

Bijlage D **Bouwsteen 3B** **anti-verziltingsdrainage**

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Bouwsteen anti-verziltingsdrainage	1
1.3	Leeswijzer	3
2	Typen anti-verziltingsdrainage	4
3	Lijst gebruikte termen	6
4	Regionale analyse anti-verziltingsdrainage	8
4.1	Inleiding	8
4.2	Bodemopbouw	9
5	Selectie pilotlocaties	14
5.1	Aanpak	14
5.2	QuickScan potentiële locaties	14
5.3	Geselecteerde pilotlocaties	15
5.4	Representativiteit pilots voor de regio	16
5.5	Meetresultaten QuickScan	16
6	Inrichting pilots	21
6.1	Ontwerp anti-verziltingsdrainagesysteem	22
6.2	Aanleg	24
6.3	Monitoring	25
7	Monitoringsresultaat	29
7.1	Inleiding	29
7.2	Algemeen	29
7.3	Pingjum	33

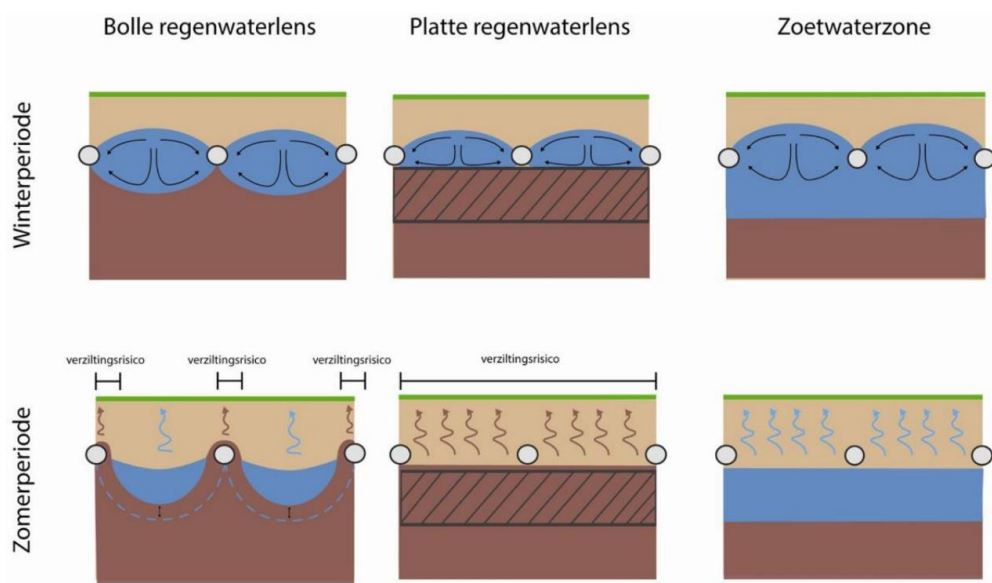
7.4	Sexbierum	36
7.5	Engwierum	39
7.6	Houwerzijl	44
7.7	Uithuizen	48
8	Invloed op waterkwaliteit	52
8.1	Theoretisch kader	52
8.2	Aanpak onderzoek	58
8.3	Resultaten	61
9	Praktijklessen	63
9.1	Inleiding	63
9.2	Keuze type systeem	63
9.3	Beheer	65
9.4	Terugkoppeling van de pilotdeelnemers	66
10	Conclusies en aanbevelingen	68
11	Referenties	71

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het project Spaarwater (Acacia Instituut, 2019) is anti-verziltingsdrainage als kansrijke mitigerende maatregel tegen verzilting ontwikkeld. Deze innovatieve drainage is een vorm van peilgestuurde drainage gericht op het versterken van de zoetwaterlenzen in het perceel en het bestrijden van verzilting. Figuur 1 geeft een overzicht weer van de zoetwaterlenzen, zoals deze voorkomen in het noorden van Friesland en Groningen.

Daarnaast creëert anti-verziltingsdrainage de mogelijkheid voor agrariërs om meer zelfvoorzienend te opereren in hun zoetwatervraag. Nu is men namelijk vaak afhankelijk van de waterschappen voor hun zoetwatervoorziening. De Waterschappen doorspoelen de waterwegen regelmatig met zoetwater. Door toenemende verzilting kan het gebeuren dat de waterschappen in de toekomst niet overal meer zoet water voor irrigatie kunnen aanleveren. Met het oog op de toekomst, biedt anti-verziltingsdrainage de agrariër dus bescherming tegen verzilting, zowel op lokaal niveau als op regionaal niveau.



Figuur 1 Verschillende vormen van zoetwaterlenzen afhankelijk van o.a. de kweldruk, bodemopbouw en drainage.

1.2 Bouwsteen anti-verziltingsdrainage

Historie

In het project 'Spaarwater' looptijd 2015-2018, is een eerste opzet voor anti-verziltingsdrainage als mitigerende maatregel tegen verzilting ontwikkeld. Deze innovatieve drainage is een vorm van peilgestuurde drainage, gericht op het versterken van de zoetwaterlenzen in het perceel en het bestrijden van verzilting.

Afhankelijk van onder andere de bodemopbouw, de kweldruk en de mate van drooglegging zijn binnen het project 'Spaarwater' verschillende typen anti-verziltingsdrainage ontworpen (Acacia Instituut, 2019). Het concept is destijds kleinschalig

getest op twee verschillende bodemtypen onder geheel controleerbare omstandigheden. De eerste resultaten hiervan zijn positief, een toenemende dikte van de zoetwaterbel als gevolg van de aangepaste drainage is geconstateerd. Echter is ook geconstateerd dat het nodig is om de techniek beter te toetsen (bv. onder verschillende bodemomstandigheden en tijdens regulier bedrijf van de percelen), alvorens het mogelijk is de maatregel op te schalen. Dit is opgepakt in het project Zoet op Zout bouwsteen 3b anti-verziltingsdrainage.

Doel van Zoet op Zout bouwsteen 3

Het doel van de bouwsteen anti-verziltingsdrainage is om de werking van anti-verziltingsdrainagesystemen te toetsen onder verschillende hydrologische omstandigheden, op perceelschaal en onder gangbare bedrijfsvoering. Dit is beoogd door het systeem op perceelschaal onder verschillende hydrologische omstandigheden aan te leggen (de zogenaamde pilots) en gericht te monitoren om daadwerkelijk conclusies op lange termijn te kunnen trekken.

De volgende onderzoeksvragen zijn hierbij vooraf gesteld:

- Welke stappen dienen er gevolgd te worden bij aanleg van anti-verziltingsdrainage?
- Welk type anti-verziltingsdrainage werkt onder welke omstandigheden?
- Kan met anti-verziltingsdrainage de zoetwaterbeschikbaarheid vergroot worden?
- Hoe beïnvloedt anti-verziltingsdrainage de verspreiding, vastlegging en uitspoeling van nutriënten in de bodem?
- Hoe beïnvloedt anti-verziltingsdrainage de hydrologische omstandigheden op het perceel (zoutheid bij gewassen in groeiseizoen en grondwaterstand tijdens natte en droge perioden)?
- Kan anti-verziltingsdrainage agrariërs helpen om zelfvoorzienend te worden in de zoetwateraanvoer?

Het is van belang om tijdens alle fases te leren van de pilots:

- Aanleg/ ontwerp van het systeem: uit eerder onderzoek blijkt dat er verschillende type anti-verziltingsdrainagesystemen bestaan. De keuze hangt sterk af van de lokale omstandigheden (bodemtype/ kwelflux/ aanwezigheid gerijpte klei/ investeringsmogelijkheden agrariër/ wensen vanuit het gewas). Daarnaast kan het peil in het drainagesysteem op verschillende manieren aangestuurd worden en de drainageafstand worden geoptimaliseerd. Per pilot is onderzocht wat voor de specifieke locatie/ agrariër het meest geschikt/ passend is. Omdat de locaties verschillen, verschillen de gemaakte keuzes;
- Aansturen van het systeem: in eerder onderzoek zijn de uitkomsten deels gebaseerd op gemodelleerde uitkomsten en het bedrijven van 2 kleine systemen, die volledig bestuurd werden door de uitvoerder van de proef. Door het systeem op perceelschaal aan te leggen, moet het ook zodanig aangestuurd en beheerd worden door de agrariër zelf. In praktijk zal door de agrariër niet altijd de meest optimale aansturing wat betreft versterking zoetwaterlens gevoerd worden. Op het bedrijf spelen ook andere belangen, zoals bereikbaarheid land etc.. Ook is het perceel in praktijk niet overal uniform. Door het systeem in de praktijk te besturen, wordt inzichtelijk welke kennis nodig is voor de agrariër voor een juiste besturing en of eerdere aannames op deze schaal inderdaad ook zo werken.

- Lange termijn effecten van het systeem op de hydrologie van het perceel. Op de pilotlocaties wordt monitoring geplaatst om zo eenduidig de werking van het systeem te kunnen volgen in de tijd. Ieder jaar, zijn de weersomstandigheden anders. Door gegevens over meerdere jaren te verzamelen kan een indruk verkregen worden hoe het systeem onder deze verschillende omstandigheden functioneert.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport betreft een bijlagenrapport. Dit rapport heeft als doel om een overzicht te geven van de werkzaamheden die zijn uitgevoerd. Daarnaast dient dit bijlagenrapport als achtergrondrapport bij het eindrapport integrale rapportage Zoet op Zout (dec 2025). De hoofdstukken zijn thematisch ingedeeld en kunnen losstaand gelezen worden.

2 Typen anti-verziltingsdrainage

Dit hoofdstuk en geeft een opsomming van de verschillende typen anti-verziltingsdrainage, Figuur 2.

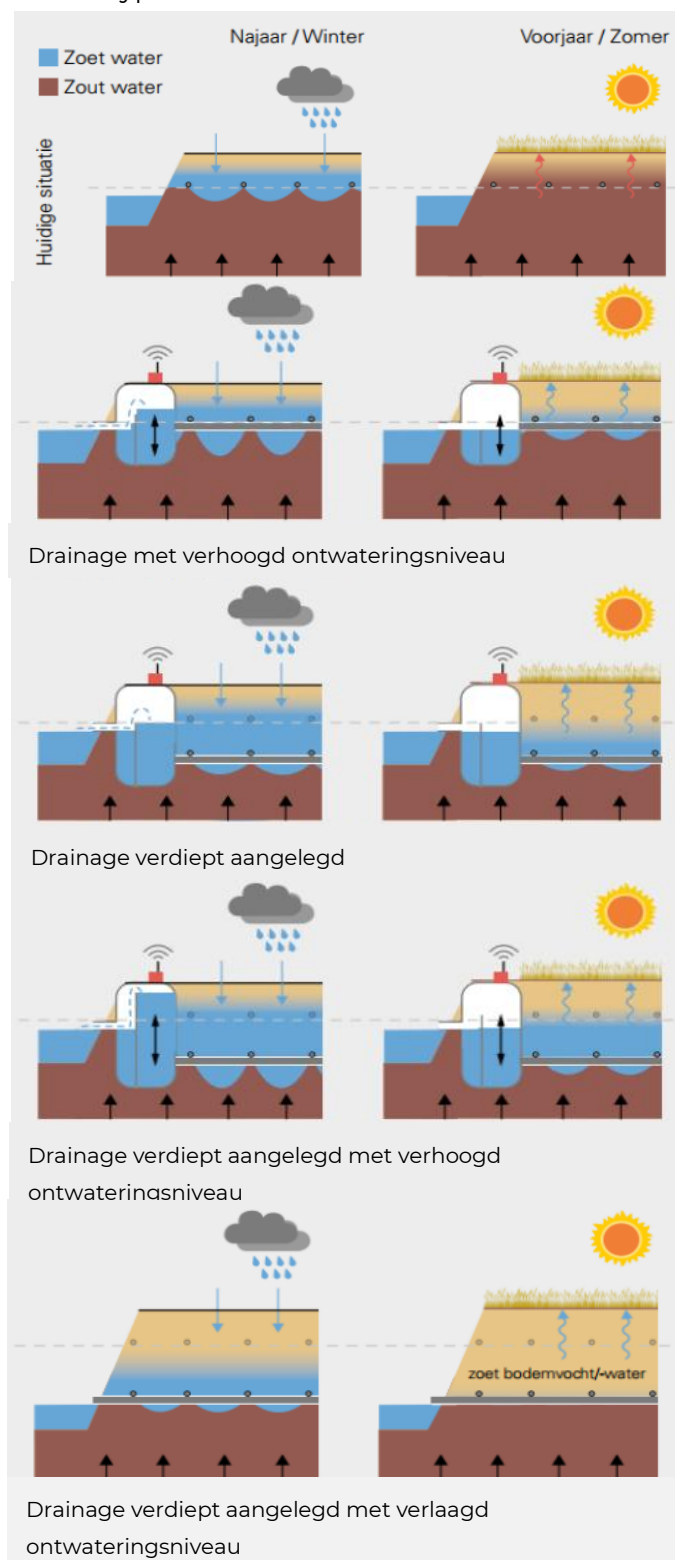
Huidige situatie: de drainage is aangelegd op basis van ervaring: gericht op het creëren van de meest gunstige grondwaterstand in de zomer- en wintersituatie (natheid/ droogte).

Verhoogd ontwateringsniveau: verhoogd ontwateringsniveau bij bestaande drainage, richt zich op het verlagen van de zoute kweldruk uit de ondergrond door in het drainagesysteem een (instelbaar) verhoogd ontwateringsniveau te hanteren. De zoetwatervoorraad wordt vergroot en door de hogere grondwaterstanden neemt de (zoute) kweldruk af, wat een gunstig effect heeft op de dikte van de zoetwaterlens.

Verdiepte aanleg: verdiept aangelegde drainage met een regulier ontwateringsniveau, richt zich op het dieper afvangen van de zoute kwel door een drainage verdiept aan te leggen met mogelijk een kortere drainafstand.

Het ontwateringsniveau wijzigt niet ten opzichte van reguliere drainage. Door de diepere ligging van de drainage kan zoet water doordringen tot grotere diepte, óók direct boven de drainagestreng zelf. De afstand tussen de grondwaterspiegel en de drainage wordt vergroot. Bij de aanleg van de nieuwe drainage moet de oude drainage in ieder geval worden afgedopt, voorkeur gaat er echter naar uit dat de oude drainage in ieder geval de laatste 5 m vanaf de sloot wordt verwijderd om onbedoelde drainerende werking van oude drainage te voorkomen.

Verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau: verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau, richt zich op het vergroten van het waterbergend vermogen van het perceel. De drainage wordt dieper aangelegd dan bij traditionele drainage, maar het ontwateringsniveau wordt (periodiek) juist verhoogd ten opzichte van traditionele drainage.



Figuur 2 Overzicht typen anti-verziltingsdrainage

Hierdoor wordt de afstand tussen de grondwaterspiegel en de drainage verder vergroot én neemt de (zoute) kweldruk uit de ondergrond af. Bij de aanleg van deze nieuwe drainage moet de oude drainage in ieder geval worden afgedopt, de voorkeur gaat er echter naar uit dat de oude drainage in ieder geval de laatste 5 m tot aan de sloot wordt verwijderd.

Verdiepte aanleg met verlaagd ontwateringsniveau: verdiepte aanleg met verlaagd ontwateringsniveau. Hierbij wordt de drainage ingezet om zoutwater in de ondergrond af te vangen, analoog aan interceptieputten in de drinkwaterwinning. Het ontwateringsniveau ligt lager dan bij traditionele drainage. Zoetwateropslag in het perceel is hierbij niet mogelijk, alleen bodemvocht blijft achter in de bodem. In het Oldambt, in noordoost Groningen, wordt deze methode van draineren veel toegepast.

Deze variant kan voor een verhoging van de zoutbelasting naar de sloot zorgen en is om deze reden niet meegenomen in dit onderzoek.

3 Lijst gebruikte termen

Termen	Betekenis
Anti-verziltingsdrainage	Drainage, welke verzilting van het perceel tegengaat en een grotere zoetwaterbuffer in het perceel creëert.
Zoet- zout grensvlak	Het grensvlak in de bodem tussen zoet en zout water. Zoet water is aangehouden op 3 mS/cm
Zoetwaterlens	Een lens van zoet water die ontstaat, door neerslag, tussen twee drainage buizen of sloten in
Deelnemer aan pilot	Deze term wordt in dit rapport gebruikt om de agrariërs te duiden die een pilot hebben aangelegd op hun terrein.
EC	Deze term representeert de elektrische geleidbaarheid en is een maat voor de hoeveelheid opgeloste zouten in water, vaak uitgedrukt in milli-siemens per centimeter (mS/cm).
Verzamelleiding	Dit is een blinde (dichte) buis waarop alle afzonderlijke drainage buizen zijn aangesloten. De verzamelleiding komt uit in de peilput/taludbak.
Peilputten	In een peilput kan het uitstroomniveau van de drainage in het perceel worden geregeld. De verzamelleiding is aangesloten op deze peilput. In de peilput kan het ontwateringsniveau met opzetstukken of schotjes op verschillende (vaste) niveaus worden gehandhaafd.
Taludbak	De taludbak is eenzelfde soort systeem als een peilput en stelt het uitstroomniveau in met een buis. Het niveau kan flexibel gevarieerd worden tussen twee hoogtes: de laagste stand is als de buis plat ligt en de hoogste stand is als de buis omhoog staat. De buis kan ook op een willekeurige stand tussen deze standen vastgezet worden..
DualEM	Met de DualEM wordt de geleidbaarheid gemeten van de bodem over een horizontaal traject tot 6m diepte. Dit geeft een dwarsdoorsnede beeld van de zoutconcentratie van de ondergrond en daarbij ook inzicht in de diepte van het zoet-zout grensvlak.
CVES	Continuous Vertical Electrical Sounding. Met deze geofysische methode wordt de elektrische weerstand gemeten van de bodem. De elektrische weerstand zegt iets over het type bodem dat aanwezig is (zand of klei), mate van verzadiging, en het geeft een indicatie van het zoutgehalte van het grondwater (zoutwater heeft een beter geleidend vermogen dan zoet water). Dit geeft een indicatie van het chloridegehalte.
TEC-prikstok	Veldmeetinstrument waarmee in-situ de temperatuur en EC gemeten wordt van de bodem. Door handmatig de prikstok in de bodem te duwen, wordt elke 10cm een EC-meting uitgevoerd zodat een 1D profiel verkregen wordt.

ZoZ	Afkorting van de naam van dit onderzoeksproject “ Zoet op Zout”
CTD-diver	Afkorting van Conductivity, Temperature, Depth. Een CTD-diver is een sensor die realtime de EC, grondwaterdruk en temperatuur meet. De sensor kan in een peilbuis gehangen worden om het grondwater te monitoren.

4 Regionale analyse anti-verziltingsdrainage

4.1 Inleiding

Om tot representatieve pilotlocaties te komen voor anti-verziltingsdrainage is het nodig om inzicht te hebben in de voorkomende hydrologische omstandigheden in de kustzone van Grondingen en Friesland. Hiervoor is een regionale analyse uitgevoerd. De analyse geeft weer welke bodemtypen voorkomen in de regio en hoe de kwelintensiteit verschilt.

De diversiteit van bodem en verzilting in de Waddenregio is groot. De verscheidenheid aan bodemtypen in combinatie met een variërende kweldruk, leveren unieke situaties op bepalend voor de toepasbaarheid van anti-verziltingsdrainage. Voor de regionale opschaling van het concept is een analyse van deze diversiteit in bodemopbouw en kwel in het gebied essentieel.

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de regionale analyse weer. De achtergronden van de analyse zijn gedetailleerder toegelicht in de Technische tussenrapportage 2023-2024 [Acacia Water, 2024].

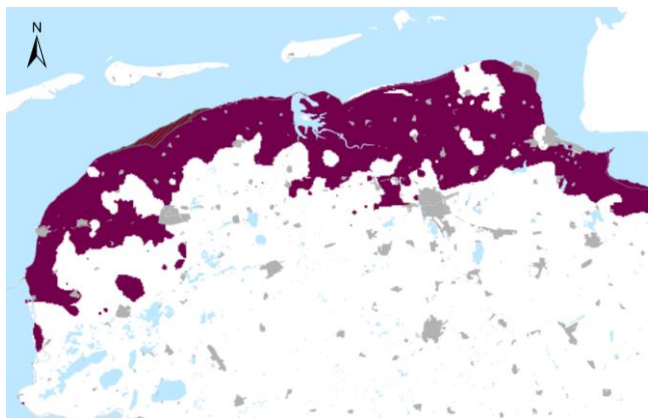
Opbouw dataset

Om de regionale analyse uit te voeren is een dataset opgebouwd voor het studiegebied met gegevens over de kwelsituatie en bodem. Binnen de analyse is de Waddenregio verder afgebakend om de dataset en de rekentijd te beperken. De overwegingen meegenomen in de afbakening van het studiegebied worden hieronder beschreven.

Gebieden waar het zoet-zoutgrensvlak dieper dan 5 m ligt maken geen onderdeel uit van het studiegebied. Een risico op verzilting bestaat namelijk alleen als de kwelflux brak of zout is.

De grens tussen zoet en brak is hierbij genomen op 1000 mg/l. De kaart met dit zoet-zout grensvlak (Figuur 3) is gemaakt binnen Spaarwater (Acacia Water, 2019), waar dezelfde aanname is genomen voor de ontwikkeling van de verziltingsrisicokaart. Voor een aantal regio's is de diepte van het zoet-zoutgrensvlak echter onzeker door een gebrek aan data. Deze gebieden zijn niet aangegeven in Figuur 3, maar behoren wel tot het studiegebied. Het gaat hier bijvoorbeeld om het buitendijks gebied de nieuwe Rijd en de Uithuizerpolder.

Naast de aanwezigheid van zoute kwel, is ook het landgebruik bepalend voor de risico's van verzilting. Voor akkerbouwers met gevoelige gewassen, denk aan de bollenteelt, zijn



Figuur 3 De gebieden met het zoet-zoutgrensvlak (1000 mg/L) binnen 5 m diepte (bron bestand: Acacia Water 2019).

de risico's van verzilting groter dan voor bijvoorbeeld veehouders met grasland. Dit doordat de schadedrempels van gewassen verschillen. Het ene gewas maakt eerder stresshormonen aan, waardoor de groei van de plant stopt/remt, dan het andere gewas. Binnen dit project ligt de focus voornamelijk op akkerbouwers, omdat zij de meeste negatieve effecten van verzilting ondervinden. Het studiegebied is hierdoor verder verkleind aan de hand van de Basisregistratie Gewaspercelen (BRP) 2022. Deze dataset bestaat uit de omgrenzingen van alle landbouwpercelen in Nederland, met daaraan gekoppeld het geteelde gewas. Op basis van de BRP data zijn alle landbouwpercelen geselecteerd die relevant zijn voor dit onderzoek. Onbeteelde gronden, blijvend grasland, bos of bomen en natuurterreinen (heide) zijn voorbeelden van typen landgebruik die niet zijn meegenomen in de analyse. Ook zijn percelen kleiner dan 0.1 ha niet meegenomen.

Uiteindelijk zijn 14.976 percelen overgebleven voor de analyse.

4.2 Bodemopbouw

Op basis van GeoTOP zijn representatieve bodemprofielen opgesteld voor de Waddenregio. Dit is gedaan door middel van een automatisch clusteringalgoritme voor categorische data. In deze bodemprofielen is uitgegaan van de lithologiën benoemd in GeoTOP. GeoTOP is een model dat een gedetailleerd driedimensionaal beeld geeft van de ondergrond van Nederland tot een diepte van maximaal 50 meter onder NAP. Het model is opgebouwd uit cellen van 100 bij 100 m in de horizontale, en 0.5 m in de verticale richting. Aan elke cel zijn eigenschappen gekoppeld, zoals lithostratigrafische eenheid en grondsoort (lithoklasse).

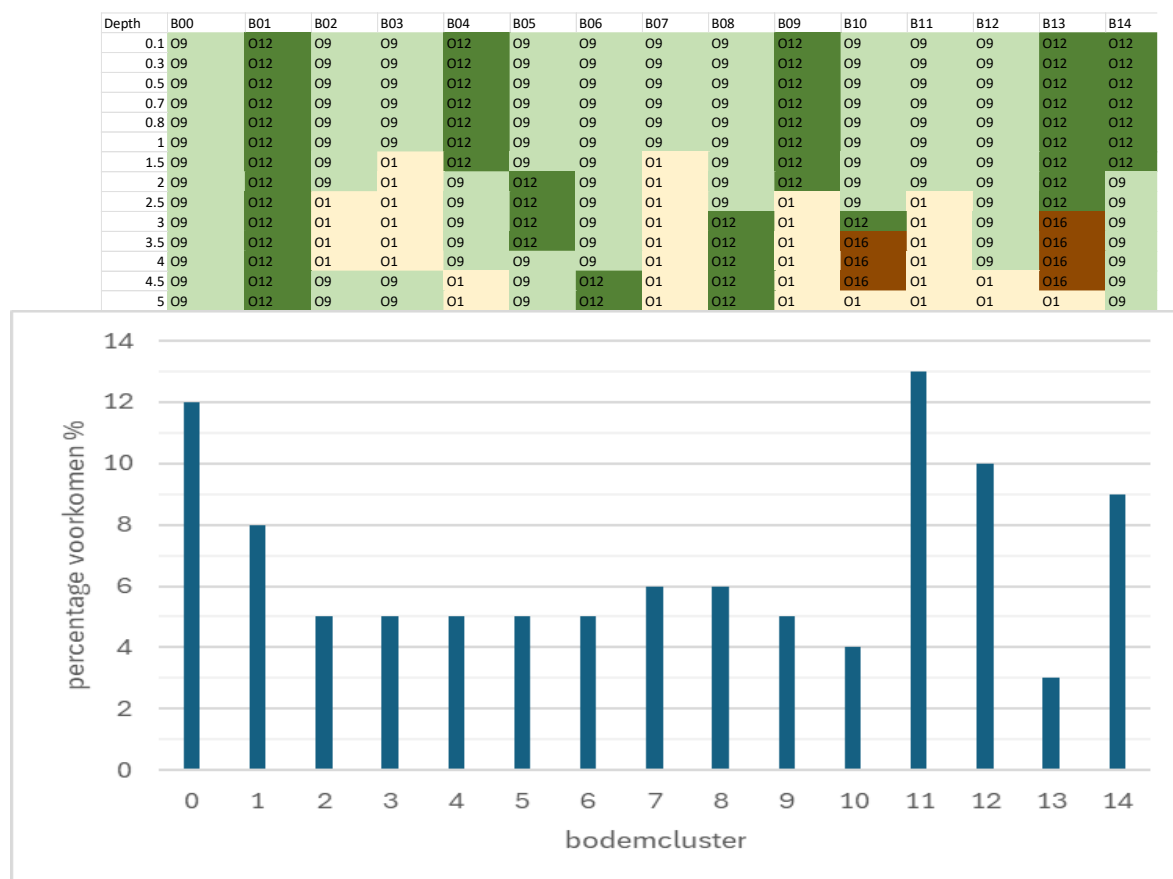
Voor het opstellen van de bodemprofielen zijn de meest waarschijnlijke lithoklassen tot 5 m diepte gebruikt. De 5 m diepte is gebaseerd op het feit dat de stroming naar drainage vooral plaatsvindt in de bovenste meters van het bodemprofiel (Van der Gaast et al. 2014). Om het aantal mogelijke bodemprofielen te beperken, zijn deze lithoklassen vervolgens gesimplificeerd tot 4 hoofdklassen: zand, klei, zavel & veen. De profielen met lagen geclassificeerd als Antropogeen zijn eruit gefilterd omdat deze voornamelijk in bebouwd gebied voorkomen.

Bodem clustering

Met een automatisch clusteringalgoritme voor categorische data zijn de bodemtypen geclusterd (voor nadere uitleg zie Acacia Water, 2024). Om de meest relevante bodemprofielen te krijgen is de automatische clustering meerdere malen uitgevoerd onder wisselende parameter combinaties. Zo is er bijvoorbeeld gevarieerd in het vooraf vastgestelde aantal clusters (10, 15, en 20 clusters).

