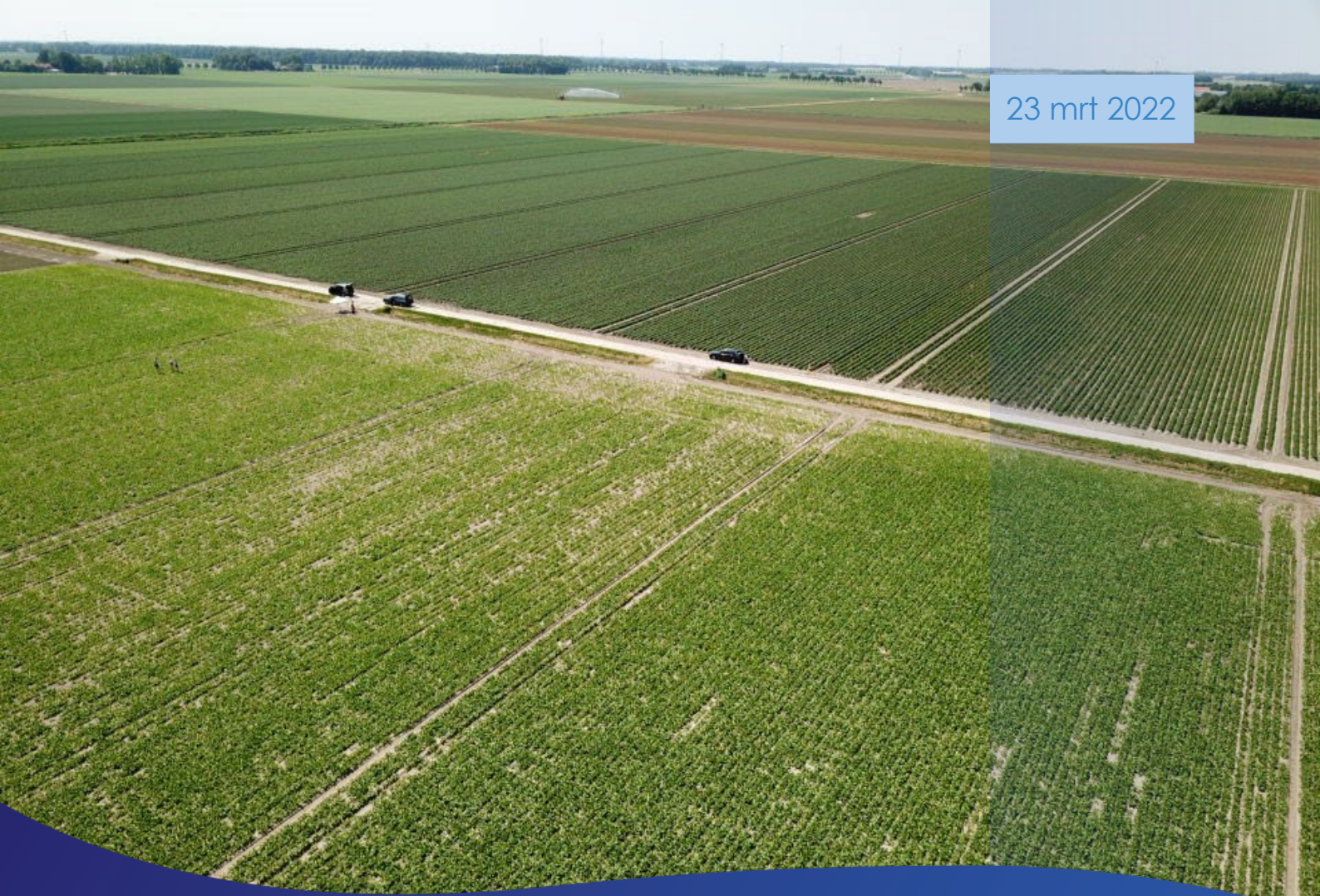


23 mrt 2022



Vernattingsonderzoek Noordwest Schokland

Een analyse van meetresultaten naar natte omstandigheden rondom Schokland

Eindrapport



Samenvatting

In het landbouwgebied ten noordwesten van Schokland is sprake van vernatting. In opdracht van Waterschap Zuiderzeeland en Provincie Flevoland en in samenwerking met belanghebbenden is een tweejarig onderzoek uitgevoerd om, aan de hand van metingen aan grondwater, oppervlaktewater, bodemvocht en -structuur, meer duidelijkheid te verschaffen over de mogelijke oorzaken van de vernatting. De bevindingen wijzen op een onderlinge samenhang van aanwezige (regionale en lokale) grondwaterdynamiek, afvoer vanuit percelen en hoofdwatgang, en complexe bodemstructuur dat ten grondslag ligt aan de waargenomen vernatting. Door aanwezige permanente kweldruk vanuit het regionale grondwatersysteem zijn grondwaterstanden in het gebied relatief hoog en blijft het veen en de daarboven liggende kleilaag gedurende het jaar nat. Dit heeft een beperkte berging in de bodem tot gevolg. Aanpassingen aan de directe afvoer van overtollig water uit de hydrologische zone hebben wateroverlast in het gebied vermindert. De gevoeligheid van het systeem kan echter niet voorkomen dat perioden van hoge afvoer alsnog leiden tot hoge waterpeilen in de kavelsloten, waardoor afvoer uit percelen belemmerd wordt. Dit wordt versterkt doordat de bodem beperkt water los laat richting de drainage en overtollig water bij hoge neerslag het perceel moeilijk kan verlaten. Het verhogen van de drainagedichtheid kan een bijdrage leveren aan het verbeteren van de bewerkbaarheid van de bodem.

Colofon

Documenttitel	. Vernattingsonderzoek Noordwest Schokland
Opdrachtgever	. Waterschap Zuiderzeeland en Provincie Flevoland
Verantwoordelijke bij opdrachtgever	. Michiel Heuser (Waterschap Zuiderzeeland) en Christoffel Klepper (Provincie Flevoland)
Status	. Eindrapport
Datum	. 23 mrt 2022
Projectnummer	. 190964
Projectteam/Auteur	. Arjen Roelandse, Simon van Meijeren, Frouke Hoogland (Acacia Water), Everhard van Essen, Jan van Berkum (Aequator)
Kenmerk	. AW_XXX_AR_190964
Collegiale toetsing door	. Annemieke van Doorn
Vrijgegeven door	. Jouke Velstra

Foto op voorpagina: Perceel Schokland Noord, Wageningen University & Research (2021)

Disclaimer

De ideeën in dit voorstel zijn, voor zover deze niet al vooraf door de opdrachtgever zijn geformuleerd, eigendom van Acacia Water. Zonder schriftelijke toestemming van Acacia Water is het niet toegestaan om (delen ervan) voor te leggen aan derden.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Achtergrond	1
1.3	Onderzoeksgebied.....	2
1.4	Doelstelling.....	3
1.5	Leeswijzer	3
2	Mogelijke oorzaken in beeld	4
2.1	Grondwater.....	4
2.2	Oppervlaktewater.....	5
2.3	Perceel.....	6
3	Metingen.....	9
3.1	Meetlocaties.....	9
3.2	Grondwater.....	10
3.3	Oppervlaktewater.....	16
3.4	Perceel.....	21
4	Synthese.....	27
	Bijlagen	29
	Bijlage 1 – Meetresultaten Proefperceel 1.....	30
	Bijlage 2 – Meetresultaten Proefperceel 2.....	34
	Bijlage 3 – Meetresultaten Proefperceel 3.....	38
	Bijlage 4 – Bodemstructuur onderzoekskavels	42
	Bijlage 5 – Bodemprofielen proefperceel 1	53
	Bijlage 6 – Bodemprofielen proefperceel 2	56
	Bijlage 7 – Bodemprofielen proefperceel 3	59

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het landbouwgebied ten noordwesten van Schokland is sprake van vernatting. De drooglegging is beperkt, waardoor het gebied in kwetsbaar is voor wateroverlast en er problemen optreden met het huidige landgebruik.

Als mogelijke oorzaken van de vernatting worden bodemdaling, wijzigingen in het waterbeheer op en rondom Schokland, en bodemverdichting genoemd. Het waterschap en provincie hebben samen met belanghebbenden een onderzoek laten uitvoeren naar de oorzaken van de vernatting om zo meer duidelijkheid te krijgen in de mogelijke oorzaken van de vernatting. Voorliggend document vormt het resultaat van ruim 2 jaar veldonderzoek, waarin de verschillende oorzaken, meetresultaten en de hieraan verbonden conclusies worden gepresenteerd.

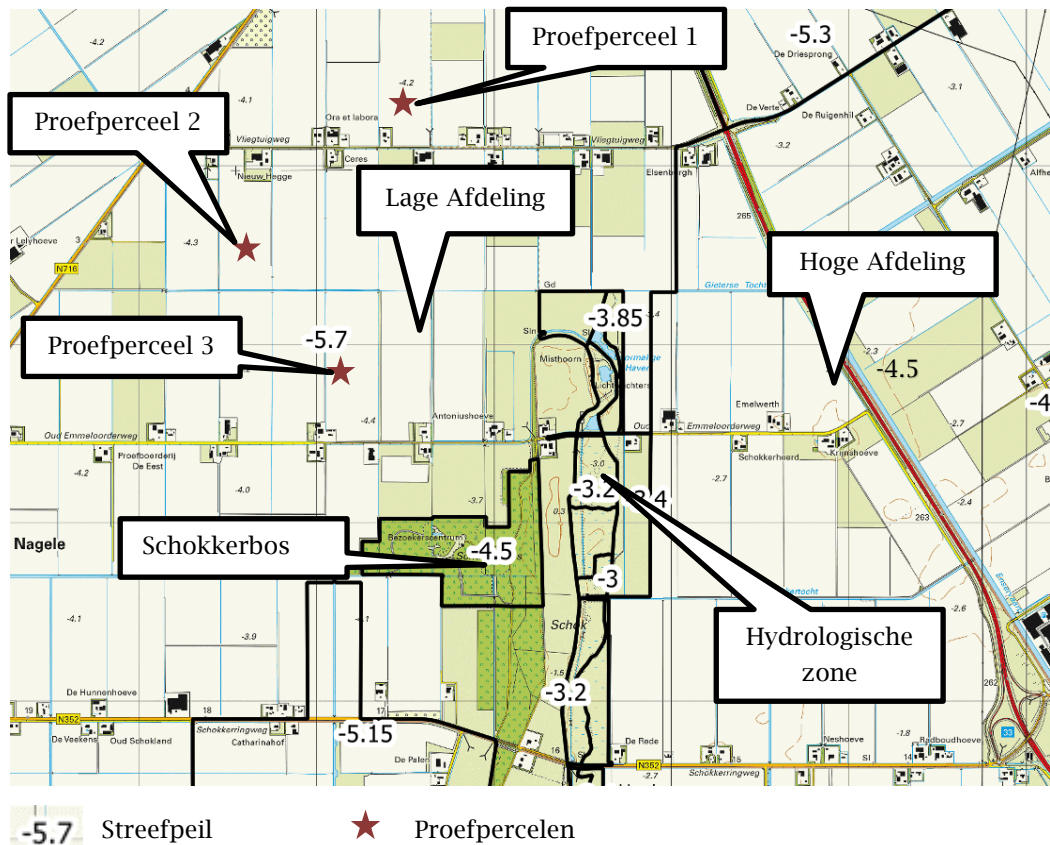
1.2 Achtergrond

In 2004 is gestart met de inrichting van een hydrologische zone aan de oost- en zuidzijde van Schokland (zie Figuur 1). Doel hiervan was het tegengaan van bodemdaling op Schokland door verhoging van waterstanden om de karakteristieke hoogteligging van het voormalige eiland te bewaren en de archeologische resten van Schokland te beschermen. Momenteel worden plannen gemaakt voor het aanleggen van een beschermingszone ten zuiden van Schokland met nieuwe natuur en verhoging van waterstanden ter conservering van de archeologie.

Er wordt door agrariërs ten westen en noordwesten van Schokland melding gemaakt van natschade op hun percelen. Dit gebied is onderhevig aan bodemdaling als gevolg van oxidatie van veenbodems. De agrariërs geven aan dat de vernatting van hun percelen niet alleen door bodemdaling en intensievere neerslag wordt veroorzaakt, maar dat volgens hen ook de hydrologische zone bijdraagt aan de hoge waterstanden.

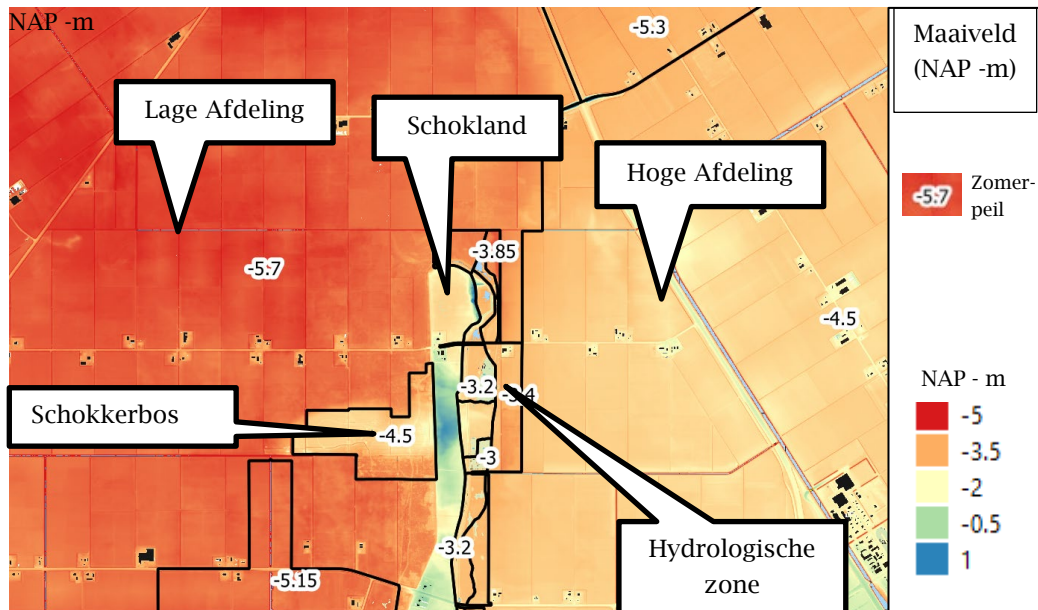
1.3 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied omvat de hydrologische zone, Schokkerbos, het hoge land en de percelen ten noordwesten van het Schokkerbos, grofweg tot aan de Nagelerweg (Figuur 1). Binnen het onderzoeksgebied zijn een drietal locaties ingericht waarbij de bodemstructuur, diep en ondiep grondwater, bodemvocht en oppervlaktewaterpeilen gedurende de onderzoeksperiode in kaart zijn gebracht (Figuur 1).



Figuur 1. Overzichtkaart onderzoeksgebied.

Tussen het gebied ten westen en oosten van de hydrologische zone (en Schokland) zit een significant hoogteverschil, zowel in maaiveldhoogte als in het gehanteerde oppervlaktewaterpeil (Figuur 2). Ten oosten van de hydrologische zone ligt de maaiveldhoogte ca. -3m NAP en hoger. Ten westen van de hydrologische zone neemt de maaiveldhoogte af van ca. -4m NAP net buiten de hydrologische zone tot ca. -4,9m NAP ter hoogte van de Nagelerweg.



Figuur 2. Maaiveldhoogte met peilgebieden (Bron: AHN).

1.4 Doelstelling

De doelstelling van het vernattingsonderzoek is tweeledig:

- Het in beeld brengen van de grondwaterstanden en waterpeilen in het gebied rondom Schokland Noord;
- Het in beeld brengen van de oorzaken van de vernatting ten noordwesten van Schokland.

Beide doelen dienen in onderlinge samenhang te worden gezien.

1.5 Leeswijzer

Het voorliggend rapport beschrijft de resultaten van 2 jaar veldonderzoek. De mogelijke oorzaken van de vernattingsproblematiek worden behandeld in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 beschrijft de waarnemingen en analyse van resultaten van het veldonderzoek. Hoofdstuk 4 vormt het slothoofdstuk waarin de samenhang tussen de resultaten uit het veldonderzoek wordt weergegeven en conclusies worden getrokken.

2 Mogelijke oorzaken in beeld

In dit onderzoek zijn 3 mogelijke oorzaken voor de vernatting beschouwd, te weten: **grondwater**, **oppervlaktewater** en **perceel** gerelateerde oorzaken. Voorbeelden hiervan zijn bodemdaling, wijzigingen in het waterbeheer in en rondom Schokland en bodemverdichting. In de praktijk hebben deze oorzaken een onderlinge samenhang. Om de vernatting te kunnen duiden, is elke mogelijke oorzaak afzonderlijk in beschouwing genomen. Zodoende kunnen de mogelijke oorzaken worden ontkracht, dan wel bevestigd. In dit hoofdstuk worden de mogelijke oorzaken nader toegelicht.

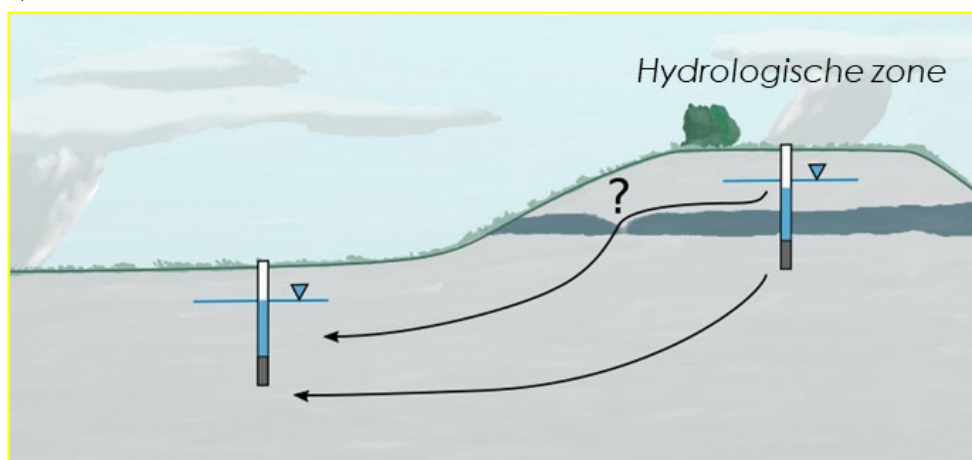
2.1 Grondwater

De werking van de aanwezige grondwatersystemen in het onderzoeksgebied kenmerkt zich door de aanwezigheid van hoge grondwater- en oppervlaktewaterstanden in het hoge achterland, ten oosten van het onderzoeksgebied. Door infiltratie in het hoge achterland, stijgt de grondwaterstand en de stijghoogte. Door de goede doorlatendheid van het systeem geeft dit een kweldruk op de flanken, zo ook bij de locatie Schokland.

Op locaties waar de deklaag dun is kan deze grondwaterstroming het eenvoudigst naar boven komen. In veel gevallen is dat ter plaatse van de sloot, maar bij **dunne deklagen**, zoals ter plaatse van zand opduikingen, kan ook daar kwel optreden.

