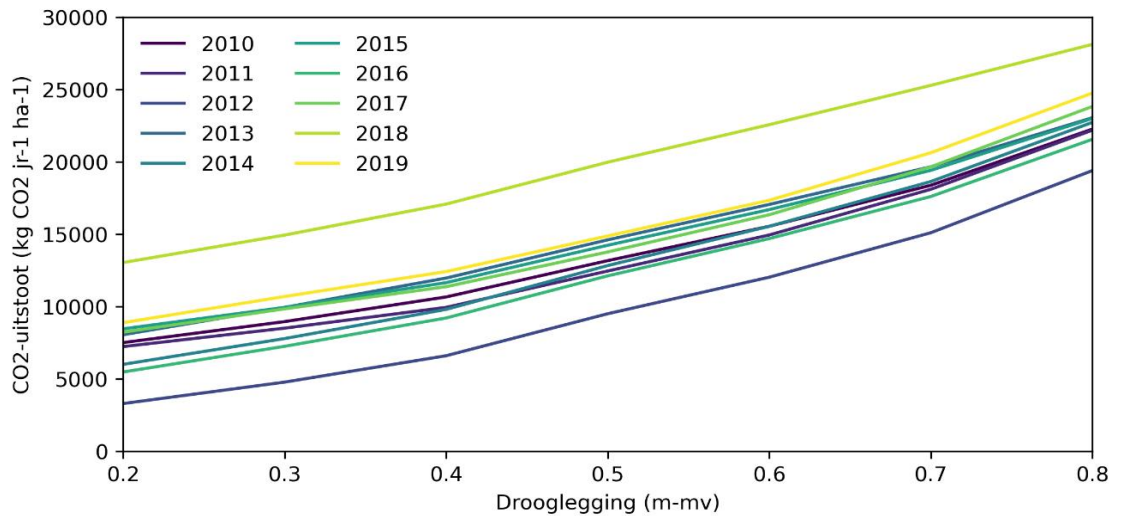
- Bij een relatief grote drooglegging (> 0.5 m) leidt de aanleg van onderwaterdrainage nauwelijks tot reductie.
- Onderwaterdrainage in combinatie met een peilverhoging heeft een relatief groot effect.



Figuur 4.6: gemodelleerde absolute uitstoot op basis voor verschillende situaties in west-Nederland. Geen kwel of wegzijging.

- Het relatieve effect van een maatregel verschilt weinig voor de verschillende archetypes, de absolute uitstoot verschilt wel.
- Het effect van peilopzet zonder drainagemaatregel neemt af met de slootafstand (niet in Figuur 4.6).

Figuur 4.7 laat zien dat met SOMERS ook de jaar-tot-jaar variatie in de uitstoot kan worden gemodelleerd. Zo is de uitstoot in het relatief natte jaar 2012 een stuk lager, terwijl de uitstoot in het relatief droge jaar 2018 veel hoger ligt.



Figuur 4.7: Gemodelleerde CO₂-uitstoot voor verschillende droogleggingsituaties en jaren.

Referenties

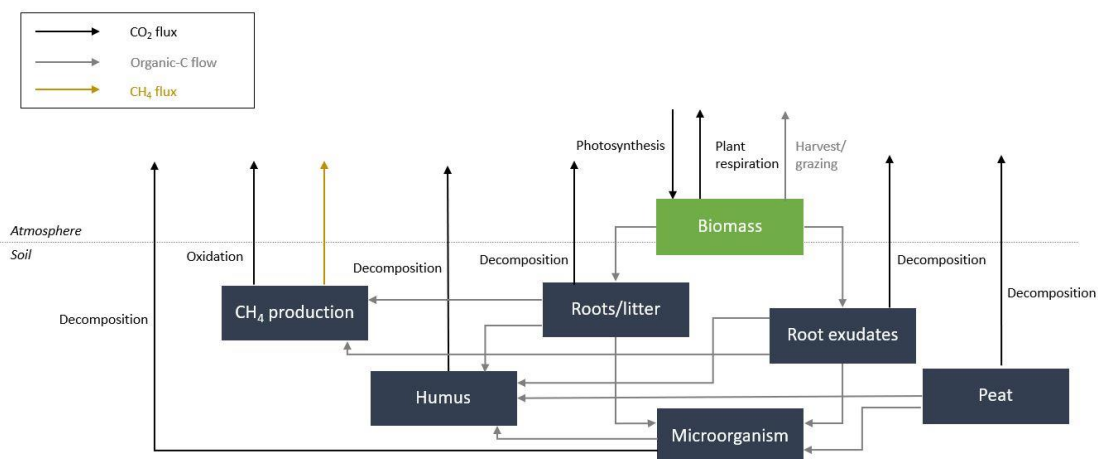
- Bååth, E. (2018). Temperature sensitivity of soil microbial activity modeled by the square root equation as a unifying model to differentiate between direct temperature effects and microbial community adaptation. *Global change biology*, 24(7), 2850-2861.
- Bader, C., Müller, M., Schulin, R., & Leifeld, J. (2018). Peat decomposability in managed organic soils in relation to land use, organic matter composition and temperature. *Biogeosciences*, 15(3), 703-719.
- Davidson, E. A., Samanta, S., Caramori, S. S., & Savage, K. (2012). The Dual Arrhenius and Michaelis–Menten kinetics model for decomposition of soil organic matter at hourly to seasonal time scales. *Global Change Biology*, 18(1), 371-384.
- De Vries, F. (1999). Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken. Wageningen: DLO-Staring Centrum
- Erkens, G., Van der Meulen, M. J., & Middelkoop, H. (2016). Double trouble: subsidence and CO₂ respiration due to 1,000 years of Dutch coastal peatlands cultivation. *Hydrogeology Journal*, 24(3), 551-568.
- Erkens, G., van Asselen, S., Hommes, S., Melman, R., van Meerten, H., van Essen, H., ... & Smolders, F. (2021). *Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden: Samenvatting eerste meetjaar (2019-2020)* (No. 2021-58). Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).
- Langevin, C. D., Hughes, J. D., Banta, E. R., Niswonger, R. G., Panday, S., & Provost, A. M. (2017). Documentation for the MODFLOW 6 groundwater flow model (No. 6-A55). US Geological Survey.
- Ratkowsky, D. A., Lowry, R. K., McMeekin, T. A., Stokes, A. N., & Chandler, R. (1983). Model for bacterial culture growth rate throughout the entire biokinetic temperature range. *Journal of bacteriology*, 154(3), 1222-1226.

4.3 PEATLAND-VU

Auteurs: Merit van den Berg (RU/VU), Ko van Huissteden (VU)

4.3.1 Algemeen

In het PEATLAND-VU model wordt de decompositie (en de daarbij behorende CO₂ productie) van verschillende koolstofbronnen per dag berekend in een gedefinieerd bodemprofiel. Doordat zowel de planten als de decompositie van bodemkoolstof van verschillende bronnen (micro-organismen, humus, plantenresten en veen) wordt gemodelleerd, kan het model goed vergeleken en gekalibreerd worden met gemeten CO₂ fluxen. Het model is in eerste instantie ontwikkeld voor veenweiden (Huissteden et al. 2006), maar is vervolgens vooral gebruikt, aangepast en verbeterd voor natuurlijke veengebieden in noordelijke regio's (Siberië). Hierdoor is er in de afgelopen jaren minder aan het grondwatergedeelte gewerkt, aangezien in natuurlijke venen die dynamiek klein is, maar meer aan het incorporeren van permafrost en verbeteren van de methaan emissies. Voor het NOBV is er begonnen met het modelleren van de locatie Assendelft, waarbij zo veel mogelijk parameterwaarden uit gemeten data of literatuur is gehaald. Vervolgens zijn de parameters die onbekend of onbetrouwbaar waren gekalibreerd per submodel (zie hieronder). Voor grondwaterstand is gekozen om in eerste instantie gemeten waterstanden te gebruiken als input, en is voor nu de focus komen te liggen op het zo goed mogelijk krijgen van de koolstofcyclus en de afbraaksnelheden van de verschillende koolstofbronnen. De parameters zijn gekalibreerd op het referentie perceel en vervolgens is het model gerund met waterstanden van het maatregelperceel. Per modelonderdeel laten we zien hoe goed het model de gemeten waarden kan beschrijven en waar de nodige verbeterpunten liggen. Als modelinput wordt de bodem per diepte tot 150 cm beschreven, met maximaal 15 lagen. Eigenschappen als pH, C/N ratio, organisch koolstof gehalte, bodemdichtheid en pF cruve worden per laag ingevoerd als vaste waardes. Het model bestaat uit verschillend submodellen voor: grondwater, bodemtemperatuur, biomassa productie, decompositie van organisch koolstofbronnen en methaan (Figuur 4.8). Voor elk submodel zijn verschillend input variabelen en -parameters nodig.

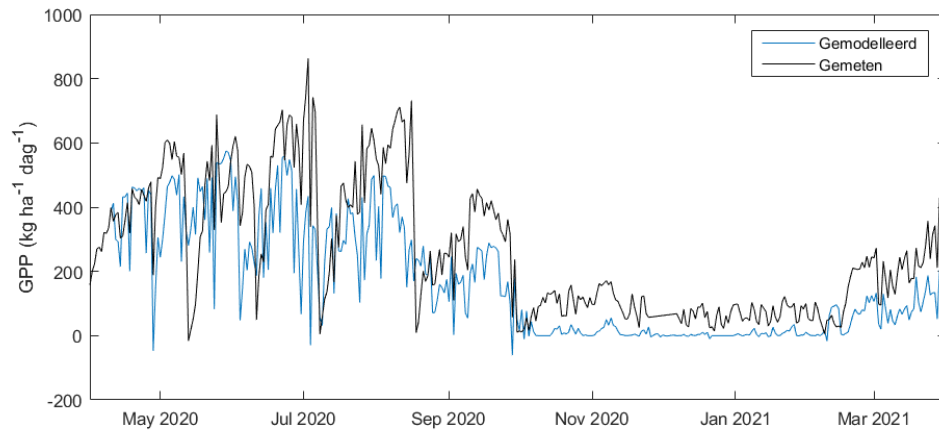


Figuur 4.8. Organisch koolstof-, CO₂- en CH₄-fluxen beschreven met het PEATLAND model.

4.3.2 Plantproductie

In het plantenproductie submodel wordt aan de hand van gekalibreerde temperatuur- en lichtgevoeligheid parameters, de hoeveelheid biomassa productie per dag berekend met inkomende straling als input data. De kalibratie is gedaan met gross primary production (opname van CO₂ door planten, GPP) waardes die bepaald zijn uit de gemeten CO₂ fluxen, en geoogste biomassa. Het bleek dat het productiemodel de oogst niet meeneemt in de leaf area index

(bladoppervlakte, LAI), waardoor de gemodelleerde biomassa niet overeenkwam met de gemeten biomassa. Het model is hiervoor aangepast zodat de oogst wel goed wordt meegenomen.



Figuur 4.9. Gross primary production (CO_2 opname door de plant, GPP) gemodelleerd (blauw) en bepaald a.h.v. CO_2 flux metingen (zwart).

Figuur 4.9 laat zien dat GPP goed wordt gemodelleerd, alleen richting het einde van het seizoen is er een onderschatting en de oogst momenten hebben minder effect dan ze in de gemeten data laten zien. Oogst zou een stress reactie kunnen veroorzaken bij de plant, wat niet in het model meegenomen wordt. Om de plantproductiemodel te verbeteren zullen we komende tijd onderzoek gaan naar een model specifiek voor gras en kijken of we dit/delen daarvan kunnen integreren in het PEATLAND model.

4.3.3 Bodemvocht en -temperatuur

Met de inputvariabelen oppervlakte temperatuur, verdamping en grondwaterstand wordt per bodemlaag bodemtemperatuur en bodemvocht berekend. Temperatuur is gemodelleerd met de oppervlaktetemperatuur als input.

Gemodelleerde temperatuur op 30 cm komt heel goed overeen met gemeten temperatuur. Op 10, 60 en 90 cm diepte wordt de temperatuur onderschat. De onderschatting op 10 cm en >40 cm diepte kan aan profielopbouw of bodemvocht liggen. Data van een gedetailleerdere profielopbouw (inclusief pF curves) moet nog komen en zal waarschijnlijk de uitkomst verbeteren. Ook bodemvocht zou nog beter gekalibreerd kunnen worden op het moment dat er betrouwbare bodemvochtdata zijn. Verandering in de bodemvocht heeft ook weer invloed op de modellering van de bodemtemperatuur.

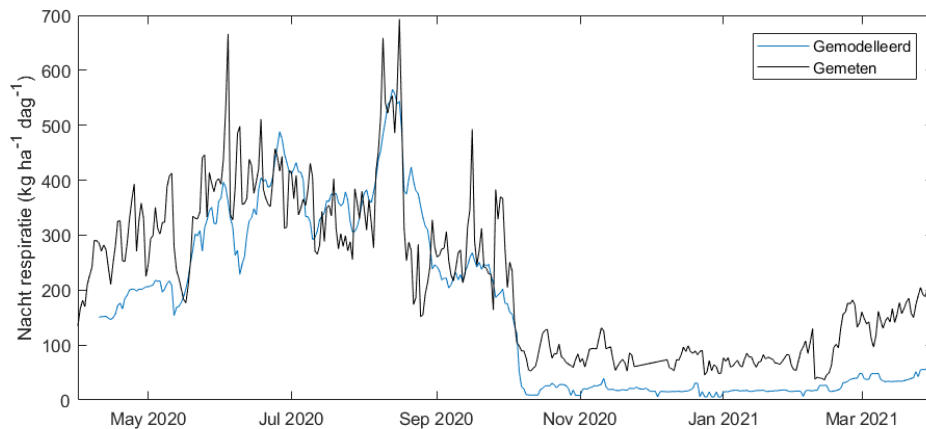
4.3.4 Totale respiratie en veenoxidatie

Temperatuur en bodemvocht zijn essentiële parameters voor de decompositie van organisch materiaal. Decompositie wordt uitgevoerd door micro-organismen, die het productiefst zijn bij een vochtpercentage rond veldcapaciteit. Zodra de bodemvocht richting verzadiging gaat wordt zuurstof limiterend en wanneer de bodem uitdroogt wordt vocht limiterend. Een temperatuur toename zorgt voor een exponentiële stijging van de decompositie, met een optimum rond de 20 graden. De decompositie snelheid is naast temperatuur en bodemvocht ook van pH, koolstof toevoer van planten en in het geval van veen van de C/N ratio afhankelijk.

Alle kortcyclische koolstofbronnen (planten, wortellexudaten, plantenresten, dode micro-organismen en humus) zijn allemaal direct of indirect afhankelijk van koolstofopname door planten (fotosynthese) en de verdeling van de koolstof in plantrespiratie, wortellexudaten en dode biomassa. Alle koolstof wat in de bodem terecht komt wordt verdeeld over de eerder genoemde koolstof bronnen. In PEATLAND-VU wordt met een plantmodel opname en verdeling van koolstof gesimuleerd.

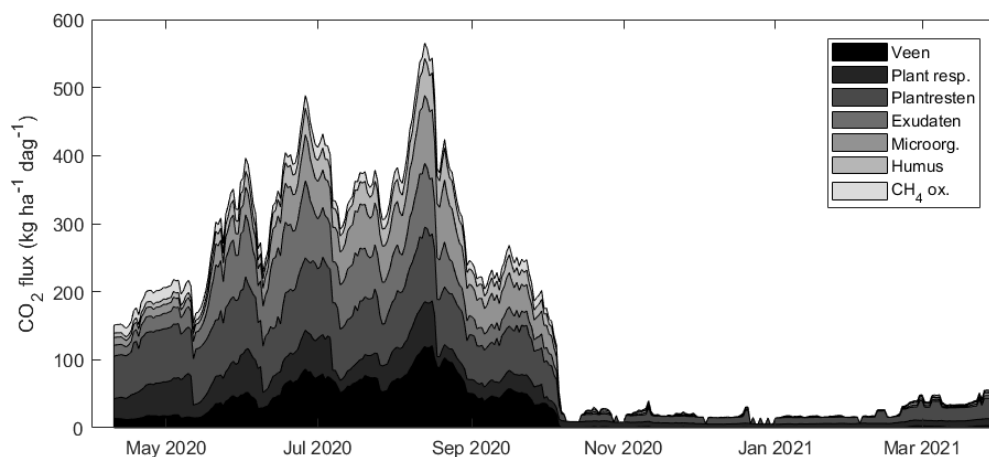
Omdat de exacte beginsituatie van de grootte van de koolstofreservoirs doorgaans niet bekend is wordt gebruik gemaakt van spin-up van het model waarbij het model over enkele decennia gedraaid wordt met weergegevens van een nabijgelegen KNMI weerstation als input. Hierbij worden de koolstofreservoirs geacht een evenwicht te bereiken, of kunnen eventueel de begincondities aan de hand daarvan bijgesteld worden.

Het model is gekalibreerd op de nachtelijke respiratie (CO₂ flux metingen in de nacht) om het effect van de fotosynthese niet mee te nemen. Figuur 4.10 laat zien dat de globale trend over het jaar goed wordt gemodelleerd, alleen de dag tot dag fluctuaties niet. Een direct effect van fotosynthese op de plant respiratie wordt waarschijnlijk onvoldoende meegenomen en zou verbeterd kunnen worden. Ook is er een onderschatting van de nachtelijke respiratie in de winterperiode, wat ook verklaard kan worden met een onderschatting van GPP.



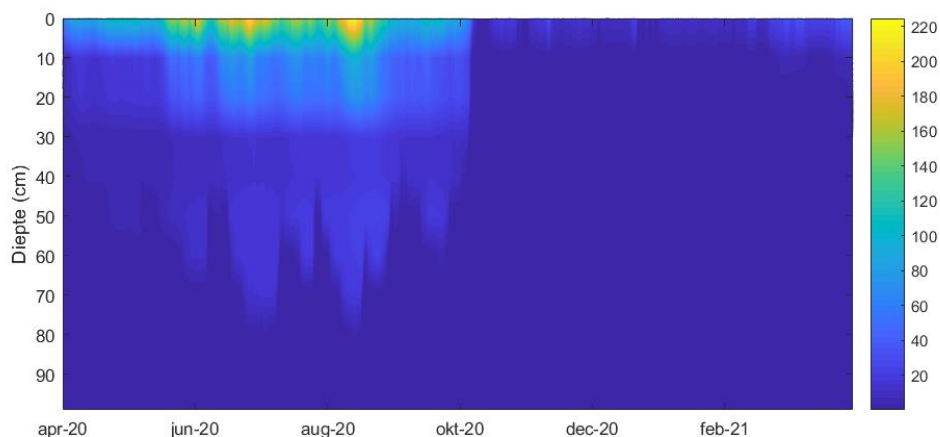
Figuur 4.10. De gemodelleerde ecosysteemrespiratie (blauw) en gemeten ecosysteem respiratie in de nacht (zwart).

De totale ecoysteemrespiratie bestaat dus uit decompositie van verschillende bodemkoolstofbronnen en respiratie van de plant. In Figuur 4.11 is de contributie van de verschillende bronnen aan de totale ecosysteemrespiratie weergegeven. Met de huidige calibratie en settings laat het model zien dat zo'n 18% van de respiratie komt uit veenoxidatie. Dat komt over het jaar gezien neer op 9.5 t CO₂ ha⁻¹ uit veen. Met deze settings is het model ook gerund met grondwaterstanddata van het maatregelperceel. Dan is de uitkomst 4.9 t CO₂ha⁻¹ jaar⁻¹ aan veenoxidatie, dus een reductie van ~50%.



Figuur 4.11. Berekende contributie van alle koolstofbronnen aan de ecosysteem respiratie.

De hoogte van de CO₂ productie verschilt erg per bodemdiepte (zie Figuur 4.12). Bovenin het profiel vindt de grootste productie plaats door de aanwezigheid van makkelijk afbreekbaar koolstof (afkomstig van planten), hogere temperatuur en lagere bodemvocht. Zodra de bodem verzadigd is vindt er in het model geen afbraak van organisch materiaal meer plaats en is de CO₂ productie nul.



Figuur 4.12. In kleur de CO₂ productie in kg ha⁻¹ dag⁻¹ per 10 cm diepte in de verschillende dieptes van het gemodelleerde profiel over de periode 01-04-2020 t/m 31-03-2021.