In de keuze voor de beste clustering is niet alleen het bodemtype meegenomen, maar ook de gelaagdheid van de verschillende lithoklassen. De clustering met 15 bodemclusters gaf het beste resultaat, waarbij unieke bodemtypen aan aparte bodemclusters zijn toegekend, zie Figuur 4. Figuur 4 geeft ook het percentage van voorkomen van elk bodemcluster weer in het studiegebied. Het grootste gedeelte van de regio (13%) bestaat uit een bodem vergelijkbaar met bodemprofiel 11. Bodemprofiel 0, oftewel de zavelgronden, zijn representatief voor circa 12% van het studiegebied. De veenbodems zijn binnen het studiegebied het minst voorkomend (bodemprofiel 10 en 13), met beide

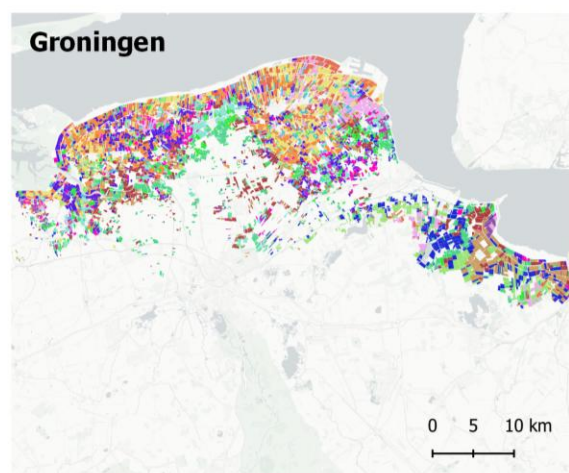
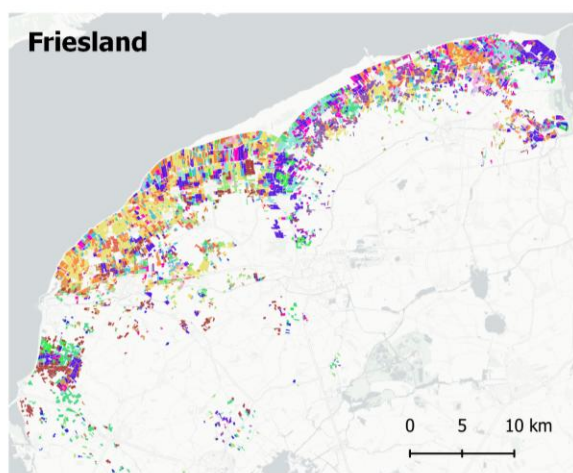
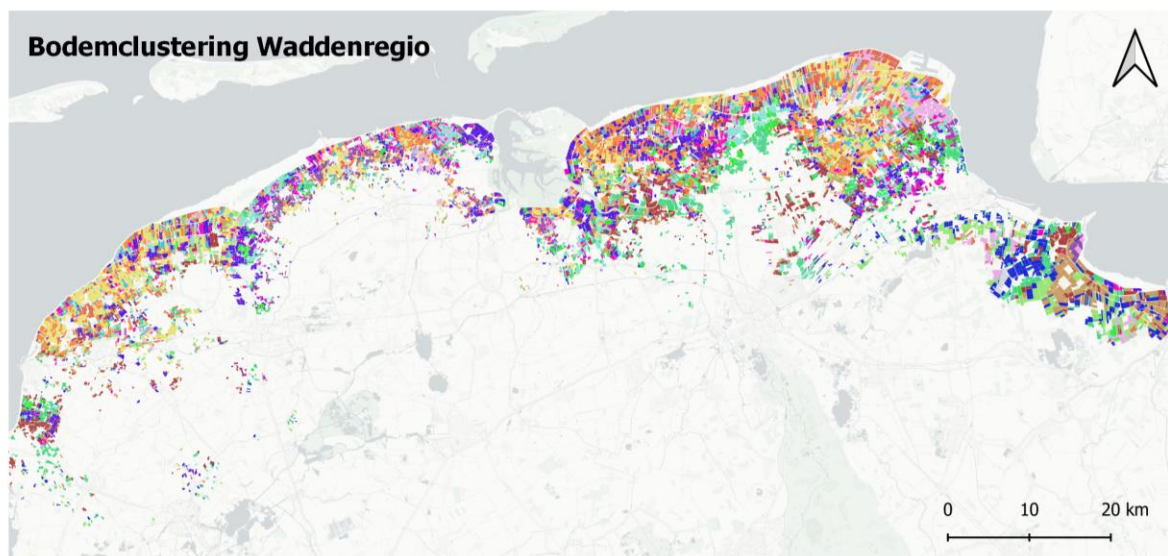
een dekkingsgraad van slechts 4 en 3%. Deze veenbodems komen voornamelijk voor in Oost-Groningen en Noordoost Friesland. Figuur 5 laat de spreiding van de verschillende bodemtypen zien binnen het studiegebied.



Figuur 4 Boven: bodemprofiel voor alle 15 clusters (B00 t/m B14). Onder: percentage van voorkomen per bodemcluster

Ongerijpte klei

In een aantal bodemprofielen is ondiep klei aanwezig. Dit kan (deels) gerijpte klei of ongerijpte klei zijn. Ongerijpte klei vormt een dichte, slecht doorlatende laag in de ondergrond waar zich geen zoetwaterlens in kan vormen en die moeilijk te ontwateren is. De aanwezigheid van ongerijpte klei is dus sterk bepalend voor de vorming van een zoetwaterlens. Aangezien ongerijpte klei niet apart wordt geclassificeerd in GeoTOP, is deze – ondanks de grote invloed op de zoetwaterlens - ook niet terug te vinden in de clustering.



Bodemprofiel



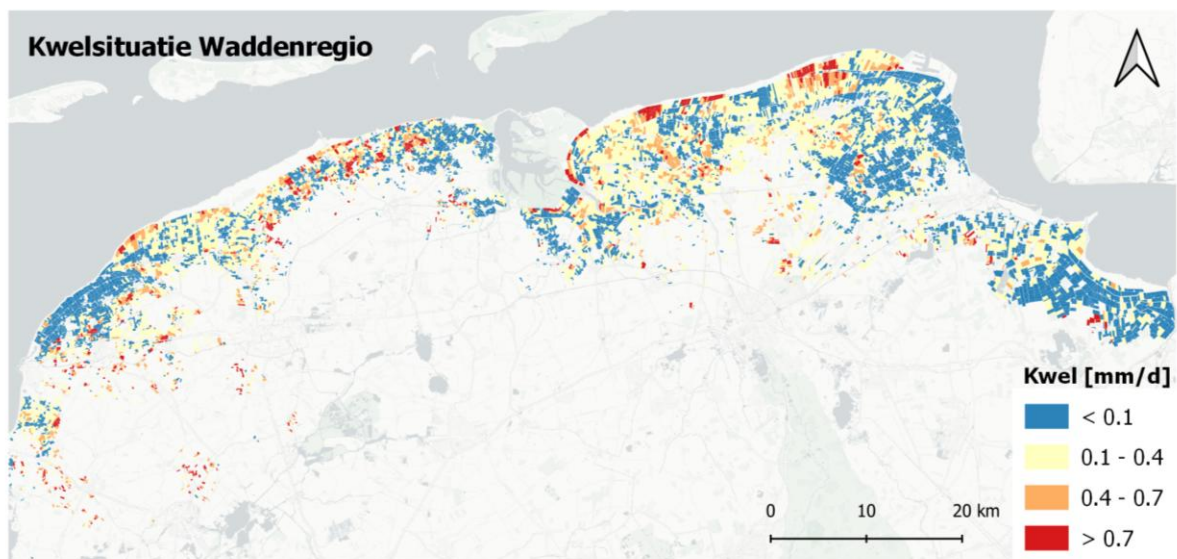
Figuur 5 De hernieuwde bodemclustering van het studiegebied, gecreëerd door middel van GeoTOP data en het clustering algoritme

4.2.1 Kweldata

Om de kwelsituatie van de regio te analyseren is de Spaarwater kwelkaart gebruikt (Acacia Water, 2019). Aan de hand van deze kaart is voor alle percelen binnen het studiegebied de gemiddelde kwelflux berekend. De resulterende kwelkaart is vervolgens gecategoriseerd in 4 klassen:

- 1) Minimale kwel (<0.1 mm/d);
- 2) Lage kwel (0.1 – 0.4 mm/d);
- 3) Medium kwel (0.4 – 0.7 mm/d);
- 4) Hoge kwel (> 0.7 mm/d).

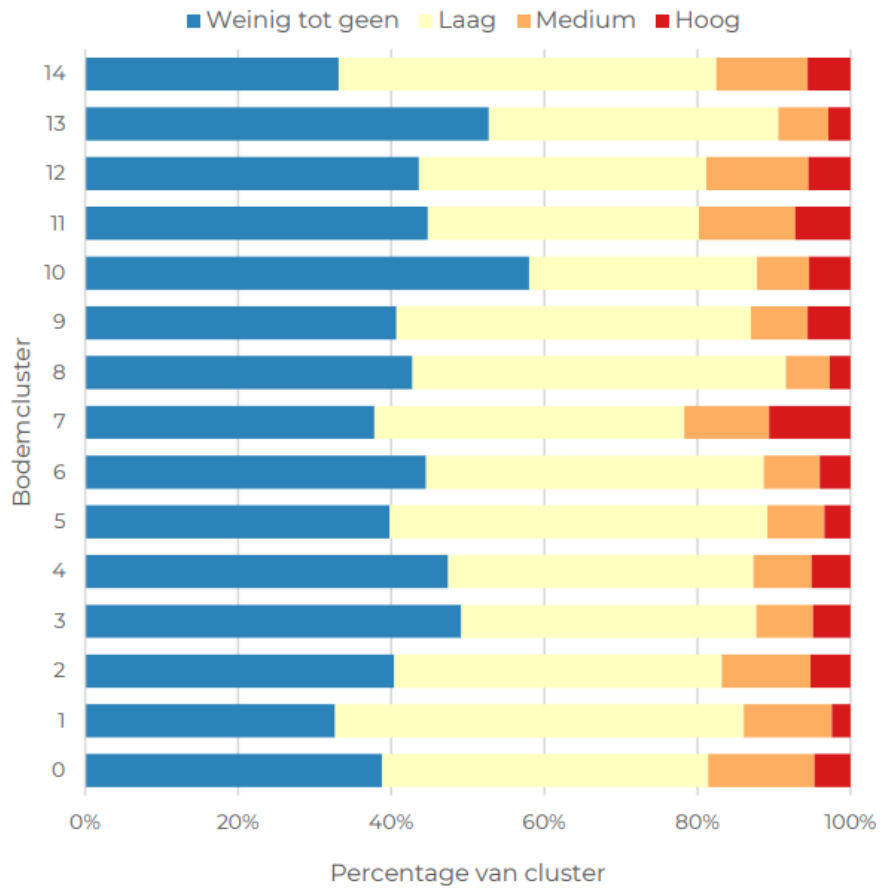
Figuur 6 geeft de kwelsituatie voor het gehele studiegebied weer.



Figuur 6 Kwelsituatie van het studiegebied [bron Acacia Water, 2019]

Uiteindelijk is er per bodemcluster gekeken naar de kwelsituatie (Figuur 7). Van alle veenprofielen (bodemprofiel 10 en 13) bevindt circa 90% zich op locaties met een minimale tot lage kweldruk, wat kan worden verklaard door de slechte doorlatendheid van de aanwezige veenlaag. Van alle locaties met een hoge kweldruk, zijn de meeste bodems vergelijkbaar met bodemprofiel 7. Ook dit valt te verklaren door de bodemopbouw; namelijk door de aanwezigheid van zand (hoge doorlaatbaarheid) in de onderste lagen van het profiel. Ook voor de profielen 8 en 1, beide gekenmerkt door de aanwezigheid van klei dieper in het profiel, is de invloed van de bodemopbouw op de kwelsituatie zichtbaar. Deze twee profielen komen namelijk relatief gezien weinig voor in de gebieden met een hoge kweldruk.

Kwelsituatie per cluster



Figuur 7 Kwelsituatie per bodemcluster.

5 Selectie pilotlocaties

5.1 Aanpak

Om geschikte percelen te selecteren voor het uitvoeren van de pilots is een vooronderzoek uitgevoerd. Het vooronderzoek bestaat uit de verkennende regionale studie (hoofdstuk 4) en daaropvolgend een QuickScan voor specifieke locaties. De regionale studie brengt de verscheidenheid aan bodem- en kwelsituaties in de regio in beeld. Aan de hand van deze resultaten is gezocht naar geïnteresseerde bedrijven voor een pilot. Bij deze bedrijven is een QuickScan uitgevoerd om de daadwerkelijke potentie van de locatie voor een pilot met anti-verziltingsdrainage te bepalen.

5.2 QuickScan potentiële locaties

De QuickScan bestaat uit een gesprek met de agrariër en het uitvoeren van veldmetingen om de geschiktheid van een perceel voor anti-verziltingsdrainage in meer detail te kunnen bepalen. De QuickScan is uitgevoerd op 12 percelen bij 9 verschillende bedrijfslocaties (Acacia Water, 2024). Voor ieder geselecteerde locatie zijn de volgende stappen ondernomen:

1. Uitvoeren veldonderzoek bestaande uit de volgende onderdelen:
 - a) Het uitvoeren van grondboringen, om inzicht te krijgen in de bodemopbouw (Figuur 8).
 - b) Het uitvoeren van CVES (Figuur 9), DualEM (Figuur 10) en/ of TEC-prikstok metingen, om de diepte van het zoet-zoutgrensvlak lokaal te bepalen. Met al deze meetinstrumenten kan de diepte van het zoet-zoutgrensvlak bepaald worden. Als het zoet-zoutgrensvlak rond drainageniveau ligt, kan anti-verziltingsdrainage de verziltingssituatie verbeteren.
 - Met de CVES wordt op één plek een gedetailleerd beeld van de geleidbaarheid van de ondergrond verkregen tot een nader te bepalen diepte. Dit beeld kan omgerekend worden naar een zoutconcentratie.
 - Met de DualEM wordt de horizontale geleidbaarheid gemeten langs een nader te bepalen tracé tot 6 m diepte. Dit geeft een iets globaler maar ruimtelijker beeld van de geleidbaarheid van de ondergrond en daarbij ook de diepte van het zoet-zout grensvlak.
 - De TEC-prikstok meet op één plek op iedere 10 cm diepte de geleidbaarheid van de bodem. Dit geeft een zeer gedetailleerd, doch lokaal beeld van de geleidbaarheid.
2. Gesprek met de agrariër, waarbij is besproken:

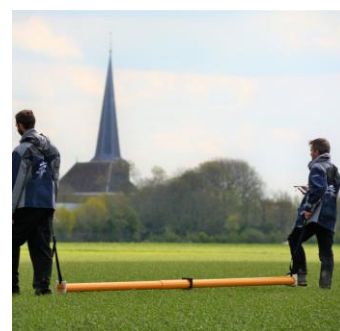


Figuur 8 bodemonderzoek



Figuur 9 CVES-meting

- a) Wat zijn de hydrologische eigenschappen van de percelen. Ligt er drainage, zo ja hoe is het uitgelegd? Ervaart de agrariër dat zijn perceel zout is, waar blijkt dat uit?;
- b) Wat is de motivatie om mee te doen aan het project;
- c) De voorwaarden om aan het project deel te kunnen nemen. Denk hierbij aan actieve participatie aan het besturen van het anti-verziltingsdrainagesysteem en het beschikbaar stellen van delen van het perceel voor (vaste) metingen;
- d) De investeringsmogelijkheid van de agrariër.



Figuur 10 DualEM-meting

5.3 Geselecteerde pilotlocaties

Aan de hand van de QuickScan zijn uiteindelijk vijf locaties geschikt bevonden voor een pilot, zie Tabel 1. De locaties zijn verspreid over de provincies Friesland en Groningen (Figuur 11).

Tabel 1 Definitieve deelnemers aan de pilot.

Onderzochte locatie	Regio	Bodem-cluster	Verziltingsrisico
1	Pingjum, Friesland	0	Gemiddeld
2	Sexbierum, Friesland	12	Hoog
3	Engwierum, Friesland	10	Hoog
4	Houwerzijl, Groningen	9*	Hoog
5	Uithuizen, Groningen	7	Gemiddeld

*met ongerijpte klei net onder drainage-niveau



Figuur 11 De vijf pilotlocaties in Friesland en Groningen.

Deze locaties zijn geselecteerd omdat ze een divers beeld, in zowel kwelsituaties als bodemprofiel, laten zien. Daarmee representeren de geselecteerde locaties de regio. Daarnaast voldeden de agrariërs aan de voorwaarden die gesteld zijn door Acacia Water voor deelname.

5.4 Representativiteit pilots voor de regio

De bodemprofielen van de deelnemers zijn samen representatief voor 37% van het studiegebied. Van de meest voorkomende bodemprofielen; cluster 0, 11 en 12, worden in ieder geval cluster 0 en 12 gepresenteerd. Ook worden met de bodemclusters 7, 9 en 10 bodemprofielen waar klei, zand en veen in voorkomen meegenomen. Hiermee representeert deze selectie aan locaties gevarieerde bodemprofielen, wat een interessante analyse kan opleveren.

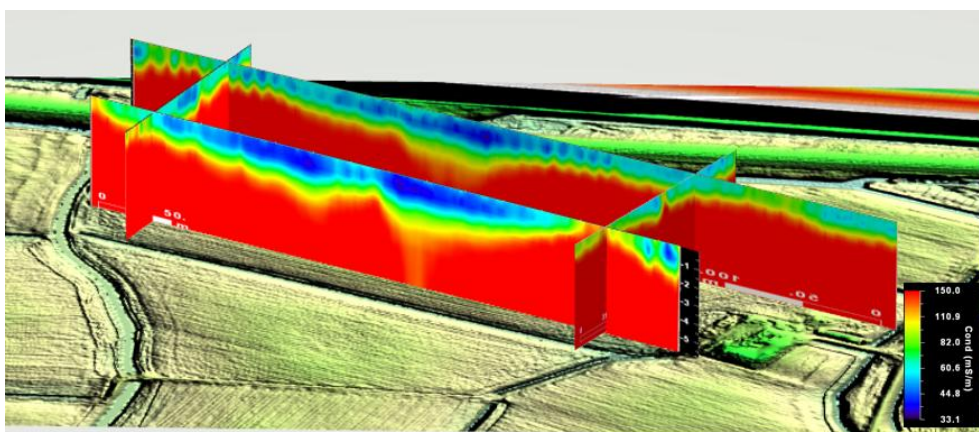
Ook representeren de gekozen locaties verschillende kwelsituaties. Volgens de Acacia Water kwelkaart, bestaat een groot deel ($\pm 43\%$) van het studiegebied uit percelen met een gemiddelde kwelflux kleiner dan 0.1 mm/d (de klasse minimale kwel). Het is aannemelijk dat het verziltingsrisico in deze gebieden lager is vergeleken met gebieden met een hogere kwelflux. De meeste van deze gebieden zullen dus ook minder relevant zijn voor het uitvoeren van de pilots. Daarom zijn deze gebieden ook niet meegenomen in de pilots en wordt er alleen gekeken naar locaties waar kwel in ieder geval een rol speelt (dus op locaties waar de kwel situatie op zijn minst in de klasse 'gemiddeld' valt).

5.5 Meetresultaten QuickScan

De metingen, uitgevoerd om inzicht te krijgen in de diepte van het zoet- zoutgrensvlak tijdens de QuickScan, worden in deze paragraaf toegelicht, opeenvolgend, voor de vijf geselecteerde pilotlocaties. In eerdere technische tussenrapportages is een overzicht weergegeven van het volledige uitgevoerde veldwerk voor alle onderzochte locaties. Verschillende meettechnieken zijn ingezet, zo zijn metingen uitgevoerd met de DualEM, CVES en Prikstok. Uit de metingen blijkt dat de zoetwaterlens op alle locaties een geringe dikte heeft, doorgaans tussen 1 m en 2 m dik.

5.5.1 Pingjum

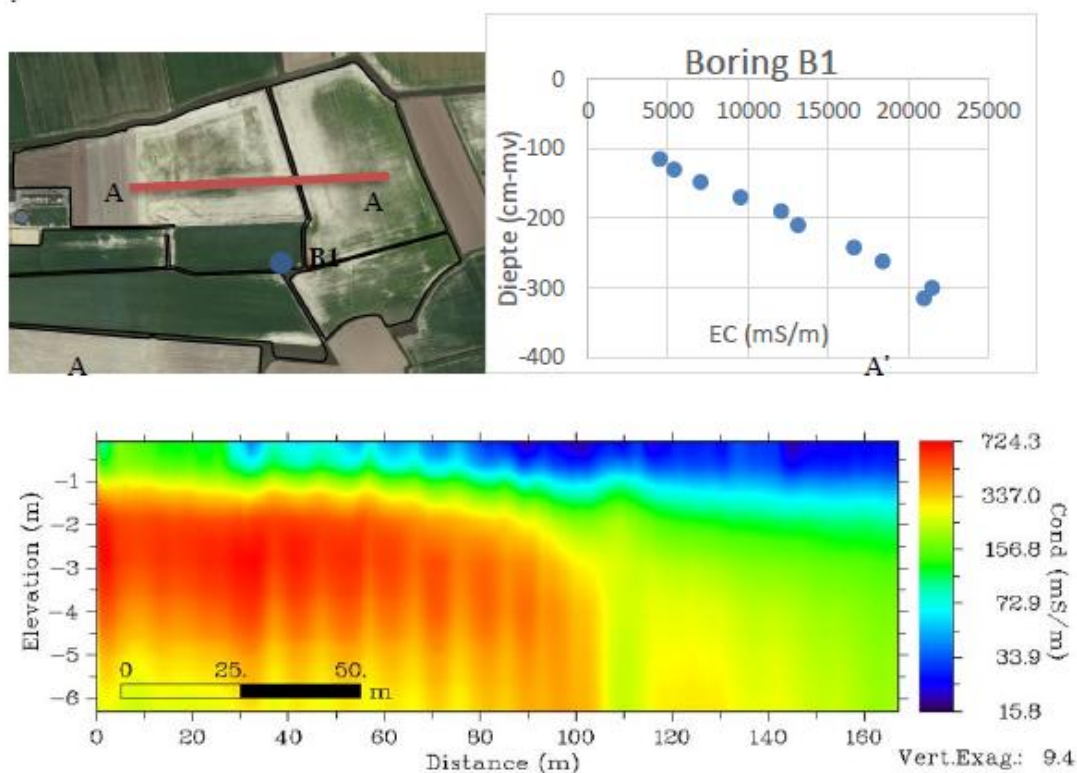
In september 2003 zijn een aantal DualEM-metingen uitgevoerd op een aantal percelen van dit bedrijf. De resultaten (Figuur 12) laten zien dat de diepte van het zoet- zoutgrensvlak varieert binnen het perceel. Aan de randen van het perceel is er nauwelijks sprake van een zoetwater lens en ligt het zoet- zoutgrensvlak ondieper dan 1 m-mv. Naar het midden van het perceel, neemt de diepte van het zoet- zoutgrensvlak geleidelijk toe tot 2 m-mv. Dit kan samenhangen met het hoger gelegen maaiveld. Daarnaast speelt (oude) drainage ook een rol. De drainage is zichtbaar in de figuur door de aanwezigheid van brak water (licht blauwe kleur) dat tussen het zoete grondwater (donkerblauwe kleur) tot praktisch aan het maaiveld aanwezig is. Op deze locatie, dicht bij de Waddenzeedijk, is een gemiddeld verziltingssituatie op basis van deze nulmeting.



Figuur 12 3D weergaven van de DualEM op het perceel in Pingjum.

5.5.2 Sexbierum

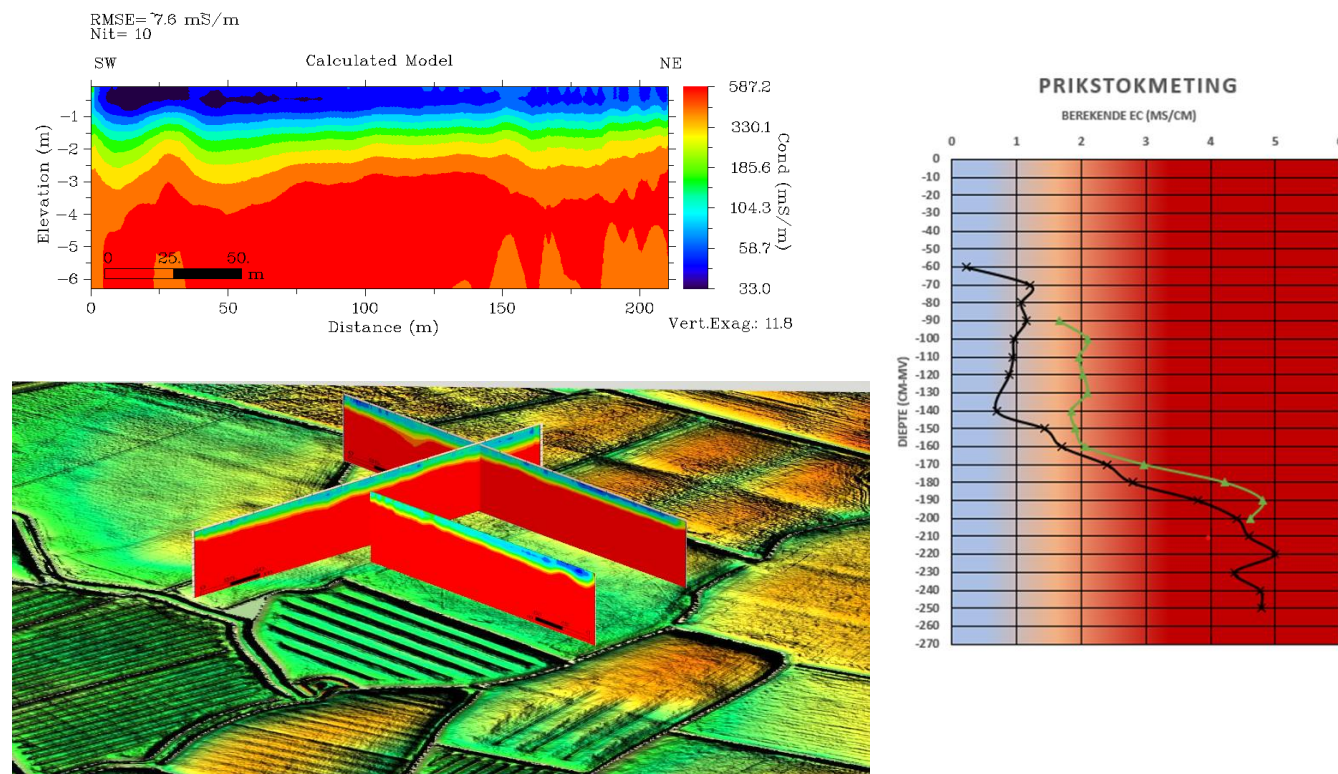
Op het perceel in Sexbierum zijn in het verleden een aantal maal verschillende metingen uitgevoerd om de verzilting in beeld te brengen (Figuur 13). De metingen geven weer dat het zoute grondwater op een aantal plaatsen tot in de wortelzone dringt. Op andere plaatsen is een dunne zoetwater lens aanwezig (tot 1 m dik). De agrariër geeft ook aan dat plaatselijk gewasschade zichtbaar is (kleinere en minder groene planten). Om deze reden is deze locatie geclassificeerd als hoog verziltingsrisico.



Figuur 13 Onder: DualEM profiel uitgevoerd op het beoogde perceel Sexbierum. Rechtsboven: een prikstokmeting in een boring (B1)

5.5.3 Engwierum

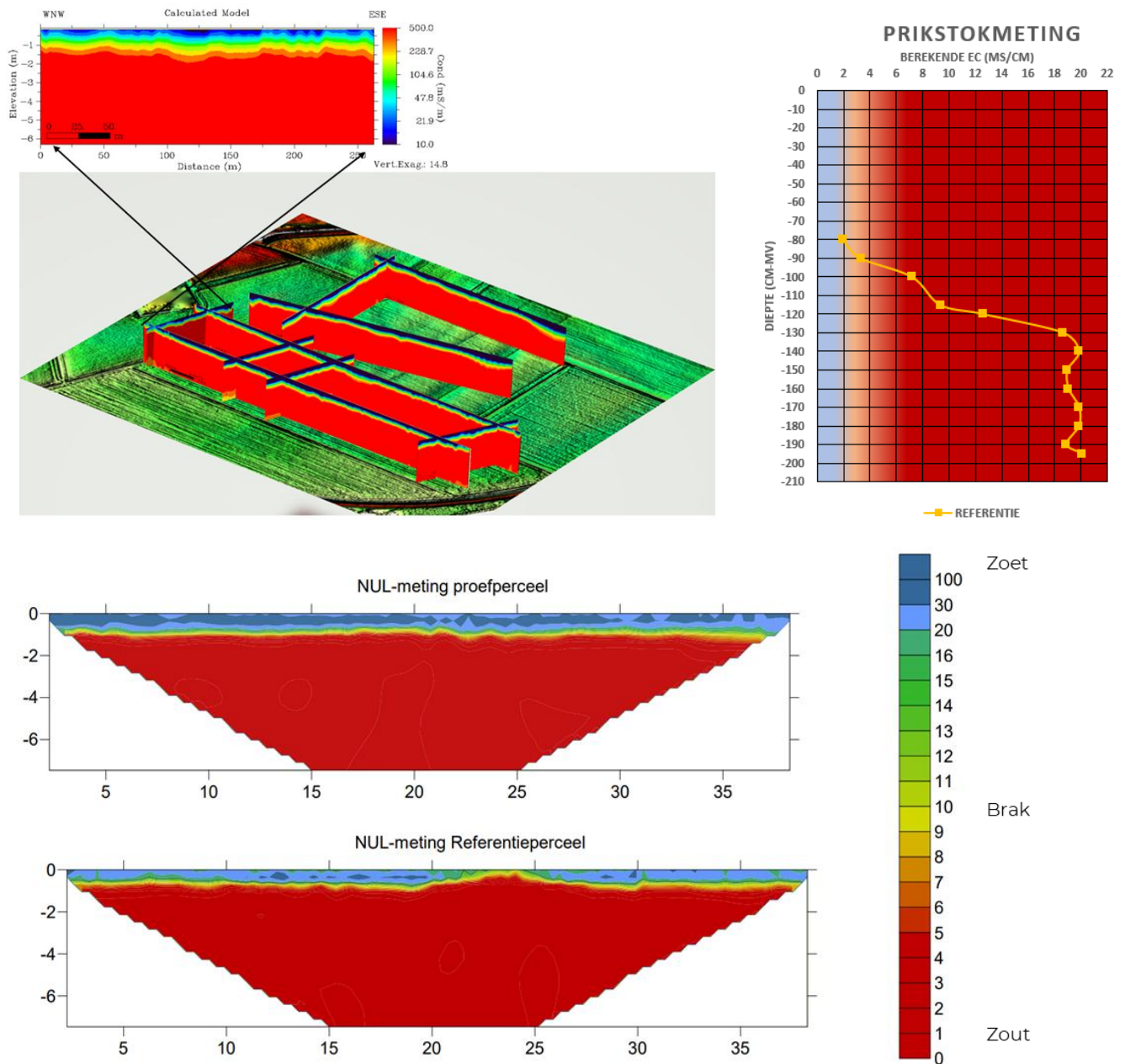
In november 2022 en April 2023 zijn DualEM-metingen en prikstokmetingen uitgevoerd op een perceel in Engwierum. Het resultaat is weergegeven in Figuur 14. Het zoet-zoutgrensvlak bevindt zich tussen 1 en 1.5 m-mv en het zoute grondwater kan optrekken tot aan drainageniveau. Om deze reden is deze locatie geclassificeerd als hoog verziltingsrisico.