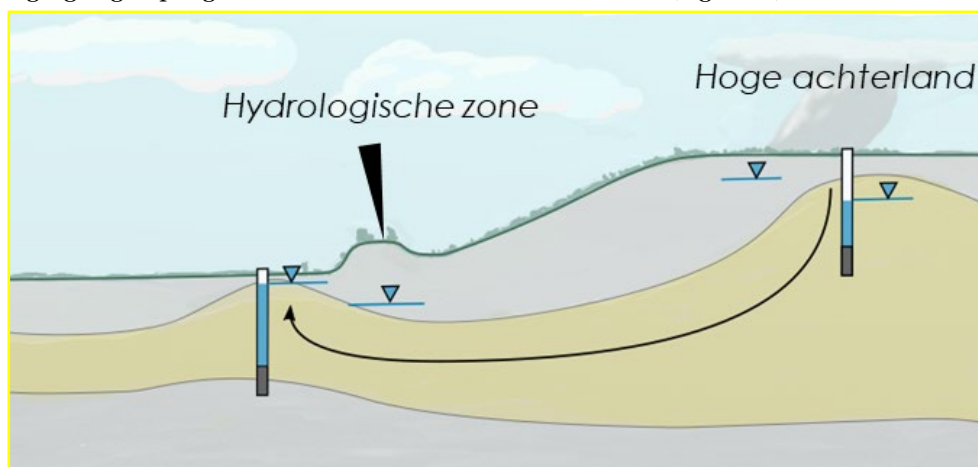
Op basis van de huidige analyse zijn er 2 hoger gelegen gebieden die kunnen leiden tot hoge grondwaterstanden op de percelen:

1. Nabij Schokland: in de hoger gelegen hydrologische zone is, door de hogere oppervlaktewaterpeilen, een hogere grondwaterstand in de ondiepe pakketten. Via de ondergrond stroomt het hoge grondwater naar de lagergelegen percelen (Figuur 3).



Figuur 3. Schematisatie grondwaterstroming vanuit hydrologische zone.

2. Vanuit het hoge achterland, resulteren (veel) hogere waterstanden tot een opbouw van waterdruk in de onderliggende zandlaag. Het grondwater stroomt onderlangs de hydrologische zone en het voormalige eiland Schokland en kwelt op in de lagergelegen peilgebieden in het westen en noordwesten (Figuur 4).



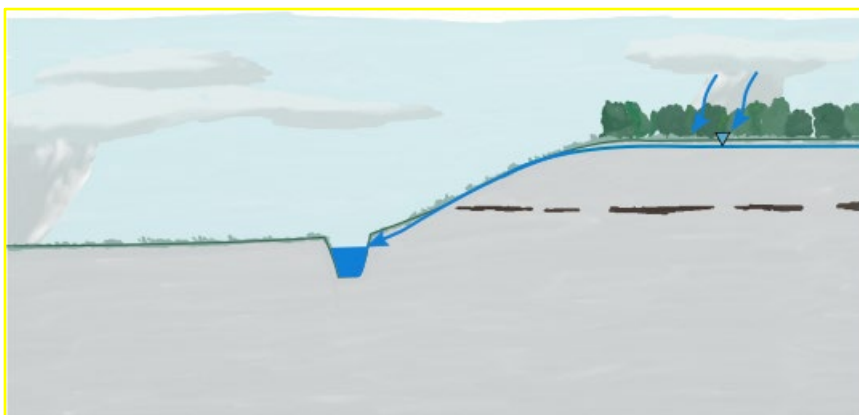
Figuur 4. Schematisatie grondwaterstroming vanuit het regionale systeem.

2.2 Oppervlaktewater

Het waterpeil in het oppervlaktewatersysteem stijgt als de aanvoer groter is dan er aan afvoer mogelijk is. Op basis van de huidige kennis zijn er verschillende locaties waar sprake kan zijn van een toename van wateraanvoer of een beperkte waterafvoer als mogelijke oorzaak van de vernatting.

2.2.1 Toename wateraanvoer

Het hanteren van een relatief lage stuwhoogte zorgt ervoor dat in de hydrologische zone slechts een geringe stijging in oppervlaktewaterpeilen mogelijk is en beschikbare bergingsruimte onvoldoende wordt benut. Tijdens hevige neerslag is er dan slechts beperkte mogelijkheid voor berging van water in het gebied zelf, zowel in de grotendeels al verzadigde bodem, als in het oppervlaktewater. Bij hevige neerslag komt de hydrologische zone hierdoor in korte tijd tot afvoer en belast daarmee de Vliegtuig-dtocht in het lager gelegen noordwestelijke gebied (Figuur 5). In welke mate dit optreedt is onbekend en afhankelijk van de beschikbare berging in het gebied.



Figuur 5. Schematisatie oppervlakkige afvoer vanuit hydrologische zone.

2.2.2 Beperkte waterafvoer

Naast een te grote aanvoer kan ook een te geringe afvoer aanleiding zijn voor te hoge oppervlaktewaterpeilen en wateroverlast veroorzaken. De afvoer wordt vaak beperkt daar waar veranderingen in stromingspatronen in een waterloop optreden, zoals bij kunstwerken, vernauwingen en scherpe bochten.

Tijdens de eerste fase van het gebiedsproces "Bodemdalingsgebied Zuidwest Emmeloord" zijn meerdere afvoerknelpunten geïdentificeerd, waarvoor Waterschap Zuiderzeeland concrete maatregelen in voorbereiding heeft:

- De remming van de afvoer van de Vliegtuigtocht en in het verlengde daarvan de Hannie Schafttocht op de Urkervaart;
- De Zuider d-tocht waar, als gevolg van peilstijgingen in de Bomentocht, enkele percelen moeilijk kunnen afwateren;



Bovendien worden duikers in de tochten bij groot onderhoud aan wegen zo nodig verruimd, om toekomstige knelpunten te voorkomen.

Omdat de knelpunten reeds geïdentificeerd zijn en opgelost worden, wordt dit aspect niet verder belicht in dit onderzoek.

2.3 Perceel

In het perceel zelf zijn mogelijk ook oorzaken voor de vernattingsoorzaken aanwezig, die al dan niet gerelateerd zijn aan bodemdaling. Daarbij kan worden gedacht aan (1) de natuurlijke variatie in de bodem zelf, (2) verdichting van de bodem en (3) drainage.

2.3.1 Natuurlijke bodemvariatie

Het onderzoeksgebied kenmerkt zich door een grote verscheidenheid aan ondergrondsamenstellingen. De mate waarin en de diepte waarop veen in de ondergrond voorkomt verschilt van perceel tot perceel, en zelfs binnen percelen kunnen grote verschillen aanwezig zijn. De grote verschillen in bodemsamenstelling, zowel in het horizontale als verticale vlak, kunnen leiden tot grote overgangen in doorlatendheden. Dit kan stagnatie van water op een minder doorlatende laag tot gevolg hebben en lokaal leiden tot hoge grondwaterstanden. Verslemping van de ondergrond op de veenlaag, een gevolg van het herhaaldelijk optreden van natte omstandigheden, kan dit probleem op termijn steeds verder doen toenemen. De natte plekken zelf worden steeds minder doorlatend door verdichting en een afname aan bodemleven en beworteling.

2.3.2 Bodemverdichting

In de huidige landbouw wordt de ondergrond steeds verder verdicht. Bijna de helft van de Nederlandse ondergrond is verdicht (overschrijdt de kritische dichtheid) en verwacht kan worden dat de verdichting nog toeneemt, zowel in voorkomen als in intensiteit.

Oorzaken van verdichting zijn divers, waarbij natte omstandigheden en zware machines vaak een grote rol spelen. De gevolgen, zoals slechtere doorlatendheid van de ondergrond en een afname van beworteling, worden in de praktijk nog weinig gerelateerd aan bodemverdichting¹. Verdichting en vernatting hebben in werkelijkheid een zeer nauwe relatie.

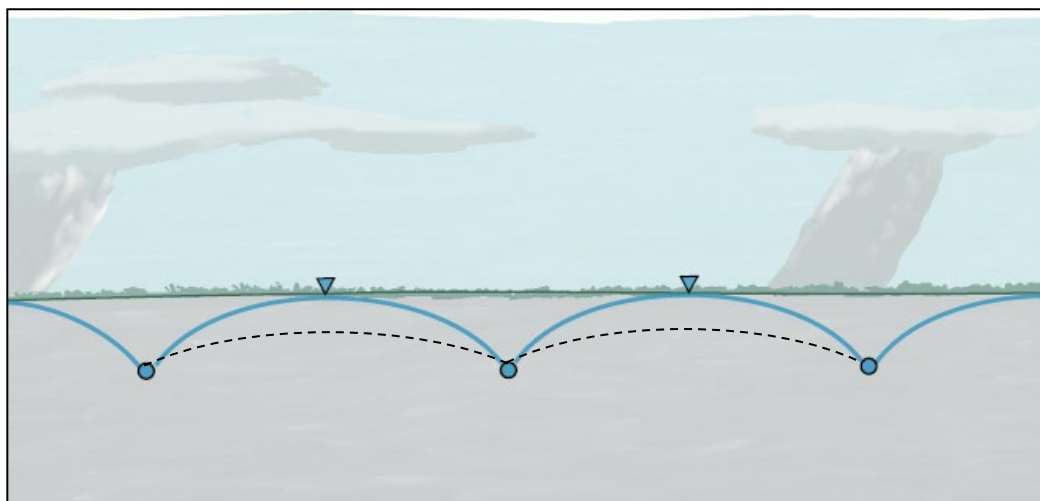
¹ Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, 2015. Hoe erg is ondergrondverdichting in de landbouw? Een samenvatting en conclusies uit onderzoek naar ondergrondverdichting. Bodem 3-2015, blz 42-44.

Landbewerking onder natte omstandigheden kan leiden tot een te grote belasting van de natte grond, met verdichting van de ondergrond tot gevolg. Door de verdichting wordt de afvoer vanuit het perceel verstoord, waardoor er nattere omstandigheden voorkomen. Deze neerwaartse spiraal is moeilijk te doorbreken, waardoor de oorzaak het gevolg wordt en andersom.

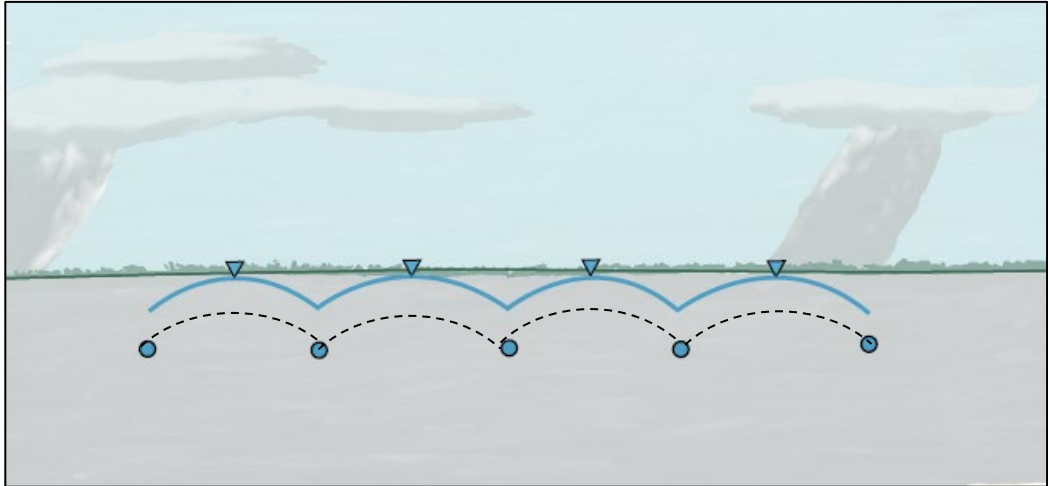
2.3.3 Drainage

Een goede aanleg en gedegen onderhoud van drainage zijn noodzakelijk om bij een steeds geringere drooglegging (als gevolg van maaiveldddaling) voldoende droge percelen te hebben. Er zijn enkele voorbeelden denkbaar waarbij drainage kan leiden tot natte percelen:

- De drainageafstand is te groot in relatie tot de drooglegging en de doorlatendheid van het perceel (Figuur 6). Tussen de drains is in deze situatie sprake van een onvoldoende afvoer en een grote opbolling.
- Water kan door de drainage niet voldoende worden afgevoerd, waardoor natte situaties ontstaan (Figuur 7). Redenen hiervoor kunnen zijn: hoge waterstanden in de sloten, verstopte drains, verdichte bodem rondom de drains, kapotte drains en ongelijke maaiveldddaling.



Figuur 6. Schematisatie van drainage bij slechte werking door te grote afstand van de drains (Stippellijn grondwaterstand bij juiste afstand).



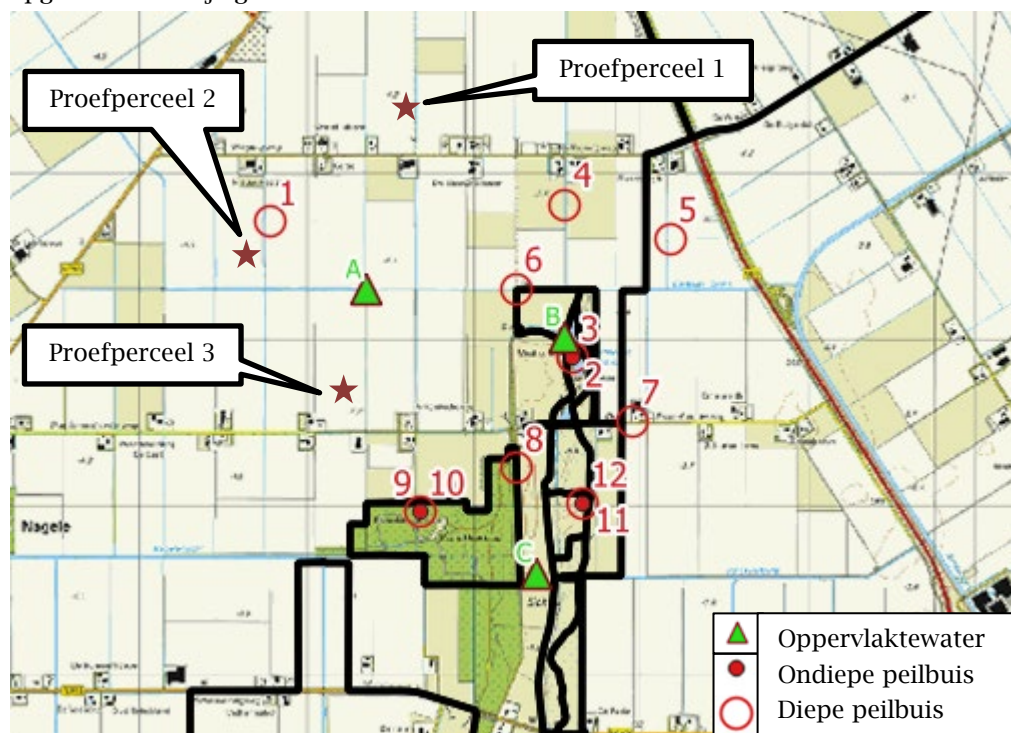
Figuur 7. Schematisatie van drainage bij slechte werking door beperking afvoer van de drains (Stippellijn grondwaterstand bij goed werkende afvoer).

3 Metingen

3.1 Meetlocaties

In het onderzoeksgebied zijn diverse meetlocaties voor de registratie van diep en/of ondiep grondwater, oppervlaktewaterpeilen en afvoeren (Figuur 8; Tabel 1). Een deel van de meetlocaties behoort toe aan het meetnet van Waterschap Zuiderzeeland en enkele andere meetlocaties zijn binnen dit onderzoek ingericht, zoals op drie percelen in het gebied. Op deze percelen is naast genoemde parameters ook gekeken naar de bodemstructuur en wordt bodemvocht gemeten op verschillende diepten.

Een uitgebreid overzicht van de meetresultaten op de proefpercelen is opgenomen in Bijlagen 1-3. De uitgewerkte analyses en beschrijvingen van bodemstructuur zijn opgenomen in Bijlagen 4-7.



Figuur 8. Locatie en naamgeving van de peilbuizen rondom Schokland Noord.

Tabel 1. Overzicht meetpunten en namen.

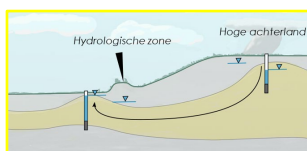
Nr. meetpunt kaart	Geregistreerde naam meetpunt (conform grafieken)	Raai	Diep/ondiep ² grondwater of Oppervlaktewater
1	20FN-238-02_hekwerk	1	Diep

² Diep en ondiep grondwater verwijst in deze context naar respectievelijk de stijghoogte en het freatisch grondwater.

2	21AN-017-01h		Ondiep
3	21AN-017-02	3	Diep
4	21AN-246-01	1	Diep
5	21AN-247-01	1	Diep
6	21AN-248-01h1	1 & 3	Diep
7	21AZ-177-01	2 & 3	Diep
8	21AZ-178-01	2	Diep
9	21AZ-179-01		Ondiep
10	21AZ-179-02	2	Diep
11	21AZ-102-01		Ondiep
12	21AZ-102-02		Diep ³
A	Peilmeting Vliegtuig-d-tocht (MP6095)		Oppervlaktewater
B	LT112		Oppervlaktewater
C	LT201		Oppervlaktewater

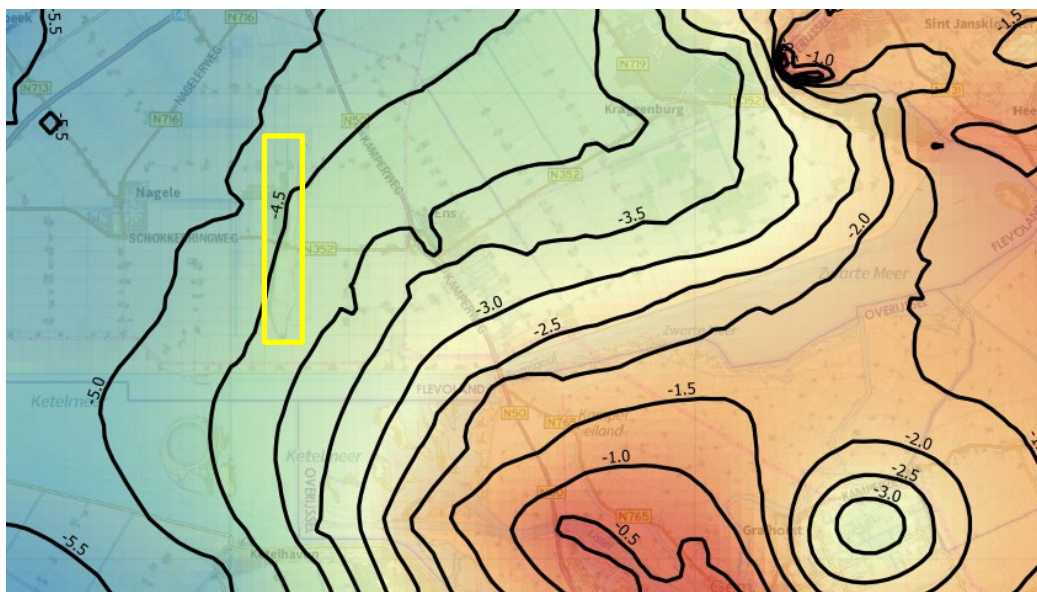
3.2 Grondwater

3.2.1 Regionaal grondwatersysteem



Het regionale grondwatersysteem in de Noordoostpolder staat onder invloed van het hoge achterland ten oosten van de polder. Het hoge achterland is hier een gebied dat verder reikt dan de Hoge Afdeling en zich naar hoger gelegen gebieden in het oosten (Figuur 9). De metingen van het diepe grondwater in het gebied maken het regionale stromingspatroon ook lokaal inzichtelijk. Het stromingspatroon is beschreven aan de hand van drie peilbuisraaien (Figuur 8, Tabel 1) en wordt ondersteund door een gebiedsdoorsnede (Figuur 9).