De CO₂ productie in de diepte willen we het komende jaar verder verbeteren door de bodemvocht simulaties te optimaliseren, anoxische veenoxidatie toe te voegen en wellicht willen we ook de beperking van zuurstofindringing tot diepere lagen toevoegen.

4.3.5 Parameters

Tabel met de belangrijkste parameters gebruikt voor de uitkomsten in deze sectie. De parameters zijn afkomstig van metingen, uit literatuur, op basis van eigen inzicht ('bepaald') of door kalibratie.

Modelonderdeel	Parameter	Waarde	Eenheid	Gebaseerd op	Beschrijving
Bodemvocht	DrainageDist	40	m	Meting	Sloot afstand ASD
	Ksat	0.028	m d-1	Literatuur	Verzadigde doorlatendheid. Liu (2009).
	DrainLevel	0.55	m	Meting	Slootpeil ASD
Bodemtemperatuur	T_average	11	degC	Meting	Gemiddelde temperatuur 2020-2021 ASD RF
	T_init	[0.00 0.35 0.75 1.15 2.0; 3.9 6.6 10.4 11.8 12.0]	degC	Meting	Initiële temperatuur profiel; 1ste rij is diepte, 2e rij is temperatuur. Gemeten temperatuur in ASD RF, 30 m is geschat.
	MaxDepthHeat	2	m	Gekalibreerd	Maximale diepte temperatuurmodel.
SOM decompositie	T_ref	10	degC	Bepaald	Referentie temperatuur voor afbraakconstanties
	Kdecay	[0.0059 100 200 3.14 0.023]	yr-1	Meting/ Literatuur	SOM (soil organic matter) afbraakconstanties per reservoir: 1) veen; 2) DOC in mest; 3) vaste aandeel mest; 4) wortelxudaten; 5) DOM en wortels; 6) microbiële biomassa; 7) humus. 1) basis respiratie gemeten door UU, anoxische zone Assendelft; 2) n.v.t.; 3) n.v.t.; 4) Kunc & Macura 1966; 5) Gorissen & Cotrufo 2000; 6) Marumoto et al. 1982; 7) Jenkinson 1990
	MoiAct	133400	J mol-1	Gekalibreerd	Moleculaire activatie energie voor temperatuurscorrectie van de afbraakconstanties (Arrhenius vergelijking) 135500 from Leifeld & Lützw 2013
	RootAeration	0.5	Bepaald	Bepaald	Wortel afhankelijk correctie (0-1) voor verbeterde bodembeluchting door wortelgroei. Als 0 dan uitgeschakeld
	PrimingCorrection	0.5	Bepaald	Bepaald	Wortelbiomassa afhankelijk priming effect van wortelxudaten op langzame koolstof reservoirs. Waarde > 0; als 0, dan
	MaxProd	0.0885	kgC m-2 d-1	Gekalibreerd	Maximale primaire productie
	KBeer	0.8	Literatuur	Literatuur	Beer's law constant voor fotosynthese. Teughels et al. 1995
	LAICarbonFraction	0.07	kg C/m2 per unit of LAI	Gekalibreerd	C in biomassa per m2 LAI
	PhotoPar	[0.4 0.03 18.83 0.09]	Gekalibreerd	Gekalibreerd	Parameters voor fotosynthesemodel 1: Plant respiratie bij 0 grC; 2: Temperatuur gevoeligheid plantrespiratie; 3: Lichtverzadigde fotosynthese snelheid per leaf area (µmol m-2 leaf s-1); 4: initiële toename van light response curve (µmol CO2 µmol-1 photons of C4 (2) plant; 6: Fractie biomassa dat afsterft in de herfst; 7: start groeiseizoen; 8: start herfst.
	Phenology	[1.8 150 5.6 1.0 8.258 1.275]	Bepaald/ Literatuur	Bepaald/ Literatuur	1: summergreen (1) of evergreen (0); 2: basis voor de heat sum (growing degree days); 3: heat sum bij max LAI; 4: Max LAI; 5: C3 (1) of C4 (2) plant; 6: Fractie biomassa dat afsterft in de herfst; 7: start groeiseizoen; 8: start herfst.
Plant productie	MinProd	0.001	kgC m-2 d-1	Bepaald	Minimale primaire productie
	MaxRootDepth	0.3	m	Literatuur	Maximale worteldiepte. Nutrifibre, graastechnology by Barenbrug
	RootSenescence	0.0102	Literatuur	Literatuur	Aandeel wortel dat afsterft bij elke tijdstap (Kriff & Berendse 2002)
	InitRoots	0.07	kgC m-2	Literatuur	Initiële wortelbiomassa. Schapendonk et al. 1997
	ShootsFactor	0.75	Literatuur	Literatuur	Massa fractie van de primaire productie dat naar de stengel gaat, de rest is wortel groei. Schapendonk et al. 1997
	RespFac	[0.13 0.30]	Gekalibreerd	Gekalibreerd	Eerste waarde is groeirrespiratie, tweede is onderhoud respiratie.
	ExudateFactor	0.711	Gekalibreerd	Gekalibreerd	Fractie van ondergrondse biomassa productie wat naar wortelxudaten gaat
	BioMass	0.17	kgC m-2	Meting	Gmiddelde biomassa net voor maaien in ASD RF
	BioMassSenescenc	0.01	Gekalibreerd	Gekalibreerd	biomassa senescence at each DAY as fraction of above-ground biomass
	SatCorr	0.21	Literatuur	Literatuur	Correctie voor biomassa productie van hoge verzadiging van de bodem. Productie van L. perenne wordt met 79% gereduceerd in natte condities (Edmond 1962)
SpringCorrection	SpringCorrection	0.5	Bepaald	Bepaald	Correctie (0-1) voor meer wortelxudaten in het voorjaar.
	Harvest	[133 0.71; 161 0.65; 189 0.77; 231 0.77; 274 0.76;]	Meting	Meting	Oogstdatum (1ste kolom) en geoogste fractie (2de kolom)
	Manure	[0 0.0]	n.v.t	n.v.t	Bemestingsdatum (1ste kolom) en hoeveelheid (2de kolom) in kgC m-2 d-1. Geen C in kunstmest.

4.4 Update SWAP-Animo

Auteur: Rob Hendriks (WEnR)

SWAP-ANIMO is een proces-georiënteerd model waarmee maaiveldddaling en vorming en emissie van de broeikasgassen CO₂, CH₄ en N₂O in veenweiden onder verschillende waterhuishoudkundige, meteorologische en klimatologische omstandigheden kunnen worden gesimuleerd. Het is geschikt voor analyse van bestaande, doorgemeten situaties en voor voorspellen van effecten van waterhuishoudkundige ingrepen als peilverhoging en onderwaterdrains/drukdrains en veranderende klimatologische omstandigheden.

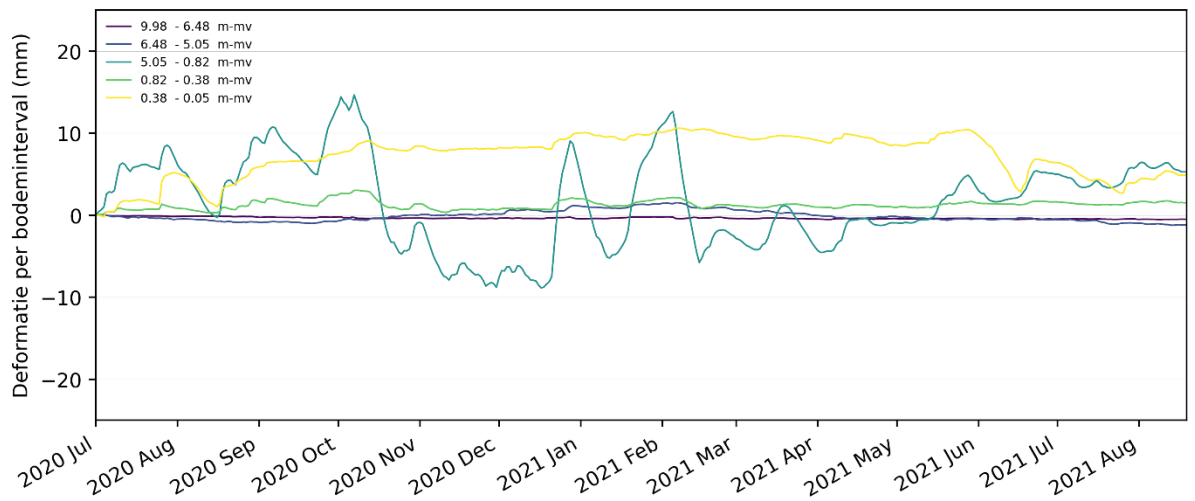
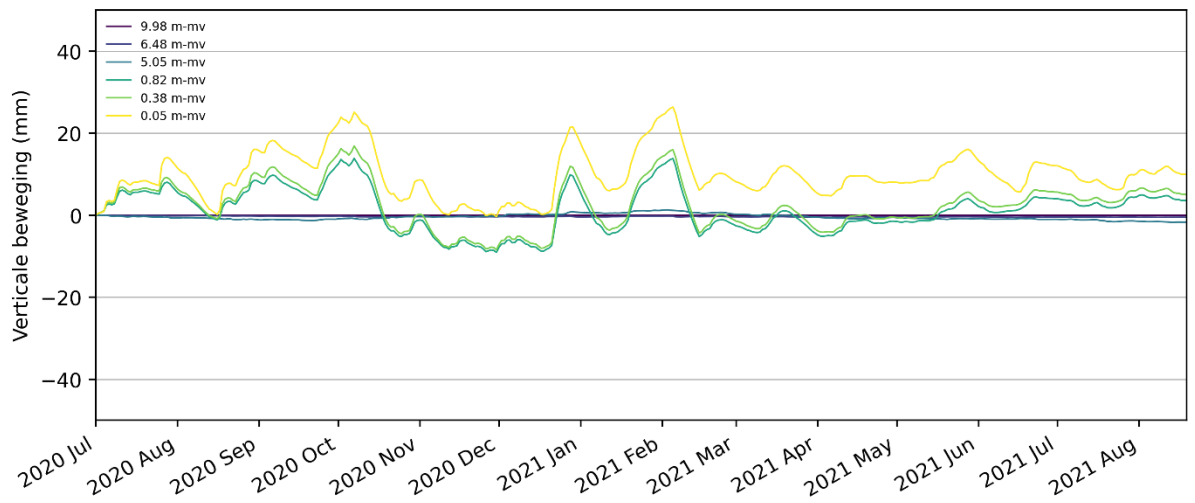
SWAP berekent de waterhuishouding en daarmee samenhangende bodemfysische processen krimp en zwel die de seizoensdynamiek van de maaiveldddaling bepalen. ANIMO berekent op basis van de waterhuishouding van SWAP de organische-stof-/koolstofhuishouding waaronder de oxidatie van veen met als gevolg CO₂-uitstoot en niet-omkeerbare maaiveldddaling. Ook berekent ANIMO de stikstofhuishouding op basis van de koolstofkringloop en de daarmee samenhangende N₂O-emissie onder invloed van landbouwkundige ingrepen in de waterhuishouding en bemesting van de veenweiden.

Het model zal worden getoetst aan en verbeterd met de gegevens van de grote-kolomexperimenten en experimenten aan kleinere ongestoorde monsters voor broeikasgasemissie en gedetailleerde krimp/zwelmetingen. Toetsing en verbetering gaat om verbeteren van al opgenomen concepten van processen, toevoegen van relevante nieuwe processen en verkrijgen van correcte(re) invoergegevens. Het verbeterde model wordt getoetst aan de NOBV-veldexperimenten.

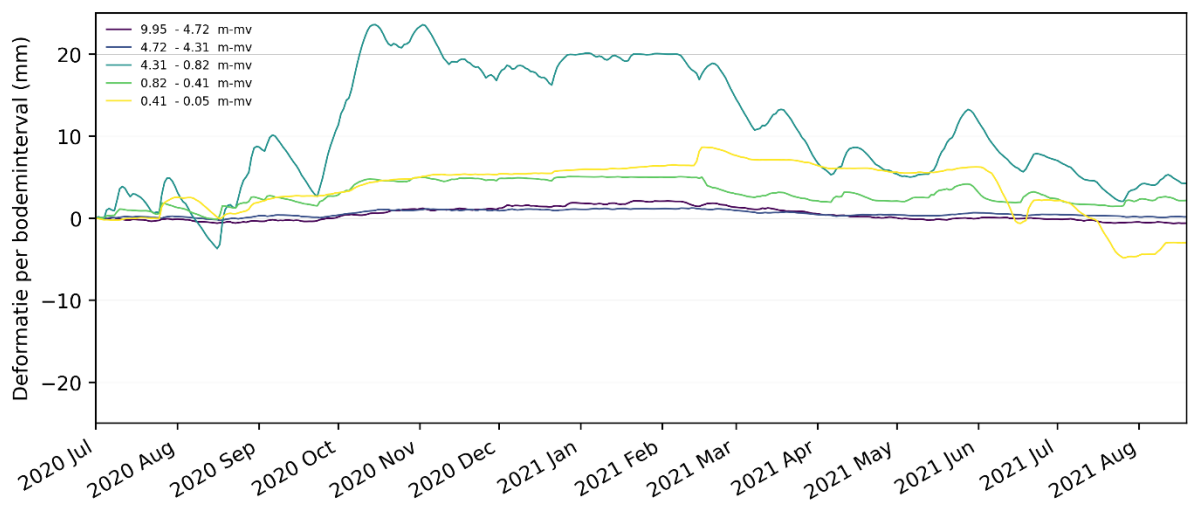
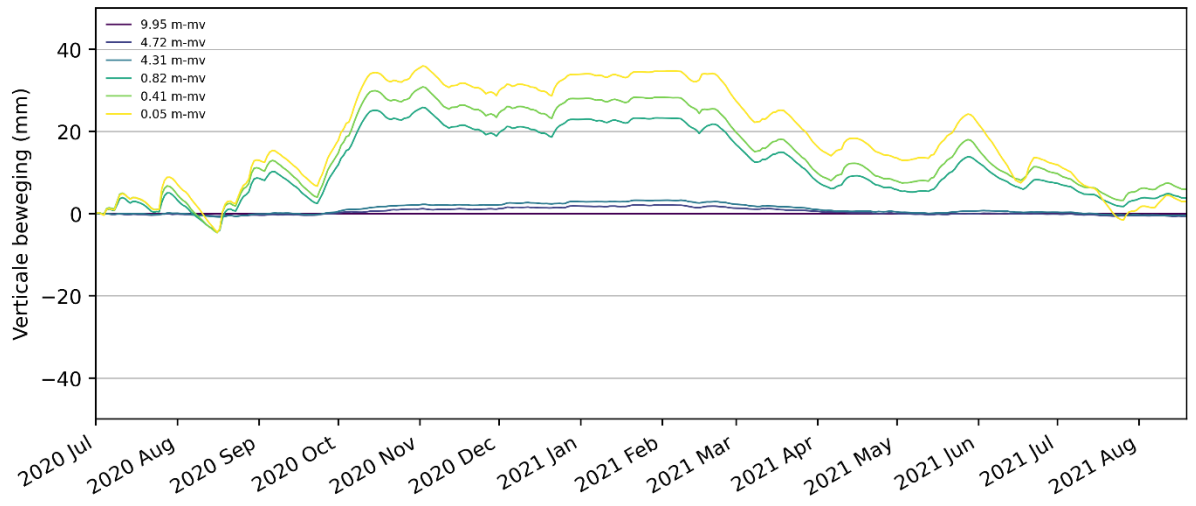
De afronding van de modelverbetering en –toetsing is afhankelijk van de beschikbaarheid van de resultaten van de laboratorium- en veldonderzoeken. De toetsing van de modellen is al in gang gezet voor veldexperimenten: in Aldeboarn aan emissie van broeikasgassen bij toepassen van onderwaterdrains en in Rouveen voor maaiveldddaling onder invloed van krimp. Bij de kolomexperimenten zijn de modelberekeningen ook al gestart, om zo in een onderlinge wisselwerking experimenten en modellen te optimaliseren.

A Extensometers Zegveld

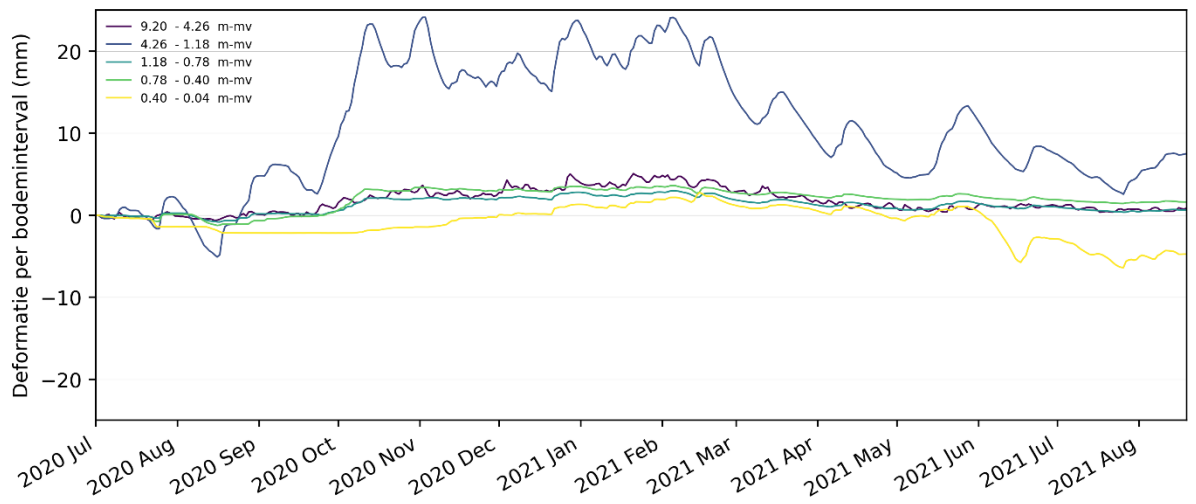
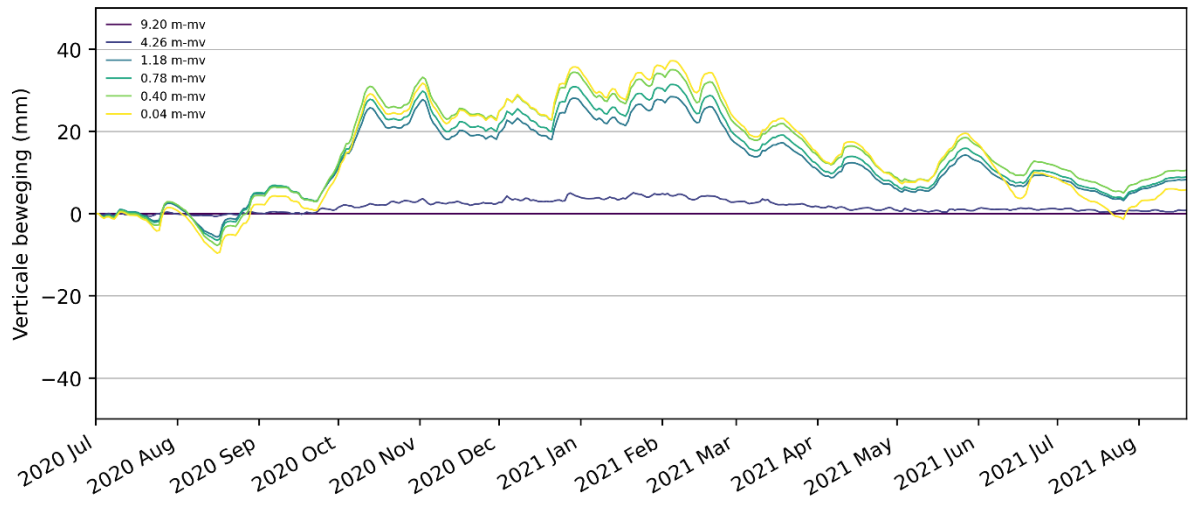
Perceel 11 (drukdrainage)



Perceel 13 (onderwaterdrainage)