Figuur 14 -Linksboven: ruwe resultaten van één van de DUALEM profielen op het noordelijke perceel Engwierum. Let op dat de formatiefactor van ± 2 hier nog niet is toegepast. -Linksonder: 3D weergave van de DualEM-metingen op het perceel Engwierum. -Rechts: Prikstokmetingen op de twee percelen Engwierum. De groene lijn is de meting op het noordelijke perceel genomen in November 2022 (voor groei zoetwaterlens), de zwarte lijn is de meting van April 2023 (na groei zoetwaterlens als gevolg van neerslag) op het noordwestelijke perceel

5.5.4 Houwerzijl

In 2022 zijn DualEM- en CVESmetingen en prikstokmetingen uitgevoerd op het perceel in Houwerzijl (Figuur 15). De DualEM-profielen tonen dat op het terrein het zoet-zoutgrensvlak ondiep aanwezig is. In de figuur is te zien dat op 1.0 m-mv, rond drainniveau, het grondwater brak begint te worden. Op een diepte van 1.5 m-mv loopt de EC op tot, omgerekend, 5 mS/cm. Op dit perceel is sprake van een hoge graad van verzilting aan de hand van deze DualEM-profielen.



Figuur 15 - Linksboven: 3D-weergave van de DualEM metingen op het beoogde perceel van de pilotlocatie Houwerzijl. Daarbij is profiel 14753 uitgegroot en geeft een ingezoomd zoet- zoutprofiel weer - Rechtsboven: resultaat van de TEC-priestokmeting op het westelijke perceel Houwerzijl. - Onder: Nulmeting met de CVES op het referentie- en proefperceel

5.5.5 Uithuizen

In Figuur 16 is het resultaat weergegeven van de DualEM-metingen langs een deel van de percelen van de pilotlocatie in Uithuizen uit 2022. Deze locatie grenst aan de Zeedijk. Zichtbaar is dat de diepte van het zoet-zout grensvlak sterk varieert binnen het perceel. Aan de noordkant tegen de Zeedijk aan ligt het grensvlak ondieper dan 1 m-mv. Terwijl in de zuidelijke helft van het perceel een zoetwaterzone is ontstaan tot circa 5 m-mv. De

6 Inrichting pilots

In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe iedere pilotlocatie is opgezet. Per bedrijf is nagegaan welke percelen het beste geschikt zijn voor een pilot en of deze beschikbaar zijn. Daarna is een globaal ontwerp opgesteld op basis van de hydrologische situatie (o.a. veldgegevens), huidige infrastructuur van de drainage en wensen voor het perceel. Vanwege de verschillen per locatie, verschilt het ontwerp van het anti-verziltingsstelsel per locatie. Tabel 2 geeft een overzicht van de aangelegde anti-verziltingsdrainage per pilotlocatie weer.

Op iedere locatie is een referentieperceel ("gewone" drainage) en een proefperceel (anti-verziltingsdrainage) ingericht. Op het proefperceel wordt het experiment uitgevoerd, met aangepaste drainage. Op het referentie perceel wordt dit niet of in mindere mate gedaan. Op deze manier kan het verschil in vorming van een zoetwaterlens tussen proef- en referentieperceel worden onderzocht.

Monitoring is geplaatst op beide percelen om de hydrologische situatie te monitoren.

Tabel 2 Overzicht van het type en het doel van de anti-verziltingsdrainagesysteem per pilot

Pilot-locatie	Regio	Type systeem	Doel Systeem
1	Pingjum, Friesland	Verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau	Vergroten zoetwaterlens en verdroging tegengaan
2	Sexbierum, Friesland	Tussendrainage systeem	Optie tot doorspoelen bovenste drainagestrengen en kwel afvangen
3	Engwierum, Friesland	Verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau	Afvangen kwel en vergroting zoetwaterlens (tegengaan verzilting)
4	Houwerzijl, Groningen	Verhoogd ontwateringsniveau bij bestaande drainage	Kleine zoetwaterlens creëren boven drainniveau
5	Uithuizen, Groningen	Verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau	Vergroten zoetwaterbuffer (minder verzilting aanwezig, daarom tegengaan verdroging)

6.1 Ontwerp anti-verziltingsdrainagesysteem

Het ontwerp van het anti-verziltingsdrainagesysteem is vastgesteld op basis van een aantal factoren, namelijk:

- Beschikbare infrastructuur en mogelijkheden/nut tot aanpassingen aan bestaande drainage;
- Inzichten op basis van veldwerk (boringen, diepte zoet- zoutgrensvlak) en kennis van de percelen/grond van de agrariër;
- Locatie van percelen, die gebruikt kunnen worden voor de pilot;
- Resultaten van een grondwatermodel. Voor iedere locatie is een grondwatermodel opgezet. Dit model is geijkt aan de huidige hydrologische situatie op het perceel. Vervolgens zijn aanpassingen aan de drainage met het model doorgerekend, om zodoende te toetsen of peilopzet, verdiepte drainage of een combinatie van deze maatregelen het beste resultaat geeft uitgaande van de lokale omstandigheden.

Keuze perceel

Met behulp van de DualEM-profielen, veldgegevens (boringen en metingen betreffende de diepte van het zoet- zoutgrensvlak), kwelkaart en overleg met de desbetreffende agrariër is een keuze gemaakt welke percelen het meest geschikt zijn voor aanleg van anti-verziltingsdrainage. Daarbij is sterk rekening gehouden met de ouderdom van de huidige drainage en of deze aan vervanging toe zijn.

Doorgaans zijn percelen geselecteerd, waar de meeste meerwaarde van het systeem verwacht wordt. Daarnaast is het voor het onderzoek gewenst dat het proefperceel en referentieperceel vergelijkbaar zijn qua maaiveldhoogte, bodemopbouw en dikte zoetwaterlens. Niet altijd bleken de meest geschikte percelen voor de proef ook wenselijk als proeflocatie vanuit de bedrijfsvoering. Hierin zijn compromissen gesloten.

Keuze drainagetype en -diepte

De bodemprofielen (boringen), zijn van belang voor het bepalen van de diepte en het type van de anti-verziltingsdrainage. Drainage wordt het beste geplaatst op een diepte waar de bodem goed doorlatend is (zandig/zavelig). Daarnaast heeft de bodemstructuur effect op de vorming van zoetwaterlens en hangt de keuze van het type anti-verziltingsdrainage af van het type bodem.

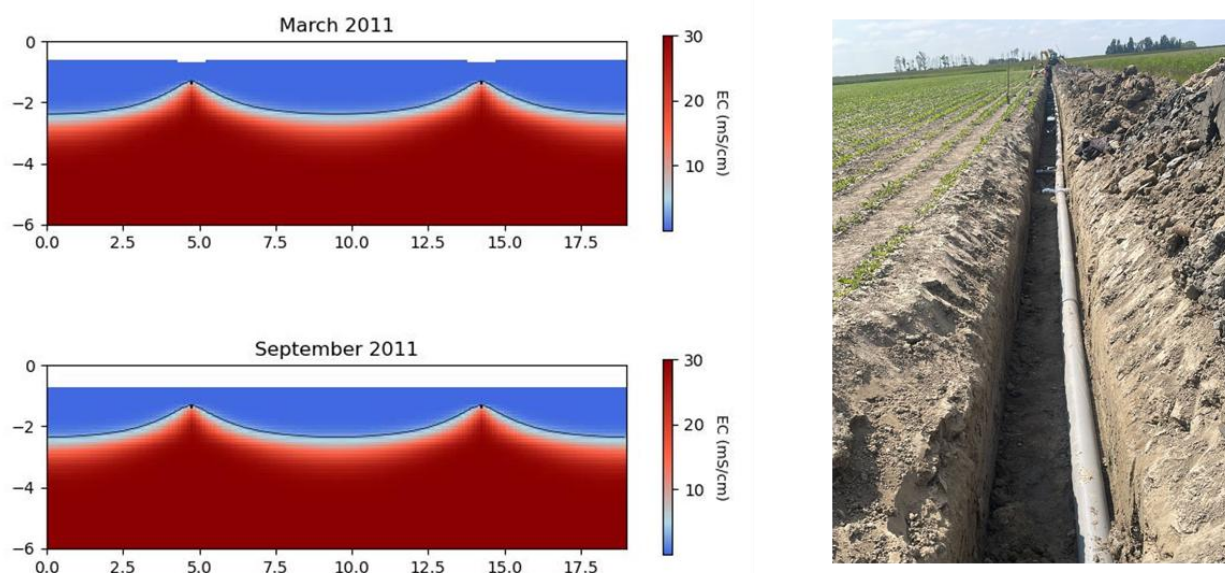
De drainage diepte en -afstand zijn door de drainage specialist, de agrariër en Acacia Water samen bepaald. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat de ontwatering van het perceel met het nieuwe systeem niet verslechterd t.o.v. het huidige systeem. Meestal is daarbij ook een veldbezoek uitgevoerd.

Grondwatermodel ter ondersteuning ontwerpuitgangspunten

Om het ontwerp van het systeem te optimaliseren is een grondwatermodel voor de pilotlocatie opgezet door Acacia Water. Deze modellen zijn gerund op perceelniveau met verschillende combinaties van variabelen: drainagediepte, drainage afstand, ontwateringsniveau, duur van opzet, bodemsoort en kwelflux.

Figuur 17 geeft ter illustratie de modelrun met de meest positieve resultaten (grootste groei van zoetwaterlens) weer voor de locatie Engwierum. De figuur representeert een

dwarsdoorsnede van een perceel met twee drainagestrengen. De rode kleur geeft zout grondwater weer, de blauwe kleur zoet grondwater. Te zien is dat de zoute kwel richting de drainagestrengen wordt getrokken en dat er een zoetwaterlens ontstaat.



Figuur 17 Links: gemodelleerde zoetwaterlens voor het scenario anti-verziltingsdrainage drainage verdiept en verhoogd ontwateringsniveau, voor een gemiddeld hydrologisch jaar (2011), voor de locatie Engwierum. Het zoete water is weergegeven in blauw en het zoute water. Rechts: Aanleg verzamelleiding

Tabel 3 geeft de waarden van de verschillende variabelen die bij deze model run zijn gebruikt (drainageafstand en -diepte, en hoogte en duur van opzet), evenals de resultaten van de run (dieptes van zoet-zoutgrensvlakken en minimale en maximale grondwaterstanden). Deze modelrun correspondeert met anti-verziltingsdrainage type 'Verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau'. Uit de tabel is te lezen dat de diepte van het zoet-zoutgrensvlak op drie van de vier gekozen momenten toeneemt in de situatie met het type 'verdiepte en verhoogd'. Hierom is op deze locatie dan ook voor dit type anti-verziltingsdrainage gekozen. Soortgelijke modelruns zijn voor de andere locaties uitgevoerd.

Tabel 3 Model parameters en resultaten voor de modelscenario's anti-verziltingsdrainage "verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau" en de oude situatie. "Diepte zz" geeft de diepte van het zoet-zout grensvlak, voor een gemiddeld jaar (2011) en voor een droog jaar (2018).

Scenario	Drainage diepte [m]	Drainage afstand [m]	Opzet t.o.v. base [m]	Maanden opzet	Diepte zz mrt	Diepte zz mrt	Diepte zz sept	Diepte zz sept	GWS min [m t.o.v. mv]	GWS max [m t.o.v. mv]
					Gem.	Droog	Gem.	Droog		
Nieuwe systeem	1.3	9.5	0.2	1,2,11,12	-2.38	-2.35	-2.23	-2.23	-1.03	-0.42
Oude situatie	0.9	9.5	-	-	-2.31	-2.27	-2.25	-2.13	-1.05	-0.55

6.2 Aanleg

De aanleg van de anti-verziltingsdrainage is door een gespecialiseerd bedrijf uitgevoerd. Afhankelijk van de staat van de huidige drainage op het beoogde perceel voor de pilot is de drainage opnieuw aangelegd. De drainage is aangesloten op een verzamelleiding, zie Figuur 17 rechts. Een verzamelleiding is een dichte buis die het drainagewater van de drainagebuis naar een constructie leidt, waarin het uitstroomniveau geregeld kan worden, bv. een peilput. Vanuit de peilput stroomt het water op een nader te bepalen ontwateringsniveau naar de sloot.

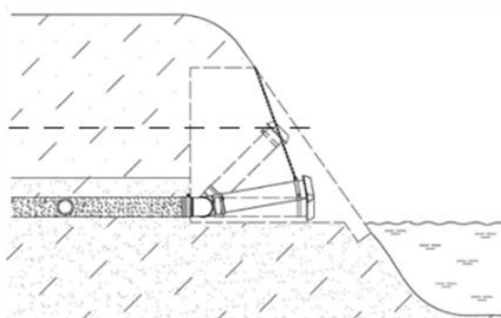
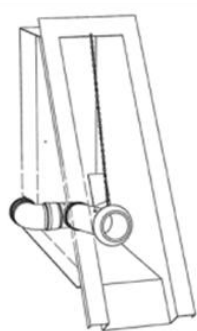
Figuur 18 Peilput met daarin de buis waarmee het peil gestuurd wordt d.m.v. het plaatsen van opzetstukjes



Instellen ontwateringsniveau

Een belangrijk onderdeel van het systeem is hoe het (ontwateringsniveau kan worden ingesteld. Er zijn twee typen systemen hiervoor geïnstalleerd; een peilput met verschillende opzetstukjes (Figuur 18) en een Taludbakken systeem van Emonds (Figuur 19).

Met het Taludbakken systeem kan het peil tussen twee hoogten flexibel worden gevarieerd. Dit gebeurt door de buis omhoog of omlaag te bewegen. Het andere peilput systeem heeft daarentegen verschillende opzetstukjes of schotjes waarmee het uitstroomniveau kan worden gereguleerd op een aantal vaste niveaus. Het voordeel van een taludbak ten opzichte van een peilput is dat de constructie volledig is afgewerkt in het talud. Het rijpad wordt daarmee vrijgehouden.



Figuur 19 Ontwerp van Emonds-systeem (links en midden) en een foto van twee Emonds-systemen (rechts).

Drainagediepte

De drainagediepte wordt bepaald afhankelijk van het type drainagesysteem. Variatie in maaiveldhoogte kan ervoor zorgen dat de diepte van de drainage onder maaiveld verschilt binnen het perceel. Het bepalen van een representatief maaiveldhoogte van het perceel is essentieel. Vervolgens kan vanaf dit niveau worden bepaald of over het hele perceel de drainagediepte op de juiste diepte komt te liggen.

Aanwezigheid oude drainage

De aanwezigheid van oude drainage in het perceel kan de werking van het nieuwe systeem tegenwerken aangezien deze oude drainagestrengen nog steeds een drainerende werking kunnen hebben. Oude drainage dient afgedopt of afgesneden te worden tijdens de aanleg van het nieuwe systeem zodat deze buiten werking wordt gesteld.

Afschot

Een 'normaal' drainagesysteem wat als voornaamste doel heeft overtollig neerslagwater af te voeren, wordt doorgaans onder afschot aangelegd. Dat betekent dat de drainage in het midden van het perceel ondieper ligt dan aan de rand van het perceel. Dit zorgt voor een snellere afvoer van grondwater richting de sloot. Bij een systeem met peilopzet kan afschot echter verhinderen dat het peilopzet in het midden van het perceel wordt bereikt. Voor een optimale werking van een drainagesysteem met peilopzet wordt de drainage idealiter zonder afschot aangelegd. Mogelijk wil een agrariër de drainage ook gebruiken om water in te laten. In dat geval is het ook noodzakelijk dat de drainage niet onder afschot wordt geplaatst, maar recht ligt.

6.3 Monitoring

6.3.1 Waterkwantiteit en chloride

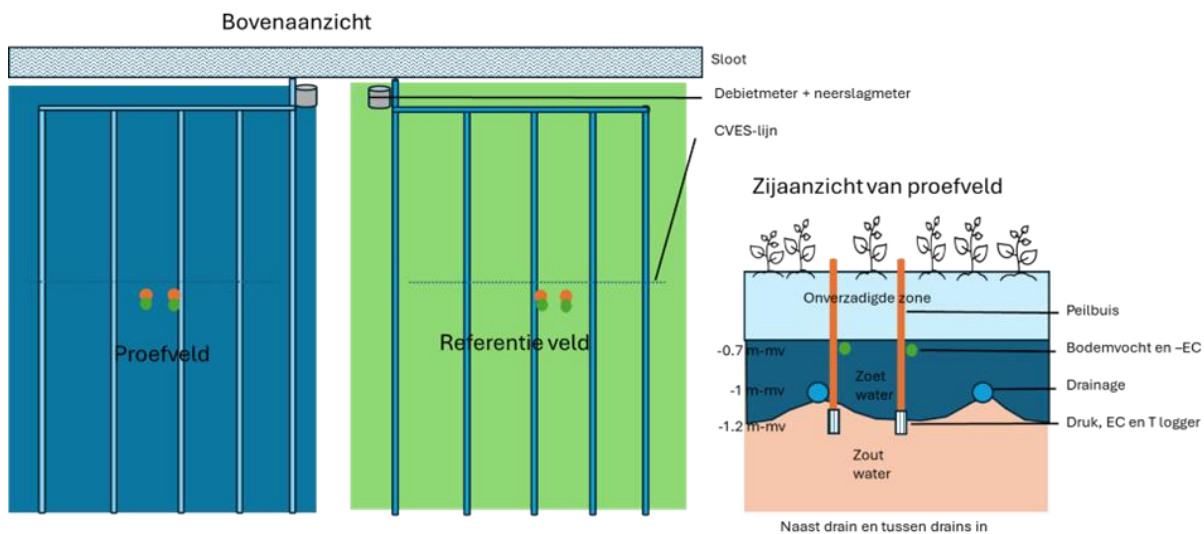
Bij iedere deelnemer aan de pilot is voor en na de aanleg van het anti-verziltingsdrainagesysteem monitoring uitgevoerd (zie Tabel 4 en Tabel 5). De monitoring is ingericht om het effect van het anti-verziltingsdrainagesysteem op de hydrologie te kunnen kwantificeren. Zo geven de metingen inzicht in:

- de variatie van de zoetwaterbel gedurende het jaar;
- de opbouw van de bel ieder jaar in vergelijking met de nulmeting (situatie voor start pilot);
- de verschillen tussen het referentieperceel (geen anti-verziltingsdrainagesysteem) en het proefperceel (wel anti-verziltingsdrainagesysteem).

Figuur 20 geeft een schematische weergave weer van alle monitoring, die is geplaatst op iedere pilotlocatie.

CVES (zoet-zoutwatergrensvlak in de bodem)

Een CVES is periodiek uitgevoerd (2maal per jaar) met als doel om de diepte van de zoetwaterlens in beeld te brengen. De meting is uitgevoerd op beide percelen. De eerste meting is uitgevoerd bij aanvang van de pilot (ongestoorde situatie). Vervolgens is tweemaal per jaar een CVES uitgevoerd, meestal in februari (einde van opbouw van de zoetwaterlens) en in augustus (na het groeiseizoen, de zoetwaterlens is nu op zijn dunst). Deze metingen worden gebruikt om te analyseren hoe de zoetwaterlens zich ontwikkelt in de tijd en of de zoetwaterlens inderdaad groeit als gevolg van het anti-verziltingsdrainagesysteem.



Figuur 20 Schematische weergaven van de opstelling van de peilbuizen en drainage op het proef- en referentieperceel.

Tabel 4 Overzicht van monitoring op iedere pilotlocatie.

Monitoring	Pingjum	Sexbierum	Engwierum	Houwerzijl	Uithuizen
CTD-Diver (grondwaterstand en EC)	☒	☒	☒	☒	☒
Teros-12 (bodemvocht en bodem EC)	☒	☒	☒	☒	☒
Debietmeter	☒	☐	☒	☐	☐
Regenmeter	☒	☐	☒	☐	☐
Halfjaarlijkse CVES	☒	☒	☒	☒	☒

Tabel 5 Overzicht van de drainage en meet specificaties voor iedere pilotlocatie.

	Pingjum	Sexbierum	Engwierum	Houwerzijl	Uithuizen
Type anti-verziltings-drainage systeem	Verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau	Tussen-drainage systeem	Verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau	Verhoogd ontwateringsniveau bij bestaande drainage	Verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau
Drainage afstand (m)	10	3.5	10	8	8
Drainage diepte proef perceel (m - mv)	1.3	1	1.3	0.9 – 1.0	1.5
Drainage diepte	1.3	1	1.3	0.9 – 1.0	1.25

referentie perceel (m)					
Meet periode	12-12-2024 t/m 15-09-2025	15-11-2024 t/m 1-10-2025	15-08-2024 t/m 15-09-2025	15-08-2024 t/m 18-07-2025	Door omstandigheid en niet voldoende data



Figuur 21 twee locaties met peilbuis en bodemsensoren

Continue metingen

Bij iedere pilot zijn 4 peilbuizen geplaatst; 2 op het proefperceel en 2 op het referentieperceel. De ene peilbuis is steeds geplaatst bij de drainagestreng en de andere precies tussen de drainagestrengen in (Figuur 20 en Figuur 21). In deze peilbuizen is een CTD-Diver geplaatst die de grondwaterstand en de EC van het grondwater op ca. 2.0-1.5 m-mv monitort. De peilfilters zijn op deze diepte geplaatst, opdat ze jaarrond onder water staan. Dat is nodig om de grondwaterstand te kunnen monitoren. Met deze opstelling wordt de hydrologie van het (diepere) grondwater gemonitord. Deze opzet geeft inzicht in wat gebeurt er in het perceel zelf (naast de drainagestreng en tussen de drainagestrengen in), en hoe verschillen het proef- en referentieperceel van elkaar.

Naast de peilbuizen zijn ook bodemvochtsensoren geplaatst op circa 70 cm-mv. Deze meten de geleidbaarheid van de bodem en het vochtpercentage. Met deze twee parameters kan ook de zoutheid van het bodemvocht nabij de wortelzone worden bepaald.

Waterkwaliteit

Op twee locaties (Pingjum en Engwierum) zijn ook een regenmeter en twee debietmeters geplaatst bij de twee uitstroompunten van de drainage. Dit is nodig om in combinatie met wateranalyses van het drainagewater het verschil in nutriëntenuitstroom tussen het referentie- en proefperceel in kaart te brengen. Dit wordt in Hoofdstuk 8 nader toegelicht

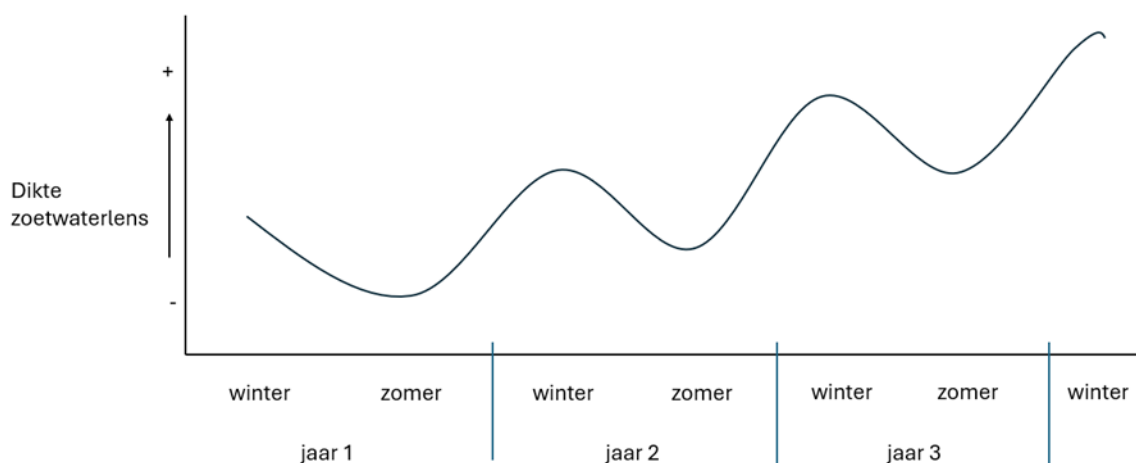
6.3.2 Aansturing systeem

De werking van een anti-verziltingsdrainagesysteem is gebaseerd op het opzetten van het peil grotendeels van het jaar. In de wintermaanden wordt het neerslagoverschot opgevangen en vastgehouden in het perceel zodat een zoetwaterbuffer zich vormt en het zoet-zoutgrensvlak naar beneden gedrukt kan worden. In het voorjaar als het perceel nog gevoelig is voor vernatting wordt het peil tijdelijk naar beneden gebracht zodat landbewerking plaats kan vinden. Ten gevolge hiervan neemt de zoetwaterbuffer wel in

grootte af, maar verdwijnt niet helemaal. Na het zaaien wordt het peil weer opgezet. De neerslag die in deze tijd nog valt, wordt zodoende vastgehouden in het perceel. In het voorjaar en de zomermaanden is de zoetwaterbuffer beschikbaar voor het gewas. In het najaar neemt de verdamping af en neerslag toe zodat de zoetwaterbuffer weer wordt aangevuld.

Indien in de wintermaanden voldoende aanvulling plaatsvindt en in de zomermaanden de zoetwaterbuffer niet in zijn geheel verdwijnt, kan de buffer door de jaren heen groeien. Dit is wel afhankelijk van de bodemopbouw, bij een ondiep gelegen kleilaag zal groei niet kunnen plaatsvinden (zoals bij pilotlocatie Houwerzijl). De fluctuatie van de zoetwaterlens door de seizoenen en jaren heen is schematisch weergegeven in Figuur 22.

Fluctuatie zoetwaterlens door seizoen en jaren



Figuur 22 Theoretische weergave van groei zoetwaterlens

7 Monitoringsresultaat

7.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de metingen en resultaten, die zijn uitgevoerd op de vijf pilotlocaties met anti-verziltingsdrainage. Het traject om te komen tot ingerichte pilots duurde relatief lang. Dit kwam omdat 1) er veel moest gebeuren (voorstudie, QuickScanverkenning 12 percelen, overeenstemming bereiken, ontwerp systeem en aanleg) en 2) de aanleg doorgaans alleen mogelijk is in april en oktober (in verband met de betreding en bewerking van het land). Ook is de aanleg vanwege bedrijfs- en weeromstandigheden een aantal maal uitgesteld.

Op alle locaties is het anti-verziltingssysteem nu minimaal een jaar in bedrijf. In eerste instantie worden in dit hoofdstuk de meetresultaten in algemene zin besproken, met daarbij ook een aantal kanttekeningen. Daarna worden de pilotlocaties één voor één toegelicht.

7.2 Algemeen

Om te voorkomen dat de toelichting per meetlocatie een opeenstapeling van herhaling wordt, worden in dit hoofdstuk de algemene trends toegelicht. Daarnaast zijn er een aantal kanttekeningen te plaatsen bij de monitoring, die ook in deze paragraaf worden toegelicht.

De inrichting en de doelen van de vijf pilots met anti-verziltingsdrainagesystemen verschillen. Om deze reden geven de meetresultaten voor de vijf pilotlocaties verschillende inzichten en is het mogelijk om aan de hand daarvan de aansturing van het systeem de komende jaren te optimaliseren. Echter is het daarom wel lastiger om generieke conclusies te trekken in dit stadium. De meeste pilotlocaties hebben nu monitoringsgegevens gedurende één jaar; dit is betrekkelijk kort. In een jaar tijd ontstaat nog geen groot effect van de aangepaste sturing op het perceel. Ook bemoeilijken een aantal factoren de interpretatie van de metingen:

- De maaiveldhoogte varieert over het perceel. Ondanks dat het gaat om kleine verschillen, is deze variatie wel van invloed op de lokale kweldruk. Het systeem wordt aangelegd op een heel perceel. Het kan daarom zo zijn dat lokaal de situatie (bv. bij de meetopstellingen) niet exact overeenkomt met de ontwerpuitgangspunten (aangelegde drainagediepte en ontwateringsniveau).
- Het betreft metingen over de eerste periode waarin de agrariërs het anti-verziltingsdrainagesysteem bedienen. De agrariërs moesten het systeem nog leren kennen (hoe reageert het perceel op het veranderen van het ontwateringsniveau). Soms druist het bedieningsadvies tegen de gangbare manier in, bijvoorbeeld: houdt het ontwateringsniveau in februari juist nog even hoog. Men is dan bang voor natschade in maart. Door dergelijke factoren is niet altijd het juiste ontwateringsniveau gehandhaafd. Wel zijn deze momenten geëvalueerd met de agrariër en komt er zodoende meer inzicht in de werking van het systeem en wat er nodig is voor juiste implementatie.

- Daarnaast moet rekening mee worden gehouden dat de monitoring die is geplaatst (de peilbuizen) een weergave geven van de hydrologische situatie op die locaties. Omdat het perceel lokaal kan variëren in hydrologische eigenschappen kan niet altijd met zekerheid gezegd worden dat de meetresultaten gelden voor het gehele perceel.

Vergelijkbaarheid proef- en referentieperceel

Op een aantal pilotlocaties blijkt uit de monitoring dat er hydrologische verschillen zijn tussen het proef- en het referentieperceel. Dit kan liggen aan lokale bodemomstandigheden, verschil in maaiveldhoogte, of een verschil in lokale kweldruk tussen de twee percelen. De metingen op beide percelen geven wel inzicht in hoe het systeem werkt en hoe de zoetwaterlens varieert, maar dit maakt eenduidige vergelijkingen tussen het proef- en referentieperceel minder goed mogelijk.