³ Aangezien de meetgegevens van deze diepe peilbuis een ondiepe grondwaterdynamiek reflecteren, mogelijk duidend op incorrecte/onvolledige plaatsing in het diepere zandpakket, is deze meetreeks buiten beschouwing gelaten en niet opgenomen in raai 2.



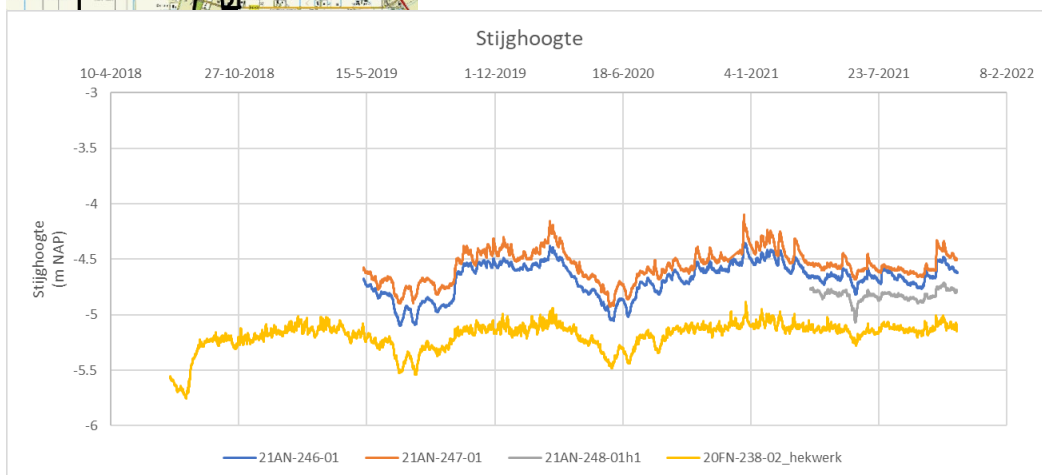
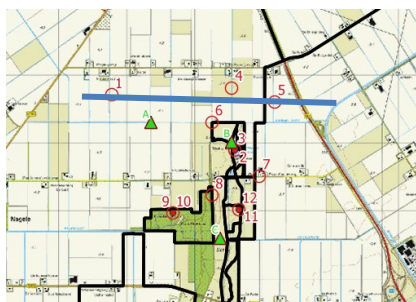
Figuur 9. Regionaal stromingspatroon (isohypsen) (Bron: <https://www.grondwatertools.nl/gwsinbeeld/>). De gele rechthoek geeft de locatie van Schokland weer.

De hoogteverschillen in de Noordoostpolder spelen een cruciale rol in de interactie tussen grondwater, bodemopbouw en landgebruik. De hoogteverschillen in de Noordoostpolder hebben een duidelijke grens ter hoogte van Schokland (Figuur 2). In paragraaf 3.4 wordt de invloed van de regionale stroming op de grondwaterstand en vochthuishouding in het perceel behandeld.

Grondwaterstroming in raai 1

Raai 1 toont een regionaal verhang en daarmee een grondwaterstroming in noordwestelijke richting (Figuur 10). Ter hoogte van de Kamperweg (Pb 21AN-247-01) bevindt het diepe grondwater zich op ca. -4.5m NAP, terwijl in noordwestelijke richting het diepe grondwater ter hoogte van proefperceel 2 (Pb 20FN-238-02) zich op ca. -5.2m NAP bevindt.

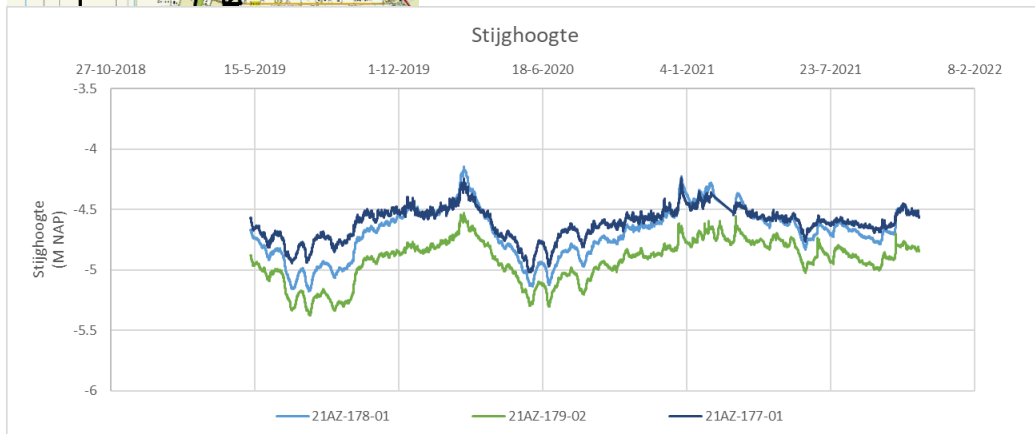
Bovendien tonen de meetpunten in raai 1 onderling een verschillende reactie op seizoens trends als neerslag en verdamping. Doordat de aanwezig deklaag ter plaatse van de meer oostelijk gelegen meetpunten dunner en onder invloed van zandige lagen is, zijn de effecten van neerslag en verdamping duidelijker aanwezig. Het zorgt voor een grotere fluctuatie van het diepe grondwater. Ter hoogte van proefperceel 2 is de deklaag dikker, waardoor het diepe grondwater minder onder invloed staat van seizoenseffecten en de fluctuatie beperkt is.



Figuur 10. Regionaal verhang in raai 1.

Grondwaterstroming in raai 2

In raai 2 is het verhang, door de relatieve korte afstand tussen meetpunten, kleiner. Echter ook hier is er verhang van ongeveer 50cm tussen de hoge afdeling, de hydrologische zone en het Schokkerbos (Figuur 11).



Figuur 11. Regionaal verhang in raai 2.

Grondwaterstroming in raai 3

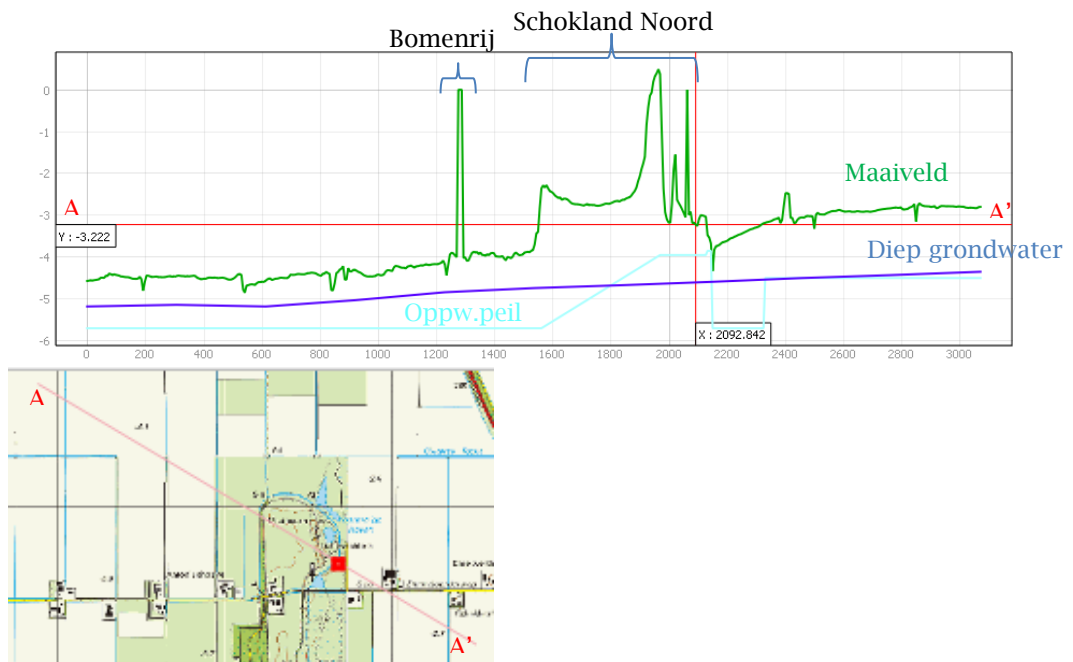
Het verhang in raai 3 (Figuur 12) tussen het meetpunt ten oosten van de hydrologische zone (Pb 21AZ-177-01) en ter hoogte van proefperceel 1 is ongeveer 85 cm. Dit bevestigt opnieuw de noordwestelijke stromingsrichting van het grondwater.



Figuur 12. Regionaal verhang in raai 3.

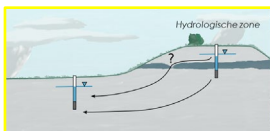
Gebiedsdoorsnede

Door de metingen van het diepe grondwater te combineren met de maaiveldhoogten en oppervlaktewaterpeilen, ontstaat een doorsnede van het gebied rondom de hydrologische zone (Figuur 13). Het diepe grondwater reageert hierbij onafhankelijk van het oppervlaktewaterpeil en bevindt zich ten westen van de hydrologische zone boven het oppervlaktewaterpeil. Dit duidt op de aanwezigheid van kwel. Bovendien valt op dat het verschil tussen maaiveld en diep grondwater ten westen ongeveer twee keer kleiner is dan ten oosten van de hydrologische zone.



Figuur 13. Gebiedsdoorsnede met oppervlaktewaterpeilen, diep grondwater en maaiveldhoogten.

3.2.2 Lokaal grondwatersysteem



Bovenstaande metingen geven een duidelijk regionaal stromingspatroon aan. Door in te zoomen op de hydrologische zone wordt duidelijk of de hydrologische zone ook invloed uitoefent op het diepe grondwater en er sprake is van lokale invloeden.

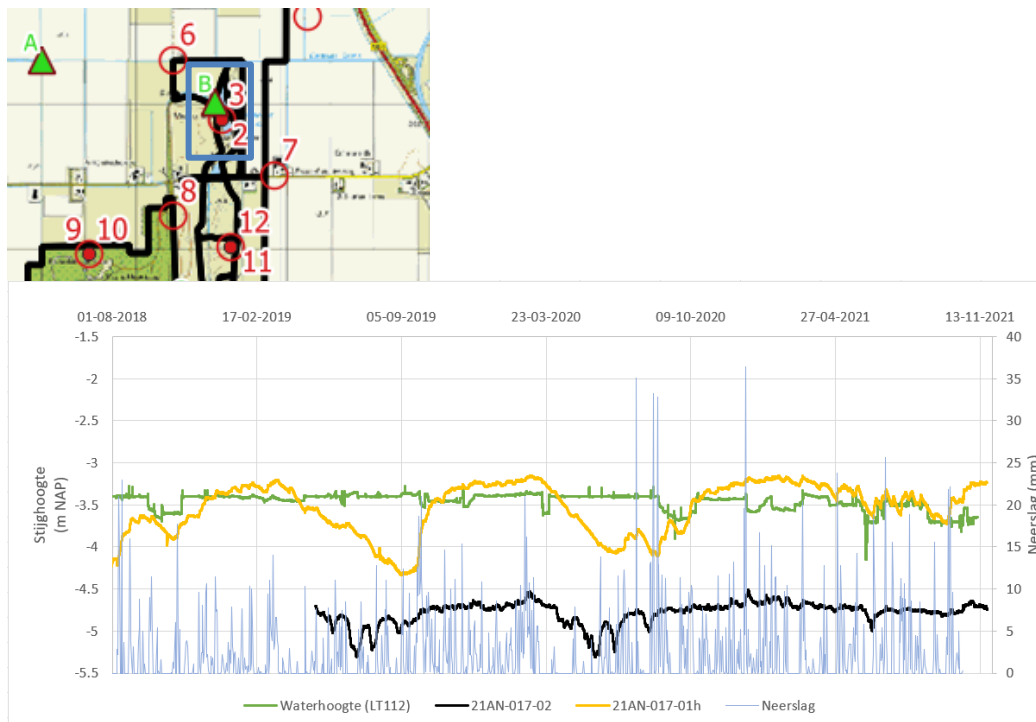
Hydrologische zone

Een mogelijke invloed van de hydrologische zone zou zich vertalen in het diepe grondwater buiten de hydrologische zone die daar (gelijk of) hoger zou zijn dan het diepe grondwater ten oosten van de zone. Vanuit de metingen in peilbuisraai 3 is een dergelijk patroon niet waar te nemen. Het diepe grondwater in de hydrologische zone (Pb 21AN-017-02) is lager dan het diepe grondwater ten oosten van de hydrologische zone (Pb 21AZ-177-01).

De patronen in diep grondwater in en nabij de hydrologische zone (peilbuisraaien 2 en 3; Figuur 11 en Figuur 12), komen overeen met de patronen in diep grondwater gemeten ten noorden van de hydrologische zone (peilbuisraai 1; Figuur 10). Bovendien toont peilbuisraai 2 geen verhoging in het diepe grondwater ter plaatse van de hydrologische zone, waaruit blijkt dat er geen invloed is van de hogere waterstanden op het diepe grondwater.

Het ontbreken van een relatie tussen oppervlaktewater en grondwater in de hydrologische zone, wordt zichtbaar door het waterpeil te vergelijken met neerslaggegevens en diep en ondiep grondwater (Figuur 14). De diepe grondwatermetingen volgen het patroon van neerslag en de seizoensale trends en reageren niet op verlagingen in het waterpeil zoals waargenomen in Augustus 2020 en gedurende verschillende perioden in 2021 (Figuur 14). Dit wordt verder ondersteunt door de ondiepe grondwaterstand die, gedurende de zomerperioden, onafhankelijk van

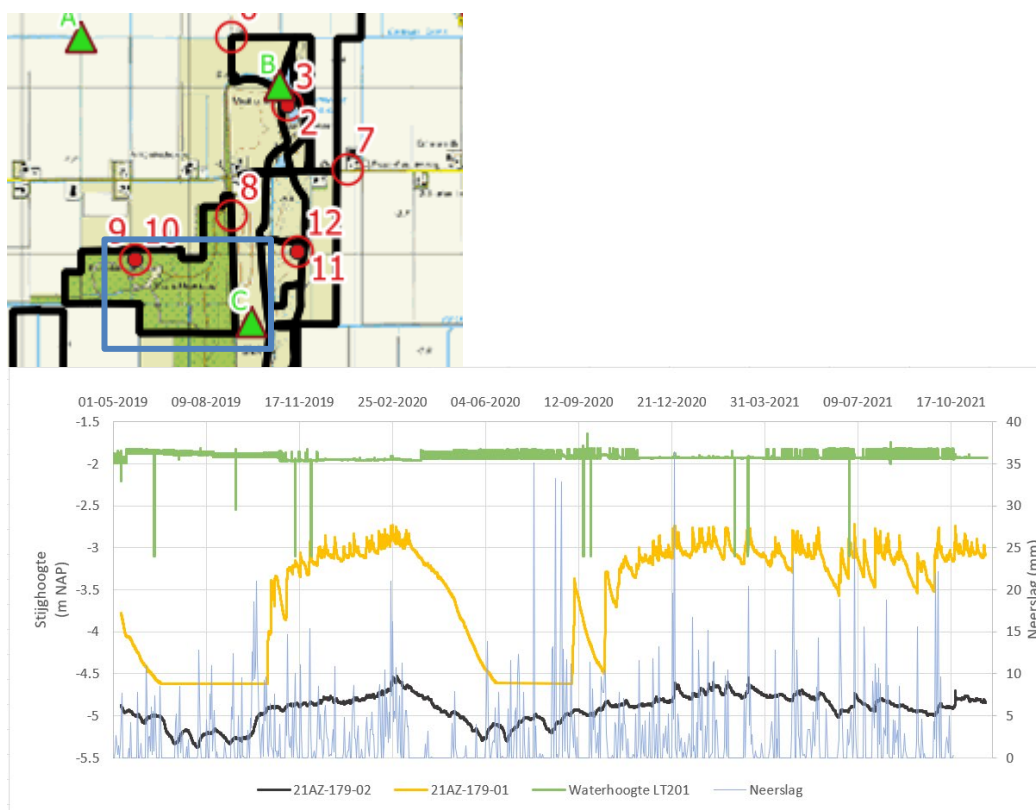
het hoge waterpeil uitzakt en enkel reageert op seizoenale trends van neerslag en verdamping.



Figuur 14. Waterpeil (LT112), neerslag, diep en ondiep grondwater ter hoogte van de hydrologische zone.

Schokkerbos

De waarneming in de hydrologische zone, dat het waterpeil en het diepe grondwater elkaar slechts beperkt beïnvloeden, lijkt ook voor het Schokkerbos te gelden. De grondwaterstand is niet gerelateerd aan het oppervlaktewaterpeil. Ook de grondwaterstand en het diepe grondwater vertonen geen significante relatie met elkaar (Figuur 15). Een toename in kwel door peilopzet in het Schokkerbos is daarmee niet waarschijnlijk.



Figuur 15. Waterpeil (LT201), neerslag, diep en ondiep grondwater ter hoogte van het Schokkerbos.

3.3 Oppervlaktewater

3.3.1 Inrichting watersysteem

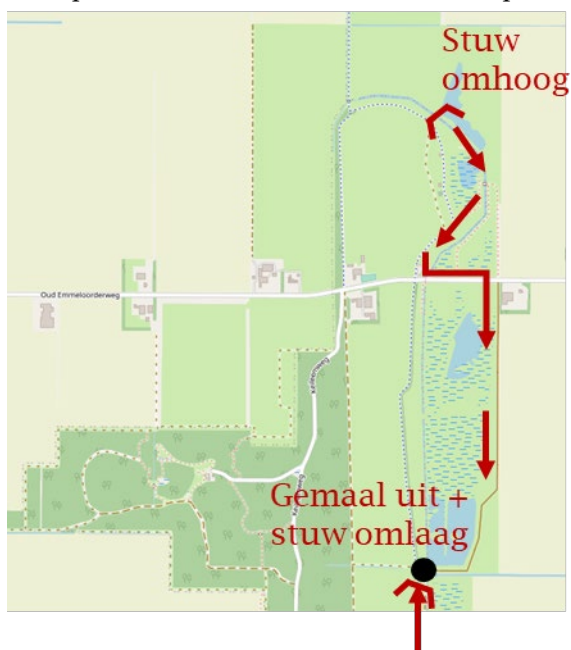
Het watersysteem in de Noordoostpolder wordt gekenmerkt door een Hoge afdeling (-4,5m NAP) en een Lage afdeling (-5,7m NAP), overeenkomstig het peilbeheer en hoogteligging van het landschap. De scheiding van deze afdelingen ligt grofweg ter hoogte van Schokland (Figuur 1).