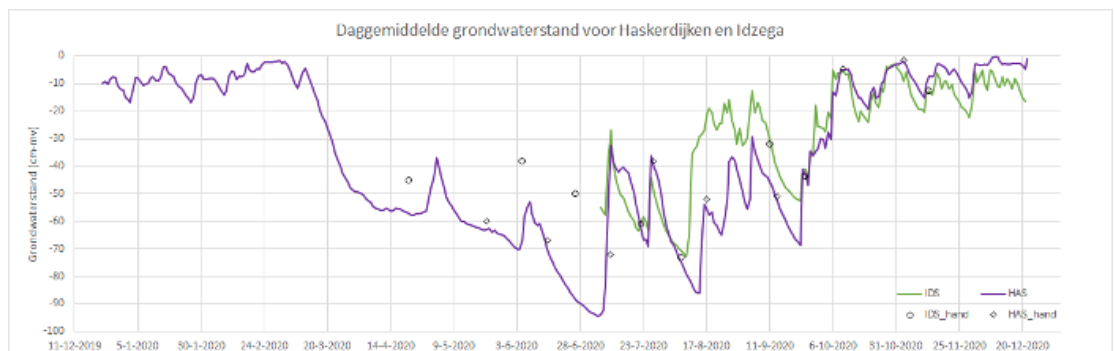
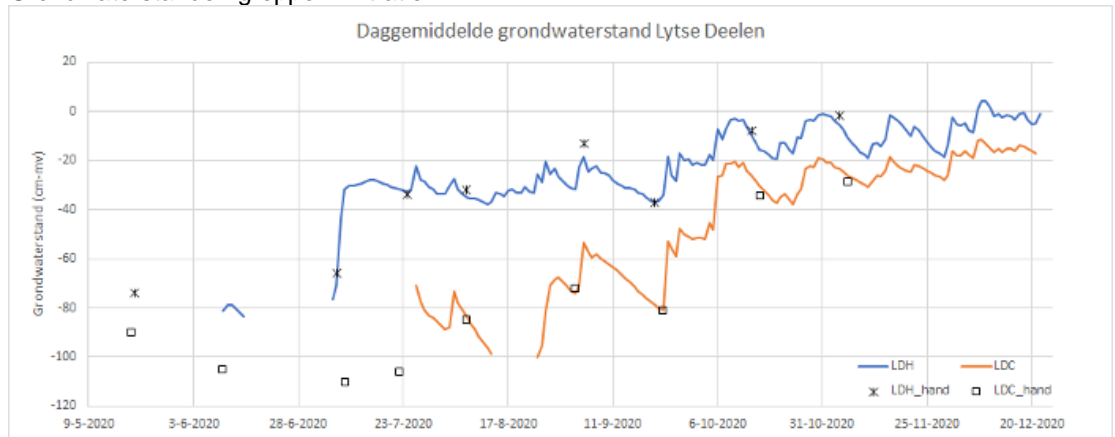


Perceel 16 (onderwaterdrainage)

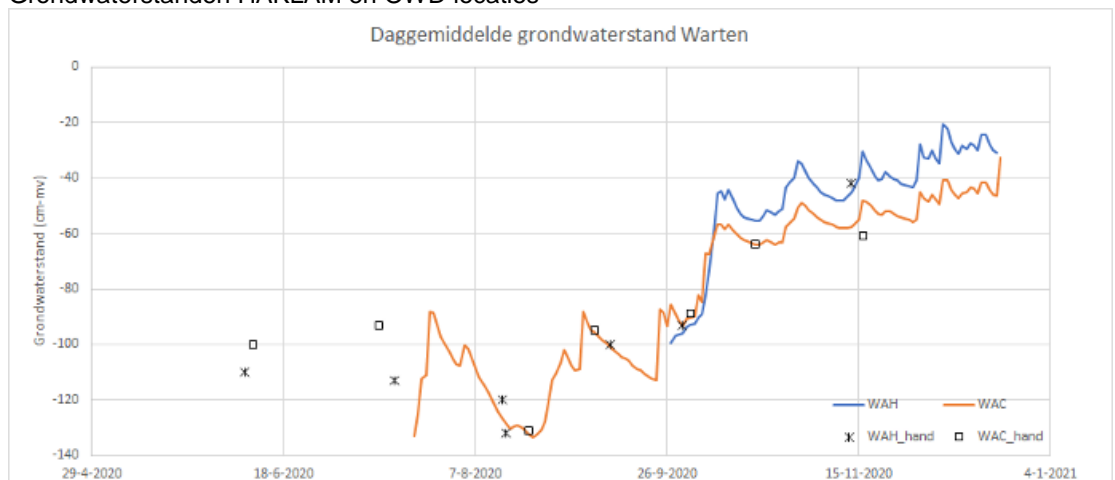


B Grondwaterstanden mobiel meten Friesland

Grondwaterstanden greppel infiltratie

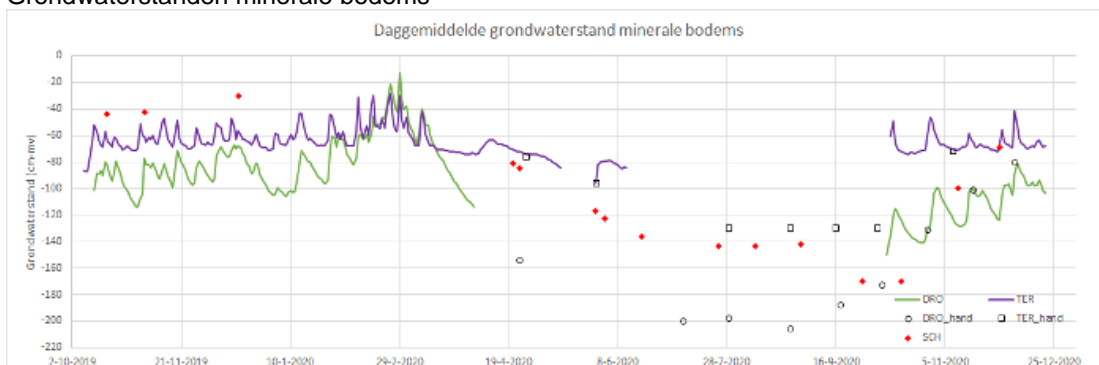


Grondwaterstanden HAKLAM en OWD locaties

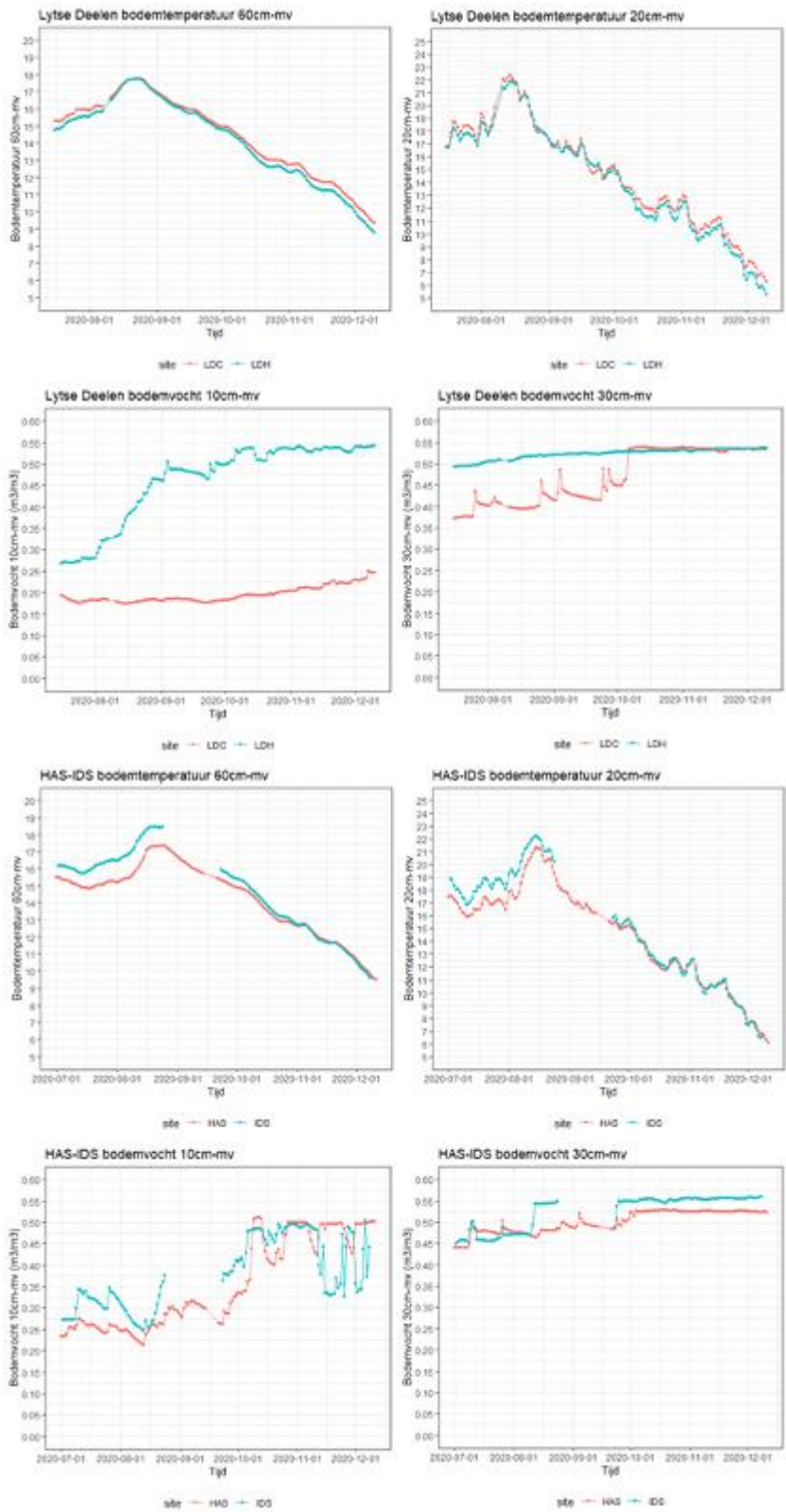


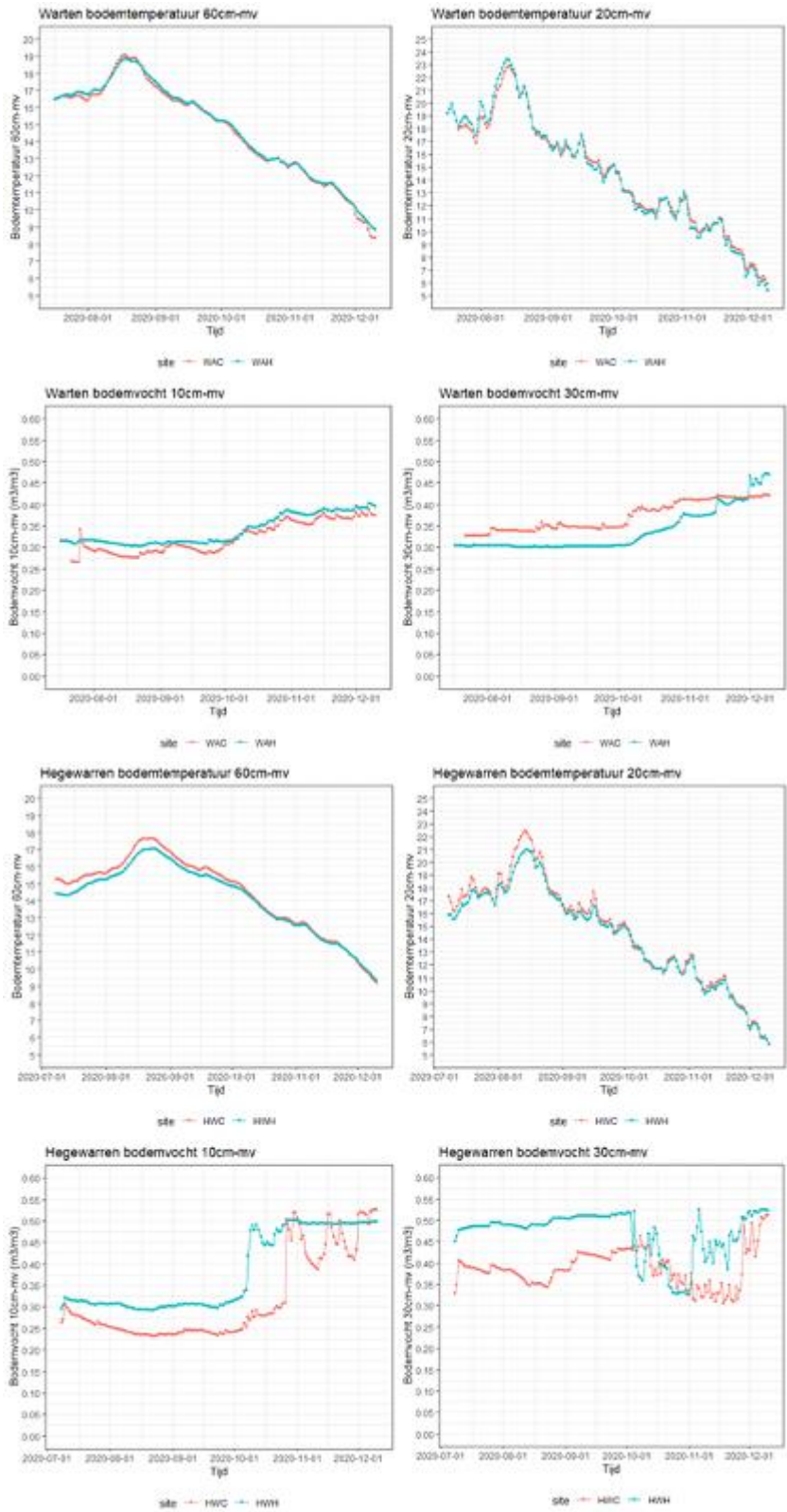


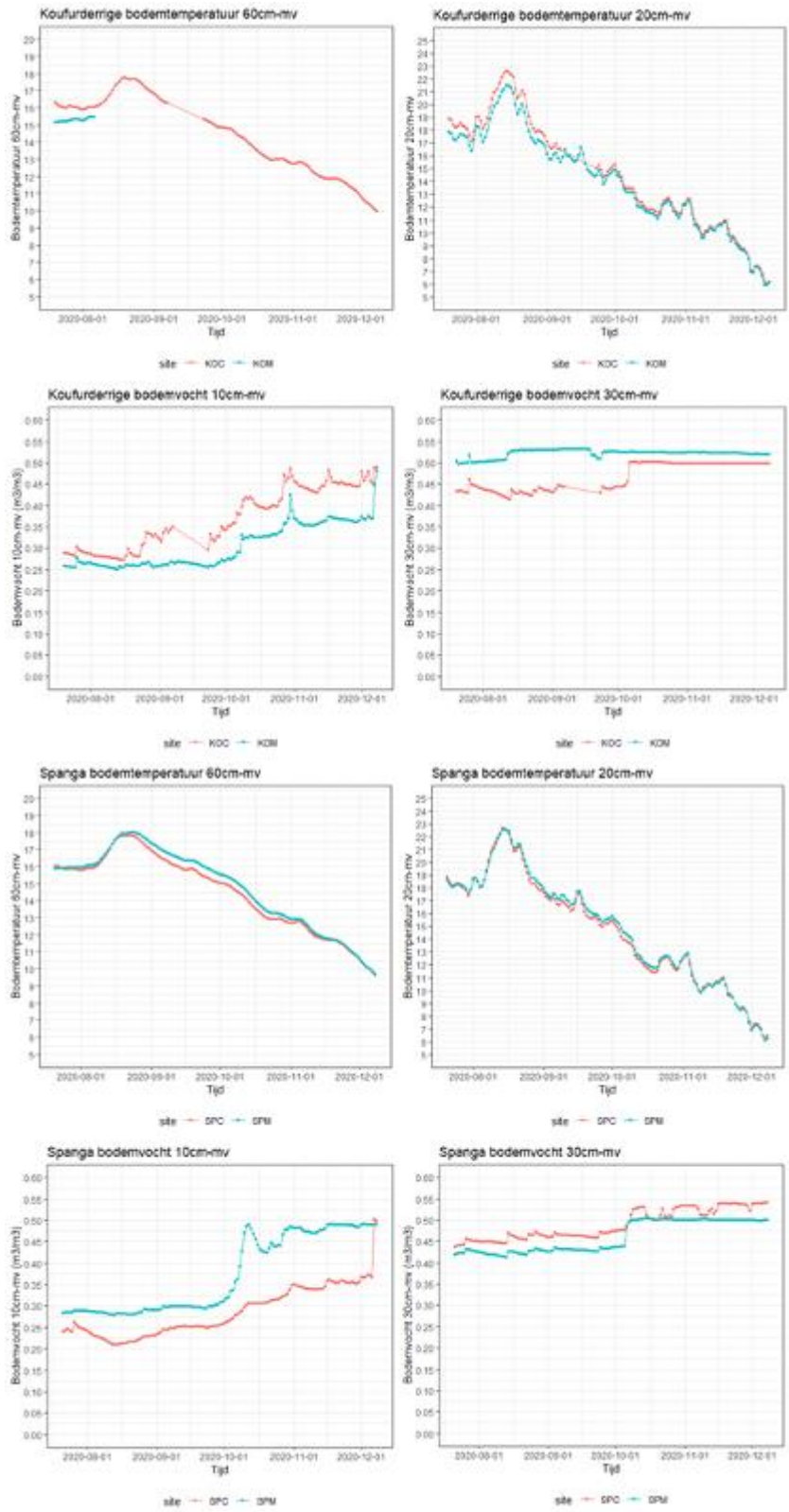
Grondwaterstanden minerale bodems



Bodemtemperatuur en bodemvocht data en afkortingen

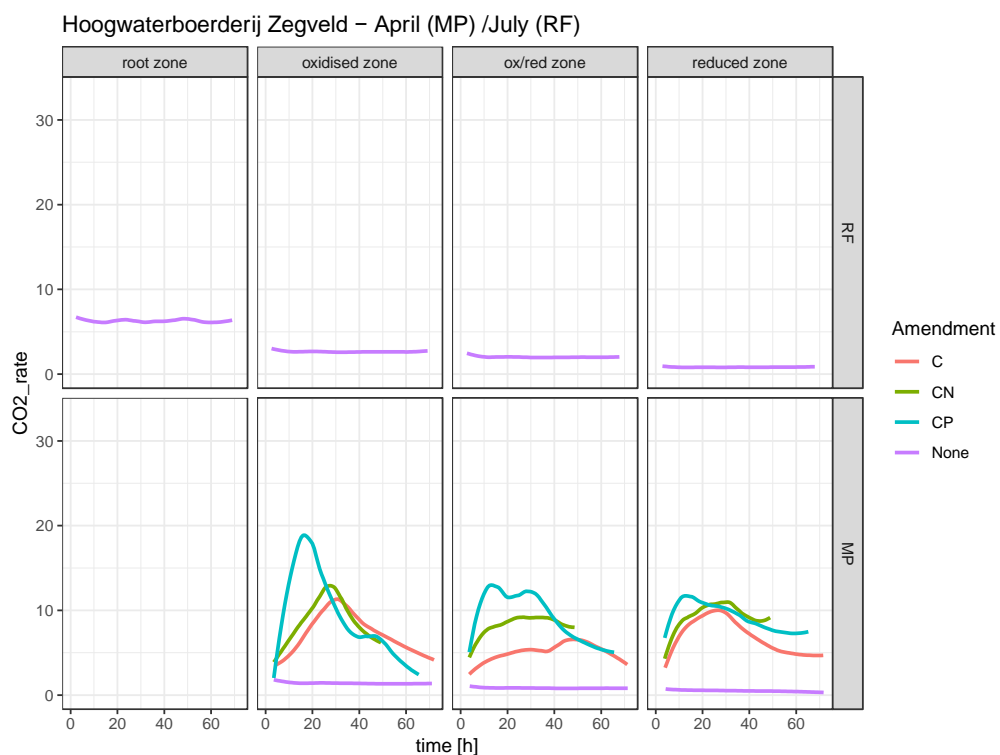




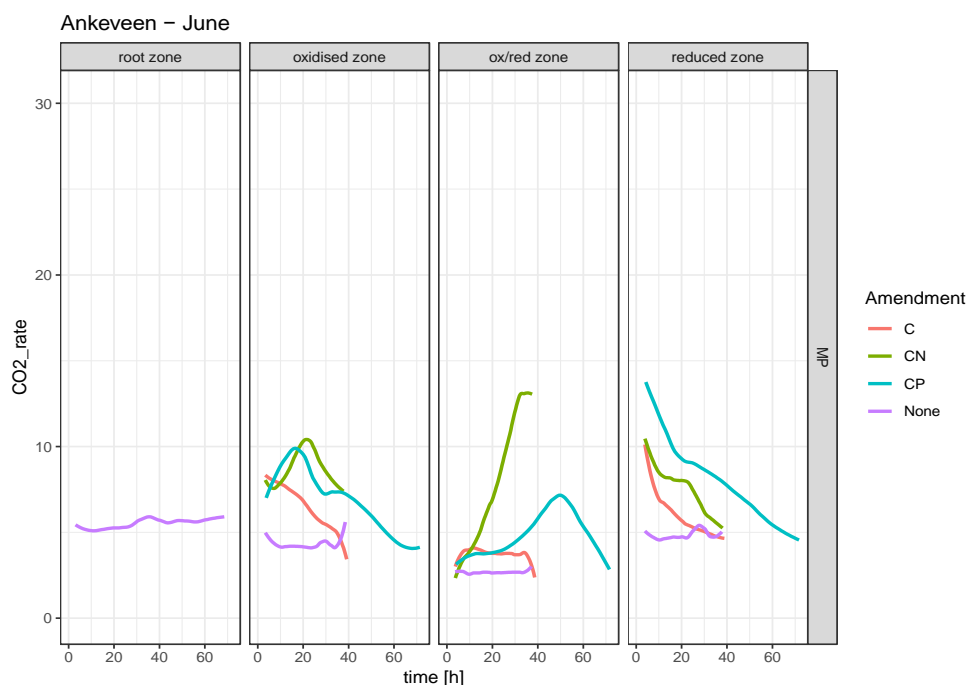


nr	code	verklaring	locatie+behandeling
1	TER	Ternaard	Ternaard kleibodem extensief
2	SCH	Scharnegoutum	Scharnegoutum kleibodem hoog-productief
3	DRO	Drogeham	Drogeham zandbodem hoog-productief
5	ALD	Aldeboarn	Aldeboarn OWD en vergelijking NOBV
4	HAS	Haskerdijken	Haskerdijken buffergebied greppel-infiltratie
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	Spanga 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