Meteorologie

De neerslag en verdamping varieert over de jaren. Gedurende natte jaren kan de zoetwaterlens sterker groeien dan gedurende droge jaren. Ook maakt het uit wanneer in het jaar de neerslag valt (bijvoorbeeld juist wel of niet tijdens het groeiseizoen). Omdat dit ieder jaar verschilt is het belangrijk om metingen uit te voeren over een aantal jaar. Hierdoor worden de excessen (de hele droge of hele natte jaren) afgevlakt en ontstaat een representatiever beeld van de gemiddelde hydrologische effecten van het anti-verziltingsdrainagesysteem op de langere termijn. De korte meetreeksen die nu beschikbaar zijn, gelden voor het jaar 2024/2025.

Bodemvochtmetingen

Om de hydrologische omstandigheden in de onverzadigde zone (gedeelte van de bodem tussen het maaiveld en de grondwaterstand) te meten zijn er bodemvochtsensoren geplaatst. Echter ontbreken deze bodemvochtmetingen in de volgende paragrafen. De bodemvochtsensoren zijn geplaatst op circa 70 cm diep om de vochtigheid van de bodem en het zoutgehalte van de bodem op deze diepte te monitoren in de tijd. Dit is het bodemvocht dat de gewassen gebruiken in de groeiperiode. Echter is gebleken dat de meetapparatuur geen bruikbare informatie heeft gegeven. Dit komt doordat:

- op sommige pilotlocaties, de sensoren te diep zijn geplaatst, waardoor niet in de onverzadigde zone is gemeten maar juist in de verzadigde zone. Daarvoor is deze meetapparatuur niet bedoeld. De gemeten waarden geven dan te kleine fluctuaties in het meetsignaal.
- de meetapparatuur door het bewerken van het land meermaals beschadigd is geraakt.

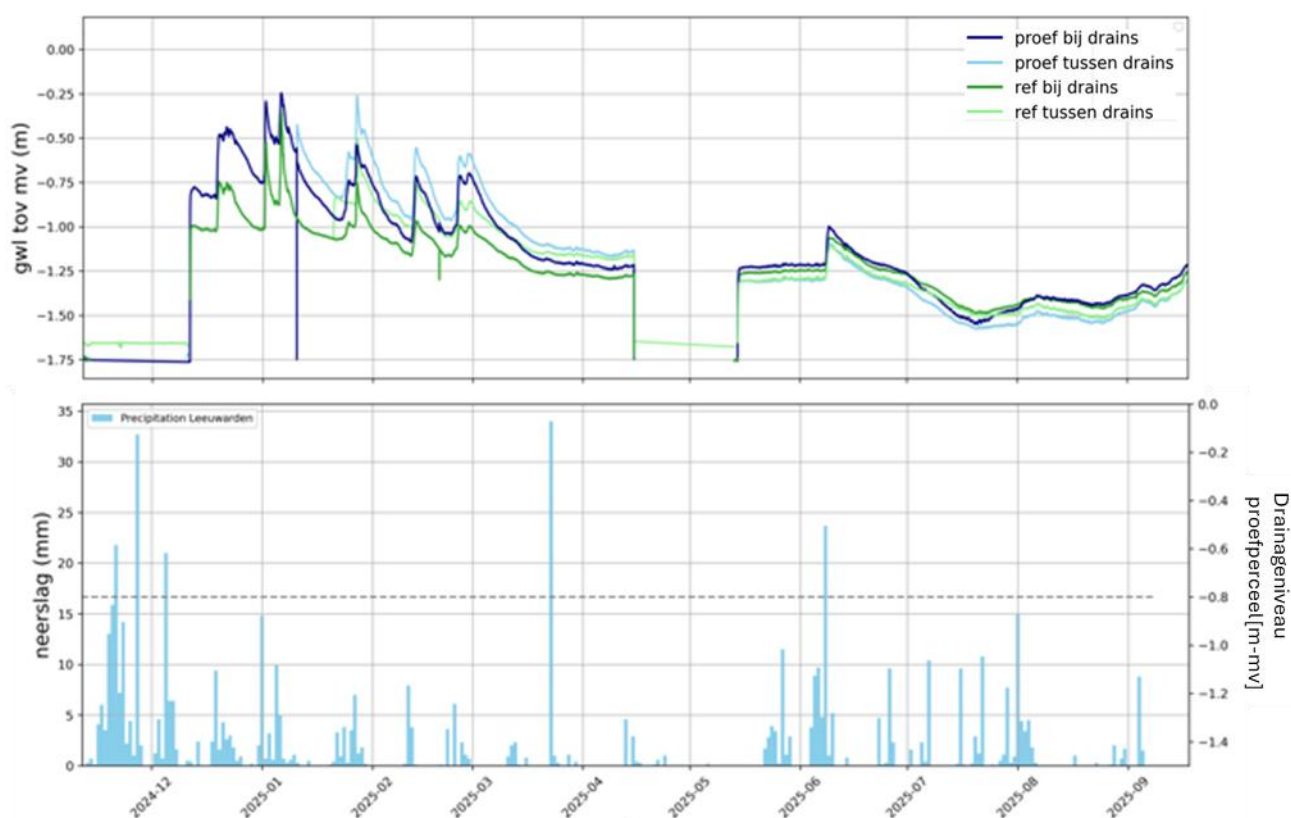
Daarnaast is geconstateerd dat het meetsignaal nauwkeuriger te vertalen is naar een waarde voor bodemvocht en bodem-EC als de meetwaarden geïjkt kunnen worden aan laboratorium analyses. Aanbevolen wordt daarom in het vervolg een tweetal bodemmonsters te nemen tijdens het groeiseizoen en deze in het laboratorium te analyseren voor het bodemvocht en bodem-EC.

Grondwaterstand

Figuur 23 geeft, ter illustratie, de gemeten grondwaterstanden op proef en referentie perceel voor pilot locatie Pingjum over de gehele meetperiode. De grondwaterstanden zijn gemeten in een peilbuis met een filter op 1.5 tot 2 m diep. De grondwaterstanden op

alle pilotlocaties variëren grofweg tussen de 2 meter beneden maaiveld tot aan maaiveld, met hogere grondwaterstanden in de winter en uitzakkende grondwaterstanden in de zomer als gevolg van de groei van het gewas.

In alle figuren in dit hoofdstuk met meetresultaten wordt dezelfde legenda aangehouden. Blauwe kleuren gelden voor het proefperceel en groene kleuren voor het referentieperceel. De donkere kleur geldt voor de metingen in de peilbuis naast de drainagestreng en de lichte kleur voor de metingen in de peilbuis precies tussen de drainagestrengen in.



Figuur 23 Voorbeeld van grondwaterstanden op de pilotlocatie in Pingjum. De bovenste afbeelding geeft de grondwaterstanden weer op het proef en referentie perceel ten opzichte van maaiveld. De onderste afbeelding geeft de neerslag weer (KNMI locatie Leeuwarden en het ontwateringsniveau ten opzichte van maaiveld op het proefperceel.

Winterperiode

In de winterperiode zijn de grondwaterstanden hoger en zijn meer pieken zichtbaar. Dit wordt veroorzaakt door de neerslag in deze periode. Daarnaast is te zien dat gedurende de winterperiode de grondwaterstand “tussen de drainage” doorgaans hoger ligt dan direct naast de drainage. Dit heeft te maken met het opbollen van de grondwaterstand tussen twee drainagestrengen als gevolg van de neerslag. De grondwaterstand bevindt zich in de winter boven het drainageniveau. De drainage voert het neerslagwater vertraagd af. Hierdoor zakt de grondwaterstand steeds weer na een regenperiode. De snelheid waarmee het water zakt wordt beïnvloed door de bodem, in kleiige/ zavelbodem daalt de grondwaterstand minder snel dan in een zandbodem. Ook zal de opbolling

tussen de drainagestrengen bij een kleiige/ zavelbodem groter zijn dan in een zandbodem.

Zomerperiode

In de zomer dalen dat de grondwaterstanden op de percelen. Dit gebeurt omdat de gewassen groeien en verdamping optreedt.

In het voorjaar zakken de grondwaterstanden meestal onder het drainageniveau. Vanaf dit moment heeft de drainage minder effect op het grondwaterniveau. Bij Pingjum is dit goed zichtbaar. In april zakken de grondwaterstanden onder het drainageniveau (het drainageniveau op het pilotperceel is -0.8 m-mv) en op het referentieperceel -1 m-mv). De gemeten grondwaterstanden liggen vanaf mei dicht bij elkaar: tussen de drainage en direct naast de drainage, op het proef en referentie perceel.

Op een aantal pilotlocaties kan water worden ingelaten via het drainagesysteem (Sexbierum, Engwierum en Uithuizen). Ten tijde van waterinlaat stijgt de grondwaterstand tot, in het meest gunstige geval, het peil van het oppervlaktewater. De grondwaterstand zal het hoogste zijn direct naast de drainage en lager tussen de drainagestrengen in.

Als in de zomer (1) de grondwaterstand stijgt tot boven het drainageniveau (door neerslag en/ of waterinlaat) en (2) het drainagepeil is opgezet op het pilotperceel dan blijft de grondwaterstand langer hoog op het pilotperceel dan op het referentie perceel als de neerslag of wateraanvoer stopt. Dit is zichtbaar bij Engwierum en Houwerzijl. Door het drainageniveau in de zomer hoger te houden, kan de neerslag beter vastgehouden worden in het perceel.

Zoutheid van diepe grondwater (puntmeting)

De EC-metingen zijn gemeten in een peilbuis met een filter op 1.5 tot 2 m-mv. Deze metingen presenteren dus de verziltingssituatie op een diepte rond 1.5 tot 2 m beneden maaiveld. Dit is doorgaans niet representatief voor de zoutheid van het ondiepe grondwater dat de gewassen gebruiken in het groeiseizoen. Deze metingen zijn uitgevoerd om te bepalen of de zoetwaterlens zich in de diepte verdiept gedurende het jaar.

De metingen geven soms weer dat het grondwatersysteem in het perceel tijdelijk verzoet kan worden. Bijvoorbeeld wanneer regen valt en het drainageniveau is opgezet. Het zoete water wordt dan vastgehouden. Hier wordt dieper op in gegaan bij de desbetreffende pilotlocaties in de volgende paragrafen.

CVES- en prikstokmetingen (diepte zoetwaterlens)

De CVES en prikstokmetingen zijn gedaan om langs een traject (nabij de monitoring) een beeld te krijgen van de diepte van de zoetwaterlens. De CVES-metingen, die periodiek zijn uitgevoerd, geven nog geen duidelijke groei weer van de zoetwaterlens over de seizoenen. Dit heeft onder andere te maken met het feit dat het tijd kost (meerdere jaren) voor een zoetwaterlens om te ontstaan. Ook is het peil niet altijd continue opgezet in de winter omdat de agrariërs nog moeten wennen aan het systeem of omdat dat vanuit de

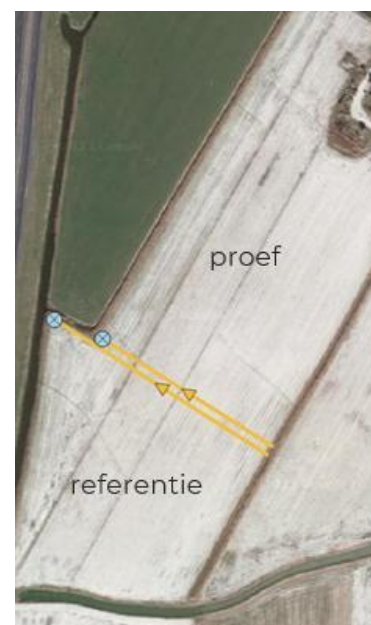
bedrijfsvoering niet gewenst was. Het is daarom nu nog te vroeg om duidelijke conclusies te kunnen trekken op basis van deze metingen.

7.3 Pingjum

Specificaties en doel anti-verziltingsdrainagesysteem

In Pingjum is sprake van een gemiddelde kwelsituatie en een zavelige en zandige bodem. Het drainagesysteem is in augustus 2024 verdiept aangelegd (1.3 m-mv) op het proef- en referentieperceel. Op het referentieperceel is het ontwateringspeil gelijk gehouden aan het oorspronkelijke ontwateringspeil (1.0 m-mv). Op het proefperceel is het peil opgezet met circa 20 cm in de winterperiode, (~80 cm onder maaiveld). Het doel van dit systeem is om de zoetwaterlens te vergroten en verdroging van de bodem tegen te gaan.

Figuur 24 Rechts: Ligging proef en referentie perceel in Pingjum



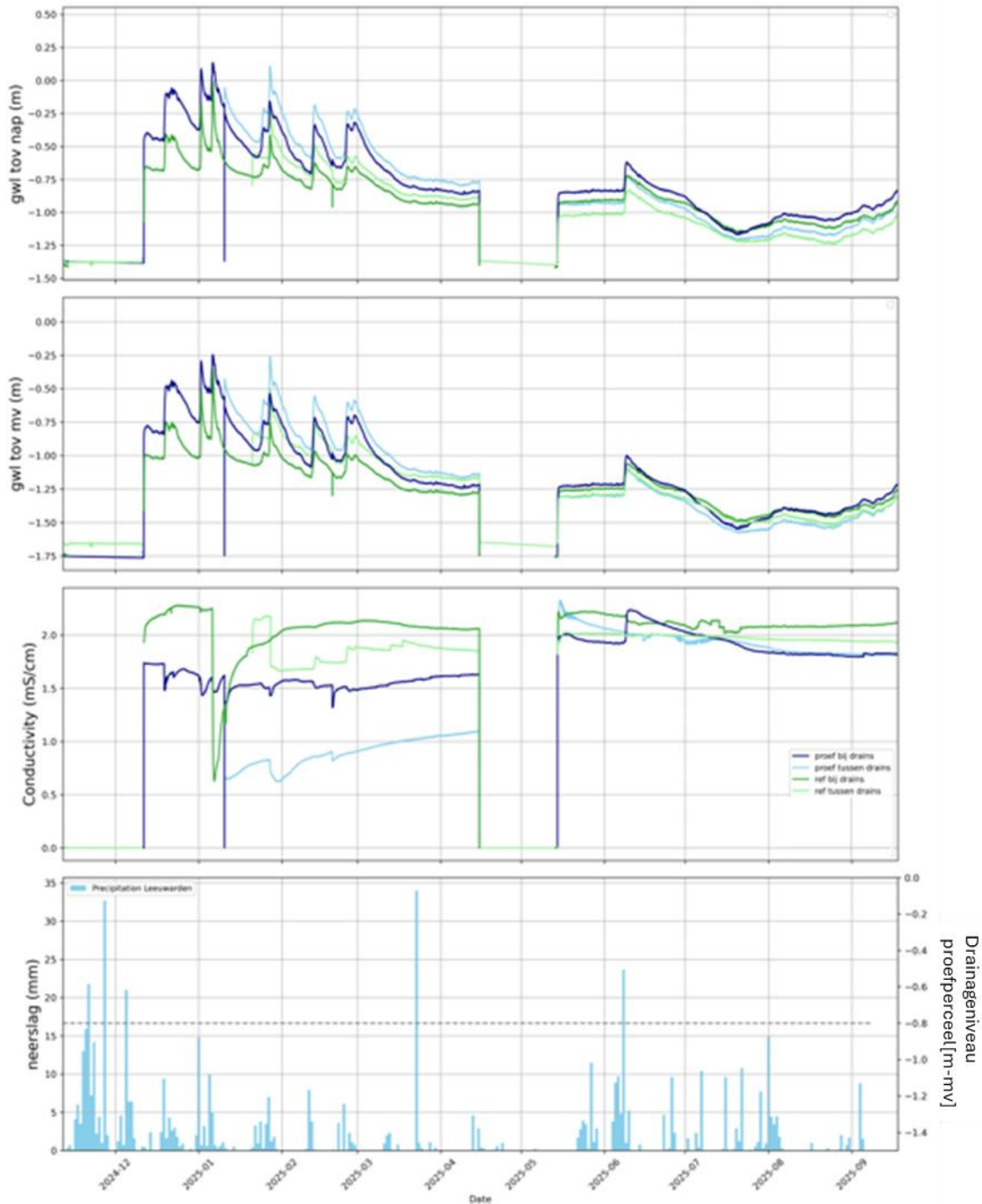
Grondwaterstanden en EC

Figuur 25 geeft de metingen in de peilbuizen op het proef- en referentieperceel weer. Tussen eind april en begin mei zijn de sensoren tijdelijk uitgevallen.

In de bovenste afbeelding is goed zichtbaar dat in de winterperiode de grondwaterstand circa 20 cm hoger staat in het proefperceel als gevolg van de peilopzet. In het voorjaar daalt de grondwaterstand als gevolg van verdamping. Deze dalingstrend is bij beide percelen ongeveer gelijk (zelfde gewas). Omdat er relatief weinig neerslag valt in het voorjaar wordt het verschil tussen de grondwaterstand op het proef en referentie perceel steeds kleiner. In maart zakte op beide percelen de grondwaterstand onder het ontwateringsniveau van het drainagesysteem (lager dan 1 m-mv). Het verschil in aansturing van het drainagesysteem op de twee percelen maakt vanaf dat moment daarom geen verschil meer, waardoor de grondwaterstanden in de zomerperiode vergelijkbaar zijn op beide percelen.

De EC van het diepere grondwater (derde afbeelding) varieert gedurende de gehele meetperiode tussen de 0.6 en 2.4 mS/cm. Dit zijn relatief lage EC-waarden waarbij nog geen schade aan gewassen wordt veroorzaakt. Wat opvalt is dat de EC-waarden op alle vier de gemeten locaties, in de zomer hoger zijn dan in de winter, veroorzaakt door de lagere grondwaterstanden en kleinere neerslag hoeveelheden. Daarnaast zijn de EC-waarden op het proefperceel gedurende het grootste deel van de periode lager dan op het referentieperceel. Rond eind januari en begin februari daalt de EC enkele keren kortstondig op het proefperceel, dit is een gevolg van het opgezette drainageniveau in combinatie met neerslag.

Pingjum

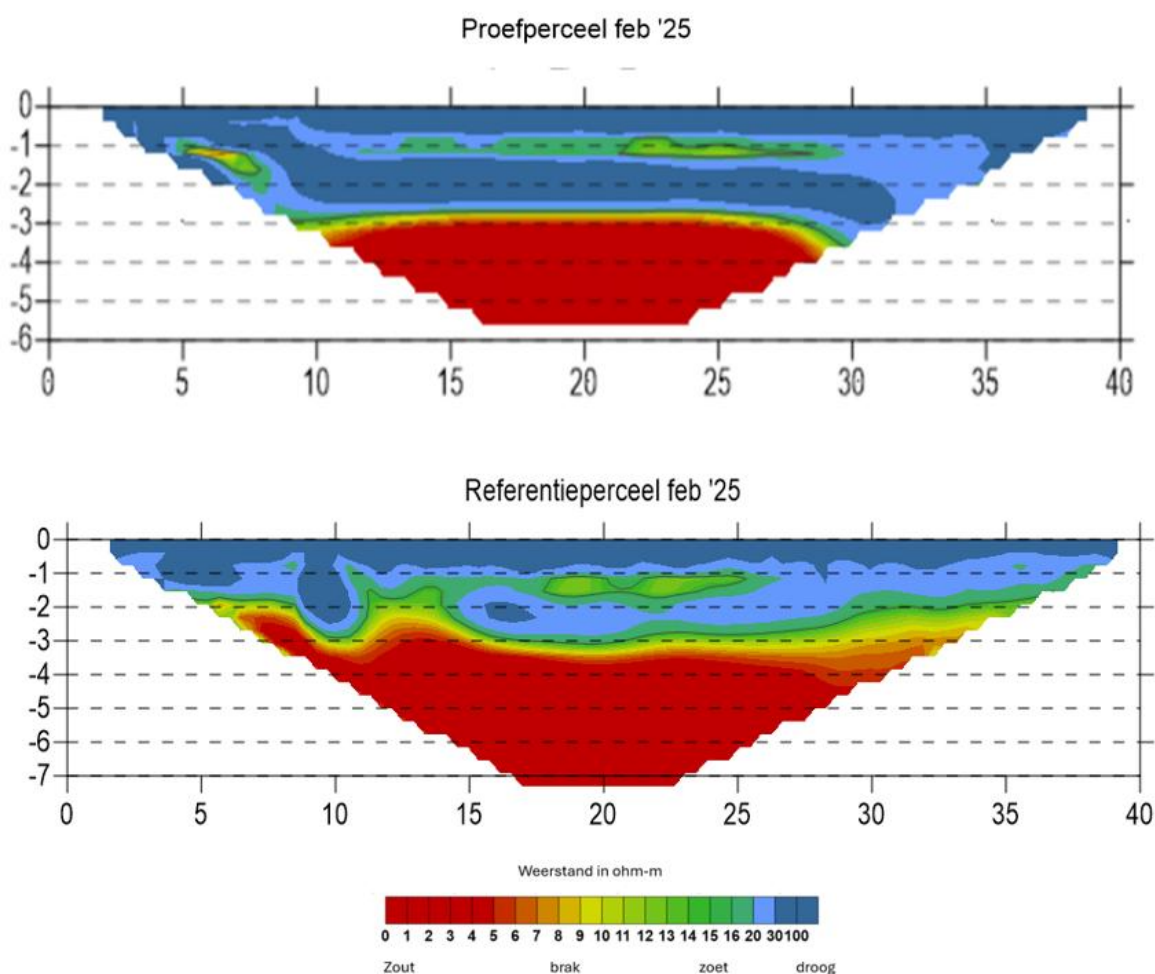


Figuur 25 Tijdreeksen van de sensordata in Pingjum. Bovenste afbeelding: grondwaterstand ten opzichte van NAP in meters. Tweede afbeelding: grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in meters. Derde afbeelding: elektrische geleidbaarheid van het grondwater in mS/cm. Onderste afbeelding: neerslag in mm/dag (blauw) en opzetsniveau van de peilput van het proefperceel (stippellijn).

CVES

De resultaten van de CVES-metingen uitgevoerd op de pilotpercelen in Pingjum zijn weergegeven in Figuur 26. De metingen zijn enkel uitgevoerd in februari 2025.

De diepte van het zoet- zoutgrensvlak bevindt zich op beide percelen rond 3 meter beneden maaiveld. De metingen zijn uitgevoerd in februari na een winter waarin het peil op het proefperceel is opgezet. De zoetwaterlens lijkt op basis van de meting meer te zijn aangegroeid op het proefperceel dan op het referentieperceel. Of dat het gevolg is van de gehanteerde peilopzet is op dit moment te voorbarig om aan te nemen. Het kan ook veroorzaakt worden door lokale verschillen tussen het proef- en referentiegedeelte zoals bodem of maaiveldhoogte.

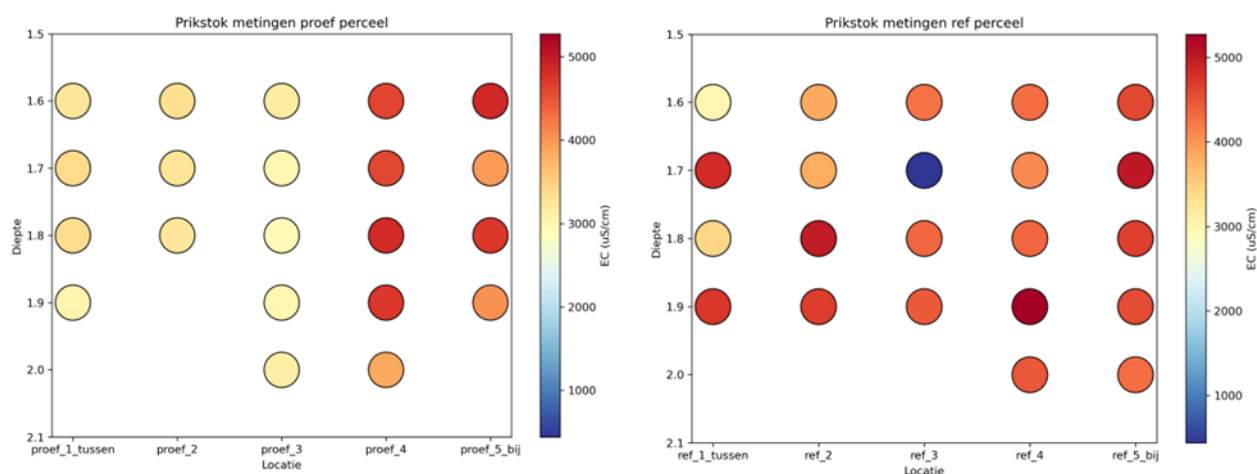


Figuur 26: CVES-metingen uitgevoerd op het proefperceel (boven) en referentieperceel (onder) in Pingjum.

Prikstok

Op de pilotlocatie Pingjum is de laatste CVES-meting vervangen door een prikstokmeting. De reden hiervan was dat de CVES-apparatuur buiten gebruik was. Met een prikstokmeting kan eveneens een ruimtelijk beeld van de EC van het grondwater in de bodem worden weergegeven. Het apparaat kan alleen representatieve metingen doen in de verzadigde ondergrond en meet tot circa 2 m diep.

Met de prikstokmeting is op verschillende dieptes (om de 10 cm) in de bodem een meting gedaan langs een traject tussen de 2 peilbuizen. In Figuur 27 zijn de resultaten hiervan weergegeven. De kleur van de bolletjes (meetwaarden) geeft de berekende EC-waarde weer.



Figuur 27 Links: De prikstok resultaten van het proef perceel. Rechts: De prikstok resultaten van het referentie perceel. De Y-as geeft de diepte van de genomen meting weer in m-mv. De X-as geeft het horizontale traject op het perceel weer van de peilbuis die tussen de drainage staat ("_1_tussen") naar de peilbuis die naast de drainage staat ("5_bij"). De horizontale afstand tussen de meetpunten op de X-as is ongeveer een meter.

De ondiepe EC-waarden variëren tussen de 1 mS/cm en de 6 mS/cm. Dit zijn relatief lage EC-gehalten. Daarnaast is te zien dat er op het proefperceel, over het algemeen, lagere EC-waarden zijn gemeten. Dit komt overeen met het CVES beeld. Op het proefperceel worden de EC-waarden hoger naarmate dichter op de drains wordt gemeten, dit kan komen doordat de drains het zoute grondwater aantrekken in de winterperiode. Er is geen relatie tussen de diepte van de meting en EC-gehalte te halen uit de metingen. Mogelijk hangt dit samen met de beperkte diepte van de meting.

Op basis van de metingen is het aannemelijk dat ondanks dat de grondwaterstanden in de zomer gelijk zijn op de twee percelen, het verhoogde peil in de winter er wel voor zorgde dat de kwaliteit van het ondiepe grondwater zoeter is in de zomerperiode. Eén jaar is echter te kort om dergelijke conclusies op te staven. Ook blijkt uit deze metingen dat het aan te bevelen is om de komende jaren continue te monitoren aan de ondiepe EC-waarden.

7.4 Sexbierum

Specificaties en doel anti-verziltingsdrainagesysteem

In Sexbierum is sprake van een hoge kwelsituatie (op het proefperceel rond de 2 mm/dag) en een zavelige bodem. Het drainagesysteem is in mei 2024 aangelegd op een diepte van 1 meter beneden maaiveld op het proefperceel. Op het referentieperceel zijn geen wijzigingen aan de drainage uitgevoerd.

In eerste instantie was het de bedoeling om hier een variant op de huidige anti-verziltingsdrainage systemen aan te leggen, namelijk, dubbele drainage. Vanwege

bedrijfsspecifieke wensen is dit niet gebeurd en is er tussen gedraineerd (drainage is aangelegd tussen de huidige drainage). De drainageafstand is 3.5 meter. Bij dit systeem kan met behulp van de peilput het drainageniveau worden opgezet en kan er zoetwater vanuit de aanliggende sloot worden ingelaten (wanneer het slootpeil hoger is dan het peil van de grondwaterstand). In de winter van 2025 is het drainageniveau niet opgezet. Vanaf maart 2025 is het drainageniveau opgezet. Vanaf mei 2025 is begonnen met het inlaten van zoet water vanuit de naastliggende sloot.

Het doel van dit systeem is om het perceel door te spoelen met zoet water vanuit de sloot en daarnaast om met de drainage kwel af te vangen en af te voeren in de winter.



Figuur 28 Ligging van het referentie en het proefperceel.