Ten behoeve van bescherming van archeologische waarden van Schokland is sinds 2004 gewerkt aan de aanleg van de hydrologische zone: een zone met een hoog waterpeil. De hydrologische zone ontvangt water vanuit de Schokkertocht. Het water wordt binnen de hydrologische zone met verschillende pompen in drie richtingen verspreid: Noord, Schokkerbos en Zuid (Figuur 16). In de hydrologische zone wordt het oppervlaktewaterpeil opgevoerd tot -2,65m NAP en loopt getrapt af via 4 stuwen naar -3,85m NAP.



Figuur 16. Watersysteem in het noordelijk deel van de hydrologische zone gedurende normale situatie.

De waterpartijen in de hydrologische zone worden gevoed vanuit de centrale aanvoersloot. Onder normale omstandigheden wordt overtollig water uit neerslag en aanvoer doorgevoerd richting in het noorden gelegen landbouwgronden om zo te voldoen aan de watervraag in het gebied. In de periode vóór 2018, werd bovendien bij grote neerslaghoeveelheden overtollig water afgevoerd op de vliegtuig-d-tocht. De relatief lage stuwhoogte die in deze periode in de centrale aanvoersloot werd gehanteerd, zorgde ervoor dat slechts een geringe stijging van het oppervlaktewater in de hydrologische zone mogelijk was. Neerslag kon hierdoor beperkt in het gebied zelf geborgen worden en het teveel aan water werd zodoende via een overstort ten noorden van de hydrologische zone op de vliegtuig-d-tocht afgevoerd. Het waterpeil in de vliegtuig-d-tocht werd hierdoor extra belast, wat ook van invloed kan zijn geweest op het waterpeil in de kavelsloten die uitkomen op de Vliegtuig-d-tocht en de Vliegtuigtocht.



Figuur 17. De aangepaste omleidingsroute in waterstroming bij grote neerslaghoeveelheden.

Bij extremen wordt sinds 2018 gebruik gemaakt van een omleidingsroute (Figuur 17). Grote neerslaghoeveelheden voeren sindsdien niet langer af via de vliegtuig-d-tocht,

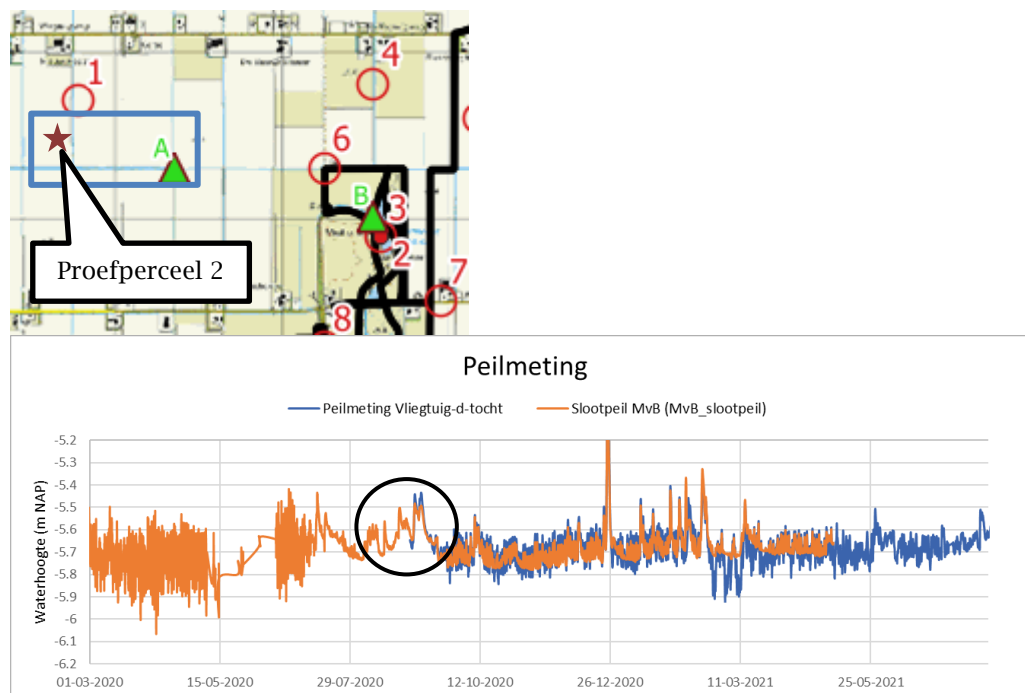
maar voeren via de wegsloot van de Oud-Emmeloordweg en een kavelsloot terug richting de Schokkertocht. De aanpassing in het watersysteem heeft tot doel wateroverlast op de lagergelegen landbouwgronden ten noordwesten van de hydrologische zone bij hevige of langdurige neerslag te verminderen.

3.3.2 Oppervlaktewaterpeilen

Diverse peilmetingen in kavelsloten zijn uitgevoerd om een mogelijke relatie te leggen tussen waargenomen vernatting en het oppervlaktewaterpeil. De peilmetingen zijn vergeleken met metingen in de hoofdwatgang (i.e. Vliegtuigtocht).

De metingen tonen aan dat er een sterke relatie bestaat tussen de kavelsloot en de hoofdwatgang. Dit omdat de kavelsloot door de geringe drooglegging altijd watervoerend is en in direct contact staat met het peil in de Vliegtuigtocht. Pieken in waterstanden en dagelijkse fluctuaties in het oppervlaktewaterpeil komen overeen, waarbij de amplitude in dezelfde range ligt (Figuur 18). Vanaf juli 2020 is een duidelijke verandering in fluctuatie van het waterpeil in de kavelsloot te onderscheiden, waarbij de fluctuatie van het waterpeil op dag basis beperkt blijft tot ca. 0,2m in vergelijking met 0,4m in de periode daaraan voorafgaand. De afname in peilfluctuatie is vooralsnog onverklaarbaar.

Op basis van de metingen blijkt verder dat de afvoer van water vanaf de kavelsloot op de hoofdwatgang over het algemeen op een adequate manier kan plaatsvinden. Er zijn enkele pieken waar te nemen, die overeenkomen met perioden van (langdurige) regenval.



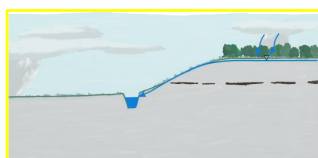
Figuur 18. Oppervlaktewaterpeil in de kavelsloot ter hoogte van proefperceel 2 en hoofdwatgang (Vliegtuig-d-tocht). De zwarte cirkel toont de periode met vertraagde afvoer ten gevolge van begroeiing van de watgang.

Tijdens een veldwerkbezoek op 20 september 2020 is in één van de kavelsloten een verhang van enkele decimeters in het waterpeil geconstateerd tussen het waterpeil van de vliegtuig-d-tocht en het waterpeil aan het einde van de kavelsloot. Deze verhoging kan meerdere oorzaken hebben, maar de exacte oorzaak is op basis van de metingen

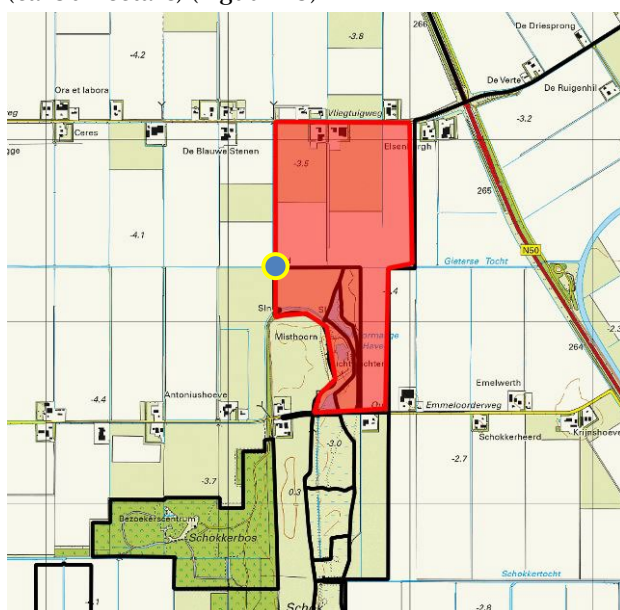
niet vast te stellen. Een hoog waterpeil in de kavelsloot heeft gevolgen voor de vrije uitstroom van water uit de percelen. Deze kan belemmerd worden wanneer het waterpeil zich boven de drainage-uiteinden bevindt (zie paragraaf 3.4.5).

Uit de metingen van medio september 2020 is verder een periode van vertraagde afvoer waar te nemen, zowel in de kavelsloot als de hoofdwatgang (Figuur 18). De vertraagde afvoer is mogelijk gerelateerd aan begroeiing van de (hoofd-)watergangen.

3.3.3 Waterafvoer



Waterafvoer uit het noordelijk deel van de hydrologische zone naar de vliegtuig-d-tocht wordt gereguleerd aan de hand van een stuw en een overstort. Sinds 2018 is de gangbare afvoer van overtollig water bij grote neerslaghoeveelheden niet langer via de overstort, maar middels een omleidingsroute terug naar de Schokkertocht (Figuur 17). Binnen dit onderzoek zijn afvoermetingen uitgevoerd aan de overstort vanuit de hydrologische zone en aan de stuw waarover het water de vliegtuig-d-tocht instroomt. Deze stuw watert zowel een deel van de landbouwgrond direct ten noorden van de hydrologische zone als ook een hoeveelheid water uit het noorden van de hydrologische zone zelf af (ca. 90 hectare) (Figuur 19).

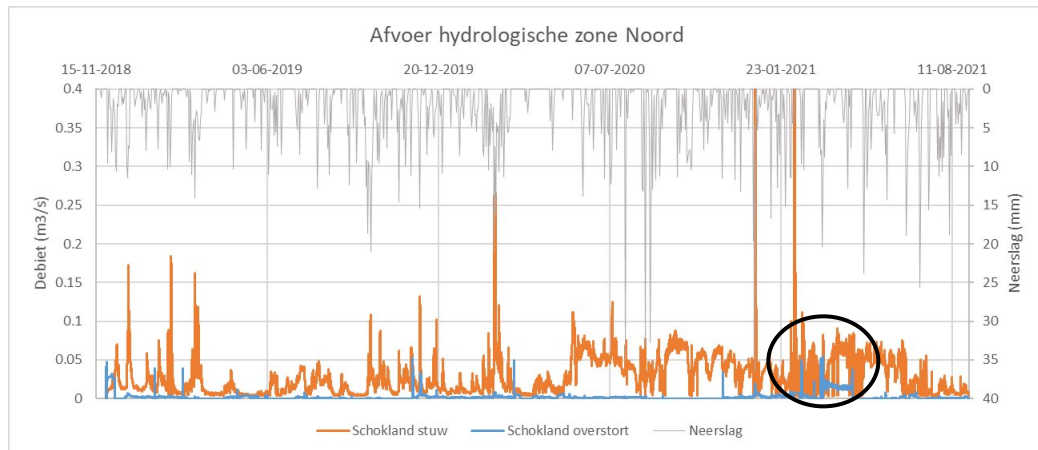


Figuur 19. Afvoergebied stuw ten noorden van de hydrologische Zone (Blauwe cirkel: locatie stuw en overstort).

Afvoermetingen stuw en overstort

De afvoermetingen aan de overstort tonen dat, sinds de start van de metingen in het najaar van 2018, de overstort afgezien van enkele kleine pieken, in de periode rond maart 2021 langere tijd heeft gefunctioneerd (Figuur 20). Dit hangt samen met een periode van langdurige neerslag en gerelateerde hoge afvoer over de stuw in de vliegtuig-d-tocht. De periode van hoge afvoeren komt bovendien overeen met waargenomen wateroverlast en hoge grondwaterstanden in het onderzoeksgebied, zoals bijvoorbeeld op proefperceel 2 (Figuur 23). Het toont dat het samenvallen van neerslag, hoge afvoer en resulterende stijging van waterpeilen een belemmerende factor kan vormen voor de afvoer van water uit percelen.

Verder blijkt uit de metingen dat het debiet over de stuw in 2019 en de eerste helft van 2020 significant lager is dan in de tweede helft van 2020 en 2021. Dit relateert aan de neerslaghoeveelheden, met een droge zomer in 2019, een droge winter en voorjaar in 2020, gevolgd door normale neerslaghoeveelheden in de daaropvolgende perioden.

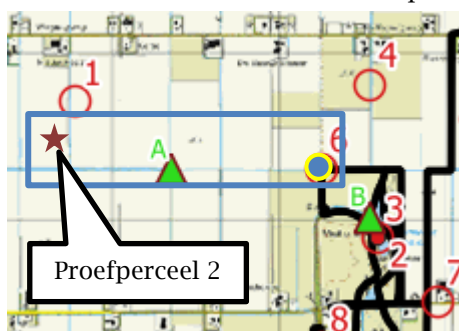


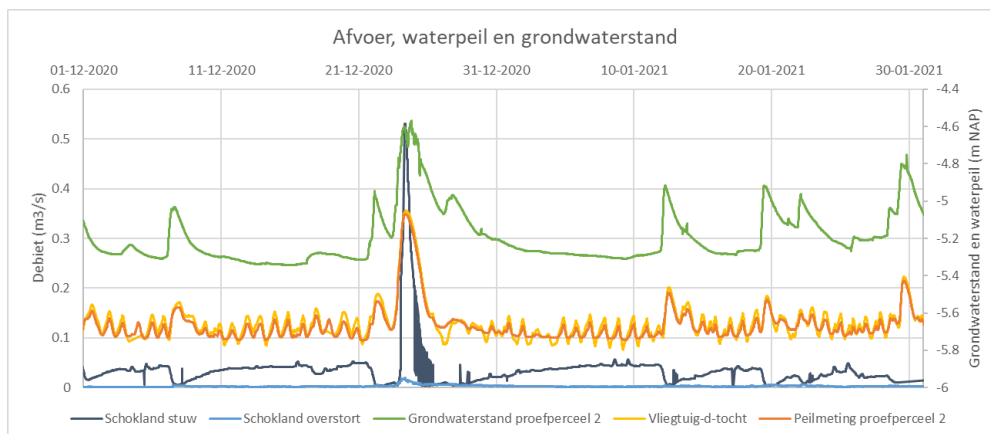
Figuur 20. Afvoer ten noorden van de hydrologische zone, zoals gemeten ter hoogte van de stuw in de vliegtuig-d-tocht en de overstort. De zwarte cirkel toont een periode van langdurige overstort en hoge afvoer in maart 2021.

Relatie afvoer, waterpeilen en grondwaterstand

Door de afvoermetingen te vergelijken met het waterpeil in de vliegtuig-d-tocht en de grondwaterstand ter hoogte van proefperceel 2, blijkt dat er een sterke samenhang is tussen de mate van afvoer, de stijging van het waterpeil en een verhoging van de grondwaterstand (Figuur 21). Neerslag leidt tot een hoge afvoer en resulteert samen met de afvoer uit de landbouwgronden in een stijging van grondwaterstand en oppervlaktewaterpeil.

Wanneer we aannemen dat de stuw in de winter enkel het water afkomstig van de landbouwgronden en het noorden van de hydrologische zone afvoert (90 hectare red.), is de gemeten afvoer over de stuw op 24 en 25 december 2020 gedurende een periode van 33uur gemiddeld 0,29 m³/s (Figuur 21). Dit staat gelijk aan een hoeveelheid water van 27,8 mm per dag, welke hoger is dan de gangbare ontwerpafvoer van 10 mm per dag vanuit drainage in de Zuidelijke IJsselmeerpolders (Figuur 21). De afvoer komt hierbij overeen met de gemeten neerslag in deze periode van 38 mm en staat in de juiste verhouding met het afvoerend oppervlak. Figuur 22 toont daarbij dat ten tijde van de afvoerpiek, de stuw in het noorden van de hydrologische zone geen water afvoert. Dit is conform de beschreven beheeraanpassing in paragraaf 3.3.1.



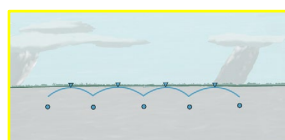


Figuur 21. Afvoer ten noorden van de hydrologische zone vergeleken met de oppervlaktewaterpeilen in de vliegtuig-d-tocht, kavelstoot en grondwaterstand op proefperceel 2.



Figuur 22. Opgetrokken stuw ter hoogte van de hydrologische zone op 25 december 2020. Het bovenstroomse gebied watert hierdoor niet af op de vliegtuig-d-tocht.

3.4 Perceel

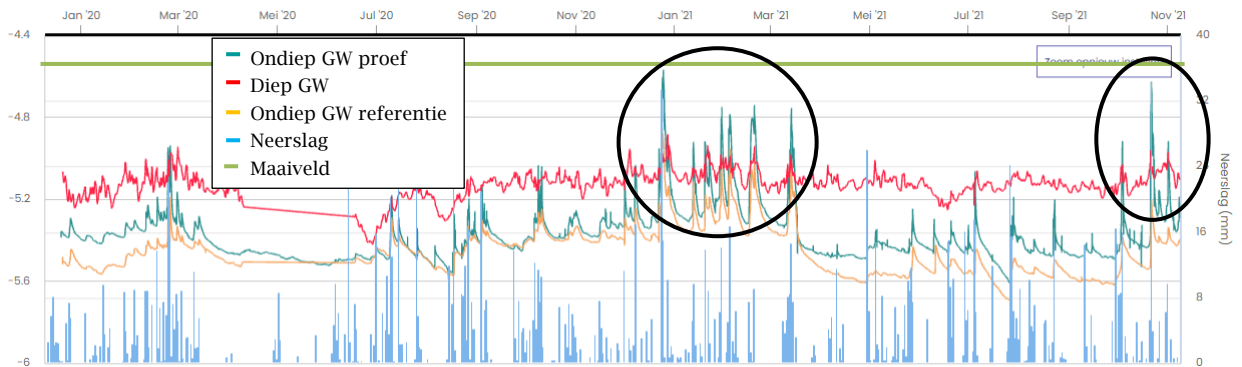


Op verschillende locaties in het onderzoeksgebied is gedurende de onderzoeksperiode meermaals in detail gekeken naar de bodemstructuur om eventuele bodem gerelateerde oorzaken van vernatting te identificeren, dan wel de impact van de vernatting op de bodemstructuur te bepalen. Op aanwijzing van de betrokken agrariërs zijn hierbij zowel de in hun ogen 'goede' als 'slechte' plekken onderzocht. Op deze plekken binnen het perceel zijn ook de grondwaterstand- en bodemvochtmetingen uitgevoerd (zie Bijlagen 1-3). In onderstaande grafieken refereert 'proef' naar de slechte plekken en 'referentie' naar de goede plekken. Uitgebreide bodembeschrijvingen zijn opgenomen in Bijlagen 4-7.