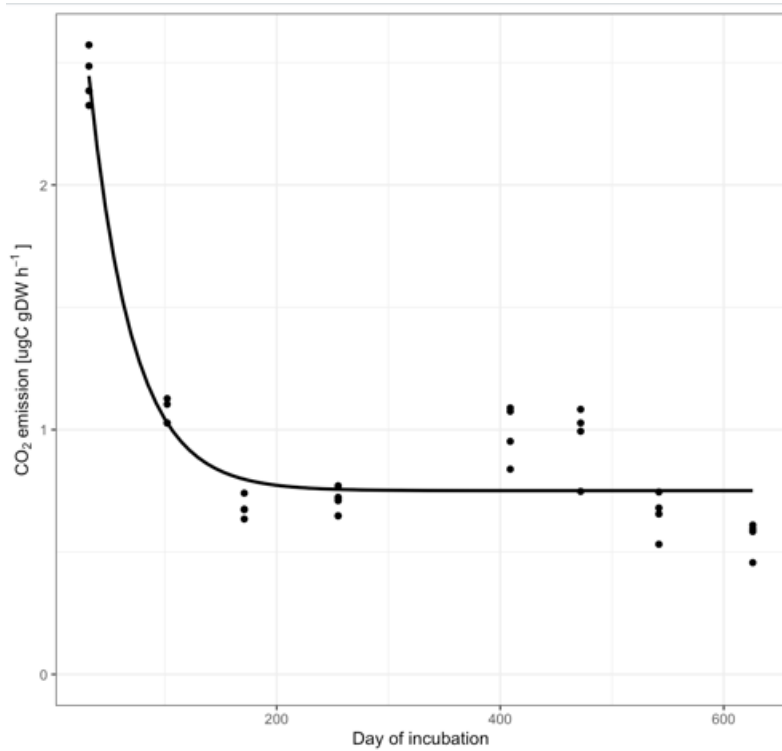
C Basisrespiratie en microbiële groei



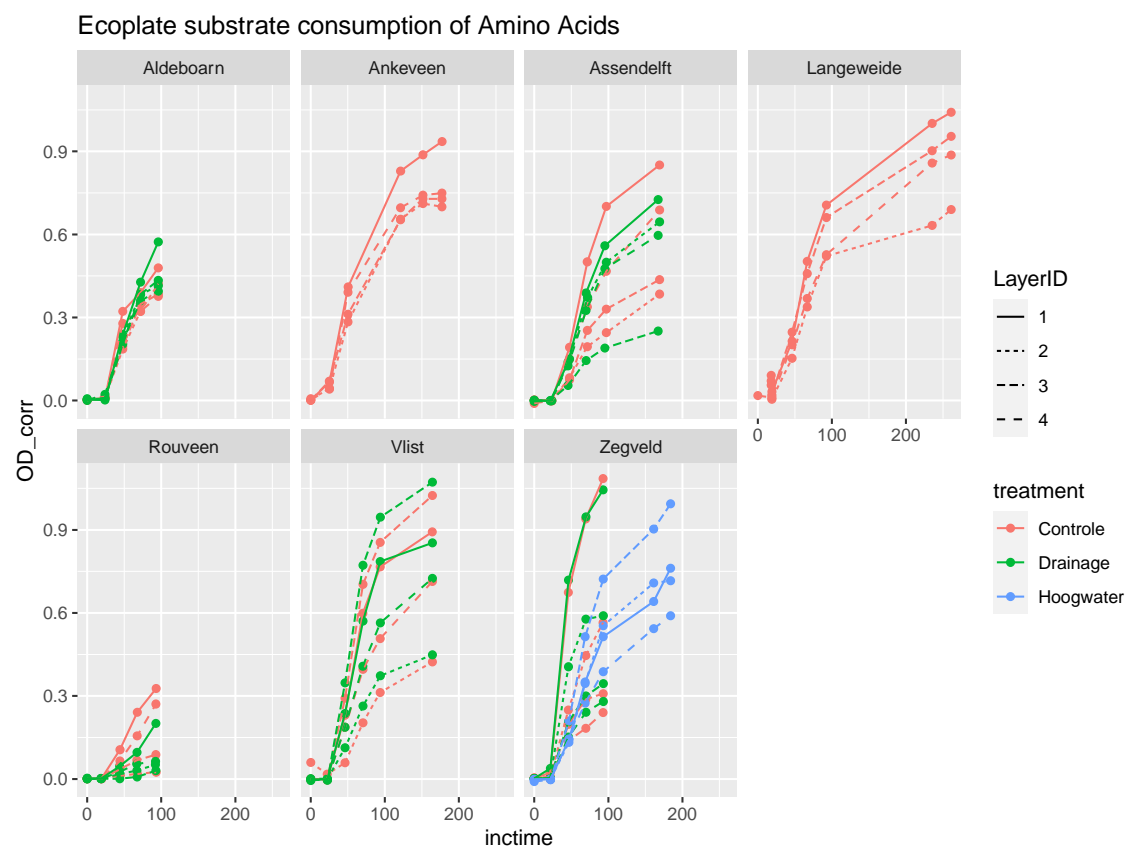
Figuur A1. Substraat geïnduceerde respiratiemetingen (SIR) Gemeten in verschillende bodemlagen in van Zegveld hoogwaterboerderij.



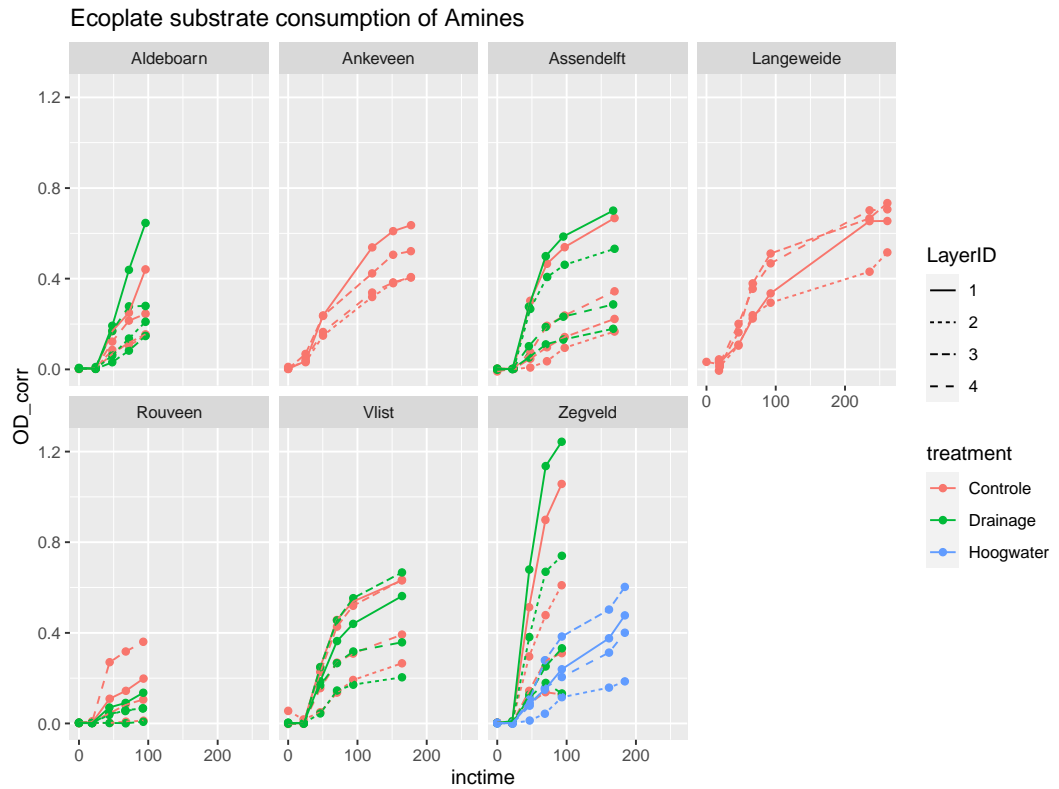
Figuur A2. Substraat geïnduceerde respiratiemetingen (SIR) Gemeten in verschillende bodemlagen in Ankeveen.



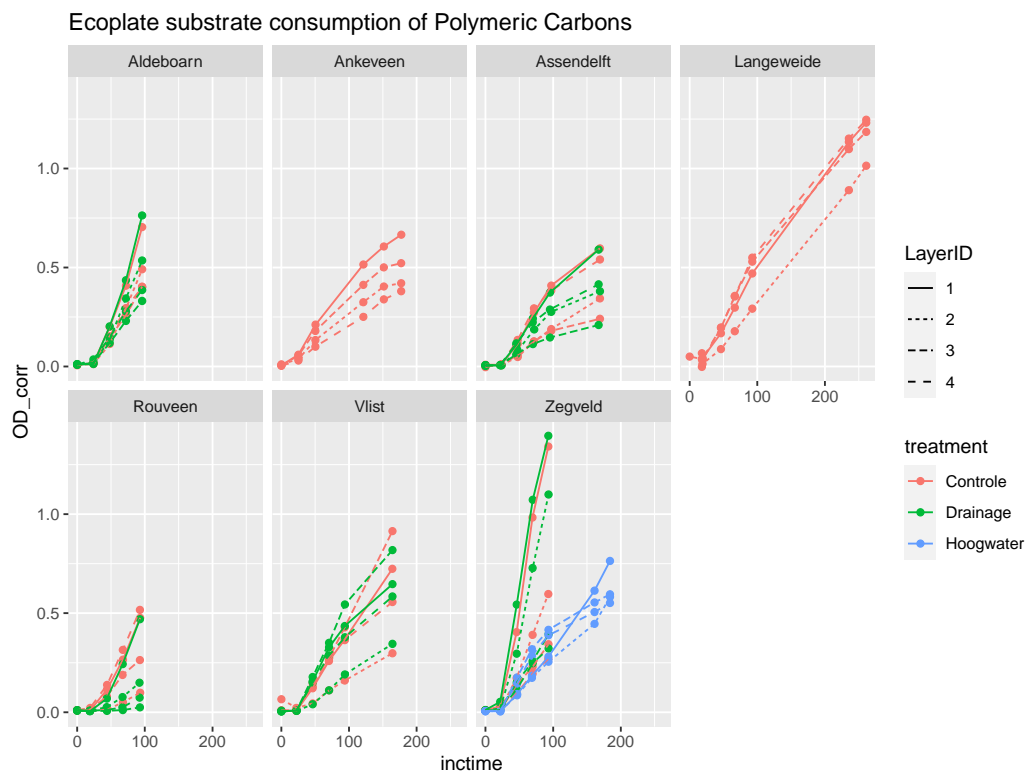
Figuur A3. Tweede basale respiratie niveau stabiliseert rond de 200 dagen incubatie.



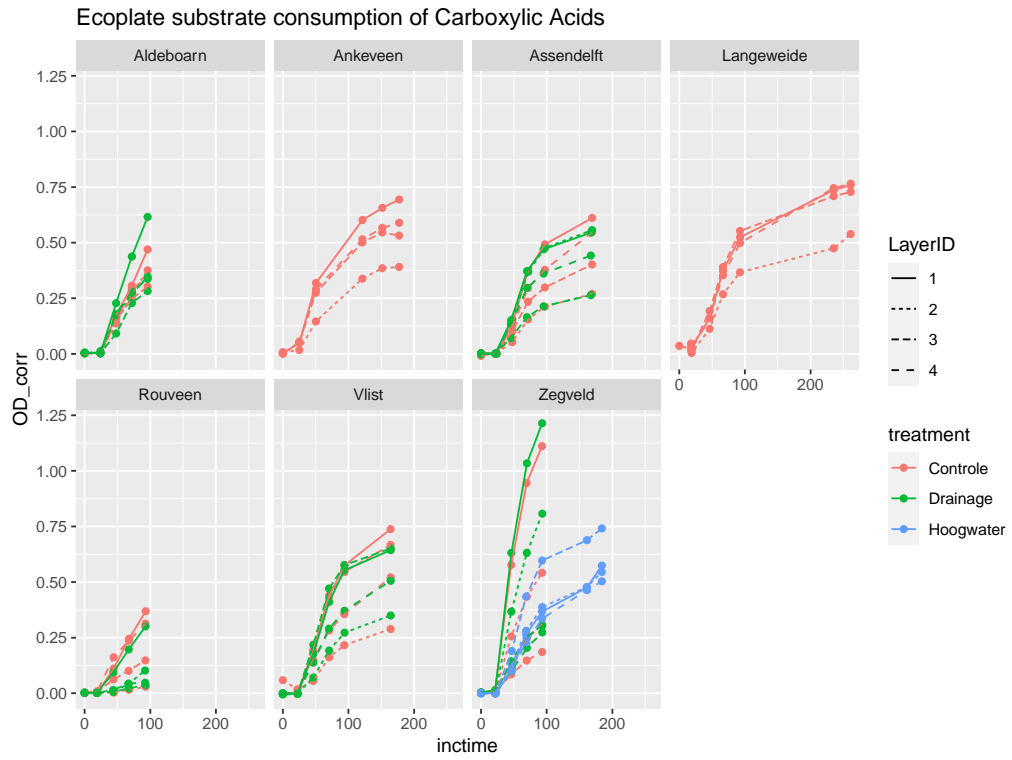
Figuur A4 Substraatconsumptie van aminozuren in de verschillende NOBV-sites.



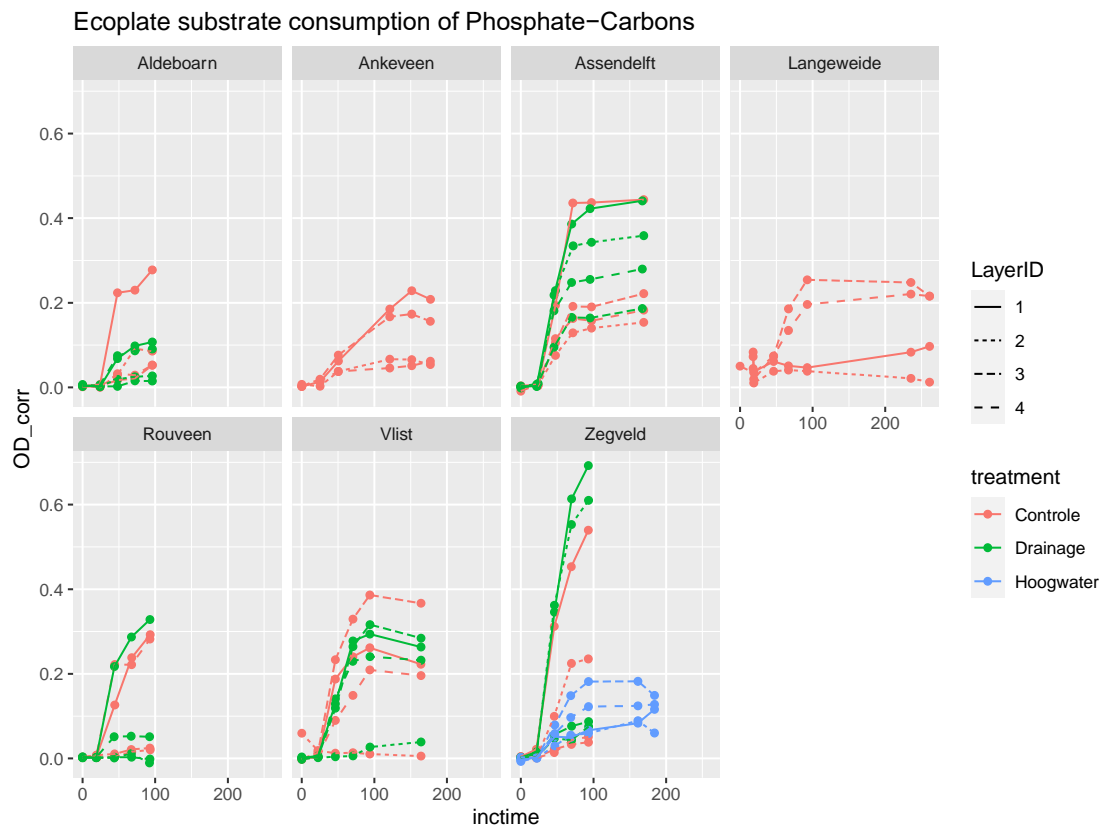
Figuur A5. Substraatconsumptie van carbonzuren in de verschillende NOBV-sites



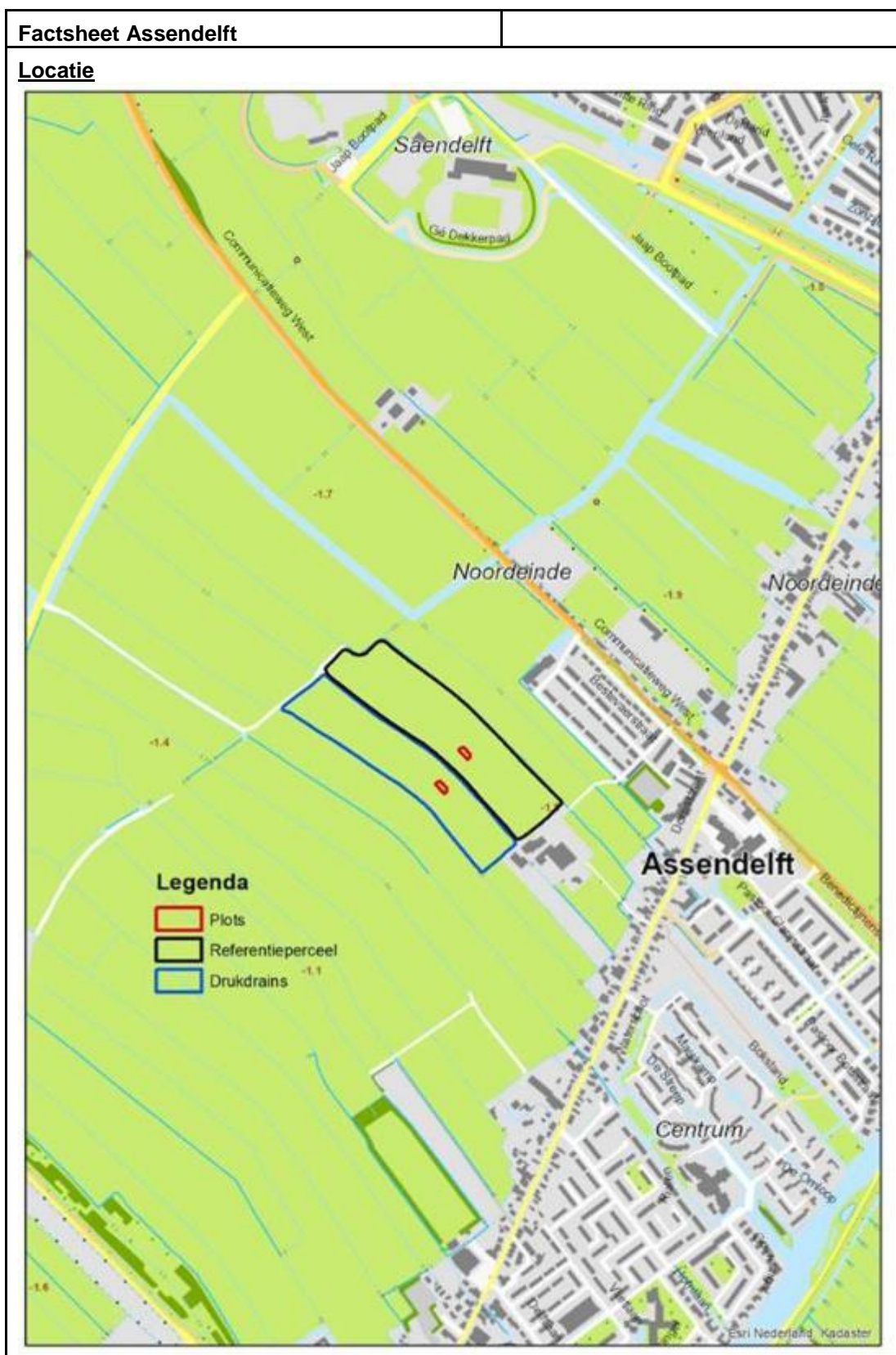
Figuur A6 Substraatconsumptie van polymeren in de verschillende NOBV-sites



Figur A7. Substraatconsumptie van carbozuren in de verschillende NOBV-sites



Figur A8. Substraatconsumptie van fosfaat koolwaterstoffen in de verschillende NOBV-sites.