Grondwaterstanden en EC

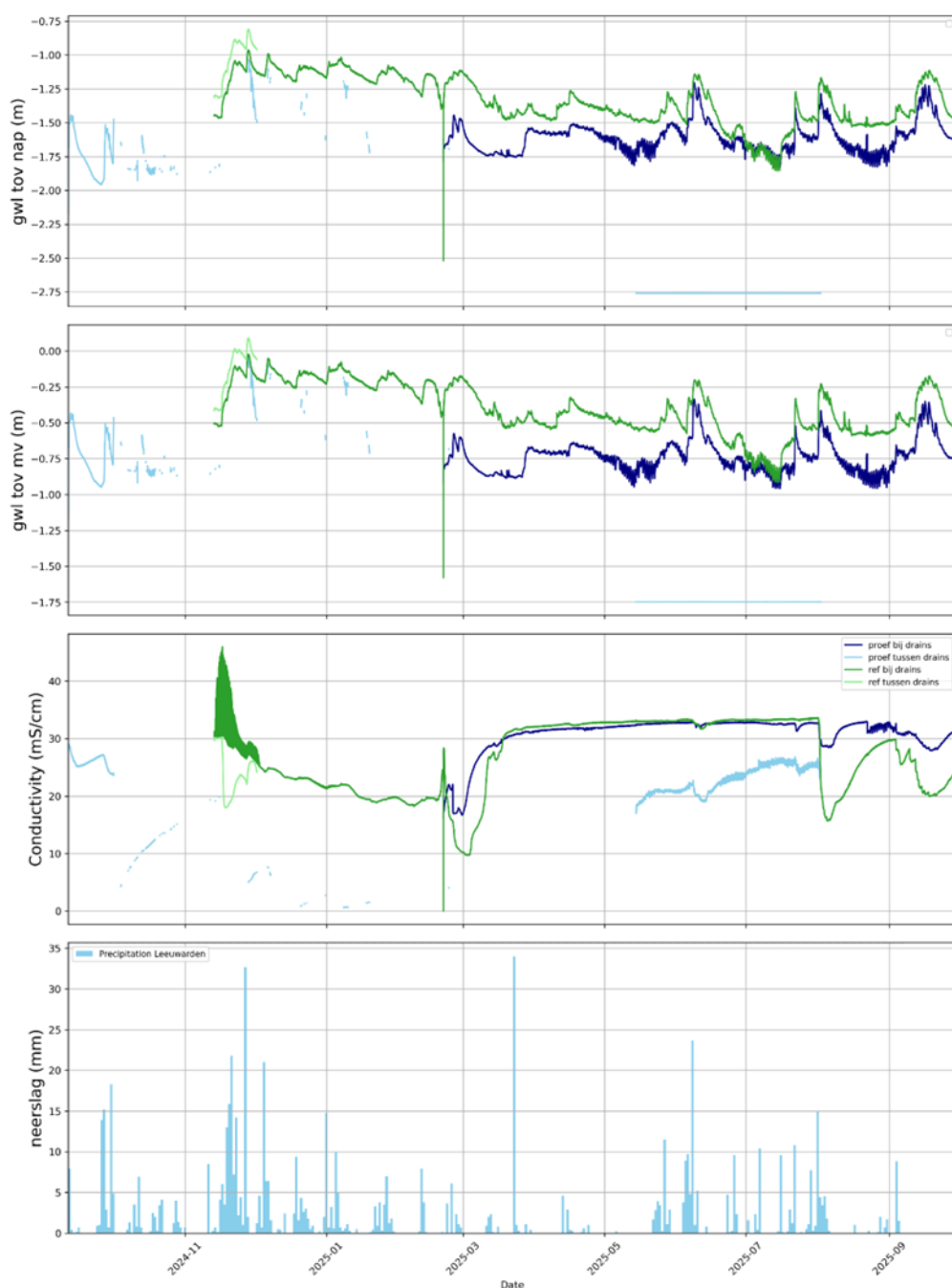
Figuur 29 geeft de metingen in de peilbuizen op het proef- en referentieperceel weer. Een deel van de data voor de reeks 'Proef tussen de drains' en 'Ref tussen de drains' ontbreekt. Tijdens veldbezoek bleek dat knaagdieren de kabels hadden beschadigd.

In de winter zijn de grondwaterstanden op het referentieperceel circa 38 cm hoger dan op het proefperceel. Dit is te verklaren doordat op het proefperceel de drainage recent is verdubbeld. Dit leidt tot makkelijkere ontwatering van het perceel.

Begin maart is het drainageniveau op het proefperceel opgezet. Hierdoor stijgt de grondwaterstand op het proefperceel met circa 20 cm. De stijging treedt op zodra er een flinke neerslagbui valt (regenbui eind maart). In mei start de inlaat van oppervlaktewater. In de figuur is zichtbaar is dat het verschil in de grondwaterstand tussen het proef- en het referentieperceel steeds kleiner wordt.

De EC van het diepe grondwater varieert over de gehele gemeten periode tussen de 10 en 35 mS/cm voor zowel het proef als referentie perceel. Beide percelen zijn erg zout. De EC van het grondwater op het referentie- en proefperceel verschilt niet veel. Dit is logisch aangezien in de winter het peil niet is opgezet op het proefperceel.

Sexbierum



Figuur 29 Tijdreeksen van de sensordata in Sexbierum. Bovenste afbeelding: grondwaterstand ten opzichte van NAP in meters. Tweede afbeelding: grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in meters. Derde afbeelding: elektrische geleidbaarheid van het grondwater in mS/cm. Onderste afbeelding: neerslag in mm/dag (blauw).

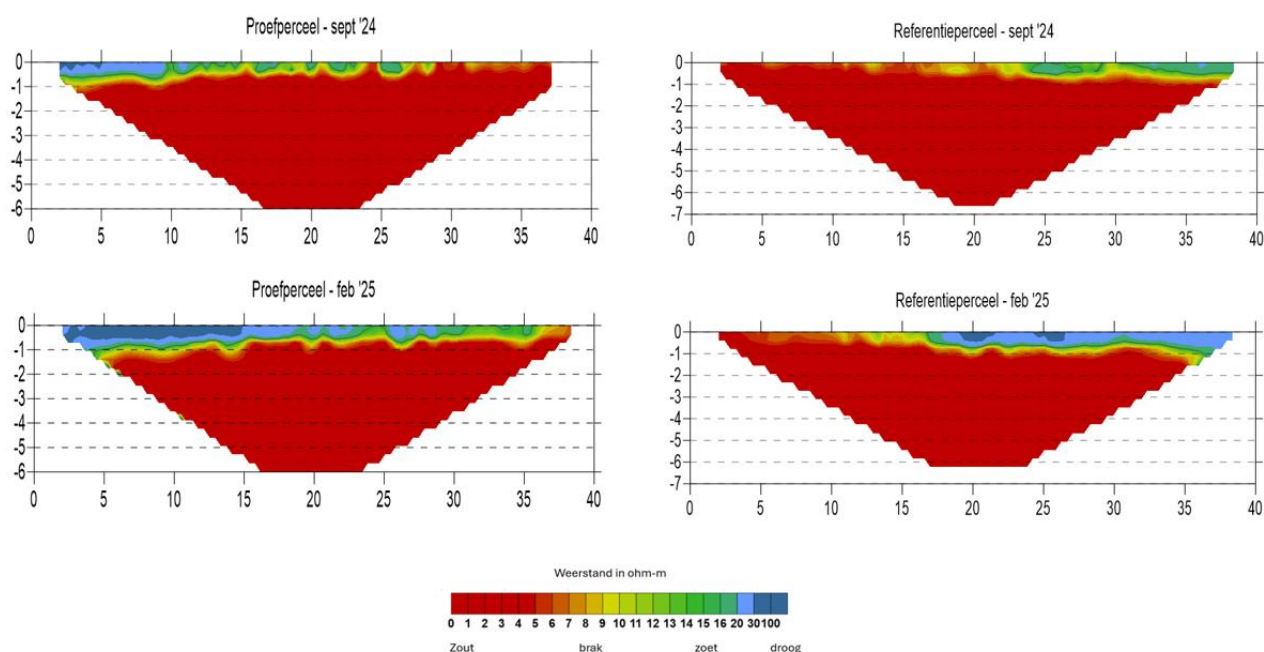
Op basis van de meetgegevens wordt geconcludeerd dat door de geïntensiveerde drainage de grondwaterstand op het proefperceel lager is dan voorheen. Het zout wordt daardoor sterker aangetrokken. Omdat de grondwaterstand lager is, is het mogelijk om het peil hoger te houden in de winter, waardoor de zoetwaterlens beter behouden blijft. Indien toch een te natte situatie optreedt op het proefperceel, is dit eenvoudig te

mitigeren door het drainagepeil op dat moment te verlagen. Vanwege de geïntensiverde drainage is de verwachting dat de grondwaterstand met enkele dagen dan is gezakt.

CVES

In Figuur 30 zijn de resultaten weergegeven van de CVES-metingen op het proef- en referentieperceel uitgevoerd in september 2024 en februari 2025. Op beide percelen is een variatie van de diepte van het grensvlak binnen het gemeten traject zichtbaar. De dikte van de zoetwaterlens varieert tussen circa 1 m en 0 m aan het einde van het groeiseizoen in september 2024. De mate van verzilting is zeer hoog, te zien in de metingen van september 2024 waarbij het zoute water tot aan maaiveldhoogte komt. De metingen van februari 2025 laten zien dat bij voldoende neerslag het zoet-zout grensvlak licht kan zakken. Omdat wateraanvoer naar het perceel door de drainagestrengen pas vanaf mei 2025 plaatsvond, is een mogelijk effect hiervan niet met de CVES na te gaan.

De agrariër geeft aan dat de gewassen op de randen van het perceel (waar de CVES een zoetwaterlens dikte van circa 0 m geeft) doorgaans minder groen zijn dan op de andere delen. Het afgelopen jaar vond de agrariër dat de planten groener bleven. Mogelijk is dit een effect van het inlaten van water vanaf mei. Omdat het inlaten van water in het voorjaar/ zomer plaatsvindt is het mogelijk nuttiger om de CVES meetmomenten hierop te laten aansluiten.



Figuur 30: CVES-metingen op het proefperceel (links) en referentieperceel (rechts) in Sexbierum

7.5 Engwierum

Specificaties en doel anti-verziltingsdrainagesysteem

In Engwierum is sprake van een hoge kwelsituatie. Het bodemprofiel bestaat uit een kleiige tot zavelige bovenlaag, met daaronder een veenlaag. Het drainagesysteem is in

juni 2024 verdiept aangelegd (1.3 m-mv) op zowel het proef- als referentieperceel. Het doel van het anti-verziltingsdrainagesysteem op deze locatie is het afvangen van kwel en het vergroten van de zoetwaterlens.

Op het referentieperceel is de gehele periode het ontwateringsniveau opgezet met het lage opzetstuk. Dit niveau komt overeen met het oude drainageniveau (~1 m-mv/ -1 mNAP). Op het proefperceel is het ontwateringsniveau bijna de hele periode opgezet met het hoge opzetstuk (~ 0.8 m-mv/ -0.8 mNAP). Tussen 4 december 2025 en 1 februari 2025 heeft de agrariër het peil tijdelijk omlaag gezet naar -1.3 m-mv. Dit was omdat de percelen op dat moment erg nat waren en natschade verwacht werd. Achteraf is opgemerkt hoe snel het water het perceel dan uitstroomt. Naar de toekomst is het voornemen om dit anders te doen, bv. korter het peil verlagen of minder ver het peil verlagen.

Figuur 31 Ligging van het referentie en het proefperceel.

Grondwaterstanden en EC

Figuur 32 geeft de metingen in de peilbuizen op het proef- en referentieperceel weer. Op deze pilotlocatie variëren de grondwaterstanden tussen maaiveld en de bodem van de peilbuis (1.8 m-mv). Mogelijk is de grondwaterstand nog onder de bodem van de peilbuis gezakt.



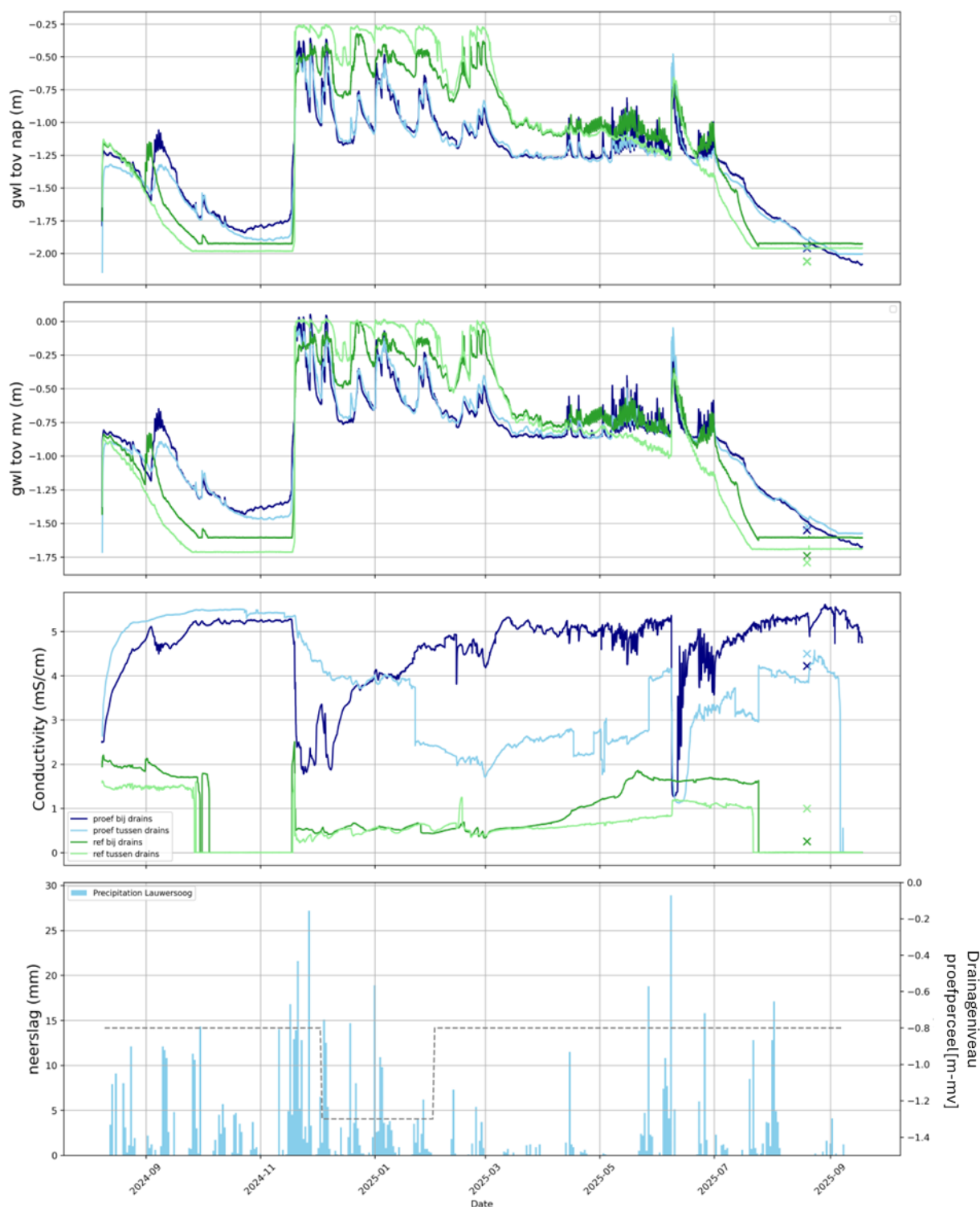
Winterperiode

In de periode nov '24 – jan '25, stijgt in eerste instantie de grondwaterstand flink op beide percelen als de eerste neerslag in november valt. Op het proefperceel stijgt deze (zowel 'bij' als 'tussen' de drains) tot aan het maaiveld. Begin december heeft de deelnemer van de pilot echter het peil verlaagd, omdat de omstandigheden in het perceel te nat werden. In de natte weken die daar nog op volgden (dec-jan), is de grondwaterstand circa 15-20 cm lager dan voorheen. De verlaging van de grondwaterstand is binnen een aantal dagen na verlaging van het drainageniveau opgetreden. Het verhogen van het peil bij de uitstroom (nov-dec) heeft er dus voor gezorgd dat in het veld ook een hoger grondwatervniveau gehaald werd.

Op het referentieperceel is de gemeten grondwaterstand tussen de drainagestrengen hoger dan direct naast de drainagestreng. Dit duidt op enige weerstand in de bodem. Op het proefperceel daarentegen is de grondwaterstand nagenoeg gelijk naast de drainage en tussen de drainagestrengen in. Dit duidt op zandigere omstandigheden in dit perceel. Op het referentieperceel blijven de grondwaterstanden in de winter ook langer hoog, dat past bij een minder doorlatende bodem. Dit betekent dat het 2 percelen qua bodem niet één op één te vergelijken zijn.

In februari is het peil weer opgezet op het proefperceel. De grondwaterstand stijgt echter niet meer naar de eerdere niveaus. Dat komt omdat er te weinig neerslag valt tot aan het begin van het groeiseizoen.

Engwierum

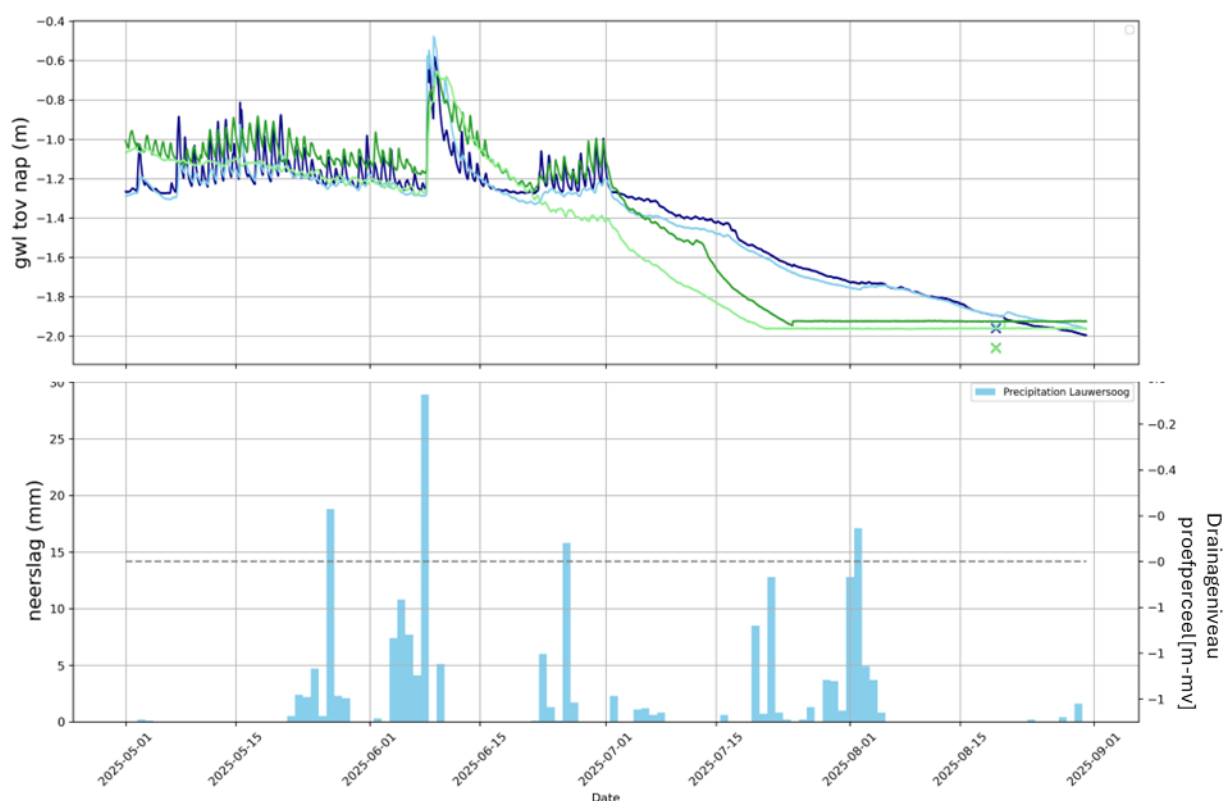


Figuur 32 Tijdreeksen van de sensordata in Engwierum. Bovenste afbeelding: grondwaterstand ten opzichte van NAP in meters. Tweede afbeelding: grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in meters. Derde afbeelding: elektrische geleidbaarheid van het grondwater in mS/cm. Onderste afbeelding: neerslag in mm/dag (blauw) en opzetniveau van de peilput van het proefperceel (stippellijn). Een aantal handmetingen zijn aangegeven met 'x'.

In het najaar bedraagt de EC van het diepe grondwater op het proefperceel circa 5 mS/cm. Eind november begint de EC-waarde van het diepe grondwater te zakken naar 2 mS/cm. Dan regent het flink en bereikt de zoetwaterlens de diepte van het peilfilter, waar de sensor hangt (circa 1.8 m-mv). Vanaf begin december (als het peil op het proefperceel weer omlaag wordt gezet) gaat de EC van 'bij' de drains weer omhoog en stagneert de daling van de EC 'tussen' de drains. De rest van deze natte periode reageert de EC van het diepe grondwater niet meer op de regenbuien. Hieruit blijkt de meerwaarde van anti-verziltingsdrainage: het zoet-zout grensvlak wordt bij een verhoogd peil dusdanig naar beneden gedrukt dat de EC op 1.8 m diepte significant daalt, terwijl dit bij een lager drainagepeil niet meer lukt. Uit de EC-metingen blijkt ook dat het referentieperceel zoeter is dan het pilotperceel. Dit was al geconstateerd bij de 0-meting en blijkt ook uit de CVES-metingen (zie volgende paragraaf).

Groeiseizoen

In de periode mei '25 – aug '25 (Figuur 32 en Figuur 33) zakt het peil langzaam uit. De deelnemer aan de pilot heeft daarom water ingelaten vanuit de sloot. Dit is in de figuur te herkennen aan het dagelijks oscillerende patroon in de grondwaterstanden, wat het gebruik van een door zonne-energie aangedreven pomp reflecteert. Het lukt hierbij om water in het systeem te krijgen, en de verdamping te compenseren. Het lukt niet om het peil te verhogen tot aan het opzetriveau.

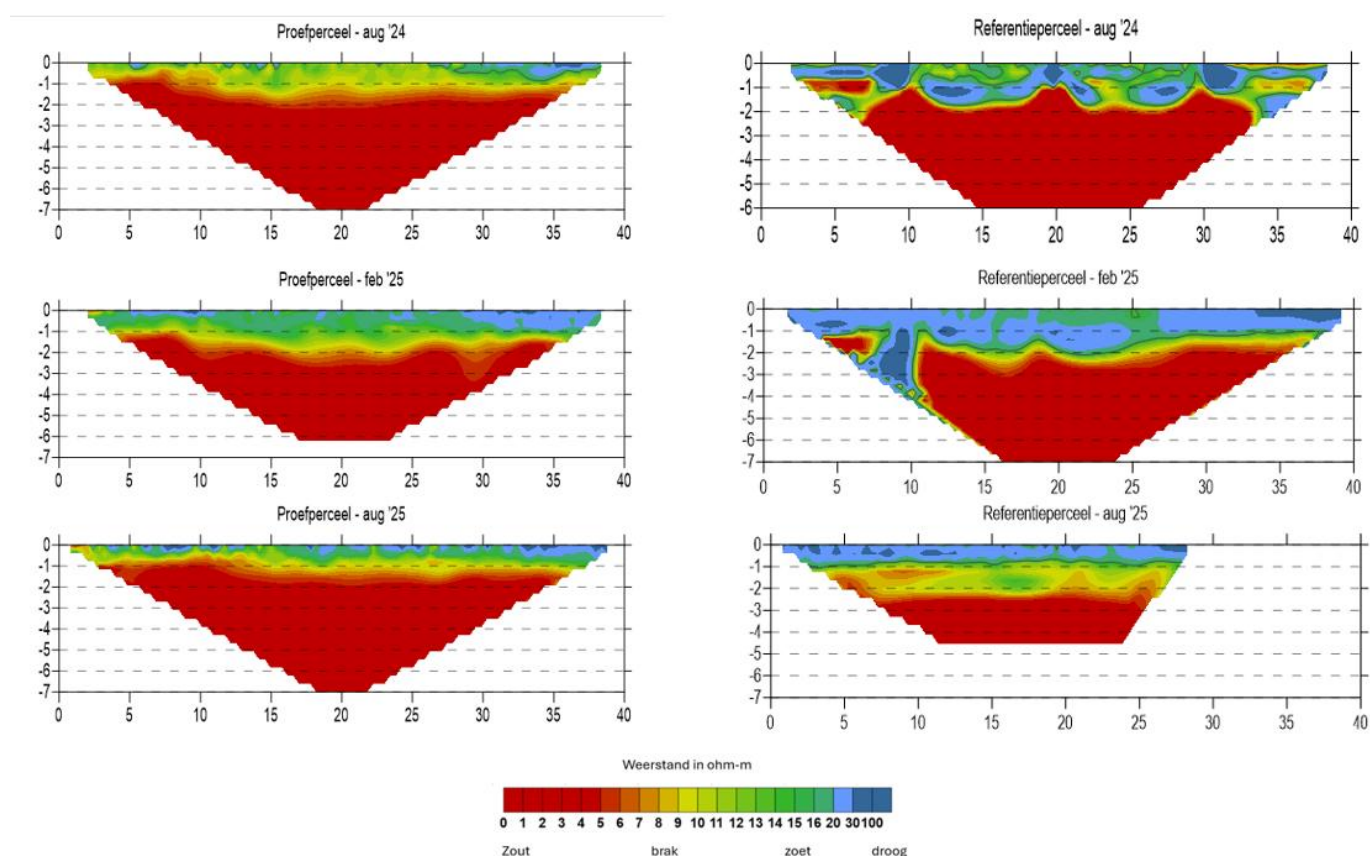


Figuur 33 Tijdreeksen van de sensordata in Engwierum in het groeiseizoen. Bovenste afbeelding: grondwaterstand ten opzichte van NAP in meters. Onderste afbeelding: neerslag in mm/dag (blauw) en opzetriveau van de peilput van het proefperceel (stippelijntje). Een aantal handmetingen zijn aangegeven met 'X'.

Vanaf 1 juli 2025 is de deelnemer aan de pilot gestopt met het verhogen van het peil en dan zakt het grondwaterpeil ook direct uit. Op het referentieperceel gebeurt dit sneller (binnen 3 weken) dan op het proefperceel (na 1.5 maand). Mogelijk is in het proefperceel meer water vastgehouden door het opgezette peil en / of spelen bodemverschillen tussen het referentie- en proefperceel een rol.

CVES

In Figuur 34 zijn de resultaten weergegeven van de CVES-metingen uitgevoerd op het proef- en referentieperceel in augustus 2024 (0-meting), februari 2025 en augustus 2025.



Figuur 34 CVES-metingen op het proefperceel (links) en het referentieperceel (rechts) in Engwierum.

In de meting van augustus '24 op het referentieperceel is de invloed van de drainage te zien. De drainagestrengen liggen ter plaatse van x-as: 10, 20 en 30. Bij de drainage komt het zout omhoog, tussen de drainagestrengen in vormt zich een zoetwaterlens. De meting in augustus '25 is door een defect aan de apparatuur niet in zijn geheel uitgevoerd.

Beide percelen laten veel fluctuatie zien van de diepte van de zoetwaterbel. Tijdens de drogere zomermaanden bevindt het grensvlak zich ondieper dan 1 m-mv. De meting in februari 2025 toont aan dat het zoet- zoutgrensvlak naar beneden zakt na een periode met voldoende neerslag. Dit toont aan dat het mogelijk is om de zoetwaterlens te vergroten op het proefperceel bij voldoende toevoer van water/neerslag.

Geconcludeerd wordt dat het systeem potentie biedt. Op het proefperceel wordt het zoet-zout grensvlak naar beneden gedrukt als het peil is opgezet en er regen valt. In het droge seizoen (en groeiseizoen) heeft het bovendien langer geduurd voordat het grondwaterpeil helemaal uitgezakt was. De bedrijfsvoering is nog te verbeteren door in de winter het drainageniveau minder lang te verlagen en/of minder diep te verlagen.

7.6 Houwerzijl

Specificaties en doel anti-verziltingsdrainage

Op de pilotlocatie in Houwerzijl is er sprake van een perceel met hoge kweldruk. De bovenste laag van de bodem bestaat uit zavel. Op een diepte van circa 1 m-mv is ongerijpte klei aangetroffen in een boring tijdens het veldbezoek (Figuur 35). De ongerijpte kleilaag is minimaal 1.5 m dik. Door de aanwezigheid van deze ongerijpte kleilaag is het verdiept aanleggen van anti-verziltingsdrainage niet mogelijk. Draineren in een ongerijpte kleilaag kan niet omdat deze laag sterk ondoorlatend is. Natschade is dan een risico (omdat de drainage niet werkt) en ook verstopping van de strengen door inspoeling van klei is een risico.

Vanwege deze omstandigheden is op dit perceel gekozen om de huidige drainage te laten liggen (0.9-1.0 m -mv net boven de kleilaag) met de optie tot het opzetten van het peil op het proefperceel. Het systeem is in mei 2023 aangelegd. Het doel is om een beter ontwikkelde zoetwaterlens te creëren boven het drainageniveau. Het opzetten zal met name tijdens het groeiseizoen plaatsvinden. Op voorhand is de verwachting dat opzetten in de winterperiode een te groot risico geeft voor natschade door de aanwezigheid van klei ondiep.