3.4.1 Grondwaterstand

Kweldruk

Het regionale verhang resulteert in de aanwezigheid van permanente kwel in het gehele gebied ten noorden van Schokland, waarbij het diepe grondwater, op enkele neerslagpieken na, gedurende het hele jaar boven het ondiepe grondwater ligt. Dit is terug te zien in de metingen op proefperceel 2 en 3 (Figuur 23 en Bijlagen 1 en 3).



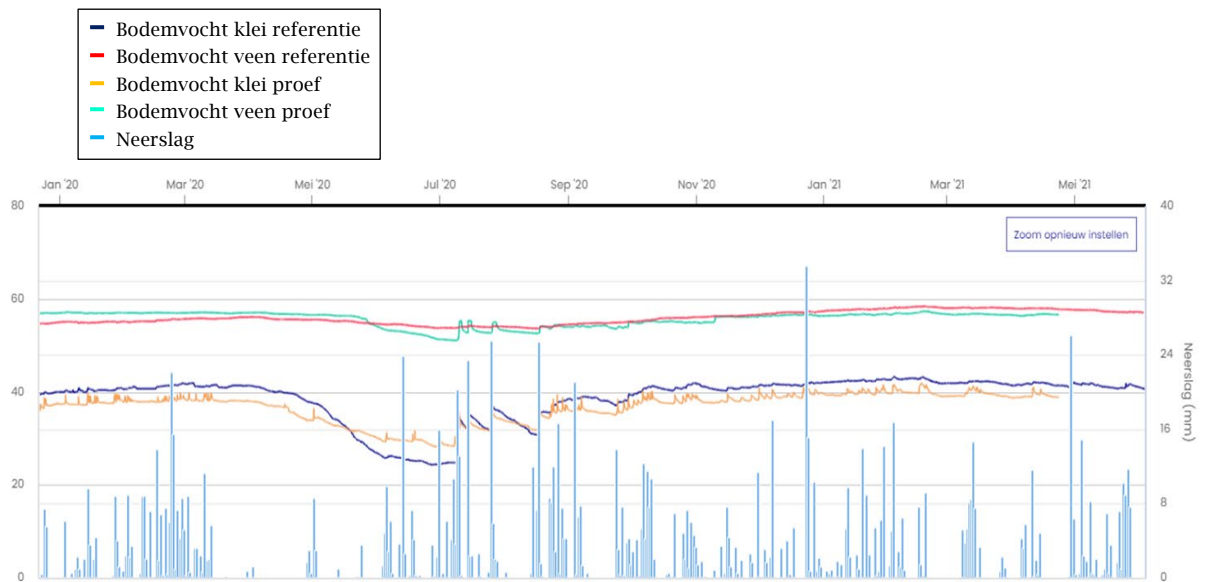
Figuur 23. Ondiep en diep grondwater gemeten op proefperceel 2. De zwarte cirkels tonen de perioden met beperkte ontwateringsdiepte. De groene lijn toont de hoogte van het maaiveld.

Ontwateringsdiepte

De aanwezige kweldruk resulteert in relatief hoge grondwaterstanden op het perceel en beperken het (ver) uitzakken van de grondwaterstanden in de zomerperiode. Uit metingen van de grondwaterstanden in het gebied blijkt dat de ontwateringsdiepte, het verschil tussen grondwaterstand en maaiveld beperkt is en periodiek voor vernatting kan zorgen. Op proefperceel 2 is de geringe ontwateringsdiepte zichtbaar in de late winter, voorjaar en najaar van 2021 (Figuur 23). De ontwateringsdiepte kent in deze periode uitschieters tot 0-0,3m onder maaiveld. In de overige perioden is de ontwateringsdiepte ca. 0,8-1,0m, welke vergelijkbaar is met de ontwateringsdiepte op andere percelen in het gebied (Bijlagen 1 en 3). Oftewel: de grondwaterstand bevindt zich niet dieper dan 0,8-1,0m beneden maaiveld. Enkel tijdens langdurige perioden van beperkte neerslag, zoals de zomer van 2019 en 2020 zakt de grondwaterstand uit. Gedurende de zomer van 2021 is dit slechts zeer beperkt waargenomen.

3.4.2 Bodemvocht

De hoge grondwaterstanden en geringe ontwateringsdiepte hebben effect op het bodemvochtgehalte in de onverzadigde zone. Uit de bodemvochtmetingen blijkt dat de veenlaag op een diepte van ca. 0,7m-mv ter plaatse van de vernatte plekken over het gehele jaar rond verzadigingsniveau blijft en beperkt uitdroogt (Figuur 24 en Bijlagen 2 en 3). Afgezien van de zomerperiode en gerelateerde verdamping, blijven ook de ondiepere kleilagen (ca. 0,4m-mv) vochtig. Op proefperceel 1 geldt dit zowel voor de vernatte plekken, als de referentielocatie (Figuur 24).

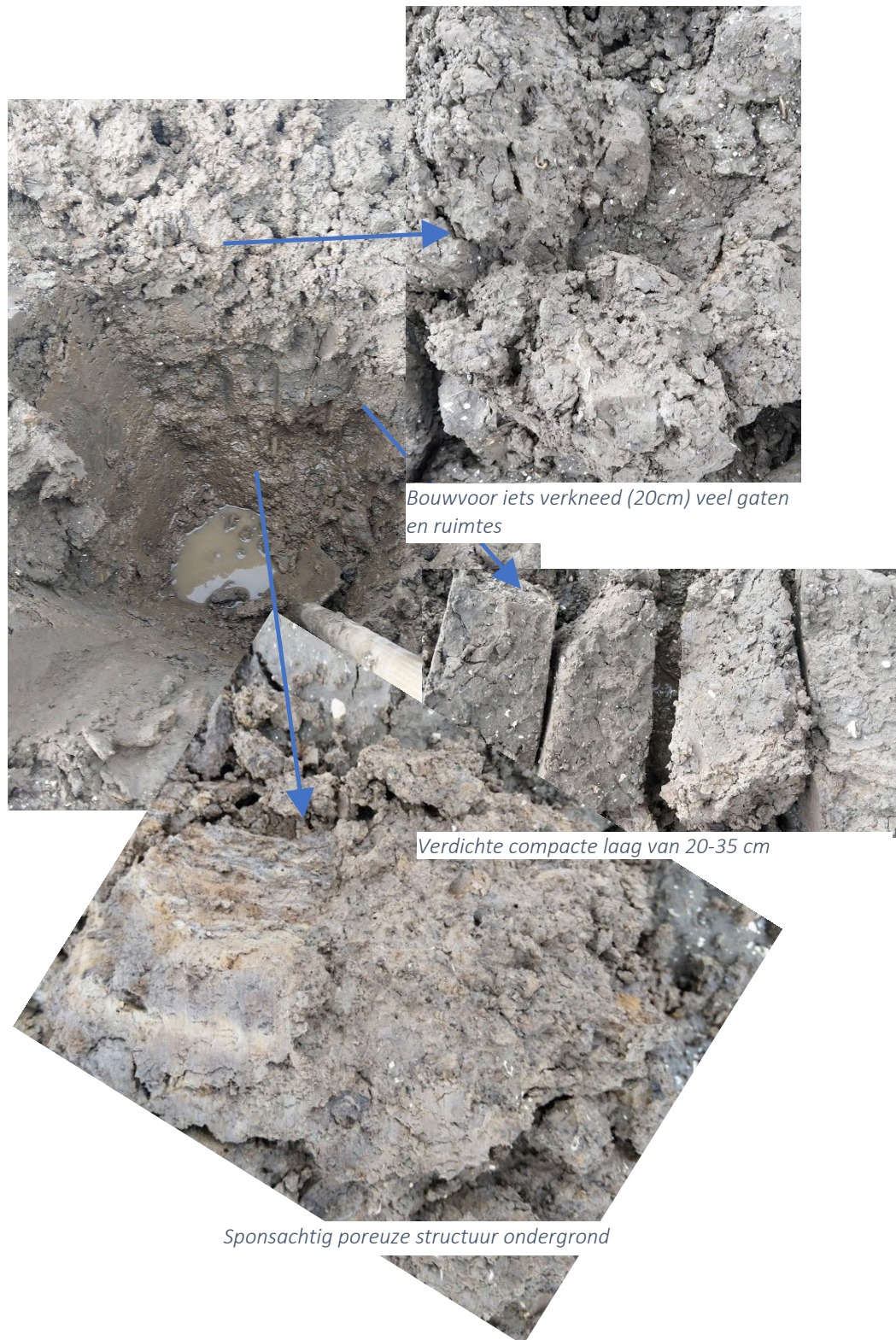


Figuur 24. Bodemvochtmetingen op proefperceel 1.

3.4.3 Bodemstructuur

De bodemanalyses reflecteren het beeld dat op basis van de hoge grondwaterstanden en de tot hoog in het profiel verzadigde bodem is ontstaan. De bouwvoor is op sommige plekken verkneed, maar desondanks zijn er veel gaten (wormen en bewerking) en ruimtes aanwezig. Dit duidt op een goed poriënvolume en capaciteit om water te bergen.

De laag direct onder de bouwvoor vertoont op verschillende, zowel op de voor agrariërs aangeduide 'goede' als 'slechte', locaties tekenen van permanente verzadiging en zuurstofloze omstandigheden (blauwe kleur). Bovendien is hier, soms zelfs op korte afstand van elkaar, een vaste en min of meer verdichte laag te onderscheiden (Figuur 25). Teken van verdichting, permanent verzadiging en zuurstofloze omstandigheden betekenen dat er een beperkte doorlatendheid aanwezig is en de bodem vaak (te) nat is. Dit belemmert de waterafvoer uit het perceel. De verschillen in bodemstructuur tussen de 'goede' en 'slechte' plekken zijn bovendien klein.



Figuur 25. Uitsnede van de analyse naar bodemstructuur op proefperceel 2.

Op meerdere locaties is onder de bouwvoor een sterke laagstructuur in de bodem aangetroffen. Op de meest lichte laagjes zitten veel fletse en verwaterde roestsporen, een teken van hoge vochtgehalten én aanwezigheid van lucht of eigenlijk zuurstof. (Figuur 26). De tussenliggende kleilaagjes bevatten ook veel roestverschijnselen en vertonen eveneens een blauwgrijze kleur (zuurstofloos, natte omstandigheden).



Figuur 26. Gelaagde en poreuze ondergrond met duidelijke roestverschijnselen rondom wortelgangen.

3.4.4 Landbewerking

De aanwezigheid van een grote variatie aan bodemopbouw, zelfs op korte afstand in een perceel, in combinatie met een hoog bodemvochtgehalte, vormen een uitdaging voor landbewerking. Uit bodemvochtmetingen blijkt dat de bodem pas vanaf ongeveer half mei begint uit te drogen en tot en met augustus laag genoeg blijft (Figuur 24). Het aantal bewerkbare dagen, waarop het bodemvochtgehalte geschikt is voor bewerking en draagkracht toereikend voor zware akkerbouwmachines, is hierdoor beperkt. Dit wordt ondersteund door de matige tot slechte bodemstructuur en aanwezigheid van veel compacte en verdichte lagen onder de bouwvoor.

3.4.5 Oppervlaktewater

Uit observaties van de kavelsloten ten noorden van Schokland blijkt dat opstuwning in de kavelsloot regelmatig voorkomt. Dit is terug te zien in het samengedrukte riet aan de slootkanten, maar ook in hoogte waarop kroos en waterplanten aan de slootkant zijn afgezet (Figuur 27). De waargenomen opstuwning tussen begin en einde van de kavelsloot varieert van 30 cm ten noorden van de Vliegtuig-d-tocht tot 50 cm in een bermsloot langs de Nagelerweg. Op het moment van de observaties waren de kavelsloten ogenschijnlijk goed onderhouden, zonder sterke begroeiing van riet. In het water waren daarentegen veel waterplanten aanwezig.



Figuur 27. Samengedrukt riet, kroos en waterplanten tot 20 á 30 cm boven het waterpeil.

Opstuwning van water in de watergang kan ervoor zorgen dat de afvoer van water uit het perceel belemmerd wordt. Zo is in Figuur 28, naast de oliefilm die duidt op aanwezigheid van kwel, te zien dat het kroos zich aan de waterkant tot boven de drainagebuis heeft afgezet.



Figuur 28. Kroos en waterplanten tot boven de drainagebuis. Het water bevat een oliefilm dat duidt op aanwezigheid van kwel.

4 Synthese

Regionaal grondwater

De landbouwgronden ten westen en noorden van de hydrologische zone zijn onderhevig aan permanente kwel veroorzaakt door de aanwezigheid van een regionaal stromingspatroon in noordwestelijke richting afkomstig uit het hoge achterland. Op basis van metingen kan geconcludeerd worden dat er geen aantoonbaar effect is van de hydrologische zone op de lokale, dan wel regionale grondwaterstanden. Het regionale stromingspatroon is dominant.

Lokaal grondwater

De aanwezige kweldruk resulteert in relatief hoge grondwaterstanden en beperken het (ver) uitzakken van de grondwaterstanden in de zomerperiode. Op de landbouwgronden zorgt dit periodiek voor beperkte ontwateringsdiepte, met name in de winter en het voorjaar.

Oppervlaktewater

In een omgeving waar grondwaterstanden van nature hoog zijn, is het belang van een goed functionerend oppervlaktewatersysteem groot. Aanpassingen aan de directe afvoer van overtollig water uit de hydrologische zone in de vliegtuig-d-tocht, hebben geresulteerd in een vermindering van de in het gebied ervaren wateroverlast. Gezien de directe relatie tussen waterpeilen in de kavelsloot en de hoofdwatgang, is het aannemelijk dat directe afvoer de waterpeilen in de vliegtuig-d-tocht en de kavelsloten in het verleden tijdelijk heeft verhoogd.

Uit peilmetingen en observaties in het gebied blijkt dat, ook na het realiseren van een omleidingsroute van waterafvoer in de hydrologische zone, waterpeilen in de kavelsloten tijdens perioden van hoge afvoer stijgen. Hoge waterpeilen in de kavelsloten kunnen de afvoer van water uit percelen belemmeren en wateroverlast en vernatting op het perceel versterken.

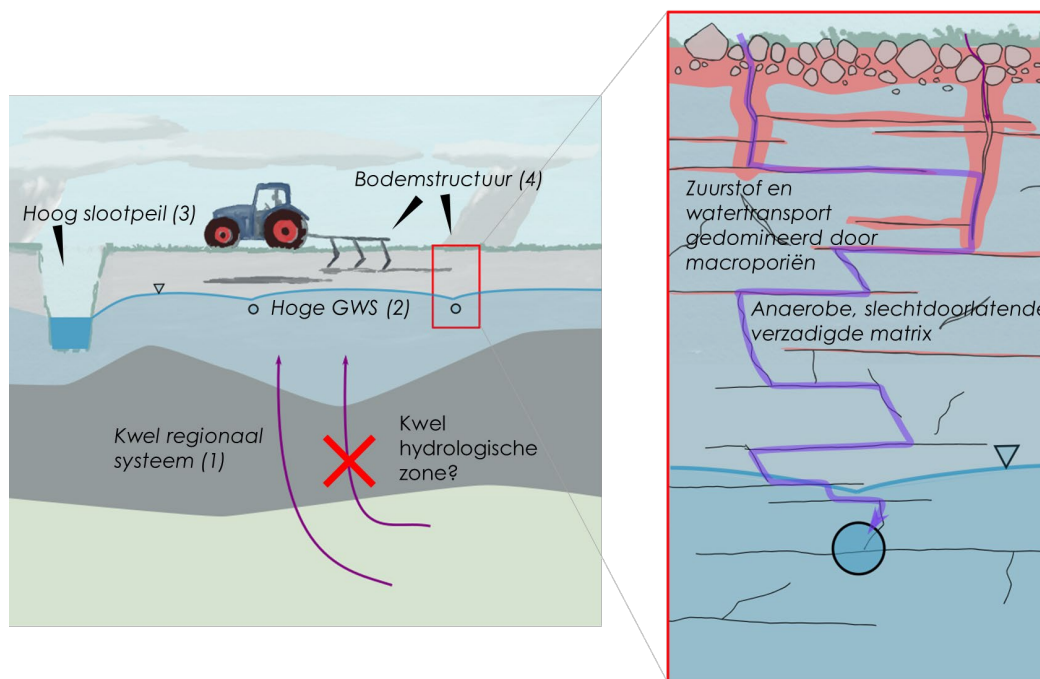
Perceel

De aanwezige kweldruk en relatief hoge grondwaterstand resulteren in een tot hoog in het profiel verzadigde bodem. Bodemvochtmetingen op verschillende plekken in het onderzoeksgebied tonen voor grote delen van het jaar verzadigde bodemprofielen. Hierdoor is de buffer, om water tijdens perioden van neerslag op te slaan, klein.

Om wateroverlast en vernatting te voorkomen is er een uitweg voor het water nodig. Door de aanwezige kweldruk is dit echter niet mogelijk via het diepere grondwatersysteem. De enige route die, naast onwenselijke oppervlakkige afstroming, overblijft is afvoer via het drainagesysteem.

De afvoer naar het drainagesysteem wordt in het gebied belemmerd door een complexe bodemopbouw met sterke laagstructuur. De gelaagdheid in zowel de klei met zandlaagjes als het veen zelf, resulteren in een geringe verticale doorlatendheid en

geringe stromingsmogelijkheden richting het drainagesysteem. De grote verscheidenheid in bodemopbouw, zelfs op korte afstand in een perceel, zorgt voor een fragiel systeem waarin snel verstoringen, zoals verdichting, optreden. Zorgvuldige landbewerking kan deze problematiek beperkt houden, maar niet voorkomen.



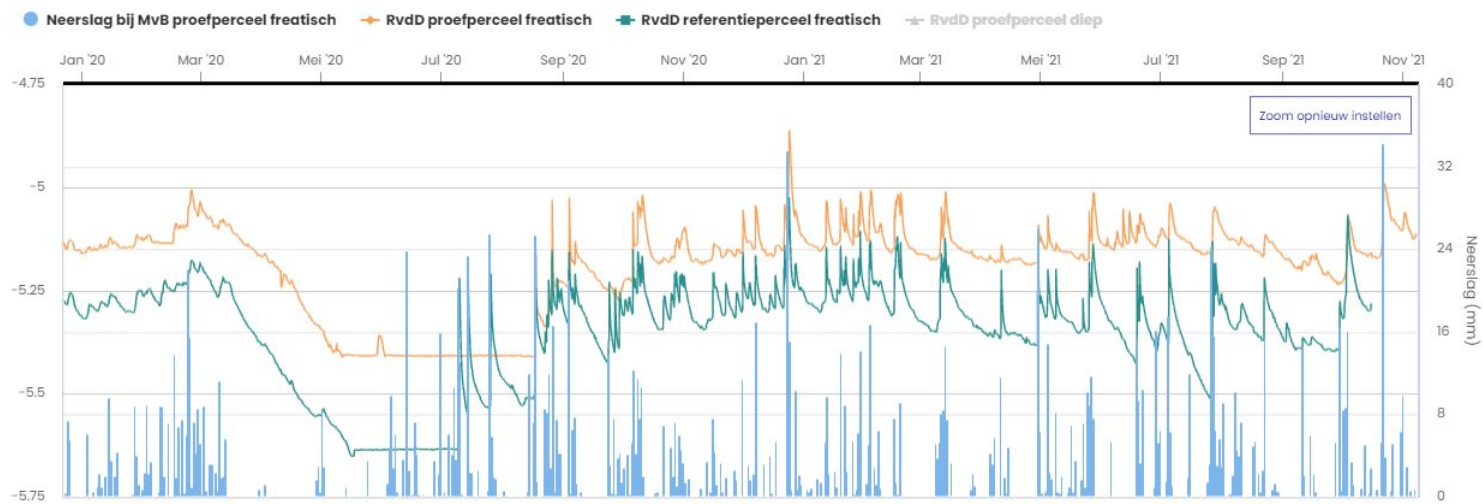
Figuur 29. Overzichtsfiguur van vernattingsproblematiek Schokland Noord.