Eerdere metingen

24 en 27 maart 2017 zijn boorgatmetingen uitgevoerd op een aantal percelen te Assendelft en bij Nauerna, daarvoor is in het gebied een bodemkundig onderzoek uitgevoerd. De resultaten zijn vastgelegd in de notitie: "Hydrologisch onderzoek op twee locaties nabij Assendelft en Nauerna. Van Massop, De Groot en Jansen" uit 2017. Zes boorgatpunten waren gesitueerd in de twee percelen waarbinnen de plots zijn gelegen (zie onderstaande figuur)



De resultaten van de boorgatmetingen uit 2017 zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Notitie: Hydrologisch onderzoek op twee locaties nabij Assendelft en Nauerna, april 2017. H. Th. L. Massop, W.J.M. de Groot, P.C. Jansen.

Boorgatmetingen 24-27 maart 2017							
1001	a	33	75	111147	498745	0.018	0.006
1001	b	33	73	111147	498745	0.035	0.018
1003	a	31	72	111078	498912	0.036	0.01
1003	b	31	72	111078	498912	0.043	0.008
1006	a	29.5	74	110859	499002	0.558	0.043
1006	b	29.5	71	110859	499002	0.215	0.042
1009	a	29	72.5	111070	498685	0.101	0.015
1009	b	29	72	111070	498685	0.079	0.016
1011	a	30	73.5	110920	498841	0.05	0.025
1011	b	30	70	110920	498841	0.044	0.01
1013	a	29	72	110759	498946	0.091	0.013
1013	b	29	70	110759	498946	0.065	0.021

Metingen 2020-2021

Op 26 maart 2021 zijn nabij de plots boorgatmetingen uitgevoerd.

De locatie is weergegeven in onderstaande figuur.



Locatie	Meting	Opmerking	Hin	Boorgat	X-coord	Y-coord
	26-3-2021					
AS-RF-1	0.197	plot boorgat	32	75	111048	498864
AS-RF-2	0.358	plot boorgat	33	78	111054	498867
AS-RF-3	0.301	plot boorgat	28	65	111052	498874
AS-RF-4	0.679	plot boorgat	32	70	111044	498883
AS-RF-5	1.165	plot boorgat	35	70	111037	498883
AS-RF-6	0.035	Bij Tegel met filter	23	70	111041	498894
AS-RF-7	0.032	Bij Tegel met filter	18	74	111044	498894
AS-RF-8	0.031	Bij Tegel met filter	11	77	111061	498906
AS-MP-1	0.114	plot boorgat	20	77	111006	498801
AS-MP-2	0.067	plot boorgat	26	73	111010	498805
AS-MP-3	0.085	plot boorgat	16	73	111008	498814
AS-MP-4	0.032	plot boorgat	18	72	111003	498826
AS-MP-5	0.033	plot boorgat	18	73	110990	498820
AS-MP-6	0.130	plot boorgat	20	75	111004	498803
AS-MP-7	0.011	Bij Tegel met filter	20	72	110977	498799
AS-MP-8	0.028	Bij Tegel met filter	11	75	110988	498811
AS-MP-9	0.014	Bij Tegel met filter	12	72	110911	498883
AS-MP-10	0.012	Bij Tegel met filter	13	70	110907	498882
AS-MP-11	0.035	Bij Tegel met filter	12	73	110901	498876
AS-MP-12	0.019	Bij Tegel met filter	12	69	110893	498857

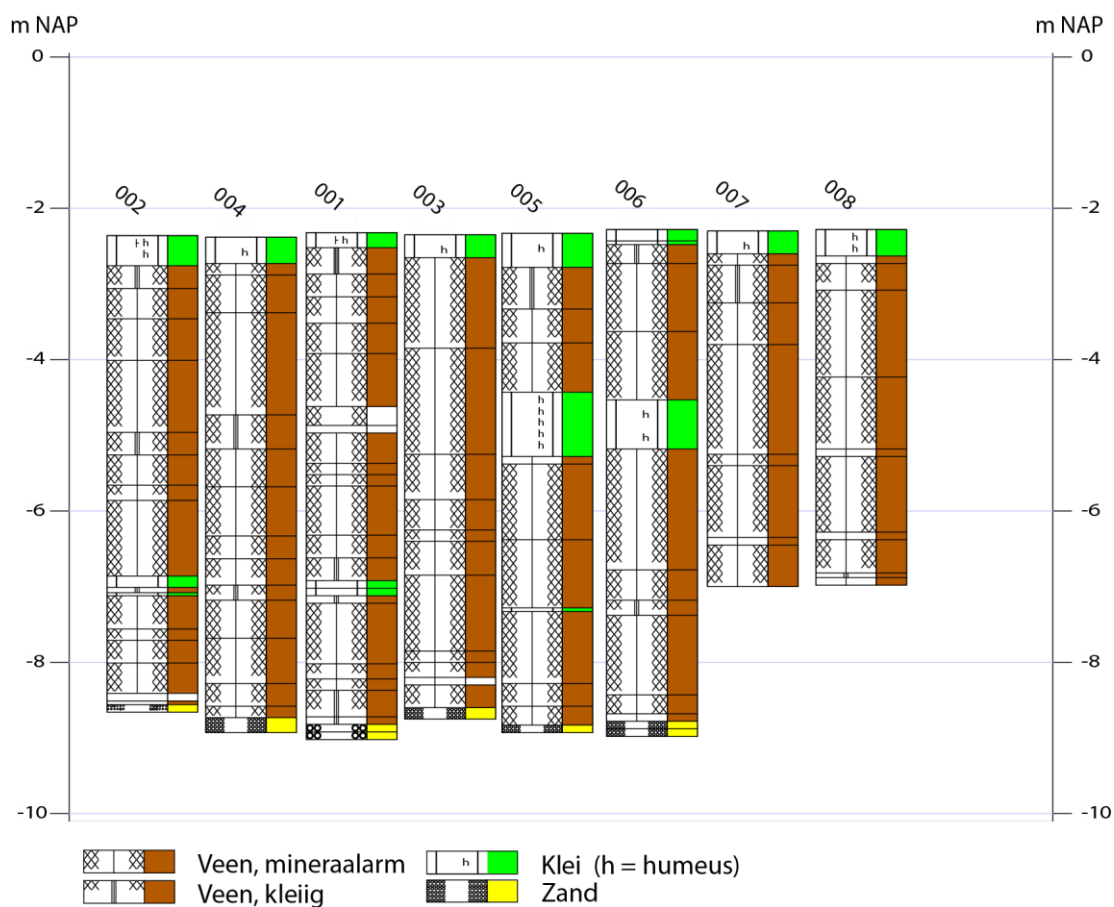
Gevoeligheidsanalyse

Locatie	Meting	Straal boorgat r		Uitgangsgrond- Waterstand H		Boorgat B		Max	Min
		cm		cm-mv		cm-mv			
		+0,5 cm	-0.5 cm	+5cm	-5 cm	+5cm	-5 cm		
	26-3-2021								
AS-RF-1	0.197	0.237	0.159	0.237	0.167	0.178	0.223	0.237	0.159
AS-RF-2	0.358	0.431	0.288	0.431	0.304	0.326	0.401	0.431	0.288
AS-RF-3	0.301	0.360	0.244	0.373	0.249	0.270	0.345	0.373	0.244
AS-RF-4	0.679	0.812	0.549	0.871	0.552	0.619	0.759	0.871	0.549
AS-RF-5	1.165	1.390	0.945	1.650	0.895	1.071	1.287	1.650	0.895
AS-RF-6	0.035	0.043	0.028	0.042	0.030	0.032	0.039	0.043	0.028
AS-RF-7	0.032	0.039	0.026	0.037	0.029	0.030	0.036	0.039	0.026
AS-RF-8	0.031	0.038	0.025	0.035	0.028	0.029	0.034	0.038	0.025
AS-MP-1	0.114	0.138	0.091	0.131	0.100	0.104	0.126	0.138	0.091
AS-MP-2	0.067	0.080	0.053	0.078	0.057	0.060	0.075	0.080	0.053
AS-MP-3	0.085	0.103	0.068	0.098	0.075	0.078	0.094	0.103	0.068
AS-MP-4	0.032	0.039	0.026	0.037	0.028	0.029	0.036	0.039	0.026
AS-MP-5	0.033	0.040	0.027	0.040	0.029	0.031	0.036	0.040	0.027
AS-MP-6	0.130	0.158	0.104	0.153	0.113	0.121	0.142	0.158	0.104
AS-MP-7	0.011	0.014	0.009	0.013	0.010	0.010	0.012	0.014	0.009
AS-MP-8	0.028	0.035	0.022	0.032	0.025	0.026	0.031	0.035	0.022
AS-MP-9	0.014	0.017	0.011	0.016	0.012	0.013	0.015	0.017	0.011
AS-MP-10	0.012	0.015	0.010	0.014	0.011	0.011	0.014	0.015	0.010
AS-MP-11	0.035	0.042	0.027	0.040	0.031	0.032	0.038	0.042	0.027
AS-MP-12	0.019	0.023	0.015	0.022	0.017	0.018	0.021	0.023	0.015

Gemiddeld op basis van geometrisch gemiddelde

Locatie	Meting	Straal boorgat r		Uitgangsgrond- Waterstand H		Boorgat B		Max	Min
		cm		cm-mv		cm-mv			
		+0,5 cm	-0.5 cm	+5cm	-5 cm	+5cm	-5 cm		
	26-3-2021								
RF	0.166	0.201	0.134	0.204	0.141	0.152	0.186	0.204	0.134
MP	0.035	0.042	0.028	0.040	0.031	0.032	0.038	0.042	0.028

E Geologische boringen Zegveld Hoogwater



Figuur E1. Geologische boringen te Zegveld Hoogwater in profiel, met versimpelde legenda. Voor boorlocaties zie Figuur 3.63. Voor volledige boorbeschrijvingen zie volgende pagina's.

Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 117882
 Y-coördinaat (m) : 461120
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -232
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 18-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving	Grondsoort	%Lu	%Za	%Os	Ca
			M63	%Si	%Gr	
0 - 20	klei	zwak siltig, sterk humeus, donker-bruin-grijs, weinig wortels, spoor ijzeroxide, Opm.: or=OR				1
20 - 55	veen	sterk kleilig, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, spoor wortelresten, matig stevig, Opm.: or=OR, VEZ0, TS0, brokkelig				1
55 - 85	veen	mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, spoor zegge, spoor hout, matig slap, Opm.: or=OR, VEZ1, TS0				1
85 - 120	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig zegge, matig slap, Opm.: or=R, VEZ2, TS0				1
120 - 160	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig zegge, slap, Opm.: or=R, VEZ2, TS0, geband naar VEZ, soms zweem klei				1
160 - 230	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, BOV, spoor zegge, weinig hout, spoor riet, matig slap, Opm.: or=R, VEZ2, TS0				1
230 - 255	detritus	Veen: sterk amorf, spoor wortelresten, spoor zegge, zeer slap, Opm.: or=R, VEZ0, TS0, bezinksel?				
255 - 265	hout					
265 - 305	veen	mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, bosveen, veel hout, spoor wortelresten, zeer slap, Opm.: or=R, VEZ3, TS0, takjes				1
305 - 320	veen	mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, spoor hout, spoor wortelresten, zeer slap, Opm.: or=R, VEZ0, TS0				1
320 - 335	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, weinig hout, spoor zegge, matig slap, Opm.: or=R, VEZ2, TS0				1
335 - 400	veen	mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, spoor riet, weinig zegge, matig slap, Opm.: or=R, VEZ3, TS1, riet bovenin laag				1
400 - 430	veen	mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, weinig riet, weinig zegge, spoor galigaan, matig slap, Opm.: or=R, VEZ2, TS1, riet bovenin laag, rietzeggeveen				1
430 - 460	veen	zwak kleilig, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, weinig riet, weinig zegge, spoor galigaan, matig slap, Opm.: or=R, VEZ2, TS1, geleidelijke overgang rietzeggeveen				1
460 - 470	klei	zwak siltig, sterk humeus, groen-grijs, weinig riet, Opm.: or=R, gyttja-achtig, veel riet				
470 - 480	klei	zwak siltig, sterk humeus, groen-grijs, Opm.: or=R, gyttja-achtig				
480 - 490	veen	zwak kleilig, grijs-bruin, Veen: matig amorf, weinig riet, spoor zegge, spoor wortelresten, matig slap, Opm.: or=R, VEZ2, TS1				1
490 - 570	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig riet, spoor galigaan, weinig zegge, matig slap, Opm.: or=R, VEZ2, TS1, rietzeggeveen				1
570 - 590	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor mossen, weinig zegge, matig stevig, Opm.: or=R, VEZ1, TS0, zeggeveen met mos				1
590 - 605	veen	mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, mosveen, spoor mossen, weinig zegge, matig stevig, Opm.: or=R, VEZ3, TS0, mosveen met zegge				1
605 - 640	veen	zwak kleilig, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor mossen, spoor zegge, matig slap, Opm.: or=R, VEZ1, TS0, iets kleilig				1
640 - 650	veen	zwak kleilig, zandig, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, weinig hout, matig slap, Opm.: or=R, VEZ1, TS0				1
650 - 660	zand	siltig, donker-grijs, Opm.: or=R, siltig, dekzand, zeer fijn				
660 - 670	zand	grijs, Opm.: dekzand, zeer fijn				1

Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 117902
 Y-coördinaat (m) : 461173
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -236
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 18-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu	%Za	%Os			
		M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 40	klei zwak siltig, sterk humeus, bruin-grijs, spoor wortelresten, matig stevig, spoor ijzeroxide, Opm.: or=or, grindje, brokkelig, geroerd						1
40 - 70	veen zwak kleiig, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor wortelresten, matig stevig, Opm.: or=or, VEZ0, TS0, brokkelig						
70 - 110	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, weinig hout, spoor zegge, matig slap, Opm.: or=r, VEZ1, TS0, iets kleiig						
110 - 165	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, spoor galigaan, spoor zegge, matig slap, Opm.: or=r, VEZ1, TS0						
165 - 260	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, weinig hout, spoor zegge, matig slap, Opm.: or=r, VEZ1, TS0, bovenin en onderin laag VK1						
260 - 290	veen zwak kleiig, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig zegge, slap, Opm.: or=r, VEZ2, TS0						
290 - 330	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig zegge, spoor riet, spoor hout, spoor galigaan, matig slap, Opm.: or=r, VEZ2, TS0						
330 - 350	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, veel zegge, spoor mossen, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ3, TS3						
350 - 450	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig zegge, spoor riet, spoor hout, matig slap, Opm.: or=r, VEZ2, TS1, geband naar kleur (ZW-BR) en naar VEZ (2-3)						
450 - 465	klei zwak siltig, matig humeus, bruin-grijs, weinig riet, Opm.: geband naar kleur, veel riet, plat						
465 - 472	veen zwak kleiig, grijs-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig riet, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ2, TS1, 472-276 KS1-H3, veel riet						
472 - 476	klei zwak siltig, sterk humeus, bruin-grijs, weinig riet, Opm.: geband						
476 - 520	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig riet, weinig zegge, spoor galigaan, matig slap, Opm.: or=r, VEZ2, TS0, rietzeggeveen						
520 - 535	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor hout, weinig zegge, spoor galigaan, matig slap, Opm.: or=r, VEZ1, TS0						
535 - 565	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, weinig zegge, spoor riet, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ3, TS1						
565 - 605	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, spoor zegge, spoor hout, matig slap, Opm.: or=r, VEZ2, TS0						
605 - 615	hout elzenhout						
615 - 620	veen zandig, bruin, Veen: sterk amorf, zeer slap, Opm.: or=r, VEZ0, TS0, slurrie						
620 - 630	zand grijs, Zand: zeer fijn, dekzand	105					

Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 117906
 Y-coördinaat (m) : 461116
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -235
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 18-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	M63	%Lu	%Za	%Os	
			%Si	%Gr	Ca	
0 - 30	klei matig humeus, donker-bruin		25			
30 - 150	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor zegge, slap, Opm.: vez1, ts=0					
150 - 290	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig hout, slap, Opm.: vez1, ts=0					
290 - 350	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, spoor riet, matig slap, Opm.: vez3, ts=1					
350 - 390	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor hout, matig slap, Opm.: vez3, ts=1					
390 - 405	veen mineraalarm, donker-zwart-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor hout, veel zegge, weinig riet, matig slap, Opm.: vez3, ts=1					
405 - 450	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, veel riet, slap, Opm.: vez3, ts=1					
450 - 550	veen mineraalarm, zwart-grijs, Veen: matig amorf, spoor riet, weinig zegge, spoor hout, matig slap, Opm.: vez2, ts=0					
550 - 565	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, matig slap, Opm.: vez3, ts=1					
565 - 585	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, mosveen, spoor hout, spoor riet, spoor zegge, matig slap, Opm.: vez3, ts=1					
585 - 595	hout mineraalarm, licht-bruin, veel wilgenhout					
595 - 625	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor riet, matig stevig, Opm.: vez1, ts=0					
625 - 640	zand donker-grijs, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding	165				

Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 117897
 Y-coördinaat (m) : 461147
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -238
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 18-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	M63	%Lu	%Za	%Os	
			%Si	%Gr	Ca	
0 - 35	klei matig humeus, donker-bruin, matig stevig		25			
35 - 50	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig hout, matig stevig, Opm.: vez1, ts=0					
50 - 100	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor zegge, matig slap, Opm.: vez1, ts=0					
100 - 235	veen mineraalarm, donker-grijs-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor zegge, matig slap, Opm.: vez1, ts=0					
235 - 280	veen zwak kleilig, donker-grijs-bruin, Veen: sterk amorf, spoor zegge, slap, Opm.: vez1, ts=0					
280 - 330	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor riet, spoor rietstolonen, matig slap, Opm.: vez2, ts=0					
330 - 395	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig riet, matig slap, Opm.: vez3, ts=0					
395 - 425	veen mineraalarm, zwart, Veen: sterk amorf, weinig zegge, spoor rietstolonen, spoor hout, slap, Opm.: vez1, ts=0					
425 - 460	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig riet, weinig zegge, slap, Opm.: vez2, ts=0					
460 - 480	veen zwak kleilig, grijs-bruin, Veen: matig amorf, rietveen, zeer slap, Opm.: vez2, ts=0					
480 - 530	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor zegge, zeer slap, Opm.: vez1, ts=0					
530 - 590	veen mineraalarm, zwart, Veen: sterk amorf, spoor zegge, zeer slap, Opm.: top elzenhout, vez1, ts=0					
590 - 620	veen mineraalarm, bruin, mosveen, weinig zegge, matig stevig, Opm.: vez3, ts=1					
620 - 635	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig riet, slap, Opm.: vez2, ts=0					
635 - 655	zand donker-grijs, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding	165				

Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 117889
 Y-coördinaat (m) : 461106
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -233
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 18-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	M63	%Lu	%Za	%Os		
			%Si	%Gr	Ca		
0 - 45	klei matig humeus, donker-grijs, matig stevig		25				
45 - 100	veen zwak kleiig, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor zegge, Opm.: vez1, ts=0						
100 - 145	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig riet, spoor zegge, slap, Opm.: vez2, ts=0						
145 - 210	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig zegge, spoor riet, matig slap, Opm.: vez1, ts=0						
210 - 295	klei sterk humeus, donker-grijs, weinig wilgenhout, spoor riet, zeer slap, Opm.: gyttja-achtig						
295 - 305	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor riet, matig slap, Opm.: vez2, ts=0						
305 - 405	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, weinig riet, matig slap, Opm.: vez3, ts=0						
405 - 495	veen mineraalarm, zwart, Veen: sterk amorf, weinig riet, slap, Opm.: vez1, ts=0						
495 - 500	klei grijs, spoor riet, zeer slap, oplichtingslaag		30				
500 - 595	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor galigaan, spoor riet, veel zegge, zeer slap, Opm.: vez2, ts=0						
595 - 625	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, mosveen, weinig zegge, matig stevig, Opm.: vez3, ts=1						
625 - 650	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig riet, spoor zegge, zeer slap, Opm.: vez2, ts=0						
650 - 660	zand donker-grijs, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding	165					

Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 117882
 Y-coördinaat (m) : 461062
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -228
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 18-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	M63	%Lu	%Za	%Os	
			%Si	%Gr	Ca	
0 - 15	klei sterk humeus, donker-bruin, matig stevig		20			
15 - 20	klei donker-grijs, spoor hout		20			
20 - 45	veen zwak kleiig, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, matig slap, Opm.: vez0, ts=0					
45 - 135	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor hout, matig slap, Opm.: vez2, ts=0					
135 - 225	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, veel wilgenhout, slap, Opm.: vez1, ts=0					
225 - 290	klei matig humeus, grijs-bruin, spoor hout, zeer slap, Opm.: gyttja-achtig		20			
290 - 450	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig riet, spoor galigaan, matig slap, Opm.: vez3, ts=0					
450 - 490	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, weinig zegge, slap, Opm.: vez3, ts=0					
490 - 510	veen zwak kleiig, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, weinig rietstolonen, slap, veel kleilagen, Opm.: klei vermoedelijk oplichtingslaagjes, vez2, ts=0					
510 - 615	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor galigaan, spoor rietstolonen, spoor riet, slap, Opm.: vez1, ts=0					
615 - 640	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, spoor wilgenhout, weinig mossen, Opm.: vez1, ts=0					
640 - 650	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig hout, zeer slap, Opm.: vez0, ts=0					
650 - 660	zand sterk humeus, zwart, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, spoor wilgenhout, zeer slap	165				
660 - 670	zand zwak humeus, donker-grijs, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding	165				

Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 117878
 Y-coördinaat (m) : 461030
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -230
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 18-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

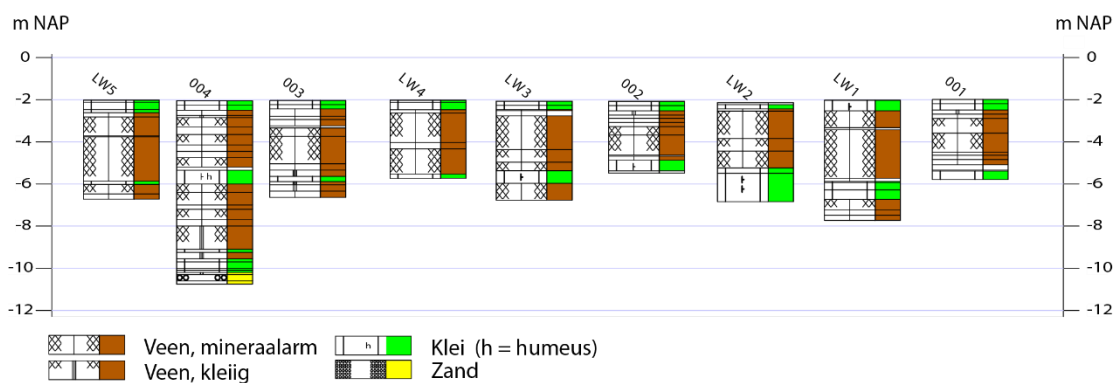
Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu		%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 30	klei matig humeus, donker-bruin		25				
30 - 45	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor zegge, matig slap, Opm.: vez1, ts=0						
45 - 95	veen zwak kleiig, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, spoor zegge, slap, Opm.: vez1, ts=0						
95 - 150	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, veel wortelresten, weinig zegge, weinig hout, matig slap, Opm.: vez2, ts=0						
150 - 295	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, spoor riet, spoor hout, weinig zegge, matig slap, Opm.: vez1, ts=0						
295 - 310	veen mineraalarm, zwart, Veen: sterk amorf, spoor hout, weinig wortelresten, spoor zegge, spoor riet, Opm.: vez1, ts=0						
310 - 405	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig riet, weinig zegge, slap, Opm.: vez3, ts=0						
405 - 415	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, mosveen, weinig zegge, matig slap, Opm.: vez3, ts=0						
415 - 470	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, weinig riet, veel zegge, slap, Opm.: vez3, ts=0						

Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 117867
 Y-coördinaat (m) : 460974
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -228
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 18-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

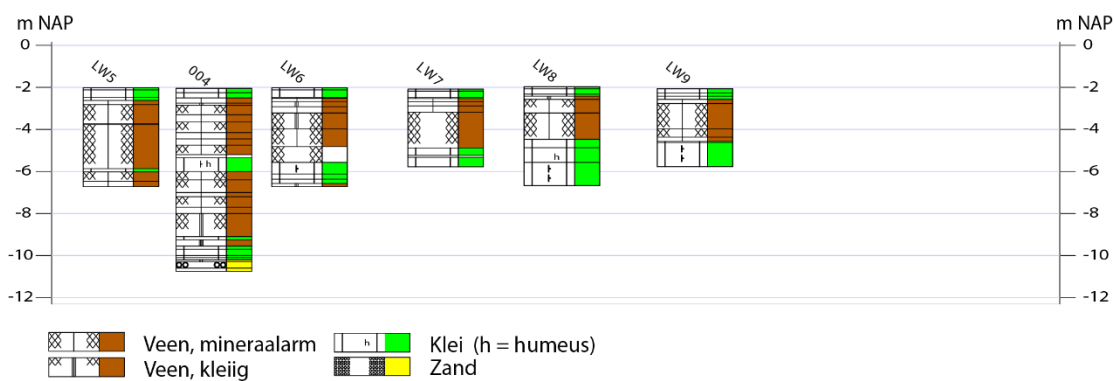
Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu		%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 35	klei sterk humeus, donker-bruin-grijs, matig stevig		25				
35 - 45	veen mineraalarm, zwart, Veen: sterk amorf, Opm.: vez0, ts=0						
45 - 80	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, Opm.: vez0, ts=0						
80 - 195	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, veel hout, slap, Opm.: vez1, ts=0						
195 - 290	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor zegge, zeer slap, Opm.: vez1, ts=0						
290 - 300	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, veel riet, matig slap, Opm.: vez3, ts=0						
300 - 400	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor zegge, spoor riet, slap, Opm.: vez1, ts=0						
400 - 410	veen mineraalarm, zwart, Veen: sterk amorf, weinig riet, Opm.: vez2, ts=0						
410 - 454	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig zegge, spoor riet, matig slap, Opm.: vez2, ts=0						
454 - 460	veen zwak kleilig, bruin-grijs, Veen: matig amorf, weinig zegge, veel wortelresten, weinig riet, weinig kleilagen, Opm.: vez3, ts=0, kleibandjes mogelijk oplichtingsklei						
460 - 470	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, weinig zegge, matig slap, Opm.: vez2, ts=0						

F Geologische boringen Lange Weide



Figuur F1. Geologische boringen te Lange Weide in profiel, met versimpelde legenda. Voor boorlocaties zie Figuur 3.64.. Voor volledige boorbeschrijvingen zie volgende pagina's.



Figuur F2. Geologische boringen te Lange Weide in profiel, met versimpelde legenda. Voor boorlocaties zie Figuur 3.64.. Voor volledige boorbeschrijvingen zie volgende pagina's.

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 114297
 Y-coördinaat (m) : 449848
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -199
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu %Za %Os			
		M63	%Si	%Gr	Ca
0 - 20	klei zwak siltig, sterk humeus, donker-bruin-grijs, veel wortels, Opm.: OR=o, brokkelig, teeltaarde				1
20 - 50	klei zwak siltig, matig humeus, bruin-grijs, spoor wortels, spoor ijzeroxide, Opm.: OR=or, brokkelig, baksteen				1
50 - 70	veen zwak kleilig, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, spoor riet, weinig hout, matig slap, Opm.: OR=or, VEZ1, TS0, brokkelig				1
70 - 90	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, veel hout, matig slap, Opm.: OR=or, VEZ2, TS0				1
90 - 160	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor hout, weinig zegge, slap, Opm.: OR=r, VEZ2, TS0, soms zweem klei				1
160 - 250	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor riet, weinig zegge, spoor hout, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ2, TS0, soms zweem klei, geband, elzenhout, naar onderen meer riet				1
250 - 265	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, weinig zegge, weinig riet, slap, Opm.: OR=r, VEZ3, TS1, rietzeggeveen				1
265 - 285	veen mineraalarm, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, rietveen, weinig riet, slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS0, groenige zweem, iets kleilig, detritusachtig				1
285 - 310	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor riet, weinig zegge, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ21, TS1, op 310 cm-mv HOU1				1
310 - 335	hout veel eikenhout				
335 - 340	gyttja licht-grijs-bruin, weinig hout, weinig houtresten, matig slap, Opm.: fijne plr, takjes, OR=r				1
340 - 380	klei zwak siltig, sterk humeus, bruin-grijs, spoor riet, spoor bladresten, spoor hout, matig slap, Opm.: OR=r, plat blad, gestapeld, veel plr				1

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 114155
 Y-coördinaat (m) : 449805
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -208
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheden : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu %Za %Os			
		M63	%Si	%Gr	Ca
0 - 20	klei zwak siltig, sterk humeus, donker-bruin-grijs, veel wortels, matig stevig, Opm.: OR=o, brokkelig, teeltlaag, geroerd				1
20 - 45	klei zwak siltig, matig humeus, bruin-grijs, spoor wortels, stevig, spoor ijzeroxide, Opm.: OR=or, brokkelig, grindje				1
45 - 65	veen zwak kleilig, donker-grijs-bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, spoor hout, matig slap, Opm.: OR=or, VEZ1, TS0, brokkelig, takjes, hout, kleine wortels				1
65 - 80	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, spoor zegge, spoor riet, weinig hout, matig slap, Opm.: OR=or, VEZ2, TS0, vrij kleilig, rommelig				1
80 - 100	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, spoor zegge, spoor riet, weinig hout, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ2, TS0, vrij kleilig, bosveen met zegge				1
100 - 120	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor riet, weinig zegge, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS0, vrij kleilig				1
120 - 160	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, spoor riet, veel zegge, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ3, TS1, 150-160 cm-mv GM, takje				1
160 - 255	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor hout, weinig zegge, spoor riet, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ2, TS1, 2 cm eikenhout, plr geband, onderin stukjes vezeliger				1
255 - 260	hout				
260 - 280	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, weinig hout, zeer slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS1, cm-stukken hout, zeer slap, verspoeld?				1
280 - 330	klei matig siltig, zwak humeus, grijs, veel hout, matig slap, Opm.: elzenhout, grote stukken hout, OR=r				
330 - 340	hout				

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 113992
 Y-coördinaat (m) : 449751
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -204
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu %Za %Os			
		M63	%Si	%Gr	Ca
0 - 20	klei zwak siltig, sterk humeus, donker-bruin-grijs, veel wortels, matig stevig, spoor ijzeroxide, Opm.: OR=o, brokkelig, geroerd				1
20 - 40	klei matig siltig, zwak zandig, matig humeus, bruin-grijs, spoor wortels, spoor ijzeroxide, Opm.: OR=or, brokkelig, baksteen				1
40 - 75	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, spoor hout, spoor riet, matig stevig, Opm.: OR=or, VEZ0, TS0, brokkelig, naar onderen slapper, kleilig, gw tijdens boren 80 cm-mv				1
75 - 90	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, spoor zegge, spoor riet, spoor hout, matig slap, Opm.: OR=or, VEZ1, TS0, iets kleilig				1
90 - 120	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, spoor hout, spoor zegge, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ2, TS0				1
120 - 130	hout Opm.: waarschijnlijk elzenhout				
130 - 170	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, veel hout, spoor zegge, slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS0				1
170 - 300	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, spoor riet, spoor zegge, weinig hout, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ2, TS1, matrix AV3, iets kleilig, geband				1
300 - 330	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, spoor riet, weinig zegge, spoor hout, slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS0, iets kleilig				1
330 - 360	veen sterk kleilig, grijs-bruin, Veen: matig amorf, rietveen, spoor zegge, weinig riet, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS0, gyttja-achtig, naar onderen toe kleiiger, bladresten, gelaagd				1
360 - 385	klei zwak siltig, sterk humeus, grijs, spoor riet, Opm.: OR=r, bladresten gelaagd				1
385 - 400	veen sterk kleilig, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, spoor riet, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS0, naar onder toe veniger, gyttja-achtig				1
400 - 430	veen zwak kleilig, bruin, Veen: matig amorf, rietveen, veel riet, spoor zegge, matig stevig, Opm.: OR=r, VEZ3, TS1				1
430 - 460	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, spoor galigaan, matig stevig, Opm.: OR=r, VEZ3, TS2				1

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 113966
 Y-coördinaat (m) : 449754
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -205
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu %Za %Os			
		M63	%Si	%Gr	Ca
0 - 20	klei zwak siltig, sterk humeus, donker-bruin-grijs, veel wortels, matig stevig, spoor ijzeroxide, Opm.: OR=o, brokkelig, geroerd				1
20 - 45	klei matig siltig, matig humeus, bruin-grijs, veel wortels, matig stevig, spoor ijzeroxide, Opm.: OR=or, licht brokkelig, baksteen				1
45 - 70	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, matig stevig, Opm.: OR=or, VEZ0, TS0, brokkelig				1
70 - 80	veen zwak kleilig, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, spoor riet, matig stevig, Opm.: OR=or, VEZ0, TS0, brokkelig				1
80 - 125	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, bosveen, spoor zegge, spoor riet, weinig hout, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS1, top amorf, RIE op 90 cm-mv, takjes, rommelig				1
125 - 160	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, weinig hout, weinig zegge, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS0, berk, soms iets kleilig				1
160 - 210	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, weinig hout, spoor zegge, matig stevig, Opm.: OR=r, VEZ2, TS1, gas in veen, methaan door anaerobe afbraak				1
210 - 240	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, spoor hout, spoor zegge, slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS0, onderin meer zegge, gas in veen, methaan door anaerobe afbraak				1
240 - 270	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, bosveen, weinig hout, weinig zegge, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ2, TS0, iets rode zweem				1
270 - 315	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, veel zegge, spoor riet, spoor hout, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ2, TS2, gas in veen				1
315 - 330	detritus licht-grijs-bruin, veel plantenresten, veel hout, slap, Opm.: OR=r, elzenhout, lutum 30%				1
330 - 395	klei zwak siltig, sterk humeus, licht-bruin-grijs, veel hout, veel wortelresten, matig slap, Opm.: OR=r, veel verspoeld, crevasse?, grote stukken hout, onderin kleiiger				1
395 - 435	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor zegge, spoor riet, spoor hout, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS1, bovenin iets kleiiger				1
435 - 495	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, spoor zegge, weinig riet, spoor hout, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ3, TS2, riet soms plat, iets kleilig, consistentie wisselt				1
495 - 515	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: matig amorf, rietveen, weinig riet, spoor zegge, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ2, TS1, oxidatielaag				1
515 - 565	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, spoor zegge, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ3, TS2				1
565 - 595	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, rietveen, veel riet, spoor zegge, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ2, TS1, naar onder amorf				1
595 - 705	veen zwak kleilig, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, rietveen, spoor wortelresten, spoor zegge, spoor riet, slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS0, 5 mm KS1-H2, plat riet, onderin verspoeld?, verslagen, zwarte oxidatie lagen 1 a 2 cm, onderin MSL				1
705 - 720	klei zwak siltig, sterk humeus, groen-grijs, weinig plantenresten, weinig riet, Opm.: OR=r, gyttja-achtig				1
720 - 750	veen sterk kleilig, licht-grijs-bruin, Veen: sterk amorf, rietveen, matig slap, Opm.: OR=r, VEZ1, TS0, gyttja-achtig				1

Deltares

004

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu		%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca		
750 - 765	klei zwak siltig, sterk humeus, licht-grijs-grijs, weinig riet, matig slap, Opm.: OR=r, top 3 cm zwart (Bodem)						1
765 - 795	klei zwak siltig, sterk humeus, licht-grijs-grijs, spoor riet, matig slap, Opm.: OR=r, top 3 cm zwart (Bodem)						1
795 - 805	klei matig siltig, matig zandig, donker-blauw-grijs, weinig riet, matig slap, Opm.: OR=r, doorworteling						1
805 - 815	klei sterk zandig, donker-grijs, spoor plantenresten, matig slap, Opm.: OR=r						1
815 - 825	zand kleilig, licht-grijs, spoor plantenresten, matig slap, Opm.: OR=r						1
825 - 855	zand geel-grijs, spoor plantenresten, matig slap, spoor ijzeroxide, dekzand, Opm.: OR=r, groene zweem, OR=r, dekzand 125 um, goed gesorteerd, op 855 cm-mv grover 200 um						1
855 - 870	zand geel-grijs, spoor plantenresten, matig slap, spoor ijzeroxide, dekzand, Opm.: OR=r, OR=r, Kreftenheye zand, slecht gesorteerd, 200 um, fijn grind, FeO						1

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 114250
 Y-coördinaat (m) : 449833
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Maaiveld (cm) : 0
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu					%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca					
0 - 50	klei sterk siltig, matig humeus, grijs-bruin, matig stevig, spoor ijzeroxide		35							
50 - 130	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor riet, Opm.: vez1, ts=0									
130 - 140	hout mineraalarm, grijs	0	0	0	0	100	1			
140 - 370	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, spoor zegge, spoor hout, slap, Opm.: vez1, ts=0									
370 - 385	hout mineraalarm, grijs	0	0	0	0	100	1			
385 - 390	klei sterk siltig, grijs, spoor wortelresten, slap	20								
390 - 425	klei sterk siltig, zwak humeus, groen-grijs, spoor detritus	20								
425 - 470	klei sterk siltig, matig humeus, donker-grijs, veel plantenresten, weinig hout	20								
470 - 520	veen mineraalarm, grijs-bruin, Veen: matig amorf, rietveen, zeer slap, Opm.: vez2, ts=0									
520 - 545	veen mineraalarm, grijs-bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, Opm.: vez3, ts=0									
545 - 570	veen mineraalarm, licht-bruin, rietveen, Opm.: vez3, ts=0									

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 114204
 Y-coördinaat (m) : 449819
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Maaiveld (cm) : 0
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	M63	%Lu	%Za	%Os	
			%Si	%Gr	Ca	
0 - 10	sterk siltig, sterk humeus, zwart-grijs, matig stevig		20			
10 - 30	klei sterk siltig, matig humeus, donker-bruin-grijs, weinig ijzeroxide		25			
30 - 40	veen mineraalarm, zwart, Veen: sterk amorf, spoor hout, Opm.: vez0, ts=0					
40 - 170	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor zegge, Opm.: vez1, ts=0					
170 - 230	veen mineraalarm, donker-grijs-bruin, Veen: sterk amorf, veel hout, spoor zegge, veel wilgenhout, spoor elzenhout, slap, Opm.: vez1, ts=0					
230 - 310	veen mineraalarm, donker-grijs-bruin, Veen: sterk amorf, weinig hout, weinig zegge, zeer slap, Opm.: vez1, ts=0					
310 - 335	klei sterk siltig, grijs, veel wortelresten, weinig hout, zeer slap		20			
335 - 470	klei sterk siltig, grijs, weinig wortelresten, spoor hout		20			