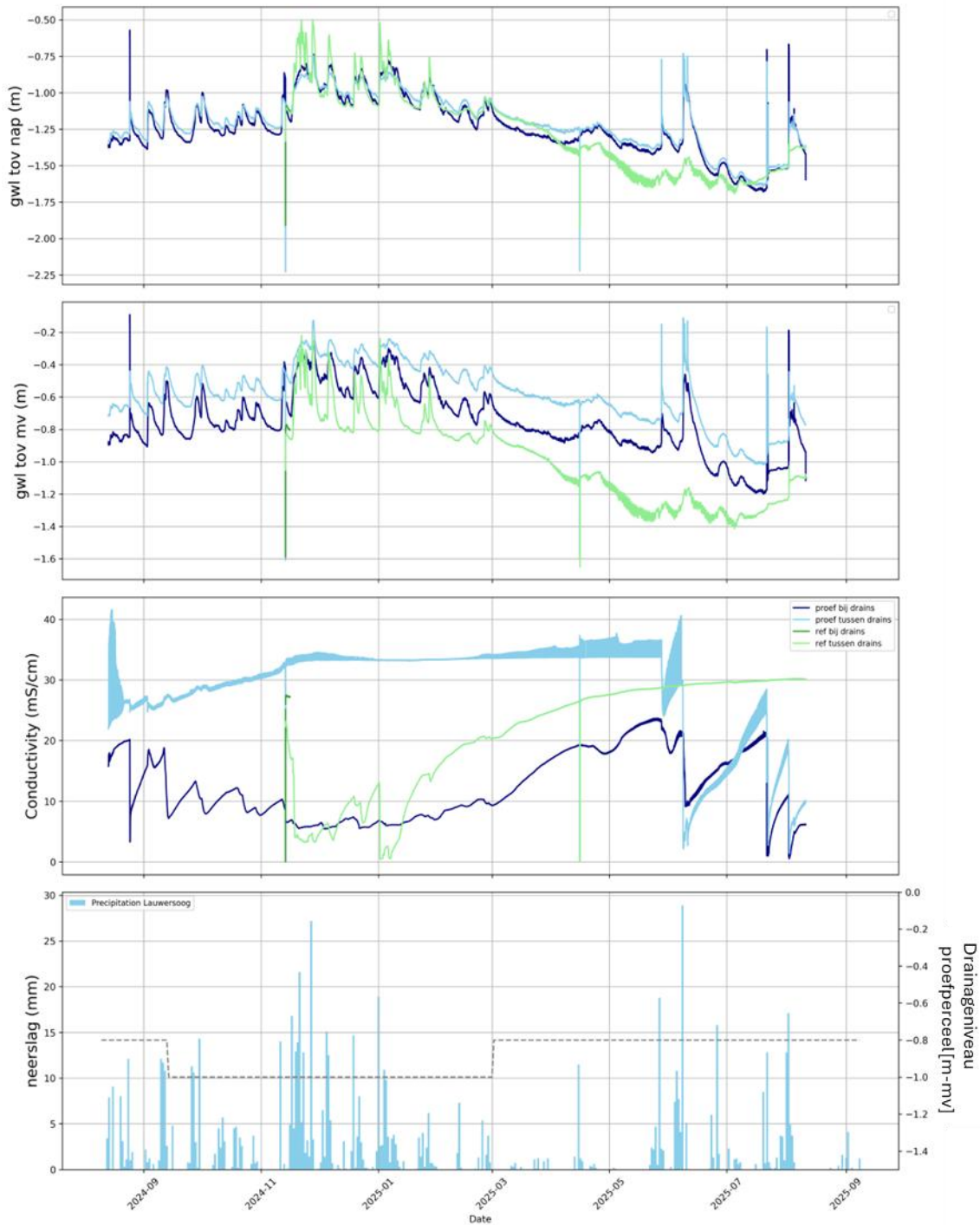


Figuur 35 Links: foto van ongerijpte klei (bron: Acacia Water). Rechts: ligging van het referentie en proefperceel

Grondwaterstanden en EC

In Figuur 36 zijn tijdseries te zien van grondwaterstanden, EC en neerslag van de locatie Houwerzijl. Uit maaiveldmetingen blijkt dat de maaiveldhoogte op het proefperceel (-0.55 mNAP) circa 25 cm lager is dan op het referentieperceel (-0.3 mNAP). Hierdoor zijn de grondwaterstanden op het proefperceel dichterbij het maaiveld gelegen.

Houwerzijl



Figuur 36 Tijdreeksen van de sensordata in Houwerzijl. Bovenste afbeelding: grondwaterstand ten opzichte van NAP in meters. Tweede afbeelding: grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in meters. Derde afbeelding: elektrische geleidbaarheid van het grondwater in mS/cm. Onderste afbeelding: neerslag in mm/dag (blauw) en opzetniveau van de peilput van het proefperceel (stippellijn)

Op de twee percelen staat niet hetzelfde gewas. De verdamping is daardoor niet gelijk. Tijden de natte periode zijn de gemeten grondwaterstanden t.o.v. NAP op het referentie- en proefperceel vrij vergelijkbaar. Vanaf maart is het uitstroomniveau van de drainage op het proefperceel verhoogd naar 0.8 m-mv. Op het referentieperceel is het uitstroomniveau gehandhaafd op de standaard ontwateringsdiepte (1 m-mv). Door het opzetten zakt de grondwaterstand op het proefperceel minder snel weg. In juni is de grondwaterstand circa 25 cm hoger. Dit verschil kan ook deels een gevolg zijn van een andere gewasverdamping.

De EC-waarden zijn gemeten in het diepe grondwater in de ongerijpte klei. Deze waarden zijn dus niet representatief voor de zoutheid van het ondiepe grondwater. Het opgezette peil op het proefperceel in het voorjaar/zomer in combinatie met de neerslag, leidt tot:

- een verlaging van de EC op het proefperceel. De EC-waarden lopen vervolgens weer langzaam op, tot aan de volgende neerslagbui.
- duidelijke pieken/toenamen in de grondwaterstanden.

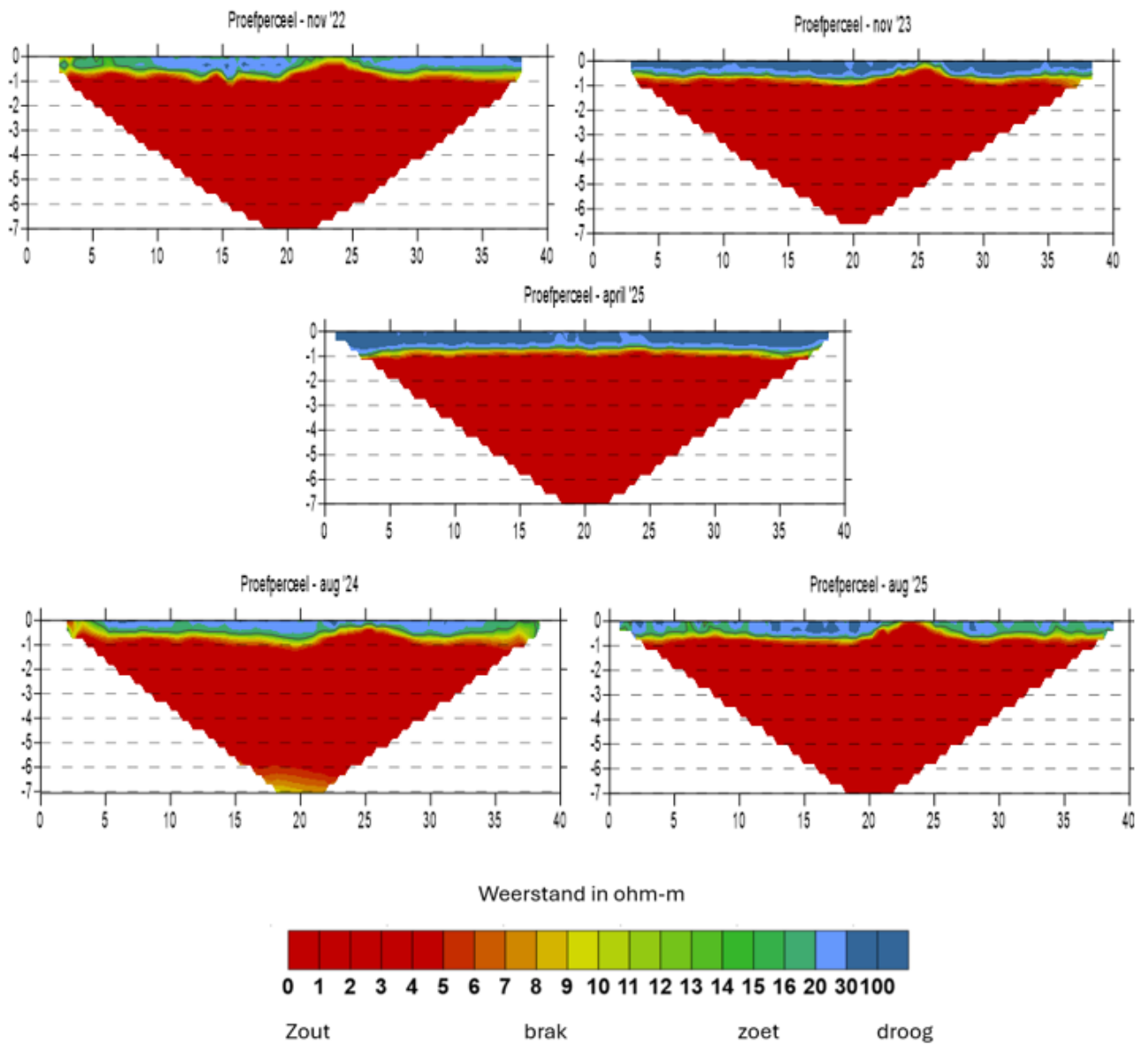
Op het referentieperceel is een veel geringere toename in grondwaterstand zichtbaar als gevolg van neerslag in het voorjaar/zomer, en geen afname van de EC. Dit toont aan dat anti-verziltingsdrainage bijdraagt aan het (tijdelijk) verzoeten van het grondwatersysteem.

CVES

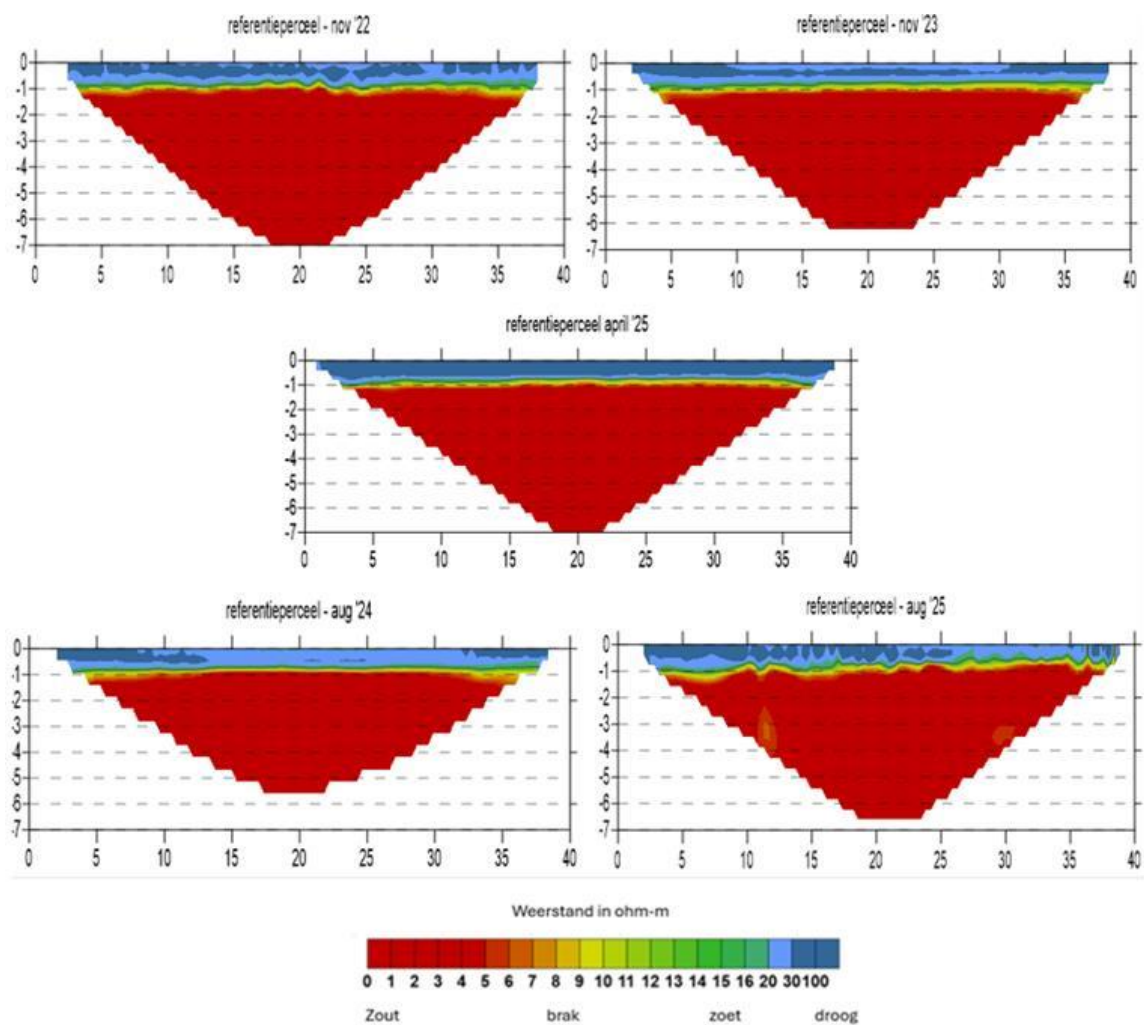
De resultaten van de CVES-metingen op het proef- en referentieperceel zijn weergegeven in Figuur 37 en Figuur 38. De ongerijpte kleilaag is verzadigd met zoutwater, wat duidelijk terug te zien is in de CVES-metingen (overgang blauwe naar rode zone rond 1 m-mv). De meting in november 2022, is uitgevoerd voor de aanleg van het anti-verziltingsdrainagesysteem (0-meting). Het zoet-zout grensvlak bevindt zich ondieper dan 1 m-mv en op sommige plekken zelfs ondieper dan 0.5 m-mv. De herhalingsmetingen tonen aan dat er weinig fluctuatie is binnen het zoet-zout grensvlak. Dat is conform verwachting, vanwege de aanwezigheid van de zoute, ongerijpte kleilaag.

In april 2025 is het zoet-zout grensvlak het diepst geleden op beide percelen, dit is conform verwachting: na een winterperiode met aanvulling van neerslag en net voor het groeiseizoen.

Interessant is de vergelijking tussen de metingen van de zomers '24 en '25 op zowel het referentie- en proefperceel. Op het referentieperceel is het zoet-zout grensvlak in augustus '25 ondieper gelegen in vergelijking met de meting een jaar eerder in augustus '24. De verzilting is in een jaar tijd licht toegenomen. De toename van verzilting tussen aug '24 en aug '25 is op het proefperceel minder goed zichtbaar. Grotendeels is de mate van verzilting gelijk gebleven.



Figuur 37 CVES-metingen uitgevoerd op het proefperceel in Houwerzijl.



Figuur 38: CVES-metingen uitgevoerd op het referentieperceel in Houwerzijl

7.7 Uithuizen

Specificaties en doel anti-verziltingsdrainage

In Uithuizen varieert de kwelsituatie over het bedrijfsterrein van laag tot gemiddeld. Er is voor gekozen om de percelen van de pilot op het deel van het bedrijfsterrein te plaatsen waar een gemiddelde kweldruk heerst. De bodem is zavelig en zandig. Op het proef en referentie perceel is de nieuwe drainage verdiept aangelegd in 2023 en aangesloten op een verzamelleiding. Op het proefperceel is de drainagediepte 1.5 m-mv en op het referentieperceel 1.25 m-mv. Op het referentieperceel wordt in principe geen peilopzet toegepast, terwijl dit op het proefperceel wel gebeurt. Het doel van dit systeem is om de zoetwaterlens te vergroten en verdroging van de bodem tegen te gaan.

Naast opzetten van het waterpeil is het mogelijk om water vanuit de sloot in te laten op deze locatie. Dit is gedaan op beide percelen.

Grondwaterstanden en EC

Het plaatsen van peilbuizen op deze locatie bleek voor de deelnemer aan de pilot uiteindelijk niet werkbaar te zijn. De monitoring is wel geplaatst maar is een aantal maal herplaatst. Uiteindelijk is besloten de metingen te staken omdat de meetreeksen hierdoor te onbetrouwbaar waren om te kunnen gebruiken. Hierdoor is geen betrouwbare meetdata beschikbaar van de grondwaterstanden of de grondwater-EC.



Figuur 39 Ligging proef en referentie perceel

CVES

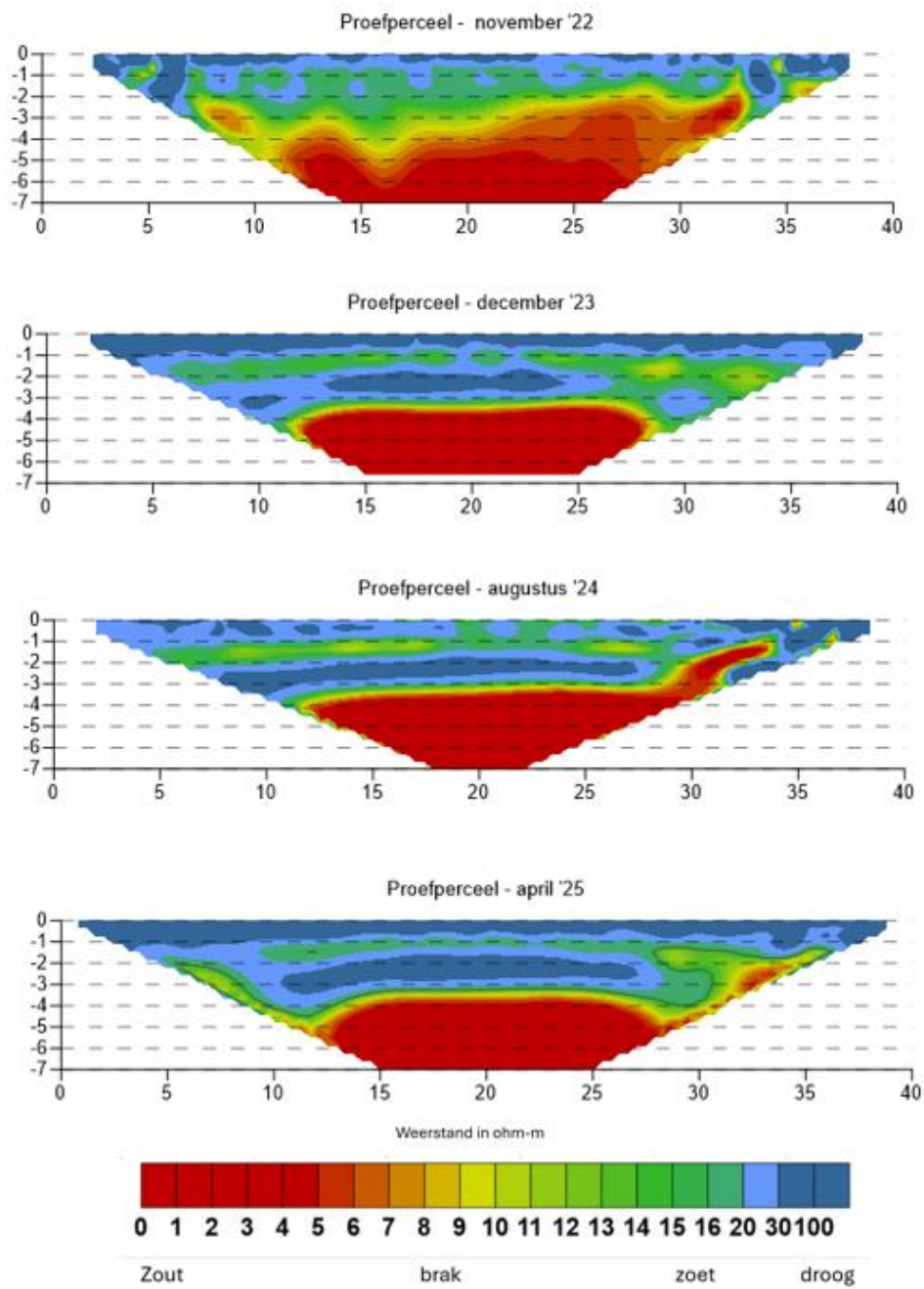
De percelen in Uithuizen gebruikt voor de pilot, zijn minder gevoelig voor verzilting. De diepte van het zoet-zoutgrensvlak ligt tussen 3 en 4 meter onder maaiveld. De meting in november 2022 op het proefperceel kan gezien worden als 0-meting voor dit perceel. Op het referentieperceel is geen 0-meting beschikbaar omdat destijds een andere perceel beoogd werd als referentie perceel. Op dat perceel is destijds de CVES-meting uitgevoerd.

Proefperceel

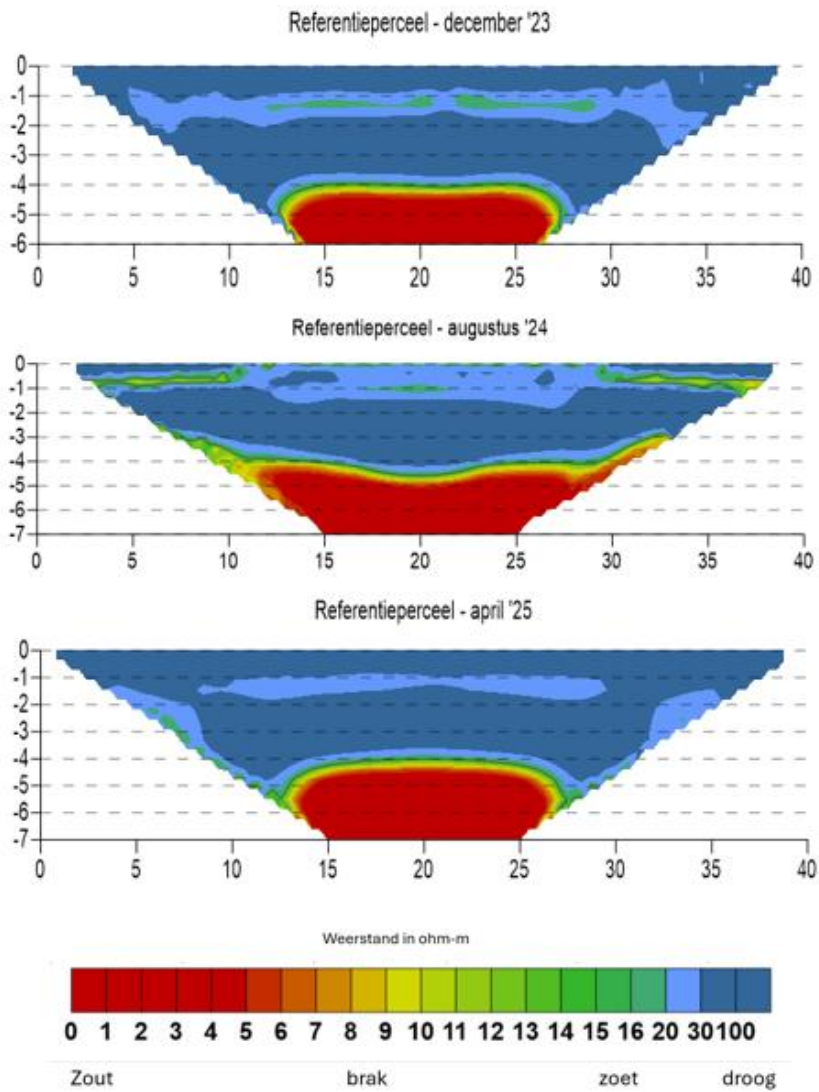
In Figuur 40 is zichtbaar dat op alle momenten na in gebruik name van het anti-verziltingsdrainagesysteem de ondiepe ondergrond (tot ~3.5 m diep) zoeter is dan de meting in november 2022. De situatie in augustus 2024 (einde groeiseizoen) is niet beduidend slechter dan in december 2023 (midden winter). Mogelijk is dit het effect van waterinlaat uit de sloot in het perceel tijdens het groeiseizoen.

Referentieperceel

Op het referentieperceel is geen duidelijke verandering waarneembaar. Iedere meting (in Figuur 41) geeft zoet water weer tot circa 4 m diep. Opvallend is dat in augustus 2024 de grens van het zoet- zoutgrensvlak iets dieper lijkt te liggen (op circa 4.5 m-mv). Op het einde van het groeiseizoen wordt juist verwacht dat het grensvlak iets ondieper ligt. Mogelijk hangt dit samen met het inlaten van water uit de sloot op het perceel.



Figuur 40: CVES-metingen uitgevoerd op het proefperceel in Uithuizen



Figuur 41: CVES-metingen uitgevoerd op referentieperceel

8 Invloed op waterkwaliteit

In het project Spaarwater II is eerder op twee locaties onderzocht hoe een anti-verziltingsdrainagesysteem de nutriëntenuitstroom beïnvloedt. De conclusie in Spaarwater II was dan dat anti-verziltingsdrainage een positief effect heeft op het verminderen van de nutriëntenuitstroom, waar de grootste impact gemaakt kan worden op zandbodems. Dit geldt met name voor de stikstofuitstroom; het effect op de fosfaatuitstroom was minder goed te duiden.

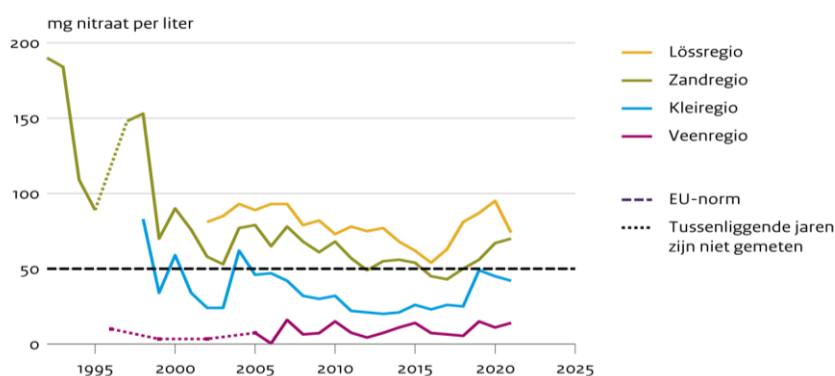
In Zoet op Zout willen wij deze kennisbasis uitbreiden door onderzoek te doen naar de effecten op nutriëntenuitstroom bij meer pilotlocaties. Hierdoor vergroten we de dataset en verstevigen we daarmee de conclusies die eruit kunnen worden getrokken. Bovendien hebben wij pilotlocaties geselecteerd met andere bodemprofielen dan in Spaarwater II, waardoor we de Noordelijke kleischil als regio nog beter vertegenwoordigen met deze data.

8.1 Theoretisch kader

8.1.1 Nitraat (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+)

Richtlijnen

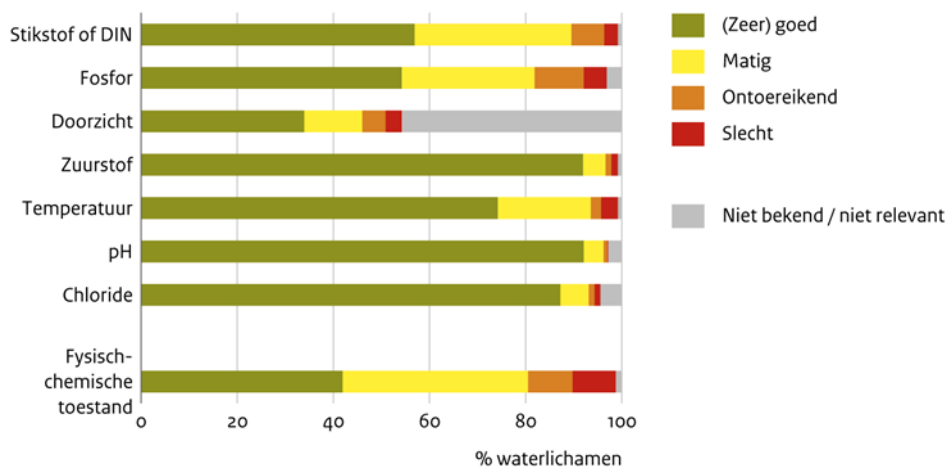
Nitraat en ammonium zijn twee nutriënten die voor de akkerbouw als meststof van groot belang zijn, maar na af- of uitspoeling ook ecologisch schadelijke effecten kunnen hebben in het oppervlaktewater. Sinds de jaren '90 is de uitspoeling van nitraat uit landbouwbedrijven al flink afgenomen, maar afhankelijk van de dominante bodemsoort in het gebied komt de concentratie nog steeds boven de gestelde Nitraatrichtlijnnorm van 50 mg/L uit (Figuur 42). In de droge periode tussen 2018 en 2020 nam de nitraatuitspoeling weer wat toe, doordat gewassen minder nutriënten opnamen en er een stikstofoverschot in de bodem ontstond (CBS et al, 2024c).



Figuur 42 Nitraatconcentratie in uitspoelend water onder landbouwbedrijven tussen 1992 en 2021. Bron: Compendium voor de Leefomgeving (CLO).

Naast de Nitraatrichtlijn, legt de Kader Richtlijn Water (KRW) ook eisen op ten opzichte van de stikstofconcentratie in het oppervlaktewater, waar nitraatuitspoeling effect op heeft. In 2021 voldeed landelijk 57% van de KRW-wateren aan de doelstelling voor de stikstofconcentratie (Figuur 43). Voor de Zoet op Zout-regio zijn deze getallen positiever. In de Eems regio werd in datzelfde jaar in 84,2% van de KRW-wateren de stikstofdoelstelling behaald en in de Rijn-Noord regio was dit in 75,6% van de KRW-wateren het geval (CBS et al., 2024b; Deltares, 2021)

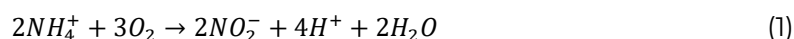
Ook ammoniumconcentraties in het oppervlaktewater zijn de afgelopen jaren flink gedaald: 75% sinds 1985, waarbij de snelheid van de daling de laatste 10 jaar afneemt. Maar, nog steeds wordt in ongeveer 70% van de Nederlandse oppervlaktewaterlichamen de norm overschreden, die in de KRW gesteld is op 0,608 mg-N/L met een jaargemiddelde van 0,304 mg-N/L (IenW, 2022).¹ Voor zowel ammonium als stikstof is er dus nog winst te boeken om de KRW-doelen te behalen.



Figuur 43 Fysisch-chemische beoordeling Nederlandse KRW-waterlichamen conform de Kaderrichtlijn Water in 2021. Bron: Compendium voor de Leefomgeving (CLO).