Conclusies mogelijke oorzaken vernatting:

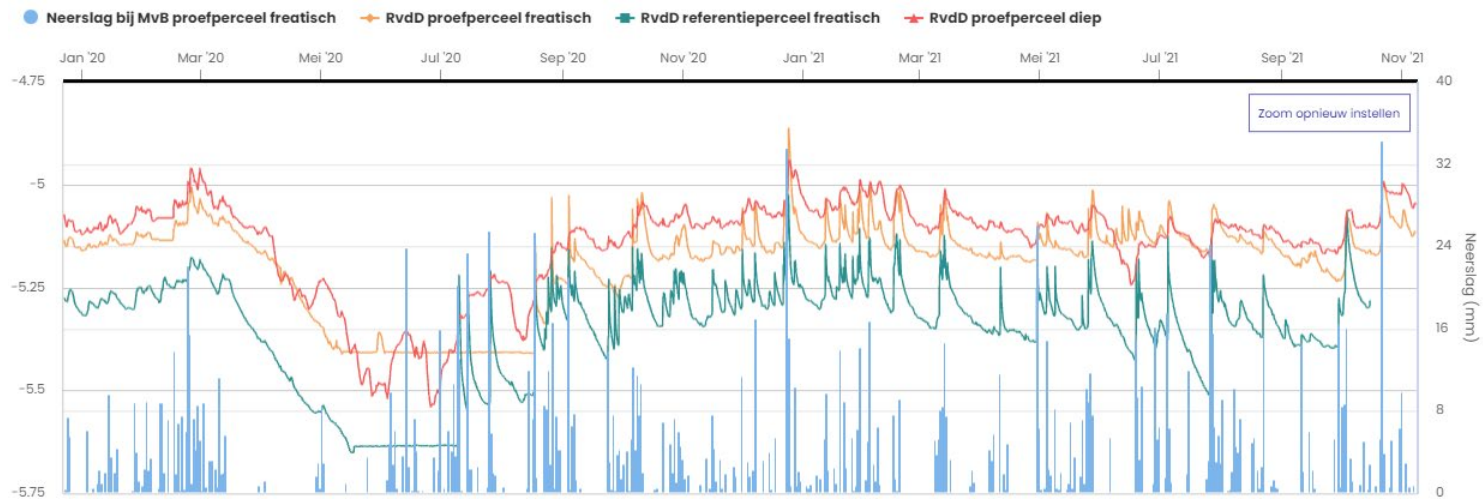
1. Het regionale grondwatersysteem resulteert in een vrijwel permanente kweldruk in het onderzoeksgebied. De hoge waterpeilen in de hydrologische zone en het Schokkerbos leiden niet tot een significante toename van de kweldruk.
2. De aanwezige kweldruk en relatief hoge grondwaterstand houden het veen en de daarboven liggende kleilaag gedurende het jaar nat. Hierdoor is de beschikbare berging in de bodem beperkt. Een kleine toename van water door neerslag of door een hoger peil in de waterlopen zorgt direct voor een verdere verhoging van de grondwaterstand.
3. Aanpassingen aan de directe afvoer van overtollig water uit de hydrologische zone in de vliegtuig-d-tocht, hebben geresulteerd in een vermindering van de in het gebied ervaren wateroverlast. De gevoeligheid van het systeem toont dat perioden van hoge afvoer alsnog kunnen leiden tot hoge waterpeilen in de kavelsloten, waardoor afvoer uit percelen belemmerd wordt.
4. Ten gevolge van anisotropie in het bodemprofiel, waarbij de verticale doorlatendheid klein is ten opzichte van de horizontale doorlatendheid, laat de bodem beperkt water los richting de drainage. Hierdoor is de werking van aanwezige drainage inadequaat om bij hoge neerslagintensiteit het overtollige water goed af te voeren, met vernatting tot gevolg. Het verhogen van de drainagedichtheid kan een bijdrage leveren aan het verbeteren van de bewerkbaarheid van de bodem.

Bijlagen

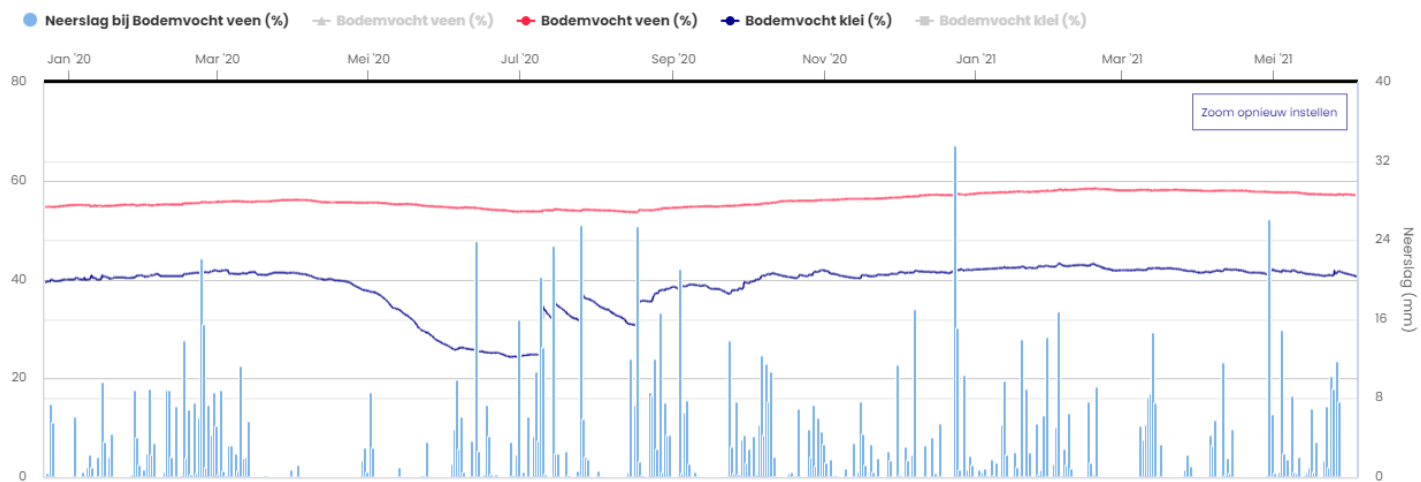
Bijlage 1 – Meetresultaten Proefperceel 1



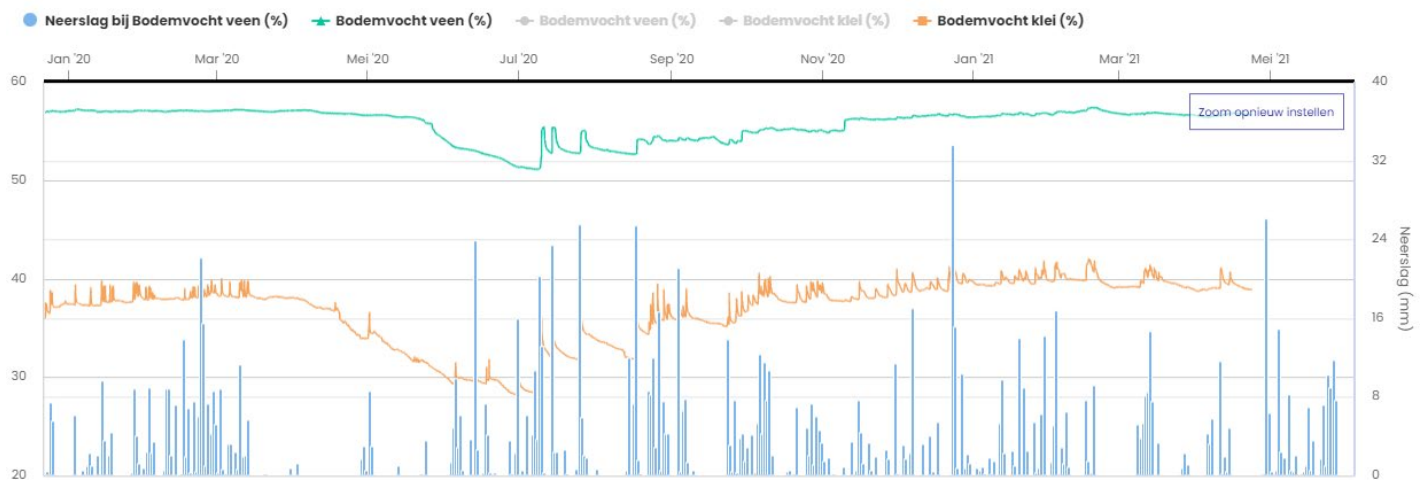
Figuur 30. Ondiepe grondwaterstand op referentie en proeflocatie van proefperceel 1.



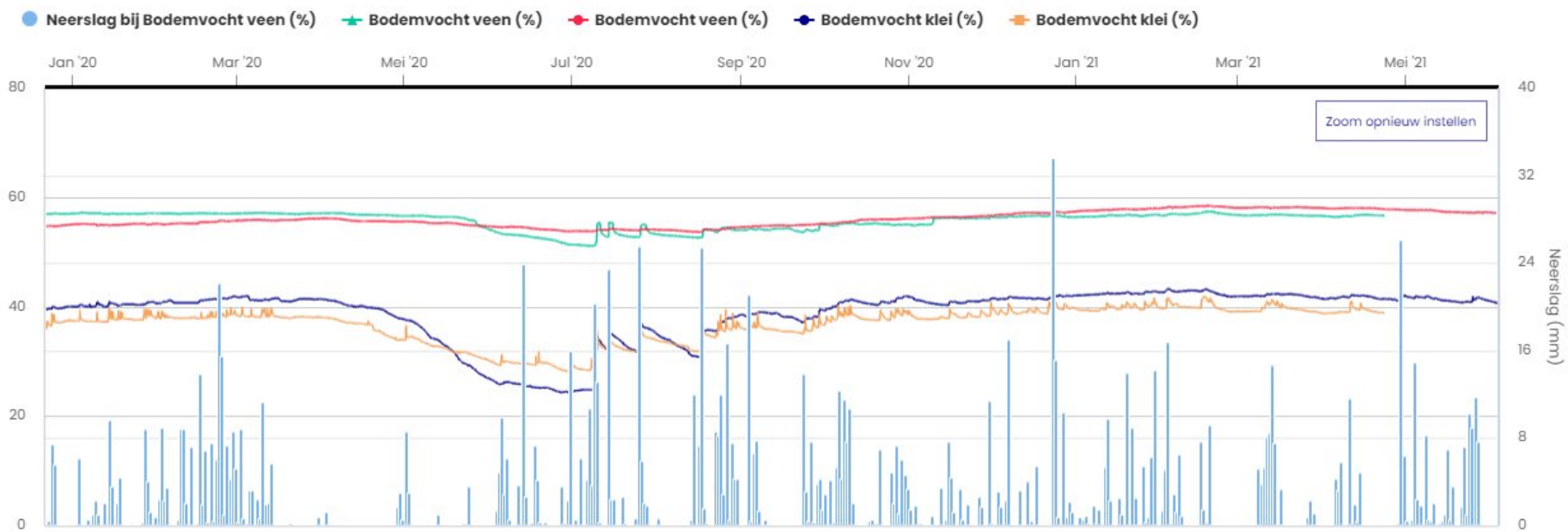
Figuur 31. Diepe en ondiepe grondwaterstand op proefperceel 1.



Figuur 32. Bodemvocht op de referentielocatie op proefperceel 1, waarbij veen ca. 0,75m-mv en klei ca. 0,4m-mv.

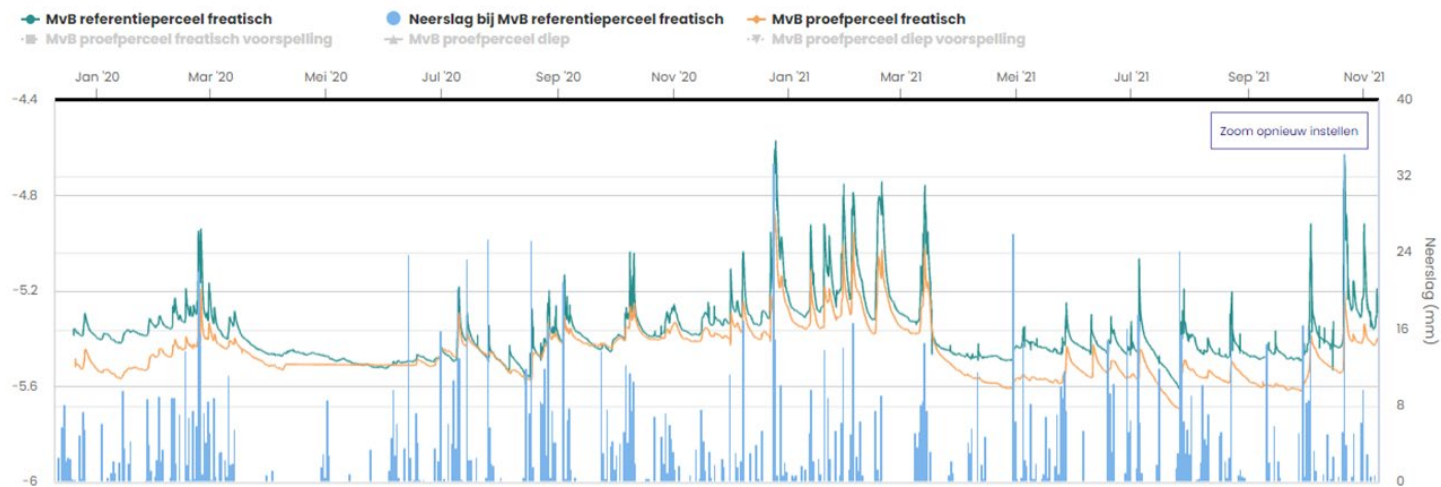


Figuur 33. Bodemvocht op de proeflocatie op proefperceel 1, waarbij veen ca. 0,75m-mv en klei ca. 0,4m-mv.

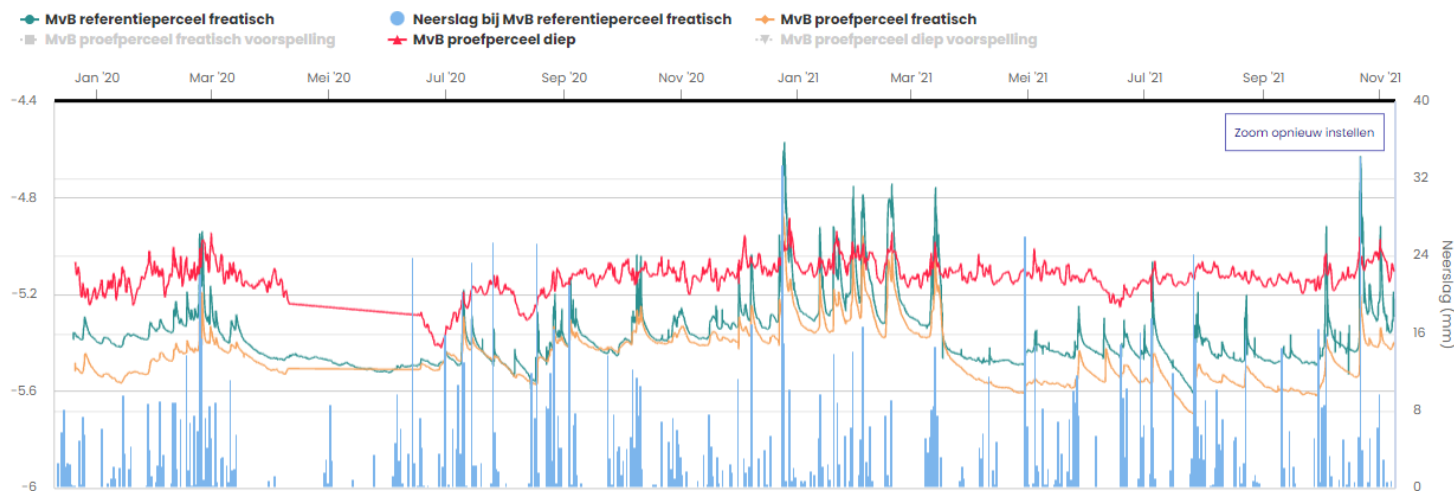


Figuur 34. Gecombineerde weergave van bodemvochtmetingen op referentie en proeflocaties op proefperceel 1, waarbij veen ca. 0,75m-mv en klei ca. 0,4m-mv.

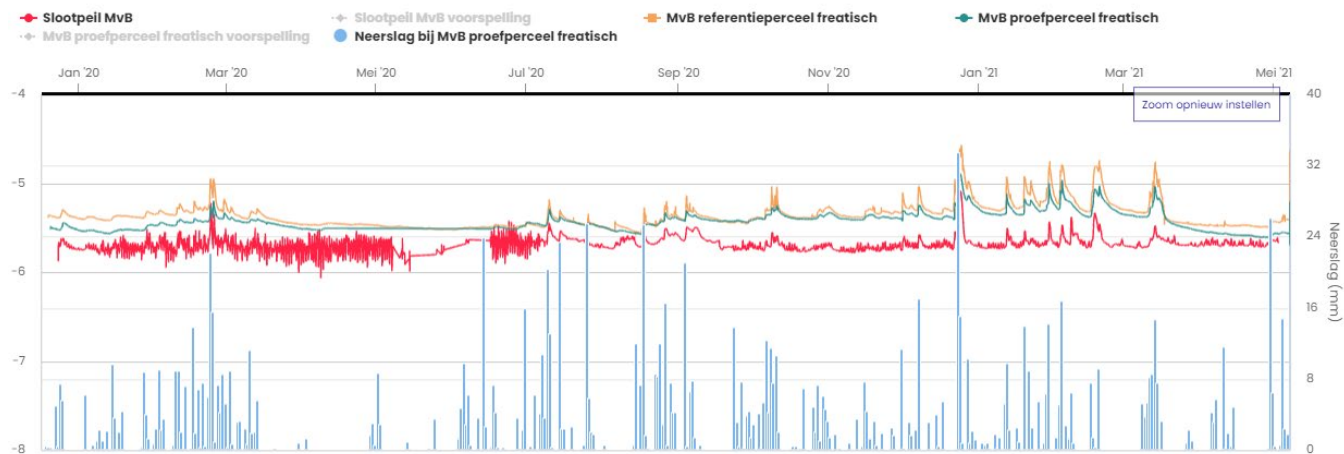
Bijlage 2 – Meetresultaten Proefperceel 2



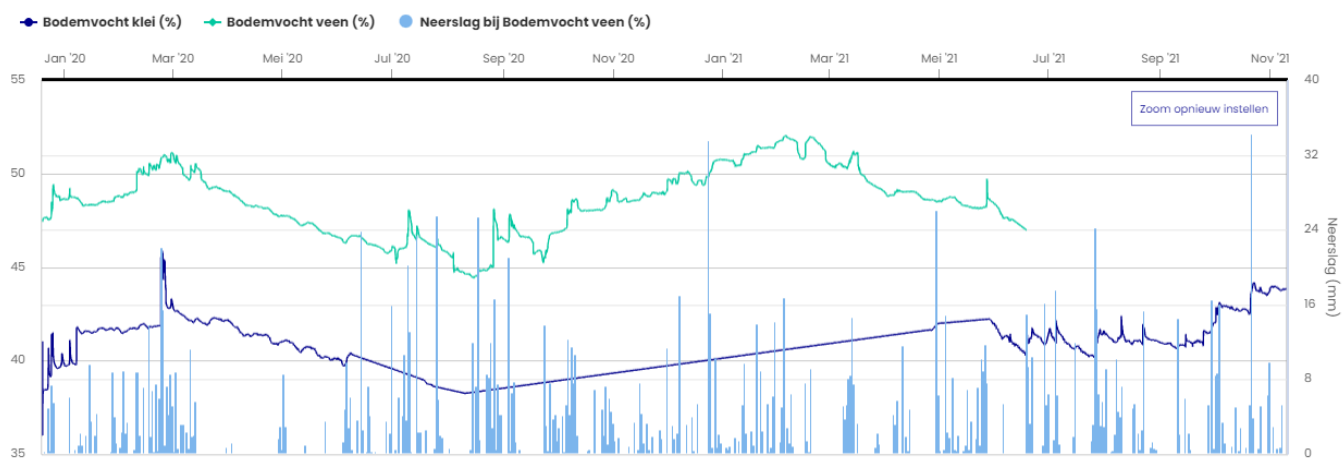
Figuur 35. Ondiepe grondwaterstand proefperceel 2.