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 114100
 Y-coördinaat (m) : 449792
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Maaiveld (cm) : 0
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu					%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca					
0 - 20	klei sterk siltig, donker-grijs, matig stevig		25							
20 - 40	klei sterk siltig, zwak humeus, donker-grijs, matig stevig, spoor ijzeroxide		25							
40 - 45	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, slap, Opm.: vez1, ts=0									
45 - 70	hout mineraalarm, grijs-geel, Opm.: boomstam							100		
70 - 230	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig hout, slap, Opm.: vez1, ts=0									
230 - 290	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig hout, slap, Opm.: vez2, ts=0									
290 - 330	veen mineraalarm, grijs-bruin, spoor zegge, zeer slap									
330 - 390	klei sterk siltig, grijs, veel wortelresten, veel hout, zeer slap		25							
390 - 470	veen mineraalarm, Veen: zwak amorf, rietveen, weinig rietstolonen, zeer slap, Opm.: vez2, ts=1									

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 114055
 Y-coördinaat (m) : 449779
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Maaiveld (cm) : 0
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort		M63	%Lu	%Za	%Os	
				%Si	%Gr	Ca	
0 - 10	klei sterk siltig, zwak humeus, grijs-bruin, stevig			25			
10 - 45	klei sterk siltig, grijs-bruin, stevig, spoor ijzeroxide			25			
45 - 60	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, slap, Opm.: vez0, ts=0						
60 - 200	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, spoor Menyanthes, spoor zegge, spoor hout, slap, Opm.: vez1, ts=0						
200 - 230	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, spoor zegge, spoor hout, veel wortelresten, slap, Opm.: vez1, ts=0						
230 - 350	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor rietstolonen, zeer slap, Opm.: vez1, ts=0						
350 - 370	klei sterk siltig, grijs, spoor zegge, spoor hout, spoor riet, spoor detritus			25			

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 113947
 Y-coördinaat (m) : 449734
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Maaiveld (cm) : 0
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	M63	%Lu	%Za	%Os	
			%Si	%Gr	Ca	
0 - 10	klei sterk siltig, matig humeus, zwart-grijs, stevig		25			
10 - 45	klei sterk siltig, zwak humeus, zwart-grijs, stevig, spoor ijzeroxide, spoor puinresten		25			
45 - 60	klei sterk siltig, sterk humeus, zwart-grijs, stevig		25			
60 - 80	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor rietstolonen, matig stevig, Opm.: vez1, ts=1					
80 - 170	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, matig stevig, Opm.: vez1, ts=0					
170 - 175	veen mineraalarm, Veen: zwak amorf, zeggeveen, spoor elzenhout, matig stevig, Opm.: vez3, ts=2					
175 - 385	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, spoor zegge, spoor hout, matig slap, Opm.: vez1, ts=0					
385 - 400	klei sterk siltig, zwak humeus, licht-bruin-grijs, spoor hout, slap, weinig gelaagd		25			
400 - 445	veen mineraalarm, Veen: sterk amorf, spoor riet, weinig zegge, zeer slap, Opm.: vez1, ts=0					
445 - 470	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, spoor rietstolonen, slap, Opm.: vez3, ts=1					

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 113976
 Y-coördinaat (m) : 449783
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Maaiveld (cm) : 0
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu				%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca				
0 - 10	klei sterk siltig, matig humeus, zwart-grijs, stevig		25						
10 - 45	klei sterk siltig, donker-grijs, stevig, spoor ijzeroxide		25						
45 - 50	veen mineraalarm, Veen: sterk amorf, matig stevig, Opm.: vez0, ts=0								
50 - 65	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, matig stevig, Opm.: vez0, ts=0								
65 - 90	veen zwak kleiig, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, matig slap, Opm.: gyttja-achtig, vez1, ts=0								
90 - 120	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor rietstolonen, spoor riet, weinig zegge, matig stevig, Opm.: vez1, ts=1								
120 - 195	veen zwak kleiig, Veen: sterk amorf, spoor hout, matig slap, Opm.: vez1, ts=0								
195 - 280	veen mineraalarm, Veen: sterk amorf, weinig riet, spoor hout, weinig zegge, matig slap, Opm.: vez2, ts=0								
280 - 355	hout rood-grijs, Opm.: boomstam, Els							100	
355 - 410	klei sterk siltig, zwak humeus, donker-grijs, spoor hout, matig slap		30						
410 - 435	klei sterk siltig, grijs, spoor hout, matig stevig, Opm.: verspoeld hout		30						
435 - 455	klei sterk siltig, matig humeus, grijs-bruin, matig slap		25						
455 - 470	veen zwak kleiig, bruin, weinig riet, matig slap, Opm.: vez1, ts=0								

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 114045
 Y-coördinaat (m) : 449848
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Maaiveld (cm) : 0
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu				%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca				
0 - 10	klei sterk siltig, zwak humeus, zwart-grijs, stevig		25						
10 - 40	klei sterk siltig, zwak humeus, bruin-grijs, stevig, spoor ijzeroxide		25						
40 - 45	klei sterk siltig, bruin-grijs		25						
45 - 60	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, matig stevig, Opm.: vez1, ts=0								
60 - 80	veen mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, weinig zegge, Opm.: vez1, ts=0								
80 - 110	veen mineraalarm, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor hout, spoor riet, veel zegge, Opm.: vez2, ts=1								
110 - 280	veen bruin, Veen: sterk amorf, spoor rietstolonen, spoor hout, weinig zegge, slap, Opm.: vez1, ts=0								
280 - 315	klei sterk siltig, groen-grijs, spoor hout, spoor wortelresten, Opm.: gyttja-achtig		20						
315 - 325	hout geel-grijs, Opm.: massief						100		
325 - 370	klei sterk siltig, grijs, veel hout, weinig wortelresten		20						

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 114068
 Y-coördinaat (m) : 449907
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Maaiveld (cm) : 0
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

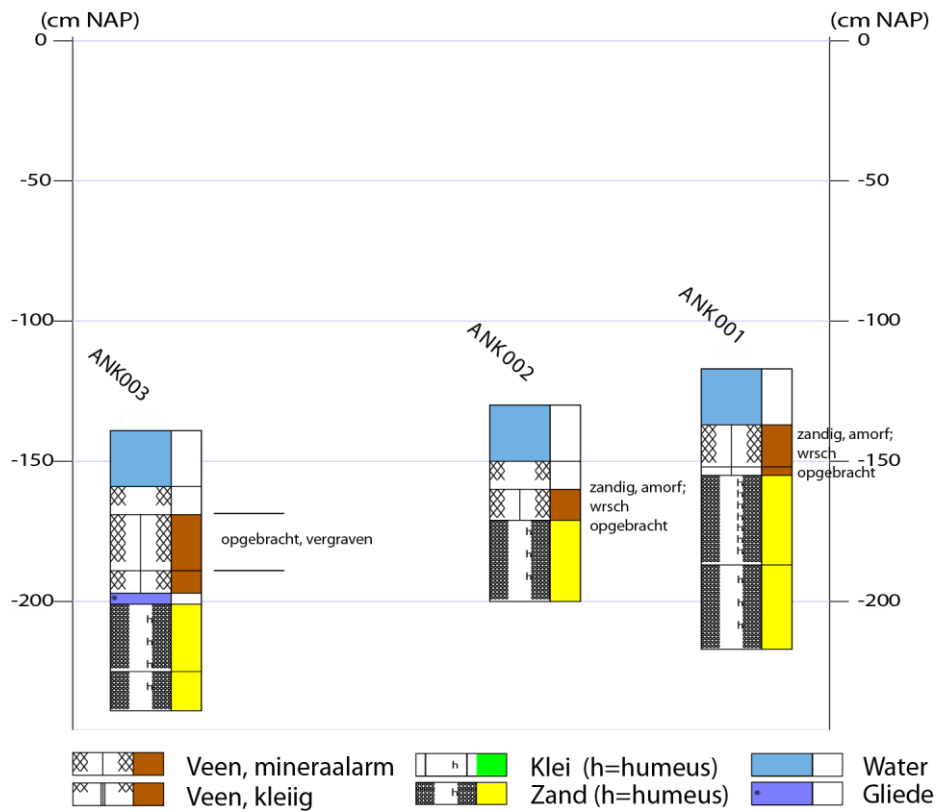
Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort		%Lu	%Za	%Os		
			M63	%Si	%Gr	Ca	
0 - 10	klei	sterk siltig, zwak humeus, donker-grijs, stevig	25				
10 - 35	klei	sterk siltig, zwak humeus, donker-grijs, stevig, spoor ijzeroxide	25				
35 - 45	klei	sterk siltig, matig humeus, donker-grijs	25				
45 - 60	veen	zwak kleiig, zwart-grijs, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor zegge, matig stevig, Opm.: vez1, ts=0					
60 - 125	veen	mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, spoor hout, spoor rietstolonen, weinig zegge, matig slap, Opm.: vez1, ts=0					
125 - 250	veen	mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, weinig hout, veel wortelresten, matig slap, Opm.: vez2, ts=0					
250 - 290	klei	sterk siltig, matig humeus, groen-grijs, slap, Opm.: gyttja-achtig	25				
290 - 360	klei	zwak humeus, groen-grijs, weinig hout, slap, Opm.: iets gyttja-achtig, ingespoeld hout	25				
360 - 470	klei	sterk siltig, groen-grijs, zeer slap, Schelpen: spoor schelpmateriaal, spoor schelpgruis, Opm.: geulenklei	30				

Soort boring : Matig diepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 114142
 Y-coördinaat (m) : 449958
 Locatiebepaling : Gemeten, GPS
 Maaiveld (cm) : 0
 Datum boring : 8-3-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort		M63	%Lu	%Za	%Os	
				%Si	%Gr	Ca	
0 - 20	klei sterk siltig, sterk humeus, zwart-grijs, matig stevig			25			
20 - 35	klei sterk siltig, matig humeus, zwart-grijs, matig stevig			25			
35 - 50	klei sterk siltig, sterk humeus, zwart-grijs, matig stevig			25			
50 - 70	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, spoor hout, matig stevig, Opm.: vez1, ts=0						
70 - 190	veen mineraalarm, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, weinig hout, spoor zegge, matig slap, Opm.: vez1, ts=0						
190 - 230	veen mineraalarm, donker-grijs-bruin, Veen: sterk amorf, Opm.: gyttja-achtig						
230 - 250	veen mineraalarm, bruin-grijs, Veen: sterk amorf, weinig zegge, spoor hout, veel wortelresten, Opm.: vez2, ts=0						
250 - 255	klei sterk siltig, bruin, spoor riet, weinig zegge, slap			25			
255 - 370	klei sterk siltig, grijs, weinig riet, matig stevig			30			

G Geologische boringen Ankeveen



Figuur G1. Geologische boringen te Ankeveen, veld 1, in profiel, met versimpelde legenda. Voor boorlocaties zie **Error! Reference source not found.** Figuur 3.65. Voor volledige boorbeschrijvingen zie volgende pagina's.

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135261
 Y-coördinaat (m) : 474008
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -117
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	%Lu		%Za		%Os	
			M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 20	niet benoemd	Opm.: water						
20 - 35	veen	mineraalarm, zwak zandig, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, weinig wortelresten, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ0, TS0, veraard, top 3 cm slap, plr=lisdodde						1
35 - 38	veen	mineraalarm, sterk zandig, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, spoor wortelresten, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ0, TS0, veraard, top 3 cm slap, plr=lisdodde						1
38 - 70	zand	sterk humeus, zwart-grijs, Zand: matig fijn, spoor wortelresten, podsol, Opm.: or=r, matig gesorteerd, Podzol, E-horizont	150					1
70 - 100	zand	matig humeus, donker-geel-bruin, Zand: matig fijn, spoor wortelresten, podsol, dekzand, Opm.: or=r, slecht gesorteerd, Podzol, B-horizont (Fe), verspoeld dekzand	150					1

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135240
 Y-coördinaat (m) : 474013
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -130
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	%Lu		%Za		%Os	
			M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 20	niet benoemd	Opm.: water						
20 - 30	detritus	grijs-bruin, Veen: zwak amorf, veel plantenresten, slap, Opm.: lisdodde wortelmat, veenvormend, VEZ3, TS3, or=r						1
30 - 41	veen	mineraalarm, zwak zandig, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, veel wortelresten, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ1, TS0, iets kleiig						1
41 - 70	zand	zwak humeus, licht-bruin-grijs, Zand: matig fijn, spoor plantenresten, stevig, podsol, dekzand, Opm.: or=r, A-hor: 41-17 cm-mv = H2, E-hor: 47-55 cm-mv, B-hor: 55-70 cm-mv, paleo Fe	150					1

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135189
 Y-coördinaat (m) : 474032
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -139
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	M63	%Lu	%Za	%Os	
				%Si	%Gr	Ca	
0 - 20	niet benoemd	Opm.: water					
20 - 30	detritus	donker-grijs-bruin, Veen: zwak amorf, spoor plantenresten, slap, Opm.: lisdodde, VEZ1, TS0, wortelmat, or=r					
30 - 50	veen	mineraalarm, zwak zandig, donker-grijs-bruin, Veen: sterk amorf, spoor wortelresten, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ1, TS0, iets kleiig, omgewerkt/opgebracht veen, verse wortels					
50 - 58	veen	mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, spoor wortelresten, stevig, Opm.: or=r, VEZ1, TS0, brokkelig, verse wortels					
58 - 62	gliede	zwart, Veen: sterk amorf, spoor riet, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ=0, TS0					
62 - 86	zand	matig humeus, grijs-bruin, Zand: matig fijn, spoor plantenresten, stevig, Opm.: or=r, 77-86 cm-mv H3/plr2, matig gesorteerd	150				
86 - 100	zand	matig humeus, donker-bruin, Zand: matig fijn, spoor plantenresten, stevig, Opm.: or=r, B-horizont, matig gesorteerd	150				

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135152
 Y-coördinaat (m) : 474024
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -139
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	%Lu				%Za		%Os	
			M63	%Si	%Gr	Ca				
0 - 8	niet benoemd	Opm.: water								
8 - 18	detritus	donker-bruin, Veen: zwak amorf, veel wortelresten, slap, Opm.: or=r, VEZ3, TS2, wortelmat								
18 - 35	veen	mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, spoor plantenresten, matig slap, Opm.: or=r, VEZ1, TS0, brokkelig, vergraven en verstoord veen								
35 - 49	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor riet, spoor wortelresten, weinig zegge, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ2, TS1, rietzeggeveen, onderste 5 mm gliede								
49 - 80	zand	matig humeus, bruin-grijs, Zand: matig fijn, weinig wortelresten, stevig, podsol, dekzand, Opm.: or=r, A-hor: 49-57 cm-mv (H3), E-hor: 57-66 cm-mv, B-hor: 66-80 cm-mv	150							

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135196
 Y-coördinaat (m) : 474007
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -135
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort		%Lu	%Za	%Os		
			M63	%Si	%Gr	Ca	
0 - 9	detritus	grijs-bruin, Veen: zwak amorf, veel wortelresten, slap, Opm.: or=r, VEZ2, TS1, tussen grove en fijne detritus in					
9 - 21	veen	mineraalarm, grijs-bruin, Veen: sterk amorf, weinig wortelresten, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ1, TS0, brokkelig, kleilig					
21 - 31	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, spoor riet, spoor zegge, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ1, TS1					
31 - 75	zand	matig humeus, bruin-grijs, Zand: matig fijn, weinig plantenresten, stevig, Opm.: or=r, A-hor: 31-39 cm-mv (H3), E-hor: 39-46 cm-mv, B-hor: 46-75 (dbr)	150				

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135226
 Y-coördinaat (m) : 473993
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -135
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort		%Lu		%Za		%Os	
			M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 9	detritus	donker-grijs-bruin, Veen: zwak amorf, spoor plantenresten, spoor wortelresten, slap, Opm.: or=r, VEZ1, TS0, wortelmat, fijne detritus						
9 - 23	veen	mineraalarm, donker-grijs-bruin, Veen: sterk amorf, spoor plantenresten, weinig wortelresten, matig slap, Opm.: or=r, VEZ2, TS0, brokkelig, iets kleiig, vergraven veen						
23 - 31	veen	mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, weinig zegge, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ2, TS1, platig						
31 - 33	gliede	zwart, Veen: sterk amorf, matig slap, Opm.: or=r, VEZ0, TS0						
33 - 75	zand	matig humeus, donker-bruin-grijs, Zand: matig fijn, spoor plantenresten, stevig, Opm.: or=r, E-hor: 33-50 cm-mv, B-hor: 50-75 cm-mv, matig gesorteerd	150					

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135265
 Y-coördinaat (m) : 473977
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -122
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort		%Lu				%Za		%Os	
			M63	%Si	%Gr	Ca				
0 - 30	klei	zwak zandig, matig humeus, bruin-grijs, weinig wortelresten, spoor ijzeroxide, Opm.: or=or, geroerd, top grasmatt								
30 - 45	zand	matig humeus, donker-grijs, Zand: matig fijn, spoor plantenresten, spoor ijzeroxide, E-horizont, podsol, dekzand, Opm.: or=or, matig gesorteerd	150							
45 - 60	zand	zwak humeus, donker-rood-bruin, Zand: matig fijn, weinig ijzeroxide, B-horizont, podsol, dekzand, Opm.: or=or, matig gesorteerd, paleo Fe, inspoelingslaag	150							

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135243
 Y-coördinaat (m) : 473954
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -125
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	%Lu	%Za	%Os		
			M63	%Si	%Gr	Ca	
0 - 10	niet benoemd	Opm.: water					
10 - 25	detritus	grijs-bruin, Veen: zwak amorf, veel wortelresten, slap, Opm.: or=r, VEZ3, TS3, wortelmat					
25 - 56	zand	uiterst siltig, matig humeus, donker-grijs, spoor plantenresten, stevig, Opm.: or=r, grind, baksteen, ophooglaag, geroerd					
56 - 60	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig zegge, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ2, TS1					
60 - 70	zand	matig humeus, bruin-grijs, Zand: matig fijn, spoor plantenresten, A-horizont, podsol, dekzand, Opm.: or=r, matig gesorteerd	150				

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135224
 Y-coördinaat (m) : 473968
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -141
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	%Lu	%Za	%Os		
			M63	%Si	%Gr	Ca	
0 - 20	niet benoemd	Opm.: water					
20 - 35	detritus	geel-bruin, Veen: zwak amorf, veel wortelresten, slap, Opm.: or=r, liisdodde(veel), VEZ3, TS2, wortelmat, onderste minder vers en grbr					
35 - 53	zand	geel, Zand: matig fijn, weinig ijzeroxide, Opm.: or=r, opgebracht zand					
53 - 80	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor riet, weinig zegge, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ2, TS1, bovenkant vermengd (zand), rietzeggeveen					
80 - 127	zand	matig humeus, bruin-grijs, Zand: matig fijn, spoor plantenresten, stevig, podsol, dekzand, Opm.: or=r, A-hor: 80-84 cm-mv, E-hor: 84-90 cm-mv, B-hor: 90-127 cm-mv	150				

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135197
 Y-coördinaat (m) : 473982
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -133
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	%Lu %Za %Os					
			M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 20	niet benoemd	Opm.: water						
20 - 28	detritus	grijs-bruin, Veen: zwak amorf, veel wortelresten, slap, Opm.: or=r, VEZ3, TS2						1
28 - 70	klei	matig siltig, zwak zandig, matig humeus, grijs, spoor wortelresten, matig stevig, Opm.: or=r, ophooglaag, opgebracht, brokkelig, top doorworteld						1
70 - 76	veen	mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, weinig plantenresten, spoor zegge, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ2, TS0						1
76 - 94	zand	matig humeus, donker-grijs, Zand: matig fijn, spoor plantenresten, stevig, podsol, dekzand, Opm.: or=r, A-hor: 76-87 cm-mv (H3), E-hor: 87-94 cm-mv, matig gesorteerd	150					1