De stikstofkringloop

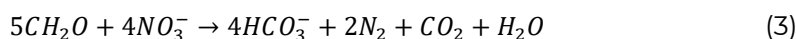
Nitrat en ammonium zijn allebei onderdeel van de stikstofkringloop in de bodem en worden daarnaast als kunstmeststoffen toegediend door mensen. Ammonium ontstaat bij de afbraak (mineralisatie) van organisch materiaal (bijvoorbeeld dierlijke mest of gewasresten) en kan vervolgens door bodembacteriën genitrificeerd worden naar nitriet (NO_2^-) en uiteindelijk nitraat (Figuur 44). Dit is een redoxreactie, waarbij ammonium wordt geoxideerd door zuurstof:



Deze reacties hebben dus een zuurstofrijke (oxische) omgeving nodig. Planten kunnen ammonium opnemen, maar nemen het liefst stikstof op in de vorm van nitraat. Het

¹ Deze waarde is uitgedrukt in mg N ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NH}_3\text{-N}$)/l, en geldt bij een pH van 7,7 en een temperatuur van 15° C.

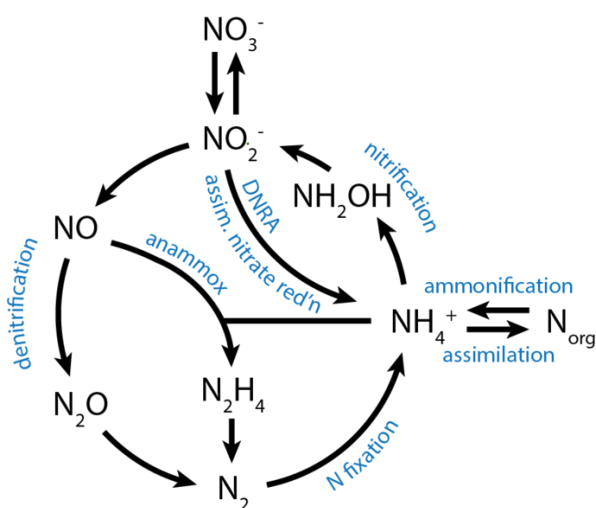
merendeel van de toegevoegde stikstof zal daarom ook pas worden opgenomen door de plant nadat het is geoxideerd tot nitraat. Het deel van het nitraat dat *niet* wordt opgenomen door de plant, spoelt uit naar het oppervlaktewater of wordt door bacteriën weer omgezet in stikstofgas (N₂, Figuur 44). Dit proces heet denitrificatie. Denitrificatie is ook een redoxreactie, waarbij nitraat wordt gereduceerd tot stikstofgas:



Hier is 'CH₂O' een algemene formule voor organische stof. Organische stof wordt hier dus geoxideerd door nitraat. Dit proces wordt uitgevoerd door facultatief anaerobe bacteriën. Facultatief anaeroob betekent dat de bacteriën zowel in een anoxische omgeving kunnen leven en dan dus hun energie uit organisch materiaal halen door middel van een oxidatie met nitraat, als ook in een oxische omgeving kunnen leven en in dat geval altijd de voorkeur zullen geven aan een oxidatie van organisch materiaal met zuurstof:



Dit betekent dat de denitrificerende reacties, die we nodig hebben voor de afbraak van nitraat, een zuurstofarme of -loze omgeving nodig hebben. Anoxische omstandigheden komen bijvoorbeeld voor in bodems met een hoge grondwaterstand. Daarnaast is ook de aanwezigheid van organisch materiaal noodzakelijk voor de afbraak van nitraat; anders heeft nitraat niets om mee te reageren.



Figuur 44 Stikstofomzettingen onder invloed van microbiologie in de bodem. Bron: WUR

De grondwaterstand

De grondwaterstand speelt een belangrijke rol in deze processen, omdat deze in grote mate bepaalt of de omgeving waarin de stikstofprocessen zich afspelen oxisch of anoxisch is. Rond en onder de grondwaterstand bevat de bodem namelijk weinig zuurstof en bij een hoge grondwaterstand is de kans groter dat het water in contact komt met het organische stof uit de ondiepere bodemlagen. Als deze zuurstofarme omgeving in aanraking komt met een bodemlaag rijk aan organisch materiaal, hebben we goede

omstandigheden voor de afbraak van nitraat (reactie 3). Een hogere grondwaterstand correleert over het algemeen met minder nitraatuitspoeling (van der Wal et al., 2019).

De bodemsoort

De doorloop van ammonium en nitraat verschilt ook in verschillende bodemsoorten. Allereerst hebben klei- en veengronden over het algemeen een hogere grondwaterstand dan zandbodems, waardoor er dus meer denitrificatie plaatsvindt (zie hierboven). Daarnaast hebben de bodemdeeltjes in klei, veen en zand verschillende eigenschappen. Kleideeltjes en organisch stofdeeltjes zijn namelijk licht negatief geladen. Hierdoor binden zij goed aan positief geladen nutriënten, zoals ammonium. Bodems met een fijne textuur, zoals klei, en bodems met een hoog organisch stofgehalte, zoals veen, zijn dus van nature minder gevoelig voor de uitspoeling van ammonium. Nitraat, aan de andere kant, is negatief geladen en bindt dus überhaupt slecht aan de bodem. Nitraat is dus erg gevoelig voor uitspoeling.

Zandbodems krijgen ook nog met meer uitspoeling te maken door de grotere poriën in het zand en het gebrek aan organisch materiaal. Hierdoor is het poriewater vaak ook op grotere diepte in de zandpakketten nog oxidisch en wordt er geen nitraat afgebroken. Het ammonium en nitraat wat niet wordt opgenomen door de plant zal dus grotendeels uitspoelen op een zandbodem (van der Wal et al., 2019; Hooijdeelnemer aan de pilot, 2021).

Zouten

Een verhoogde zoutconcentratie in het grondwater heeft op verschillende manieren effect op de stikstofkringloop. Allereerst bevat brakwater hoge concentraties aan kationen, zoals natrium (Na^+). Net als het kation ammonium bindt natrium goed aan het bodemadsorptiecomplex (de negatief geladen klei en bodem organisch stof). De grote hoeveelheid aan kationen in het brakke grondwater zullen een deel van het ammonium verdringen. In plaats van ammonium is nu natrium gebonden aan bijvoorbeeld een kleideeltje. Het ammonium is daardoor gemobiliseerd geraakt en kan uitspoelen. Van Geest et al. (2022) geeft aan dat de effecten van een verhoogd zoutgehalte op de verschillende stappen in de stikstofcyclus nog niet volledig begrepen zijn. Er worden bijvoorbeeld met denitrificatie zowel positieve als negatieve relaties gerapporteerd en ook op de afbraak van organisch materiaal zijn verschillende effecten vermeld. Recente onderzoeken wijzen wel op een remmend effect van een verhoogde zoutconcentratie op denitrificatie, waardoor er dus minder nitraat zou worden afgebroken en meer nitraat kan uitspoelen (Meng et al., 2020; Pan et al., 2023). Een verhoogde zoutconcentratie heeft niet alleen effect op de osmotische druk, maar beïnvloedt ook allerlei andere redoxreacties. Dit resulteert in een complexe situatie.

Verwachte invloed anti-verziltingsdrainage

De verwachting is dat anti-verziltingsdrainage de uitspoeling van nitraat en ammonium naar het oppervlaktewater zal reduceren.

Allereerst zal het verhoogde ontwateringsniveau zorgen voor een verhoogde grondwaterstand, wat omstandigheden creëert voor meer denitrificatie. Ten tweede, zorgt de beperktere uitstroom van water uit het perceel dat er ook in absolute termen minder stikstof uitstroomt. Ten derde, is het de verwachting dat de verzoette

omstandigheden gunstig zijn voor zowel het binden van ammonium aan het bodem-complex, als de denitrificatie. Ten vierde, zal een verdiepte drainage er ook voor kunnen zorgen er meer gelegenheid is voor ammonium om aan het bodem-complex te binden of voor nitraat om gereduceerd te worden voordat het de drainagebuizen bereikt.

8.1.2 Fosfaat (PO_4^{3-})

Richtlijnen

Ook fosfaat draagt bij aan eutrofiëring van het oppervlaktewater, wat de ecologische toestand verslechtert. De richtlijnen worden hier vaak niet uitgedrukt in fosfaatconcentraties maar in totaal-P, waar niet alleen fosfaat maar ook organisch fosfor toe gerekend wordt. Als we naar de ecologische waterkwaliteit kijken, voldeed in 2021 ongeveer 54% van de KRW-waterlichamen aan de richtlijn voor fosfor (Figuur 43). Voor de Zoet op Zout-regio zijn deze getallen iets positiever. In de Eems regio werd in datzelfde jaar in 73,7% van de KRW-wateren de fosfordoelstelling behaald en in de Rijn-Noord regio was dit in 56,8% van de KRW-wateren het geval (CBS et al., 2024b; Deltares, 2021). Landelijk is ongeveer de helft van deze belasting van het oppervlaktewater met fosforverbindingen afkomstig uit de landbouw (CBS et al., 2024a). Ook voor dit nutriënt is het dus waardevol om de uitstoot vanaf percelen te verminderen.

De fosforkringloop

Waar de stikstofkringloop vooral wordt gestuurd door microbiële processen, is de fosforkringloop met name onderhevig aan een chemische invloed. Fosfor komt in verschillende vormen voor in de bodem:

- Het eerste en kleinste deel is het fosfaat in de bodemoplossing, mogelijk gebonden met enkele waterstofatomen (HPO_4^{2-} of H_2PO_4^-). Dit is de vorm waarin fosfor kan worden opgenomen door planten. Fosfaten zijn alleen slecht oplosbaar, dus maar een klein deel van de gehele fosforvoorraad zal zich in deze vorm bevinden. Doordat het beschikbare fosfor vooral gebonden is aan bodemdeeltjes, verloopt de fosforkringloop aanzienlijk langzamer dan de stikstofkringloop.
- Het tweede, middelgrote deel van de fosforvoorraad bestaat uit het labiele of reversibele deel. Deze fosfor is gebonden aan de bodem, maar niet heel sterk gebonden (geadsorbeerd). Hierdoor vindt er op een rustig tempo uitwisseling plaats met het bodemwater. Deze fosfor is gebonden aan minerale bodemdeeltjes, zoals kleideeltjes of ijzer- en aluminiumoxiden, of gebonden aan het organische stof in de bodem.
- Het laatste en grootste deel van de fosforvoorraad is niet of nauwelijks beschikbaar, omdat het sterk gebonden is aan ijzer, aluminium en calcium. Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van mineralen, zoals apatiet of varisciet, zijn. Dan komt de fosfor pas beschikbaar na verwerking. Of, het kan in de vorm van neergeslagen fosfaat-zouten zijn. De fosforafgifte uit deze voorraad verloopt extreem langzaam.

Uitwisseling tussen deze drie groepen verloopt via processen zoals verwerking, mineralisatie, adsorptie, desorptie, neerslag en oplossing.

De bodemsoort

Wanneer fosfor in de vorm van fosfaat aan de bodem wordt toegevoegd, zal een groot deel daarvan zich willen binden aan de bodemdeeltjes. Kleideeltjes hebben een groter

oppervlak-per-volume dan zand, omdat ze kleiner zijn. Hierdoor is er ook meer oppervlak voor fosfor om aan te adsorberen.

Ook de bodemmineralogie heeft invloed op het fosforretentievermogen van de bodem. Hogere gehalten aan aluminium (Al^{3+}) en ijzer (Fe^{3+}) in de bodem betekent ook een hoger retentievermogen (RIVM, g.d.).

De grondwaterstand

Als gevolg van overbemesting kan fosfaat accumuleren in de bodem, omdat het dus slecht oplosbaar is en zich sterk bindt aan allerlei bodemdeeltjes. Bij de vernatting van bijvoorbeeld (voormalige) landbouwgronden kan hierdoor interne eutrofiëring plaatsvinden. Als gevolg van vernatting, worden anoxische omstandigheden gecreëerd en hierdoor zal het aanwezige ijzer reduceren van Fe^{3+} naar Fe^{2+} . Een deel van deze ijzer is gebonden met fosfor (P). De binding tussen Fe^{2+} en P is echter een stuk zwakker dan de binding tussen Fe^{3+} en P. Hierdoor raakt dus meer fosfor gemobiliseerd in de bodemoplossing in de vorm van fosfaat. Dit is ook waarom gronden met een, over het algemeen, hogere grondwaterstand vaak een hogere fosfaatuitspoeling hebben dan gronden met een diepere grondwaterstand (RIVM, g.d.). Naarmate er meer fosfaat in de bodem is opgeslagen, neemt het risico van uitspoeling naar de ondergrond en het oppervlaktewater toe.

Zouten

De aanwezigheid van meer zouten in het bodemwater, zoals calcium, magnesium en ijzer, zorgt ervoor dat er meer gelegenheid is voor fosfor om neer te slaan met deze zouten. Een ion wat echter ook vaak in brak water voorkomt is sulfaat (SO_4^{2-}) en dit ion beïnvloedt de fosforbeschikbaarheid ook. In anaerobe situaties reduceert sulfaat tot sulfide en bindt zich aan ijzer, wat de eerder gebonden fosfor verdringt. Dit effect zou sterker kunnen zijn dan het bindende effect van de andere ionen in brakwater, maar is dus afhankelijk van de exacte samenstelling die het brakke water heeft. Over het algemeen leidt brakwater tot een lagere bindingscapaciteit van de bodem met fosfor, waardoor fosfaat dus sneller uit kan spoelen. Ook dit is interne eutrofiëring (van Geest et al., 2022).

Verwachte invloed anti-verziltingsdrainage

Het netto-effect van anti-verziltingsdrainage op de uitspoeling van fosfaat is lastig te voorspellen omdat er tegenstrijdige effecten zijn. Allereerst kan peilverhoging ervoor zorgen dat een groter deel van het bodemwater anoxisch wordt, waardoor er méér fosfaat uitstroomt. Tegelijkertijd zorgt het brakke water in de zilte omstandigheden ervoor dat de bodem mogelijk een lagere bindingscapaciteit heeft met fosfor. Het vergroten van de zoetwaterlens kan dus juist ervoor zorgen dat er mínder fosfaat uitstroomt. Het verminderen van de flux aan wateruitstroom zal ook de fosfaatuitspoeling verminderen. Verdiepte drainage kan er bovendien ook voor zorgen dat er meer fosfaat wordt vastgelegd omdat het aan een groter deel van de bodem kan adsorberen door de langere weg die het door de bodem moet afleggen.

8.2 Aanpak onderzoek

Locaties

Op twee locaties (Engwierum en Pingjum) is onderzoek gedaan naar de uitstroom van nutriënten. Op één locatie (Engwierum) zijn er wekelijks watermonsters genomen van het uitstromende water. Hier is in kaart gebracht hoe de uitspoeling van nutriënten tussen het proef- en referentieveld gedurende het seizoen verschilde.

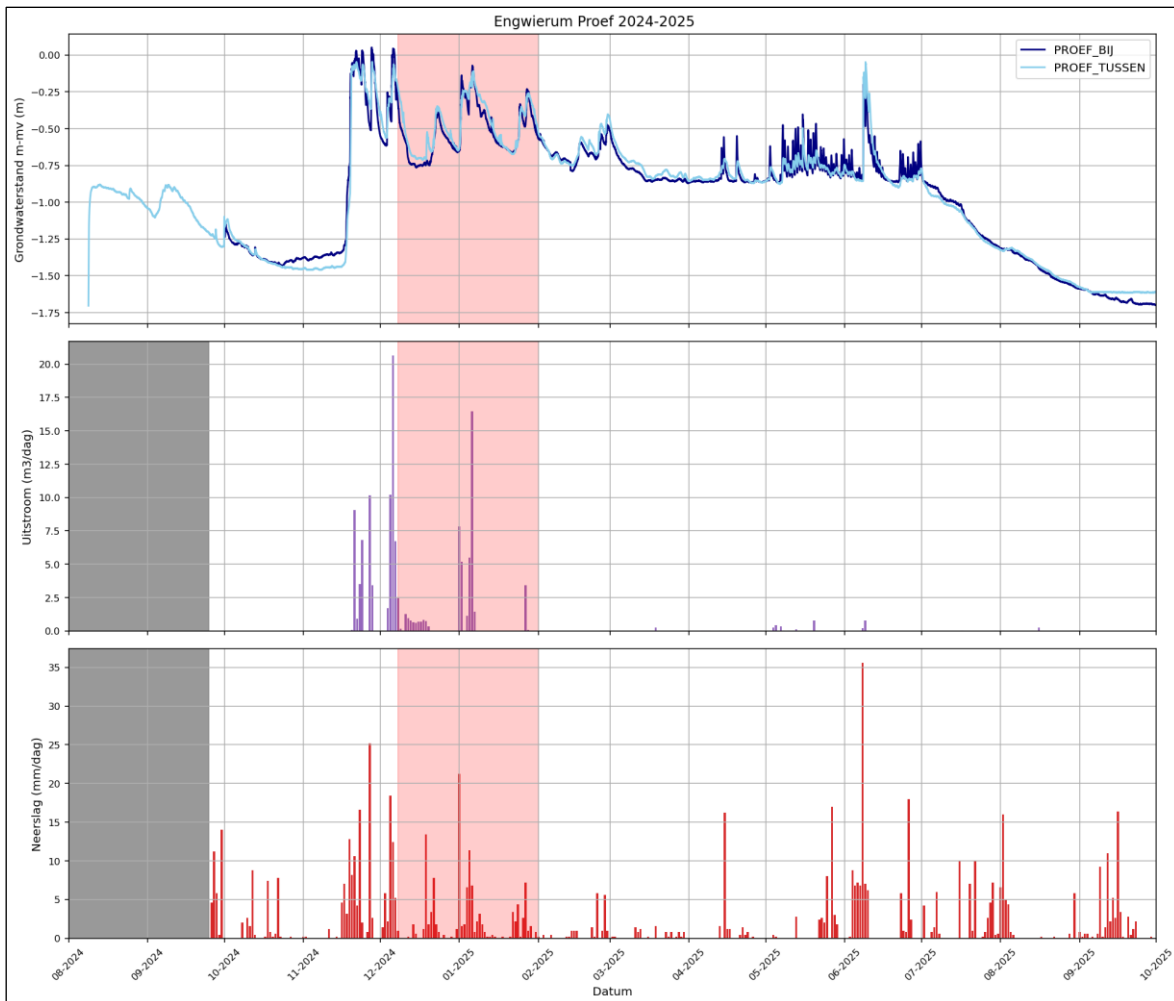
Op de andere locatie (Pingjum) is het de bedoeling onderzoek te gaan doen naar de piekuitstroom van nutriënten na een regenbui. Deze piekuitstroom zou mogelijk een ander beeld kunnen geven dan de uitstroom gedurende het seizoen en heeft wel een groot aandeel in de nutriëntenbelasting. Daarom sluiten deze twee onderzoeken goed op elkaar aan en kunnen samen een volledig beeld geven. Onderzoek naar de piekuitstroom zo in een vervolgtraject worden gedaan.

In het najaar van 2024 is het onderzoek in Engwierum gestart. Naar verwachting zal de opzet van het peil op het proefperceel ervoor zorgen dat in ieder geval de uitspoeling van nitraat zal verminderen. De invloed op de uitspoeling van fosfaat is van tevoren minder gemakkelijk aan te duiden. Daarnaast hebben we ook gekeken naar de invloed van anti-verziltingsdrainage op de uitspoeling van totaal N en totaal PO_4 , omdat deze factoren uiteindelijk de meeste invloed hebben op de ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater. Dit zijn ook de parameters waarop KRW-wateren worden getoetst. Totaal N en totaal PO_4 omvatten namelijk niet alleen het minerale deel (NO_3 , NH_4 en PO_4), maar ook de stikstof en fosfaat die nu nog in organisch materiaal gebonden zit, maar in de toekomst wel kan afbreken naar mineraal stikstof of fosfor.

Monitoring

In september 2024 zijn er bij de peilputten van het proef- en referentieperceel twee debietmeters en een regenmeter geïnstalleerd om te meten hoeveel water er uit de percelen het oppervlaktewater op stroomt. Tegelijkertijd is er aan de deelnemer aan de pilot een set monsterflessen gegeven om wekelijks het water in de peilputten te bemonsteren. Iedere 4 weken zijn deze flessen opgehaald om in het Acacia Water laboratorium te analyseren op de chemische samenstelling.

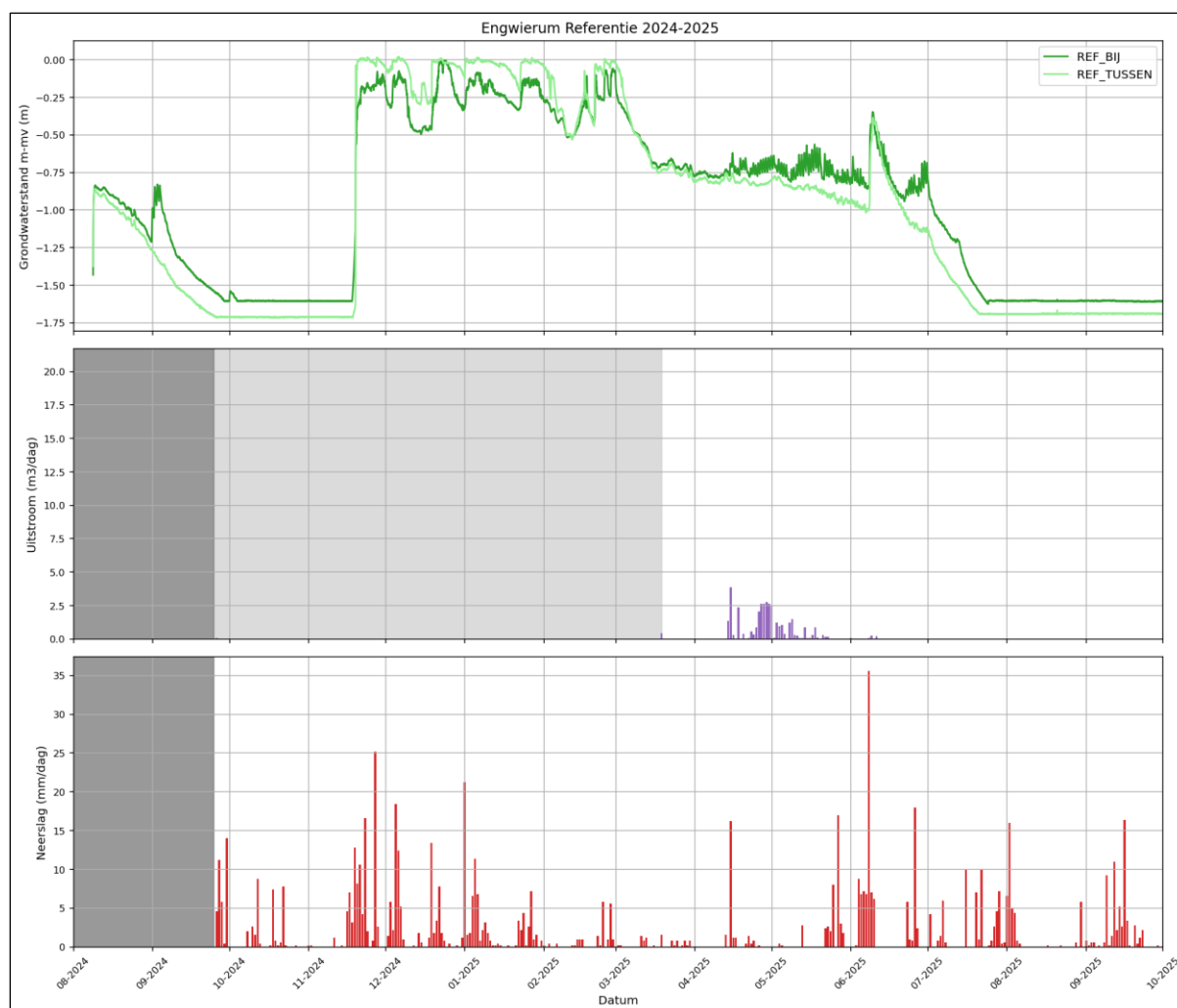
Naar verwachting zou op het proefperceel het water minder snel uitstromen na een regenbui dan op het referentieperceel, omdat op het proefperceel het peil hoger staat opgezet. We zien ook uit de data van de debietmeter op het proefperceel dat deze enkel reageert op stevige regenbuien aan het begin van het natte seizoen en niet bij iedere bui gaat lopen (Figuur 45). Door de droge periode die we begin 2025 hebben gehad, met bijzonder weinig neerslag, is het peil daarna dusdanig gezakt in het perceel dat de debietmeter na begin januari eigenlijk nauwelijks meer uitstroom gemeten heeft op het proefperceel.



Figuur 45 Het proefperceel op pilotlocatie Engwierum 2024-2025. De bovenste grafiek laat het grondwaterniveau zien bij de drain (donkerblauw) en tussen de drains (lichtblauw). De middelste grafiek laat de uitstroom uit het perceel zien, gemeten bij de peilput. De onderste grafiek laat de gemeten neerslag op het perceel zien. Het donkergrijze vlak bedekt de periode dat de debiet- en regenmeter nog niet waren geïnstalleerd. Het lichtrode vlak bedekt de periode dat het peil op het proefperceel verlaagd is.

Daarnaast is het peil op het proefperceel ook niet de gehele periode opgezet geweest. Toen het in november en december 2024 veel is gaan regenen, heeft de deelnemer aan de pilot besloten het peil op het proefperceel omlaag te zetten; gelijk aan het referentie perceel. Achteraf gezien is de deelnemer aan de pilot nu van mening dat dit niet nodig is geweest. Op dat moment, oordeelde hij aan de hand van de staat van zijn ondergrond dat zijn perceel te nat zou worden als het peil omhoog zou blijven staan. Het is ook zeker belangrijk om bewust te zijn van de balans die je bij het waterbeheer van anti-verziltingsdrainage moet lopen tussen, aan de ene kant, het voorkomen van zoutschade door het peil omhoog te zetten en, aan de andere kant, het voorkomen van natschade door het peil omlaag te zetten. Echter, is het natuurlijk verder erg droog geweest in de winter van 2024-2025 en is er na het opnieuw opzetten van het peil in februari 2025 weinig regen meer gevallen om opnieuw water op te slaan. Daarnaast heeft de deelnemer aan de pilot ingezien dat hij het water ook wel heel snel kwijt was op het

moment dat hij het peil omlaag zette, en dat het daarmee niet nodig is geweest om preventief het peil te verlagen.



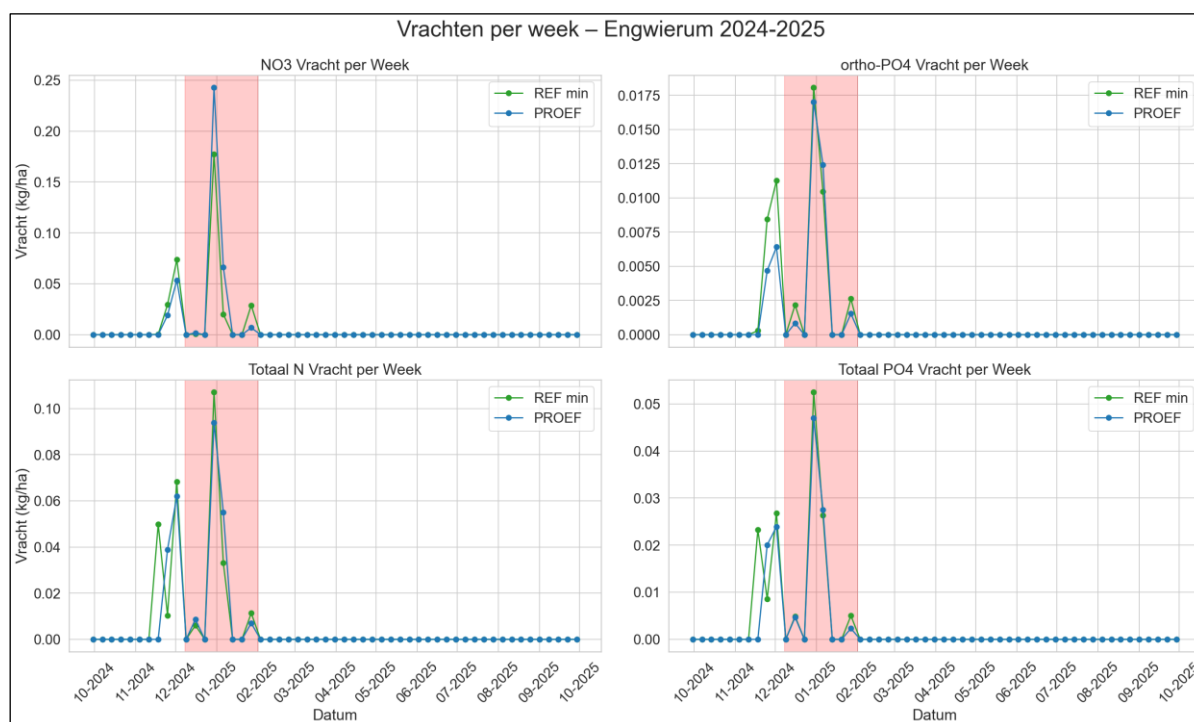
Figuur 46. Het referentieperceel op pilotlocatie Engwierum 2024-2025. De bovenste grafiek laat het grondwaterpeil zien bij de drain (donkergroen) en tussen de drains (lichtgroen). De middelste grafiek laat de uitstroom uit het perceel zien, gemeten bij de peilput. De onderste grafiek laat de gemeten neerslag op het perceel zien. Het donkergrijze vlak bedekt de periode dat de debiet- en regenmeter nog niet waren geïnstalleerd. Het lichtgrijze vlak bedekt de periode dat de debietmeter niet goed op de datalogger was aangesloten, waardoor deze geen data verzond.