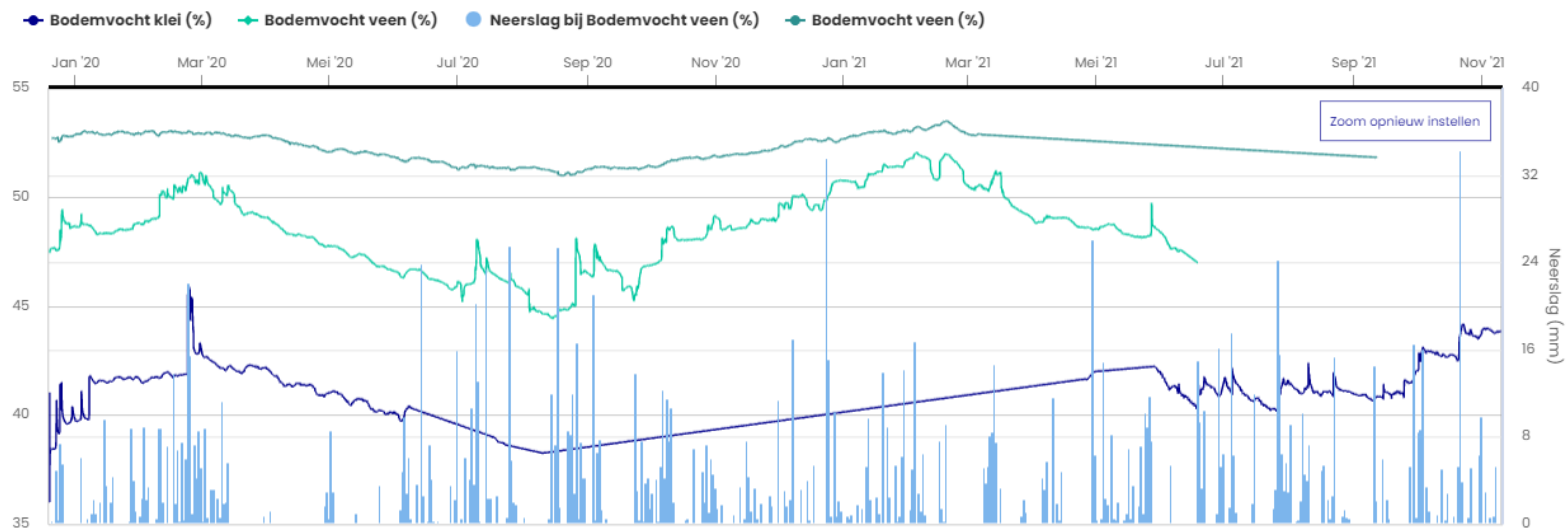
Figuur 36. Diepe en ondiepe grondwaterstand proefperceel 2.



Figuur 37. Ondiepe grondwaterstand op de proef en referentie locatie op proefperceel 2 en peilmeting in kavelstoot ter hoogte van proefperceel 2.

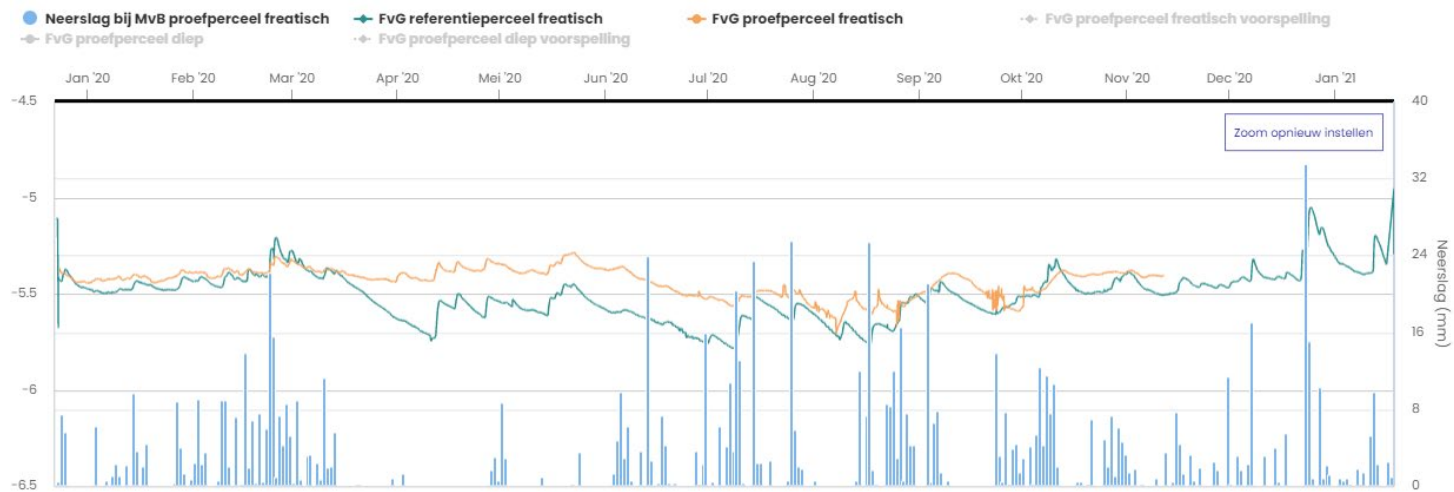


Figuur 38. Bodemvocht op de referentielocatie op proefperceel 2, waarbij veen ca. 0,75m-mv en klei ca. 0,4m-mv.

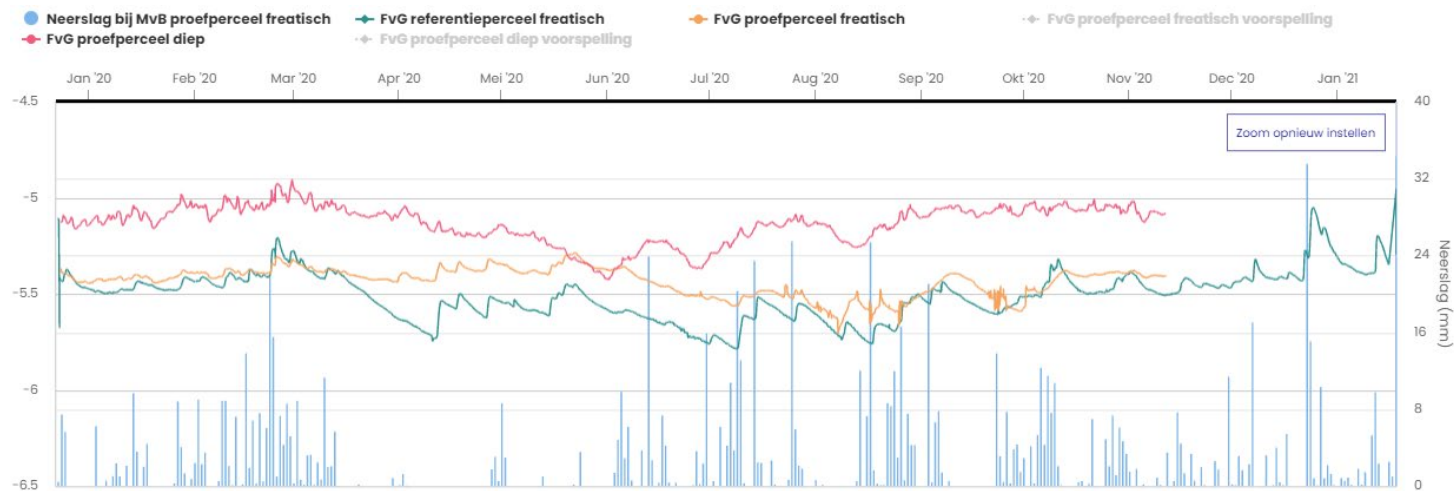


Figuur 39. Gecombineerde weergave van bodemvochtmetingen op de referentie en proeflocatie op proefperceel 2, waarbij veen ca. 0,75m-mv en klei ca. 0,4m-mv.

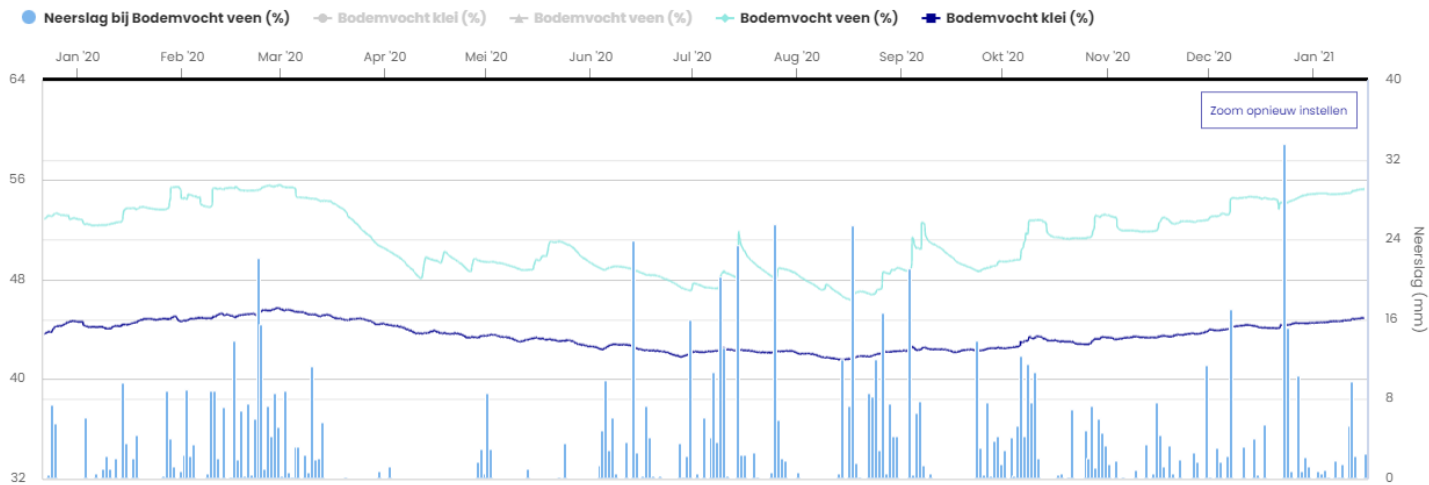
Bijlage 3 – Meetresultaten Proefperceel 3



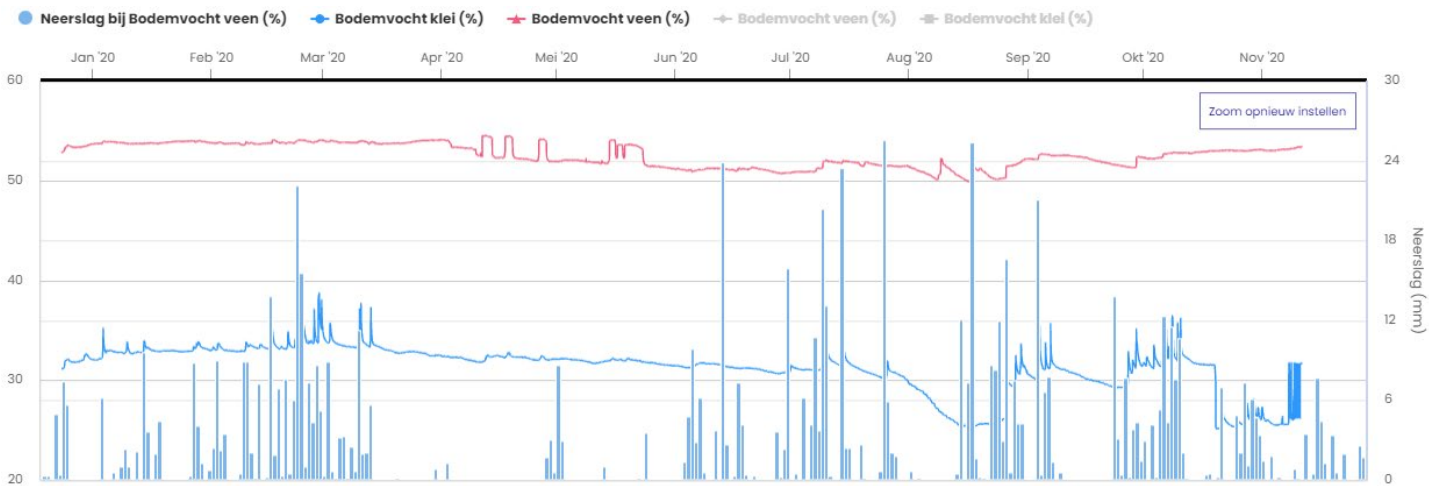
Figuur 40. Ondiepe grondwaterstand op proefperceel 3.



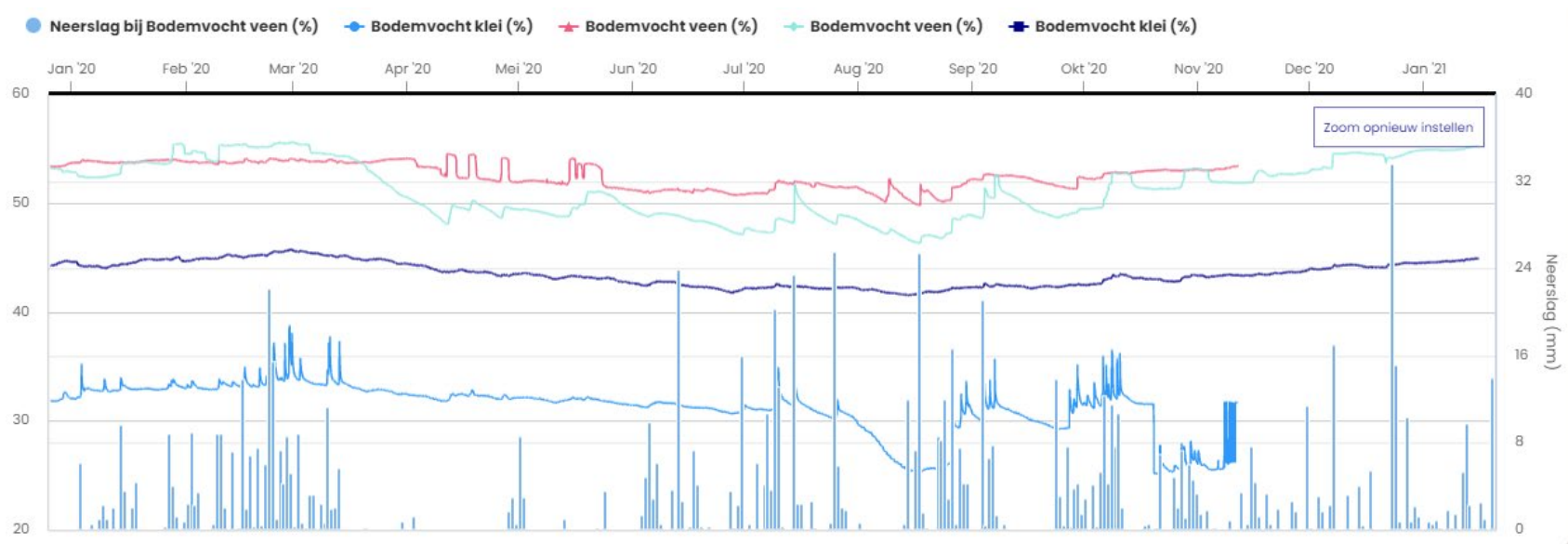
Figuur 41. Diepe en ondiepe grondwaterstand op proefperceel 3.



Figuur 42. Bodemvocht op de referentielocatie op proefperceel 3, waarbij veen ca. 0,70m-mv en klei ca. 0,35m-mv.



Figuur 43. Bodemvocht op de proeflocatie op proefperceel 3, waarbij veen ca. 0,70m-mv en klei ca. 0,35m-mv.



Figuur 44. Gecombineerde weergave van bodemvochtmetingen op de referentie en proeflocatie op proefperceel 3, waarbij veen ca. 0,70m-mv en klei ca. 0,35m-mv.

Bijlage 4 – Bodemstructuur onderzoekskavels

Op 20 en 22 maart 2019 zijn op 3 kavels locaties voor peilbuizen uitgezocht d.m.v. bodemonderzoek. Er zijn plekken beoordeeld waar eerder wateroverlast was opgetreden en 'goede' gedeeltes, ook zijn drainafvoeren gemeten. Op deze locaties is grondwater gemonitord op een goede en slechte plek.

Bevindingen 2019

Op de 'goede' plek in J109 zitten grote kluiten vochtige grond met daarin gereduceerde (stinkende) stro- en groenbemester-resten in een vrij rulle bouwvoor. Op de slechte plek (wateroverlast in 2018) zien we een vochtige bouwvoor en daaronder een vaste, meer of minder dichte en blauwe overgang naar de ondiepe veenondergrond. In J109 bovendien naast het erf aan de zuidkant van de kavel een natte en verdichte bouwvoor. In kavel J113 was de bouwvoor vrijwel overal vrij vochtig en min of meer 'kneedbaar', met een dichte en/of blauwige zavellaag onder de bouwvoor.



Hier zien we verschillen in grondwaterniveau, tussen 40 en 75 cm -mv, op korte afstand van elkaar. In J126 is de bovengrond 'overal' vochtig of nat, is vaak verkneed en daaronder is de zavellaag verdicht.