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135154
 Y-coördinaat (m) : 473994
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -129
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	%Lu	%Za	%Os			
			M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 20	niet benoemd	Opm.: water						
20 - 50	detritus	Veen: zwak amorf, zeer slap, Opm.: alleen wortels, draait guts uit, VEZ3, TS3						
50 - 68	klei	matig siltig, zwak zandig, sterk humeus, donker-bruin-grijs, spoor wortelresten, matig stevig, Opm.: or=r, bovenin WOR3, grind, opgebracht						
68 - 80	klei	zwak siltig, sterk humeus, bruin-grijs, spoor wortelresten, stevig, Opm.: or=r, brokkelig						
80 - 93	veen	mineraalarm, bruin, Veen: sterk amorf, zeggeveen, spoor zegge, weinig wortelresten, spoor riet, matig slap, Opm.: or=r, VEZ1, TS0, rietzeggeveen						
93 - 137	zand	donker-bruin-grijs, Zand: matig fijn, spoor plantenresten, stevig, dekzand, Opm.: or=r, A-hor: 93-113 cm-mv (ZW, H3, smerend), E-hor: 113-120 cm-mv, B-hor: 120-137 cm-mv, matig gesorteerd	150					

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135148
 Y-coördinaat (m) : 473981
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -129
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving	Grondsoort	M63	%Lu	%Za	%Os
				%Si	%Gr	Ca
0 - 15	veen	mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, bosveen, weinig hout, veel zegge, matig slap, Opm.: or=or, VEZ3, TS1				
15 - 50	veen	mineraalarm, donker-grijs-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor galigaan, weinig zegge, spoor hout, slap, Opm.: or=r, VEZ2, TS0				
50 - 85	veen	mineraalarm, geel-bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, spoor zegge, veel riet, matig slap, Opm.: or=r, VEZ3, TS2				
85 - 95	zand	sterk humeus, donker-bruin-grijs, weinig plantenresten, matig stevig, Opm.: or=r, VENIG ZAND,				
95 - 141	zand	donker-grijs, Zand: matig fijn, spoor plantenresten, podsol, dekzand, Opm.: or=r, A-hor: 95-114 cm-mv, B-hor (Fe): 114-141 cm-mv	150			

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135144
 Y-coördinaat (m) : 473955
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -125
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	%Lu		%Za		%Os	
			M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 30	zand	sterk humeus, zwart-grijs, spoor wortelresten, stevig, Opm.: or=or, opgebracht, onderste 5 cm dgrbr (roestkleurig)						
30 - 45	veen	mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig zegge, spoor riet, spoor hout, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ2, TS0						
45 - 62	veen	mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, weinig riet, spoor zegge, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ3, TS1						
62 - 82	geen monster	Opm.: waterlaag onder opgebrachte laag? net als in ANK011?, opgevuld petgat, oude drijftil?						
82 - 90	detritus	donker-zwart-bruin, Veen: sterk amorf, spoor galigaan, spoor zegge, zeer slap, Opm.: or=r, VEZ1, TS0						
90 - 145	zand	matig humeus, donker-grijs, stevig, podsol, dekzand, Opm.: or=r						

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135181
 Y-coördinaat (m) : 473939
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -123
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	M63	%Lu	%Za	%Os	
			%Si	%Gr	Ca	
0 - 36	zand sterk humeus, donker-grijs, spoor wortelresten, matig stevig, spoor ijzeroxide, Opm.: or=or, top 20 cm wortelzone (WOR3)					
36 - 75	klei zwak siltig, sterk humeus, zwart-grijs, spoor plantenresten, spoor wortelresten, spoor riet, spoor hout, matig stevig, Opm.: or=r, brokkelig, gemengd, opgebracht					
75 - 80	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor riet, weinig zegge, matig slap, Opm.: or=r, VEZ2, TS0, brokkelig					
80 - 120	zand sterk humeus, zwart-grijs, Zand: matig fijn, veel plantenresten, spoor riet, stevig, podsol, dekzand, Opm.: or=r, A-hor: 80-90 cm-mv, E-hor: 90-100 cm-mv, B-hor: 100-120 cm-mv, matig gesorteerd	150				

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135225
 Y-coördinaat (m) : 473925
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -133
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

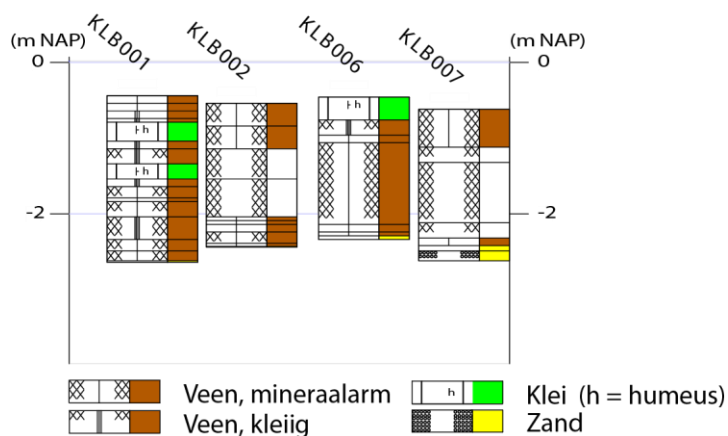
Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort		%Lu	%Za	%Os		
			M63	%Si	%Gr	Ca	
0 - 28	slurrie	Opm.: graspol, blubber, veenvormend materiaal					
28 - 40	zand	sterk humeus, donker-grijs, spoor wortelresten, matig stevig, Opm.: or=r, opgebracht, grindje					
40 - 46	klei	zwak siltig, sterk humeus, zwart-grijs, spoor wortelresten, matig stevig, Opm.: or=r, gemengd, opgebracht					
46 - 52	veen	mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor plantenresten, matig stevig, Opm.: or=r, VEZ1, TS0					
52 - 85	zand	sterk humeus, donker-bruin-grijs, Zand: matig fijn, weinig plantenresten, stevig, podsol, dekzand, Opm.: or=r, A-hor: 52-59 cm-mv, E-hor:59-70, B-hor: 70-85 (Fe)	150				

Soort boring : Matig diepe boring derden
 X-coördinaat (m) : 135253
 Y-coördinaat (m) : 474001
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -145
 Bepaling maaiveldhoogte : Actueel Hoogtebestand Nederl.
 Datum boring : 14-4-2021
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

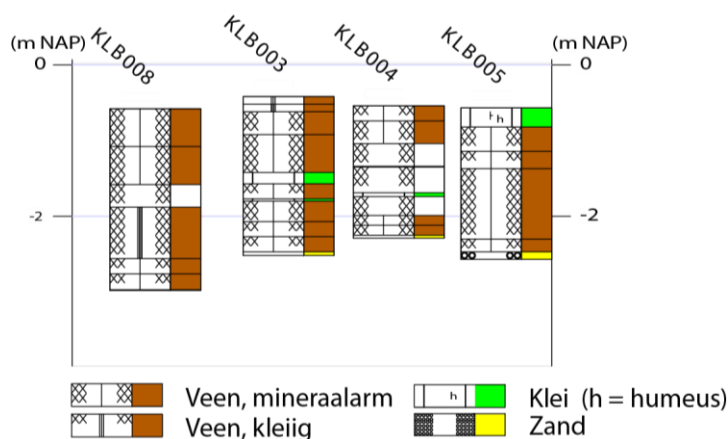
Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving	Grondsoort	M63	%Lu	%Za	%Os
				%Si	%Gr	Ca
0 - 15	grijs-bruin, Veen: zwak amorf, weinig plantenresten, slap, Opm.: or=r, VEZ2, TS0, fijn	detritus				
15 - 22	zwak kleilig, donker-bruin, Veen: zwak amorf, weinig wortelresten, matig slap, Opm.: or=r, VEZ1, TS0, grindje, vergraven opgebracht veen	veen				
22 - 29	zwak siltig, sterk humeus, bruin-grijs, spoor riet, spoor wortelresten, matig stevig, Opm.: or=r, grens VK3	klei				
29 - 100	sterk humeus, zwart-grijs, Zand: matig fijn, stevig, podsol, dekzand, Opm.: or=r, A-hor: 29-37 cm-mv, E-hor: 37-37 cm-mv, B-hor: 47-100 cm-mv, matig gesorteerd	zand	150			

H Geologische boringen Kalenberg



Figuur H4. Geologische boringen te Weerribben (Kalenberg), in profiel, met versimpelde legenda. Voor boorlocaties zie Figuur 3.66. Voor volledige boorbeschrijvingen zie volgende pagina's.



Figuur H4. Geologische boringen te Weerribben (Kalenberg), in profiel, met versimpelde legenda. Voor boorlocaties zie Figuur 3.66. Voor volledige boorbeschrijvingen zie volgende pagina's.

Soort boring : Ondiepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 191492
 Y-coördinaat (m) : 531881
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -44
 Datum boring : 8-7-2021
 Plaatsnaam : Kalenberg
 Vertrouwelijheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu %Za %Os			
		M63	%Si	%Gr	Ca
0 - 10	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: matig amorf, mosveen, weinig riet, weinig veenmos, veel wortels, matig stevig, Opm.: vez=2, ts=3, opgebracht, rietgras, rizomen				
10 - 20	veen mineraalarm, geel-bruin, Veen: zwak amorf, mosveen, veel mossen, weinig riet, matig slap, Opm.: vez=3, ts=2, riet rizomen				
20 - 30	veen zwak kleiig, donker-bruin, Veen: zwak amorf, mosveen, veel mossen, weinig riet, matig slap, Opm.: vez=3, ts=2				
30 - 35	veen sterk kleiig, bruin-grijs, Veen: zwak amorf, mosveen, veel mossen, weinig riet, matig slap, Opm.: vez=3, ts=3, 35 cm-mv zwarte laag = oude bodem met riet				
35 - 60	klei zwak siltig, sterk humeus, bruin-grijs, Veen: zwak amorf, weinig riet, weinig zegge, matig stevig, Opm.: vez=3, ts=2				
60 - 70	veen sterk kleiig, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, zeggeveen, weinig wortelresten, matig slap, Opm.: vez=2, ts=1, oude bodem				
70 - 90	veen sterk kleiig, donker-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, spoor hout, spoor riet, weinig zegge, matig slap, Opm.: vez=2, ts=1, rietzeggeveen				
90 - 110	klei zwak siltig, sterk humeus, bruin-grijs, veel riet, Opm.: vez=3, licht bodemprofiel				
110 - 120	veen sterk kleiig, zwart-bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, matig slap, Opm.: vez=3, ts=2, licht bodemprofiel				
120 - 135	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, veenmosveen, spoor zegge, weinig mossen, zeer slap, Opm.: vez=2, ts=0				
135 - 140	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, weinig zegge, spoor veenmos, zeer slap, Opm.: vez=3, ts=1				
140 - 160	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, slap, Opm.: vez=3, ts=3, iets klei 20%				
160 - 190	veen sterk kleiig, grijs-bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, matig stevig, Opm.: vez=3, ts=2, onderin laag bladresten (berk) intact, door horizontale instroming ingespoeld(?)				
190 - 205	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, mosveen, spoor zegge, spoor bladresten, spoor hout, weinig mossen, slap, Opm.: vez=1, ts=0				
205 - 218	veen mineraalarm, rood-bruin, Veen: zwak amorf, mosveen, veel wollegras, matig slap, Opm.: vez=3, ts=3, wollegras				
218 - 220	zand zwart-grijs, Opm.: wit zand bij droogwrijven, dekzand, verspoeld, bodem				

Soort boring : Ondiepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 191496
 Y-coördinaat (m) : 531877
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -54
 Datum boring : 8-7-2021
 Plaatsnaam : Kalenberg
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu		%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 30	veen mineraalarm, geel-bruin, Veen: zwak amorf, veenmosveen, veel veenmos, matig slap, Opm.: vez=3, ts=3						
30 - 60	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, matig slap, Opm.: vez=3, ts=3, vers rietveen; basis voor veenmosveen groei - eutroof						
60 - 100	detritus donker-bruin, spoor riet, spoor zegge, zeer slap, Opm.: detritus, vanalles ingespoeld, grotendeels water						
100 - 150	detritus donker-bruin, spoor riet, spoor zegge, slap, Opm.: detritus, iets consistentier dan laag erboven, grotendeels water						
150 - 155	veen mineraalarm, rood-bruin, Veen: matig amorf, veenmosveen, weinig veenmos, weinig zegge, slap, Opm.: vez=2, ts=0						
155 - 160	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: zwak amorf, mosveen, spoor heide, spoor mossen, slap, Opm.: vez=3, ts=0, bladmos, heide, platig						
160 - 170	veen mineraalarm, rood-bruin, Veen: zwak amorf, wollegrasveen, veel wollegras, slap, Opm.: vez=3, ts=3, lok, wollegrasveen						
170 - 185	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, spoor bladresten, spoor hout, spoor riet, spoor zegge, slap, Opm.: vez=1, ts=0, fijne matrix, els, groot stuk hout						
185 - 189	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, rietveen, weinig riet, matig slap, Opm.: vez=1, ts=0, platig						
189 - 190	zand zwart-grijs, dekzand						

Soort boring : Ondiepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 191522
 Y-coördinaat (m) : 531908
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -42
 Datum boring : 8-7-2021
 Plaatsnaam : Kalenberg
 Vertrouwelikheden : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu %Za %Os			
		M63	%Si	%Gr	Ca
0 - 10	veen zwak kleiig, zwart-bruin, Veen: matig amorf, rietveen, veel riet, veel wortels, matig stevig, Opm.: vez=2, ts=1				
10 - 20	veen sterk kleiig, zwart-bruin, Veen: matig amorf, rietveen, veel riet, veel wortels, matig stevig, Opm.: vez=2, ts=1				
20 - 50	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, matig slap, Opm.: vez=3, ts=3, geband VK1				
50 - 100	veen mineraalarm, geel-bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, zeer slap, Opm.: vez=3, ts=3, waterlaag				
100 - 115	klei zwak siltig, sterk humeus, bruin-grijs, weinig riet, slap, Opm.: rietklei				
115 - 135	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, zeggeveen, weinig zegge, weinig wortelresten, slap, Opm.: vez=1, ts=0, niet in-situ, brokkelig, jong materiaal				
135 - 138	klei zwak siltig, sterk humeus, bruin-grijs, spoor hout, slap, Opm.: overstromingsklei, scherpe grens				
138 - 165	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, zeggeveen, spoor hout, weinig riet, weinig zegge, slap, Opm.: vez=2, ts=0, jong materiaal				
165 - 185	veen mineraalarm, donker-rood-bruin, Veen: zwak amorf, mosveen, spoor veenmos, weinig heide, weinig mossen, matig slap, Opm.: vez=2, ts=1, bladmos, fijne matrix				
185 - 205	veen mineraalarm, donker-rood-bruin, Veen: matig amorf, bosveen, spoor hout, spoor riet, spoor mossen, matig slap, Opm.: vez=2, ts=0, bladmos, gelaagd, platig, eutroof/mesotroof				
205 - 210	zand zwak humeus, zwart-grijs, dekzand				

Soort boring : Ondiepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 191532
 Y-coördinaat (m) : 531902
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -54
 Datum boring : 8-7-2021
 Plaatsnaam : Kalenberg
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu				%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca				
0 - 20	veen mineraalarm, licht-bruin, Veen: zwak amorf, veenmosveen, veel veenmos, weinig wortels, matig slap, Opm.: vez=3, ts=3								
20 - 50	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, veel wortels, matig slap, Opm.: vez=3, ts=3								
50 - 80	detritus grijs-bruin, Opm.: drijfslag, doorworteld								
80 - 81	klei zwak siltig, sterk humeus, grijs, zeer slap								
81 - 115	detritus donker-bruin-grijs, weinig zegge, weinig wortelresten, weinig hout, zeer slap, Opm.: korrelig, iets klei								
115 - 120	klei zwak siltig, sterk humeus, groen-grijs, veel wortelresten, slap, Opm.: gnbrgr, sterk doorworteld								
120 - 145	detritus donker-bruin, weinig riet, weinig zegge, slap, Opm.: korrelig, fijne matrix								
145 - 158	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, wollegrasveen, weinig wollegras, slap, Opm.: vez=2, ts=2								
158 - 171	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, bosveen, weinig hout, slap, Opm.: vez=1, ts=0, fijn, gliede-achtig								
171 - 175	zand zwart								

Soort boring : Ondiepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 191536
 Y-coördinaat (m) : 531893
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -57
 Datum boring : 8-7-2021
 Plaatsnaam : Kalenberg
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu		%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 25	klei zwak siltig, zwak humeus, grijs, weinig wortels, matig stevig						
25 - 57	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, rietveen, spoor riet, veel wortels, matig slap, Opm.: vez=1, ts=1						
57 - 80	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, veenmosveen, weinig veenmos, matig slap, Opm.: vez=3, ts=1, doorworteld						
80 - 173	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, veenmosveen, veel veenmos, spoor wollegras, matig slap, Opm.: vez=2, ts=0, fijne matrix, brokkeliger, met wollegras						
173 - 190	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, weinig hout, matig slap, Opm.: vez=1, ts=0, schors, doorworteld						
190 - 200	zand bruin-zwart, Opm.: O horizont op A horizont, dekzand, verspoeld						

Soort boring : Ondiepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 191497
 Y-coördinaat (m) : 531864
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -46
 Datum boring : 8-7-2021
 Plaatsnaam : Kalenberg
 Vertrouwelijkheden : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu		%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 30	klei zwak siltig, sterk humeus, donker-grijs, veel wortels, matig stevig						
30 - 50	veen sterk kleilig, donker-grijs-bruin, Veen: matig amorf, rietveen, weinig riet, veel wortels, matig stevig, Opm.: vez=2,ts=1						
50 - 60	veen mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, rietveen, weinig wortels, spoor riet, spoor zegge, matig slap, Opm.: vez=1,ts=0						
60 - 168	veen mineraalarm, rood-bruin, Veen: zwak amorf, veenmosveen, veel veenmos, weinig wollegras, spoor heide, matig slap, Opm.: vez=3,ts=1, oligotroof veen, bij wollegras ts=3, doorworteld - vers						
168 - 178	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, spoor riet, spoor zegge, spoor hout, slap, Opm.: vez=0,ts=0, mesotrofe fase						
178 - 183	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, rietveen, spoor riet, slap, Opm.: vez=1,ts=0, z-bijmenging						
183 - 188	zand matig humeus, dekzand						

Soort boring : Ondiepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 191501
 Y-coördinaat (m) : 531861
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -62
 Datum boring : 8-7-2021
 Plaatsnaam : Kalenberg
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	M63	%Lu	%Za	%Os	Ca
			%Si	%Gr		
0 - 50	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, matig slap, Opm.: vez=3, ts=3, bovenin 15 cm stevig, onderin kleilig					
50 - 70	detritus bruin-grijs, zeer slap, Opm.: fijn, kleilig					
70 - 150	detritus bruin, spoor wortelresten, spoor zegge, zeer slap, Opm.: fijn					
150 - 170	hout Opm.: els					
170 - 180	veen mineraalarm, zwart-bruin, Veen: sterk amorf, bosveen, matig slap					
180 - 187	zand sterk humeus, donker-bruin, spoor wortelresten					
187 - 200	zand zwak humeus, geel-grijs, Zand: matig fijn, Opm.: slecht gesorteerd	150				

Soort boring : Ondiepe boring derden
 Coördinaatsysteem : Rijksdriehoeksmeting
 X-coördinaat (m) : 191530
 Y-coördinaat (m) : 531935
 Referentievlak : Normaal Amsterdams Peil
 Maaiveld (cm) : -58
 Datum boring : 8-7-2021
 Plaatsnaam : Kalenberg
 Vertrouwelijkheid : Openbaar

Lithologie

Diepte (cm)	Omschrijving Grondsoort	%Lu		%Za		%Os	
		M63	%Si	%Gr	Ca		
0 - 50	veen mineraalarm, bruin, Veen: zwak amorf, veenmosveen, spoor riet, weinig wortels, veel veenmos, matig slap, Opm.: vez=3, ts=1, met riet doorworteld, bovenste 20 cm lbr						
50 - 100	veen mineraalarm, geel-bruin, Veen: zwak amorf, rietveen, veel riet, zeer slap, Opm.: vez=3, ts=2, drijfslag, groeifase tot maaiveld						
100 - 130	detritus zeer slap, Opm.: fijn, iets kleilig						
130 - 198	veen sterk kleilig, grijs-bruin, Veen: matig amorf, rietveen, veel wortelresten, matig slap, Opm.: rietwortels, kleilige detritus geband met klei 3-8 cm, gedempt en ingevuld						
198 - 218	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, bosveen, weinig hout, spoor mossen, matig slap, Opm.: vez=1, ts=0, rommelig						
218 - 239	veen mineraalarm, bruin, Veen: matig amorf, rietveen, weinig riet, matig slap, Opm.: vez=1, ts=1						
239 - 240	zand sterk humeus, Opm.: venig zand, iets kleilig						