Hoewel de verwachting was dat op het referentieperceel meer water zou uitstromen, hebben we in het begin helemaal geen uitstroom gemeten. Dit was onverwacht en eigenlijk niet mogelijk. Bij een veldbezoek op 19 maart 2025 bleek dan ook dat de debietmeter van het referentieperceel helaas niet goed op de datalogger was aangesloten en daarom geen data doorstuurde (Figuur 46). Na die periode is nog een kleine hoeveelheid uitstroom gemeten, maar dit is waarschijnlijk eerder te relateren aan de inlaat-activiteiten van de deelnemer aan de pilot dan aan uitspoelende neerslag. Vanaf midden april is de deelnemer aan de pilot namelijk water gaan inlaten uit de sloot in eerst het referentie- en later ook het proefperceel om meer water vast te houden na de droge winter. Dit is ook te zien aan het sterk oscillerende karakter van het grondwaterpeil direct bij de drains in deze periode. Die oscillaties reflecteren namelijk een dag-nacht patroon,

omdat de deelnemer aan de pilot een pomp gedreven door zonnepanelen gebruikte om het water vanuit de sloot in het perceel te pompen. Hieruit zien we ook dat het peil wat overdag wordt opgebouwd, 's nachts wanneer de pomp uitstond toch ook wel snel weer terugzakte.

8.3 Resultaten

Op het perceel zijn wekelijks watermonsters genomen door de deelnemer aan de pilot en zijn dochter. Deze zijn eens per 4 weken opgehaald en geanalyseerd in het Acacia Water laboratorium. De concentraties NO_3 , PO_4 , totaal N en totaal PO_4 zijn vermenigvuldigd met de hoeveelheid uitgestroomd water, zoals gemeten door de debietmeters, om de vrachten te bepalen. Nu is het natuurlijk zo dat de debietmeter op het referentieperceel gedurende de hele relevante periode met uitspoeling geen data doorgestuurd heeft. Echter, omdat het peil op het referentieperceel lager dan het peil op het proefperceel was (of even laag gedurende de periode dat het proefpeil omlaag is gezet), kunnen we ervanuit gaan dat de uitstroom op het referentieperceel *minstens* zo hoog was als op het proefperceel. Daarmee kunnen we de *minimale* uitstroom aan nutriënten op het referentieperceel bepalen, en daarnaast natuurlijk de *werkelijke* uitstroom aan nutriënten op het proefperceel. Tot slot hebben we de vrachten ook genormaliseerd per hectare, omdat er een klein oppervlakteverschil is tussen het referentie- en proefperceel.



Figuur 47. De berekende vrachten NO_3 , PO_4 , totaal N en totaal PO_4 aan de hand van de gemeten concentraties en debieten. De referentielijn geeft de *minimale* vracht weer. Het lichtrode vlak bedekt de periode dat het peil op het proefperceel verlaagd is

Daarnaast is niet gedurende de hele periode het proefpeil omhoog geweest. Het rode vlak in Figuur 47 geeft de periode weer waarin het proefpeil net zo laag is gezet als het referentiepeil. Deze periode moet dus eigenlijk niet meegenomen worden in het bepalen

van het verschil in totale vrachten tussen het proef- en referentieperceel, omdat gedurende die periode de peilopzettingen hetzelfde waren. Hierdoor blijven er echter wel maar drie datapunten over voor de analyse, wat te weinig is om stevige conclusies te kunnen trekken. Wel blijkt uit deze eerste data dat voor alle vier de stofgroepen er minder via drainage uitgespoeld is uit het proefperceel dan uit het referentieperceel (Tabel 6) terwijl de vracht uit het referentieperceel dus al een ondergrens is voor de werkelijke uitspoeling. In het seizoen 2025-2026 zetten we dit onderzoek voort om deze eerste resultaten met meer data te bevestigen.

Tabel 6 Berekende vrachten in 2024-2025 aan de hand van de gemeten stofconcentraties, de werkelijke debieten van het proefperceel en de minimale debieten van het referentieperceel. De periode van peilverlaging op het proefperceel is buiten beschouwing gelaten.

Stof	Werkelijke vracht proefperceel (kg/ha)	Minimale vracht referentieperceel (kg/ha)
NO₃	0.07	0.10
PO₄	0.01	0.02
Totaal N	0.10	0.13
Totaal PO₄	0.04	0.06

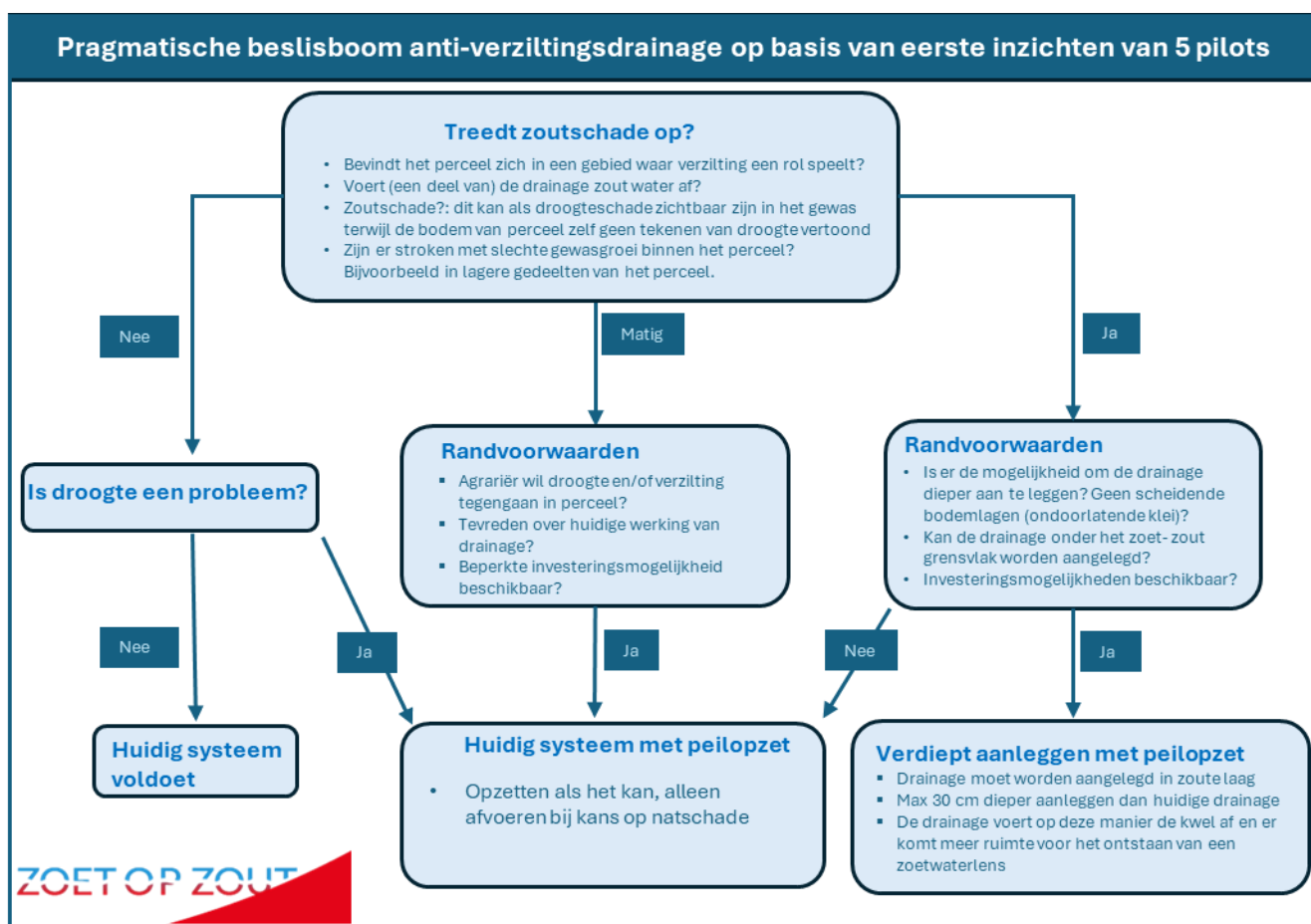
9 Praktijklessen

9.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de praktijklessen, die tot op heden zijn geleerd, samengevat.

9.2 Keuze type systeem

In het Spaarwateronderzoek (Acacia Instituut, 2019) is als eindproduct een beslisboom opgeleverd om te bepalen welk anti-verziltingsdrainagesysteem kansrijk is onder perceel specifieke omstandigheden. In de praktijk blijkt echter dat zonder intensief en kostbaar onderzoek een systeemkeuze op basis van deze beslisboom gecompliceerd is. De beslisboom vergt namelijk specifieke parameters zoals hoeveelheid kweldruk. In deze bouwsteen is op basis van praktijkervaringen de beslisboom vereenvoudigd en meer gericht op de agrariër en de input die de agrariër zelf kan leveren (zie de beslisboom in Figuur 48). De beslisboom wordt hieronder toegelicht.



Figuur 48 Opzet voor pragmatische beslisboom anti-verziltingsdrainage

Bepalen verziltingsrisico van perceel

De eerste stap om te komen tot een keuze voor een kansrijk systeem is het bepalen of en in welke mate verzilting een rol speelt in een perceel. Verzilting is vaak moeilijk te

herkennen en te onderscheiden als schade aan het gewas aangezien verziltingschade dezelfde kenmerken vertonen als droogteschade. Zichtbare zoutschade aan het gewas is tevens een indicatie dat het zout grondwater tot in de wortelzone is getrokken. Een andere belangrijke indicatie van sterk verziltende omstandigheden in het perceel is als de huidige drains in drogere periode (zout) water afvoeren. Hieruit wordt afgeleid dat het zoet-zoutgrensvlak zich rond drainagediepte bevindt. Doorgaans betekent dit dat een hoge kweldruk aanwezig is.

Overzicht kenmerken van het gebied of perceel die kunnen duiden op risico zoutschade:

- Ligt het perceel in een gebied waar verzilting een rol kan spelen?:
 - Zout/gaswinninggebied;
 - Lager gelegen polder in kustgebied;
 - Zijn er oude (watervoerende) zandruigten, gedempte sloten etc. in het perceel aanwezig;
- Lopen de drains in een periode met weinig neerslag?
- Lopen alle drains tegelijk of zijn er drains die vaker/meer water afvoeren? Dit kan duiden op lokale kwel op een perceel;
- Melkachtige kleur in de sloot;
- Droogteschade zichtbaar in het gewas maar de bodem van perceel zelf vertoont geen tekenen van droogte.



Figuur 49 Drone beeld van een perceel met zoutschade langs de sloot. De schade is zichtbaar door kleinere groene planten in deze strook (bron: Acacia instituut)

Drainage met peilopzet

Als er geen duidelijke aanwijzingen zijn van verziltende omstandigheden is het anti-verziltingsdrainagesysteem met optie peilopzet geschikt. Dit type systeem brengt weinig risico met zich mee maar levert wel een aantal voordelen op, zoals: het meer invloed hebben op de waterhuishouding en het langer vasthouden van regenwater. Het helpt om de agrariër weerbaarder te maken tegen de gevolgen van klimaatverandering zoals

(verziltning/verdroging). Voor de aanleg van dit systeem heeft weinig tot geen verder onderzoek uitgevoerd te worden aangezien ook de huidige drainage aangepast kan worden.

Voordelen:

- Relatief goedkope en makkelijke oplossing;
- Huidige drainage kan eventueel aangepast worden;
- Helpt om regenwater langer vast te houden;
- Brengt weinig risico's met zich mee;
- Eenvoudig te beheren.

Nadelen:

- Gaat verziltning niet drastisch terugdringen;
- Kans op natschade bij onjuist beheer.

Verdiepte drainage met peilopzet

Onder sterk verziltende omstandigheden is het verdiept aanleggen van de drains een kansrijke oplossing, Uitgaande dat bij voldoende kweldruk het zout grondwater tot aan drainniveau kan trekken, wordt gepoogd met het verdiept aanleggen het zoet-zoutgrensvlak te verlagen en zo meer ruimte te creëren om zoet neerslagwater te bufferen (Acacia Instituut, 2019). Dit systeem vereist meer onderzoek naar de bodemopbouw.

Voorwaarden:

- Bodem is geschikt voor het verdiept aanleggen van drainage, dus er zijn geen storende ondoorlatende lagen aanwezig die het water ondiep vasthouden of afvoer door de drainage belemmeren;
- Drainage wordt aangelegd onder het zoet-zoutgrensvlak dus in zout grondwater.

Voordelen:

- Kan verziltning/kwel beter terugdringen, met mogelijk hogere gewasopbrengsten;
- Vergroot de zoetwaterlens.

Nadelen:

- Vergt meer onderzoek, omdat er ook meer risico's aan verbonden zijn, zoals droogteschade en natschade. Natschade kan optreden als er storende lagen in de bodem aanwezig zijn (ter hoogte van de drainage of erboven) die de afvoer van het drainagesysteem belemmeren. Indien de bodemopbouw heterogeen is, dient hier extra rekening mee gehouden te worden. Droogteschade kan ontstaan als het ontwateringspeil te snel wordt verlaagd. Indien er geen regen meer valt, is het dan niet meer mogelijk om het grondwaterniveau te verhogen. Indien aanvoer van water mogelijk is, dan is dit flexibeler aan te sturen. Bijv. in Uithuizen en Engwierum is geschikt aanvoerwater beschikbaar en wordt plaatselijk het slootpeil verhoogd. Hierdoor is infiltratie middels het drainagesysteem ook mogelijk;
- Hogere kosten vanwege noodzakelijk onderzoek en aanlegkosten.

9.3 Beheer

Om de anti-verziltingsdrainage een succes te laten zijn, is het van belang dat het systeem op de juiste manier wordt beheerd. Een toename van de dikte van de zoetwaterlens treedt met name op in de wintermaanden, tijdens het opzetten van het uitstroomniveau. Hoe langer het ontwateringsniveau wordt opgezet hoe meer het zoete grondwater in het

perceel gedrukt wordt en de zoetwaterlens zal groeien. De groei van de zoetwaterlens kost tijd, het even opzetten van het drainageniveau draagt daarom maar beperkt bij aan de groei van de zoetwaterlens.

Om droogte te voorkomen op het perceel, is het vooral van belang dat het drainageniveau is opgezet voordat het voorjaar begint. Tijdens deze opzet moet er nog voldoende neerslag vallen zodat het grondwater niveau kan stijgen tot de meest ideale uitgangspositie voor de gewassen. Dit is vooraf alleen niet bekend. Daarom wordt aangeraden om het drainageniveau hoog te houden vanaf januari en tijdelijk omlaag te zetten indien natschade een risico vormt/ land niet betreedbaar is.

Na opzet van het drainageniveau stijgt de grondwaterstand als er neerslag valt. Zolang er geen neerslag valt, gaat de grondwaterstand niet omhoog. Het effect van verlaging van het drainageniveau gaat sneller. Dit treedt op binnen enkele dagen. Mocht er tegelijkertijd veel neerslag vallen dan kan het dalen van de grondwaterstand iets vertragen en pas zichtbaar worden als een drogere periode optreedt

In het voorjaar en zomer zorgt het opzetten van het drainageniveau ervoor dat de neerslag die valt in het perceel behouden blijft.

9.4 Terugkoppeling van de pilotdeelnemers

In december 2025 zijn met vier van de pilot deelnemers evaluatiegesprekken gevoerd. Het doel hiervan was om te achterhalen of de deelnemers meerwaarde zien in het systeem, of zij (onverwachte) negatieve bijeffecten hebben geconstateerd, of er nog (nieuwe) kennisvragen heersen en of zij potentie voor de techniek zien in de toekomst (wellicht op een ander perceel op eigen terrein).

De feedback van de deelnemers was redelijk vergelijkbaar. De pilotdeelnemers zijn overwegend positief over het systeem. De volgende zaken zijn door meerdere deelnemers teruggekoppeld:

- Het is prettig om het drainageniveau zelf te kunnen sturen en zo het niveau beter op de bedrijfsprocessen te kunnen afstemmen. Ook het opzetten van het niveau in de zomer, om de neerslag die valt te kunnen behouden in het perceel, wordt als meerwaarde beschouwd.
- Geen van de deelnemers hebben negatieve effecten op het perceel gemerkt tijdens het opzetten van het drainageniveau (bv. natschade). De verwachting is ook dat het niveau ook eerder wat te vroeg dan te laat naar beneden is gehaald. De deelnemers waren voorzichtig in het opzetten. Dit is wel logisch omdat het opzetadvies soms ingaat tegen de geëigende besturing.
- Een aantal deelnemers gaven aan dat de gewassen op delen van het perceel, die eerder achter bleken in groei, dit jaar groener oogden. Dit is een subjectief oordeel. Een deelnemer gaf ook aan dat hij naast het anti-verziltingsdrainagesysteem, bodemstructuurverandering heeft uitgevoerd. Dus mogelijk is dit ook een effect als gevolg van een combinatie van factoren. Doch de zomer van 2025 was uitermate droog, waardoor mindere groei van gewassen eerder voor de hand zou liggen.

- De bedrijfsprocessen zijn wel van invloed op de mogelijkheden tot opzetten van het drainagesysteem. Deze processen zijn jaarlijks afwisselend (zowel qua type werkzaamheden als wanneer in het jaar ze uitgevoerd moeten worden) en doorgaans niet ver van te voren in te plannen. Zo hangen de uit te voeren bewerkingen van het land samen met de teelt van het jaar daarop, de structuur van de bodem dat jaar en de neerslag.
- Meerdere deelnemers staan er positief tegenover om het systeem ook op andere delen aan te leggen van hun eigen terrein. Zaken die ze hierbij noemden zijn:
 - Afwachten SKY-tem metingen van de Provincie (3-d beeld van de chlorideconcentratie in de ondergrond), als hier duidelijk zoute plekken uit blijken dan mogelijk opschalen van het systeem;
 - Afwachten tot iets meer ervaring is opgedaan met de systemen door agrariërs en de draineurs;
 - Kosten/ batenanalyse. Het systeem is nog prijzig. Wellicht gaan de kosten omlaag als de techniek vaker wordt toegepast.

Qua aanleg wordt aangegeven dat het opzetstuk van de peilput fragiel oogt. Ook wordt doorspuiten van het drainagesysteem als aandachtspunt benoemd. De draineur gaf aan dat dit in principe niet hoeft, maar dat moet nog blijken in de praktijk. Het systeem kan eigenlijk iets aangepast worden waardoor dit wel mogelijk is. Dit is een aandachtspunt voor het vervolg.

Alle deelnemers geven aan dat het sturen lastig is. Meer richtlijnen hiervoor zijn gewenst. De neerslag op voorhand namelijk niet bekend, het blijft daarom een beetje "op gevoel" sturen. Voor het vervolg is het interessant om hier meer aandacht aan te geven. Bijvoorbeeld door meer inzicht te ontwikkelen in: hoe snel reageert het perceel op aanpassingen van het drainageniveau. Dit zal locatie-specifiek zijn, omdat dit sterk samenhangt met de ondiepe bodem.

10 Conclusies en aanbevelingen

In de bouwsteen anti-verziltingsdrainage zijn 5 pilots aangelegd onder verschillende hydrologische omstandigheden. Het traject om te komen tot ingerichte pilots duurde relatief lang. Dit kwam omdat 1) er veel moest gebeuren (voorstudie, QuickScanverkenning 12 percelen, overeenstemming bereiken, ontwerp systeem en aanleg) en 2) de aanleg doorgaans alleen mogelijk is in april en oktober (in verband met de betreding en bewerking van het land). Ook is de aanleg vanwege bedrijfs- en weeromstandigheden een aantal maal uitgesteld.

Op alle pilots is minimaal één jaar gemonitord. In dit onderzoek is beoogd om de toepassing van anti-verziltingsdrainagesystemen meerdere jaren in de praktijk te toetsen. Dat stadium is nog niet bereikt. Het afgelopen jaar is het anti-verziltingsdrainagesysteem op een aantal locaties voor het eerst actief beheerd. Dit leidt tot veel inzichten, maar ook vragen en ook blijkt dat sommige dingen in de praktijk anders gaan. Deze inzichten zijn zinvol om de komende jaren te gebruiken om de monitoring en het onderzoek te optimaliseren.

Hieronder worden de onderzoeksvragen één voor één toegelicht.

Hoe beïnvloedt anti-verziltingsdrainage de hydrologische omstandigheden op het perceel?

Met anti-verziltingsdrainage kan de grondwaterstand in het perceel worden beïnvloed. Door het uitstroompeil van de drainage op te zetten gaan de grondwaterstanden omhoog. Dit gebeurt op het moment dat neerslag valt. Indien een bui uitblijft kan het dus langer duren voordat dit effect optreedt. Het peil opzetten kan gedaan worden voor het groeiseizoen (om zo ideaal mogelijk condities te creëren voor het groeiseizoen) of tijdens het voorjaar/ zomer om het regenwater in het perceel te bufferen. Op deze manier kan droogte in het perceel worden tegengegaan.

In natte omstandigheden daarentegen kan het uitstroompeil omlaag worden gezet, waardoor de grondwaterstanden in het perceel worden verlaagd. Dit gebeurt doorgaans met een aantal dagen (tenzij het hevig regent, dat zal het effect merkbaar zijn tijdens de eerste droge periode).

Met het verhogen van het uitstroomniveau kan zoet (regen)water worden opgeslagen in het perceel. Dit zoete water kan zoute kwel omlaagdrukken waardoor er meer zoetwater in het bovenste gedeelte van het perceel geborgen wordt.

Kan met anti-verziltingsdrainage de zoetwaterbeschikbaarheid worden vergroot?

Uit de proeven is vooralsnog waargenomen dat we met anti-verziltingsdrainage de zoetwaterbeschikbaarheid gedurende perioden van maximaal een aantal weken, kunnen vergroten (zowel binnen als buiten het groeiseizoen). Doordat het uitstroomniveau wordt opgezet in combinatie met neerslag, zien we dat in deze gevallen de zoute kwel wordt weggedrukt en dat de EC op drainniveau naar beneden wordt gebracht. Om deze tijdelijke vergroting van zoetwater beschikbaarheid te kunnen bewerkstelligen is het extra van belang dat het anti-verziltingsdrainage systeem goed wordt beheerd.

Er is niet waargenomen dat de zoetwaterlenzen gedurende de pilotperiode zijn vergroot door de toepassing van anti-verziltingsdrainage. Dit komt mede door de relatief korte duur (1 tot 2 jaar) van monitoren, waardoor het systeem zich nog niet heeft kunnen bewijzen, hiervoor is een langere meetperiode noodzakelijk. Daarnaast zou een langere meetperiode ook meer inzicht geven in hoe het systeem presteert gedurende verschillende meteorologische omstandigheden.

Welk type antiverziltingsdrainage werkt onder welke omstandigheden?

De typen anti-verziltingsdrainages die alleen werken met peilopzet zijn aan te raden onder alle omstandigheden waarbij het doel is om de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten. Deze drainage gaat zowel verdroging als verzilting tegen. Waar bij dit systeem op gelet moet worden is dat het uitstroomniveau tijdig omlaag wordt gezet om een te nat perceel of zelfs natschade in gewassen te voorkomen.

Bij de typen anti-verziltingsdrainage die verdiept worden aangelegd met peilopzet is er een grotere kans op verdroging van het perceel doordat de drainage dieper in het perceel ligt dan gebruikelijk.

Op basis van de 5 pilots zijn er in dit stadium nog geen eenduidige aanbevelingen voor welk type systeem onder welke omstandigheden het best functioneert. De beslisboom (Figuur 48) geeft hiervoor een richtlijn, echter blijft het van belang om onderzoek uit te voeren naar bodemsoort en kwelsituatie om te kunnen bepalen welk type systeem op welk perceel het beste past.

Hoe beïnvloedt anti-verziltingsdrainage de verspreiding, vastlegging en uitspoeling van nutriënten in de bodem?

Uit de eerste meetronde blijkt dat voor alle vier de gemeten stofgroepen er minder via drainage uitgespoeld is uit het proefperceel dan uit het referentieperceel (Tabel) terwijl de vracht uit het referentieperceel dus al een ondergrens is voor de werkelijke uitspoeling. In het seizoen 2025-2026 zetten we dit onderzoek voort om deze eerste resultaten met meer meetgegevens te bevestigen.

Kan anti-verziltingsdrainage agrariërs helpen om zelfvoorzienend te worden in de zoetwateraanvoer?

Anti-verziltingsdrainage kan bijdragen aan het zelfvoorzienend worden van de agrariër met betrekking tot zoetwateraanvoer. Er zullen echter in de meeste gevallen nog andere zoetwaterbronnen nodig blijven om aan de watervraag te kunnen voldoen. Daarnaast is een belangrijke component voor optimale werking van anti-verziltingsdrainage de neerslag. Door de neerslag kan er (tijdelijk) zoet water worden opgeslagen in het perceel. Wanneer er langere perioden van droogte heersen wordt het lastiger om in zoute gebieden de kweldruk tegen te gaan. Anti-verziltingsdrainage moet dus gezien worden als één van de oplossingsbouwstenen.

Welke stappen dienen er gevolgd te worden bij aanleg van anti-verziltingsdrainage?

In het Spaarwateronderzoek is als eindproduct een beslisboom opgeleverd om te bepalen welk anti-verziltingsdrainagesysteem kansrijk is onder perceel specifieke omstandigheden. In de praktijk blijkt echter dat zonder intensief en kostbaar onderzoek

een systeemkeuze op basis van deze beslisboom gecompliceerd is. De beslisboom vergt namelijk specifieke parameters zoals hoeveelheid kweldruk. In dit onderzoek is op basis van praktijkervaringen de beslisboom vereenvoudigd en meer gericht op de agrariër en de input die de agrariër zelf kan leveren (hoofdstuk 9).

Aanbevelingen

Zoals in de conclusie is aangeduid is het duidelijk dat anti-verziltingsdrainage tijdelijke verzoeting kan van grondwater in het perceel kan bewerkstelligen. Echter, door de relatief korte duur van monitoren (1 tot 2 jaar) blijft het de vraag of met anti-verziltingsdrainage de zoetwaterlens in het perceel kan worden vergroot over de jaren heen. Hiervoor zou een langere monitoringsperiode nodig zijn van idealiter op zijn minst zo'n 4 à 5 jaar.

Daarnaast is in dit onderzoek vooral gefocust op de effecten van anti-verziltingsdrainage op de hoogte van de diepe grondwaterstand en op de EC onder drainagediepte (dit is in de meeste pilots op een diepte van rond de 1 à 2 meter onder maaiveld). Er is in dit onderzoek tot nu toe minder focus gelegd op hoe anti-verziltingsdrainage de gewasgroei/opbrengst beïnvloedt. Daarvoor zijn bodemvocht- en EC-metingen nodig op een aantal dieptes in de onverzadigde zone van het perceel (bv. de wortelzone). Daarnaast dienen ook bodemmonsters genomen te worden om deze metingen te kunnen ijken. Dit wordt voor het vervolg aangeraden.

Vanuit de agrariërs is de wens om met name meer inzicht te krijgen op het sturen van het systeem. Daarbij is inzicht in de wisselwerking tussen sturing op het perceel en risico op natschade, betreedbaarheid van het land, bewerking van het land, flexibiliteit (de werkzaamheden op het land zijn moeilijk vooraf te sturen maar een samenloop van het weer/ bodem/ gewas etc..hoe ga je hiermee om?) en voorkomen van droogteschade gewenst.

11 Referenties

- Acacia Instituut, 2019. 87224_SW2-03-19_techische_rapportage_zoetwaterlens_11-3-2019;
- Acacia Water, 2024. Technische tussenrapportage antiverziltingsdrainage 2023-2024.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024a). Belasting van het oppervlaktewater met vermestende stoffen, 1990-2021 (indicator 0192, versie 24, 24 oktober 2023) www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024b). Fysisch-chemische waterkwaliteit KRW, 2021 (indicator 0252, versie 17, 18 augustus 2022) www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024c). Nitraat in het uitspoelend water onder landbouwbedrijven, 1992-2021 (indicator 0271, versie 14, 24 april 2023) www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- Deltares (2021). KRW-NUTrend, www.krw-nutrend.netlify.app
- *Fosfor in bodem en water*. RIVM. (g.d.). <https://www.rivm.nl/landelijk-meetnet-effecten-mestbeleid/fosfor-in-bodem-en-water>
- van Geest, G. J., Arts, G. H. P., van Dijk, G., van Dam, H., van Riel, M., & van Smeden, J. (2022). *Systeemkennis brakke wateren* (No. 2022-39). Stowa.
- Hooijdeelnemer aan de pilot, A. (2021). De mate van nitraatuitspoeling naar het grondwater wordt voor een groot deel bepaald door grondsoort en gewas. RIVM.
- IenW (2022). Stroomgebiedsbeheerplannen Rijn, Maas, Schelde en Eems 2022-2027, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Den Haag.
- Meng, Y., He, Z., Liu, B., Chen, L., Lin, P., & Luo, W. (2020). Soil salinity and moisture control the processes of soil nitrification and denitrification in a riparian wetlands in an extremely arid regions in northwestern China. *Water*, 12(10), 2815.
- Pan, Y., She, D., Shi, Z., Cao, T., Xia, Y., & Shan, J. (2023). Salinity and high pH reduce denitrification rates by inhibiting denitrifying gene abundance in a saline-alkali soil. *Scientific reports*, 13(1), 2155.
- Stowa, Deltares 2021. Deltafacts anti-verziltingsdrainage versie 2;
- Van der Gaast, J.W.J., H.R.J. Vroon, H.Th.L. Massop en J.G.Wesseling, 2014. Landsdekkende schematisering en parameterisatie van het topsysteem ten behoeve van hydrologische modellering. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2686.
- van der Wal, A., Hennen, W. H. G. J., & de Koeijer, T. J. (2019). Bodem-en waterkwaliteit in de Nederlandse landbouw: Relatie tussen bodemorganische stof en nitraatuitspoeling op melkveebedrijven op zandgrond. *Bodem*, (5), 34-36.