Bodemstructuur gedurende 2020/2021

De bodemstructuur en veldsituatie is gedurende het onderzoek op afroep van de agrariërs verschillende keren beoordeeld:

- In een natte periode in augustus 2020 na veel neerslag zijn de afvoeren met een GPS gemeten
- In het vroege voorjaar van 2021 stonden er op kavel J113 plassen op het land
- In najaar van 2021 is opnieuw de bodemstructuur beoordeeld:

Opstuwning augustus 2020

In augustus 2020 is enkele dagen na een vrij natte periode met veel neerslag op aangeven van de agrariërs een veldbezoek uitgevoerd. De kavelsloten stuwden op dat moment nog sterk op. Ter hoogte van kavels J113 en J114 was sprake van 30 cm opstuwning tussen begin en eind van de kavelsloot. Zichtbaar was dat er de dagen ervoor nog meer opstuwning was (kroosranden). De peilen in de Vliegtuigtocht waren op dat moment niet verhoogd, en volgens het peilbesluit.

Ook aan de noordzijde was sprake van opstuwning in de bermsloot langs de Nagelerweg tot zelfs 50 cm. De resultaten staan weergegeven op de onderstaande kaart.



Schokland hoogteligging punten



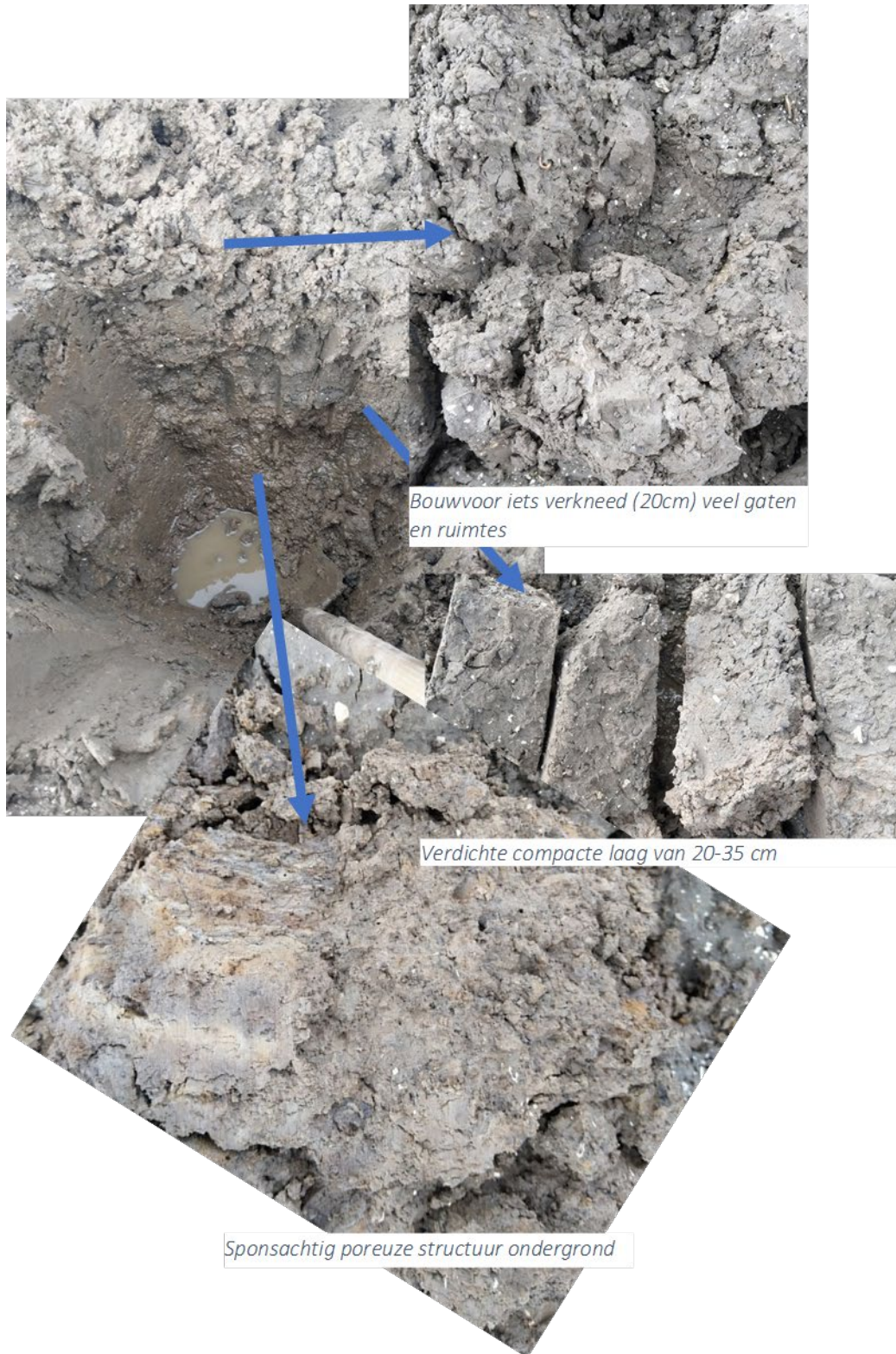
De kavelsloten waren op dat moment niet sterk begroeid met riet, maar goed onderhouden. Wel waren groeiden er veel waterplanten in het water.

Bodemstructuur maart 2021

In het voorjaar viel de gebruiker van perceel J113 op dat er plassen op het land stonden. Op een plek waar dat eerder niet voorkwam. De bodemstructuur van deze plek is vergeleken met de locatie waar het grondwater is gemeten (de slechte plek). Op de meetlocatie stond op dat moment geen water op het maaiveld, maar waren de grondwaterstanden wel hoog (35-50 cm - mv.).



Uit de bodemstructuur beoordelen blijken op beide plekken de bodemstructuur vergelijkbaar te zijn. De bovenste ruim 20 cm is iets verkneed, maar toont veel gaten (wormen en bewerking) en ruimtes. De laag van 22 tot 35 cm is echter compact en verdicht. Hier zijn slechts kleine gangetjes te zien, en de laag is iets wat blauw als gevolg van zuurstofloze omstandigheden. De ondergrond is op beide plekken zeer poreus en sponsachtig.



Bodemstructuur November 2021

Op 15 november 2021 zijn de drie kavels J109, J113 en J126 opnieuw bezocht, en is daarnaast in de suikerbieten in kavel J114 gekeken. Een grote plek in de suikerbieten heeft een lichtere stand dan de omgeving, hier heeft dit voorjaar water op het maaiveld gestaan. De bevindingen van 15 november vertonen sterke overeenkomsten met de waarnemingen in maart 2019. In de weken voor 15 november heeft het niet veel geregend.

In J109 komt de wintertarwe gelijkmatig op. Bij de eerste peilbuis (slechte plek) op J109 een vrij rulle bouwvoor met direct daaronder een vrij blauwe, bijna gereduceerde grond.



Opvallend in het gedeelte naast het erf zien we opnieuw een zeer natte bouwvoor, hoewel de wintertarwe ook daar gelijkmatig is opgekomen. Onder de bouwvoor zit sterk gelaagde poreuze grond. Op de meest lichte laagjes zit veel fletse en verwaterde roest, dit duidt op hoge vochtgehaltes en lucht. In de kleiige tussenliggende laagjes zit ook veel fletse roest en oogt de grond blauwgrijs. Het grondwater staat op ongeveer 1 m diep, duidelijk lager dan het grondwater in beide peilbuizen op deze kavel, waarschijnlijk als gevolg van de iets wat hogere ligging.

Op kavel J113 en J114 zijn eerst andere plekken op deze kavel onderzocht, namelijk waar dit voorjaar water op het land stond. De natte of mindere plekken lijken zich op andere plekken te manifesteren. Dit was ook tegen de verwachting in van de agrariër. Op J113 zijn aardappels gerooid, op J114 zijn in de suikerbieten een paar profielkuilen gemaakt. In J113 zit onder 10 cm rulle zeefgrond een sterk verdichte humeuze grond tot ongeveer 35 cm diep.



Ernaast in kavel J114 in de suikerbieten met een lichtere stand dan de omgeving: een verdichte bouwvoor met blauwzwarte grond, de grond rond de biet is matig beworteld. In de gelaagde en poreuze ondergrond zit er verwaterde, fletse roest op de zandige laagjes rond de poriën. De tussenliggende kleiige laagjes zijn blauwzwart. Deze kenmerken wijzen op hoge vochtgehaltenes.



Op J113 ook vlakbij de noordelijke peilbuis is een profielkuil gemaakt. Deze peilbuis staat op de 'slechte plek', maar hier is dit voorjaar 2021 geen wateroverlast op het maaiveld gezien (wel hoge grondwaterstanden gemeten). De humeuze grond boven het korrelige, veraarde veen is vast, maar ook goed poreus. Het grondwater stroomt snel toe op ongeveer 55 cm - mv, op deze diepte is het veen zwart en bruin en dus gedeeltelijk gereduceerd.



In J126 bij voorste peilbuis in 'veengat' zien we in graanstoppel een hele matige beworteling in de bouwvoor en 'compacte' klei boven het veen. Het veen is nat, eveneens compact en is zwart èn bruin van kleur. Bij de achterste peilbuis is sprake van sterk verdichte (dikke) humeuze bovengrond. In de sterk gelaagde zavel eronder zien we veel verwaterde fletse roest op de zandige laagjes. In de kleilaagjes komt 'harde' oranjebruine roest en fletse roest voor. Dit wijst op hoge vochtgehaltenes èn op lucht.

Bijlage 5 – Bodemprofielen proefperceel 1

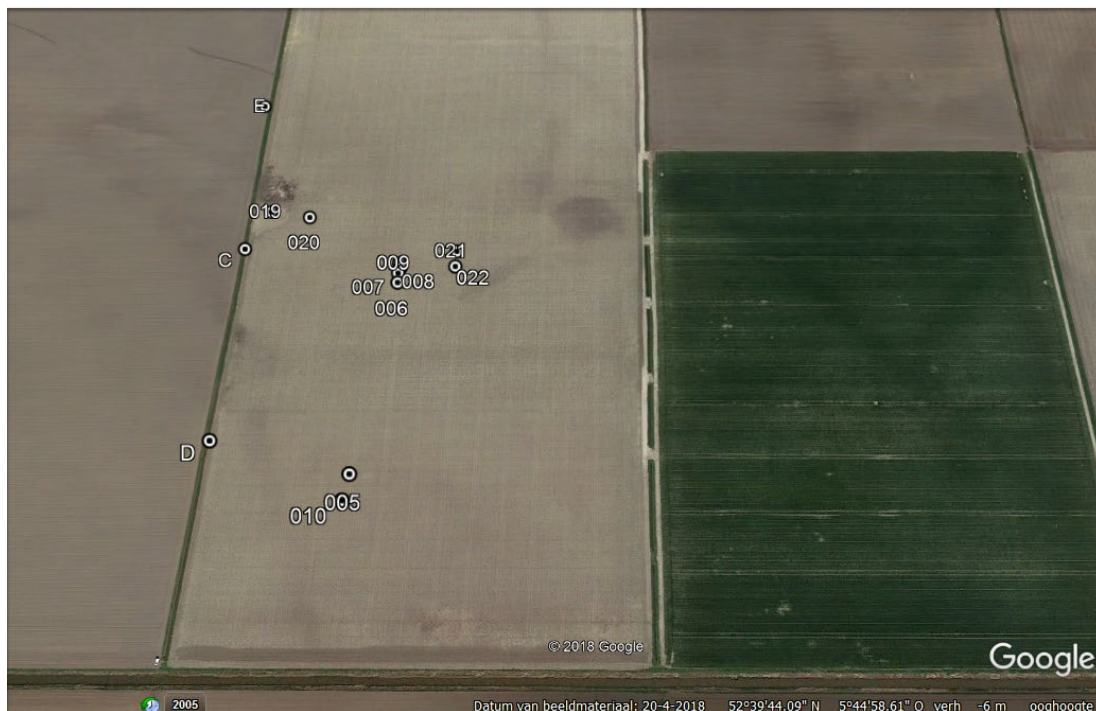
Onderstaande figuur geeft een overzicht van de meetpunten binnen proefperceel 1 waar de bodemstructuur is geanalyseerd.



Nr	Laag cm-mv	horizont	gws cm-mv	grondsoort	Org. stof %	Opmerkingen
1	0-25	Ap	91	7	3	
	25-65	AC	3 april;	7	1,5	
	65-100	Cg1	90	7	1	iets blauwgrijs
	100-120	Cg2		6		blauwgrijs, meteen grondwater
			SCORE:			
2	0-25	Ap	7	7	3	rul en grote kluiten: vochtige grond, stro en groenbemester stinken
	25-40	A2	8	7	2	iets verwrongen, niet vast, zeer poreus
	40-55	Cu	9	5	1	zeer poreus en goed beworteld, gelaagd
	55-60	Cw1	gws cm-mv	V		platerig, matig beworteld
	60-85	Cw2	na 2uur: 105	rV		veraard, los, vochtig
	85-260	Cr1	na 7uur: 101	rV		bruin, zeer grof
	260-270	Cr2	17/4: 85	L	6	zwak lemig, matig fijn zand
3	0-25	Ap	na 2 uur:	6	3,5	vochtig, 'goed kneedbaar'
			115			bovengrond ligt grof, nat geploegd?
	25-50	ACg		6	3	vast en verdicht
	50-100	Cw		V		los, korrelig
	100-120	Cr		rV		heel grof veen
4	0-25	Ap	na 2 uur:	7	3	rulle grond (wintertarwe)
	25-35	AC	101	7	2,5	beworteld, iets vochtig
	35-60	Cw1		V		korrelig, los
	60-95	Cw2		rV		veraard, vrij los
	95-120	Cr		rV		bruin, grof
			SCORE:			
16	0-10		8	7	2,5	rul, scherpblokkig
	10-20		7	7	2,5	veel wormgangen, grote 'massa'
						met gewasresten
	20-30		5	7	2,5	scherpblokkig, nat, 'verwrongen'
	30-40		5	7	1,5	compact, scherpblokkig, ploegzool, enkele scheuren
	40-60		9	7	1	sterk gelaagd, poreus
	60-105			V		veraard veen
	105-210			rV		vnl. rietveen
17	0-50	AC		6	2,5	verwerkt
	50-55			5	1	
	55-180			V		
	180-200				2	iets lemig, matig fijn zand
23	0-25	Ap		6	3	rul, iets vochtig
	25-35	Cu		6	1	
	35-80	Cw		V		veraard, heel korrelig, droog veen
	80-120	Cr		rV		bruin, grof
24	0-25	Ap		6	3,5	vrij rul, iets vochtig
	25-35	ACw		6	3	vrij vast, redelijk poreus, gemengd met wat veen
	35-90	Cw		rV		veraard, korrelig, grof veen
	90-120	Cr		rV		bruin, zeer grof
			SCORE:			
25	0-15	Ap1	8	6	3,5	vrij rul, iets vochtig, punt 2 m naar Zuiden t.o.v. punt 24
	15-25	Ap2	5	6	3,5	kneedbaar, met stro, vochtig
	25-40	ACw	3	6	3	heel vast, blauwzwart, matig beworteld, dicht, gemengd met wat veen
	40-55	Cw	5	V		platerig veen, redelijk poreus, iets beworteld
	55-90	Cw		rV		veraard, los en korrelig, grof veen
	90-145	Cr1		rV		bruin, zeer grof
	145-155	AE	gws cm-mv	L	5	zwak lemig, matig fijn zand
	155-160	Cr2	17/4: 85	L	10	zwak lemig, matig fijn zand met vV
	260-270	Bh		L	6	podzol, zwak lemig, matig fijn zand

Bijlage 6 – Bodemprofielen proefperceel 2

Onderstaande figuur geeft een overzicht van de meetpunten binnen proefperceel 1 waar de bodemstructuur is geanalyseerd.



Nr	Laag cm-mv	horizont	SCORE:	grondsoort	Org. stof %	Opmerkingen
5	0-10	Ap1	8	7	3,5	hard, vast, droog
	10-20	Ap2	8	7	3,5	rul, zeer poreus, A3, A4 afgerond blokkig
	20-35	ACg	6	7	3	A5 scherp blokkig, grote brokken met massieve structuur, vochtig, bijna kneedbaar blauwzwartig, wel redelijk beworteld
	35-60	Cg		5	2	sterk gelaagd, A4, goed beworteld
	60-65	Cwg1		6	20	veel roest, platte wortels
	65-70	Cw1	gws cm-mv	V	50	sterk veraard, beworteld, platerig, los
	70-80	Cw2	op 22mrt: 75	V	60	veraard, vrij los, paar wortels, vochtig
	80-240	Cr1	op 3 april: 80	V		los bruin veen met bruin hout,
	240-380	Cr2		6	5	slappe rietklei, blauw met hout
6	0-25	Ap	40	7	2	kneedbare grond
	25-40	ACg	op 22mrt:	7	1,5	beworteld
	40-65	Cg1	51	7		beworteld
	65-75	Cg2	op 3april:	6	1	gelaagd
	75-85	Cw	75	V		korrelij, los, veraard
	85-120	Cr		rV		bruin, meteen water
7	0-25	Ap	na 3 uur;	7	3	iets kneedbare grond
	25-40	Cg1	72	8	0,5	stug, vrij vast, matig poreus
	40-55	Cg2	op 3april:	7	1	gelaagd, iets beworteld
	55-80	Cg3	75	7	1	blauwgrijs, vrij los, gelaagd
	80-105	Cw		rV		met kleibandjes, vrij compact
	105-120	Cr		rV		nat
8	0-25	Ap	na 3 uur;	7	2	vochtig, 15-25 cm is verkneed
	25-35	Cg1	60	8	0,5	gelaagd, veel schelpen
	35-65	Cg2	op 3april:	7	0,5	vrij vochtig, gelaagd, wel los
	65-85	Cw	75	vW		korrelij veen, meteen nat
	85-110	Cr		rV		grof veen
9	0-25	Ap	na 3 uur;	7	2	vrij vast, wel beworteld (niet verkneed)
	25-35	Cg1	60	8	0,5	vrij vast
	35-55	Cg2	op 3april:	7	1	gelaagd, matig poreus
	55-65	Cg3	75	6	5	blauwgrijs
	65-85	Cw		rV		los, veraard, vochtig
	85-120	Cr		vW		bruin, kleilig, wel grof en los, vochtig
10	0-25	Ap	na 3 uur;	7	3,5	iets kneedbaar, iets vochtig
	25-35	ACg	75	7	1,5	
	35-45	Cg	op 3april:	6	0,5	gelaagd, vrij los
	45-65	Cw1g	80	V		beworteld (wintertarwe)
	65-85	Cw2		V		veraard, beworteld
	85-95	Cw3		V		veraard met bruin hout
	95-120	Cr		rV		kleilig, wel los, meteen nat
19	0-25	Ap		4	2	op riverzand!
20	0-25	Ap		7	2	
	25-40	ACg		7	1,5	beworteld
	40-65	Cg1		7		
	65-75	Cg2		6	1	gelaagd
	75-85	Cw		rV		korrelij, los, veraard
	85-250	Cr		rV		bruin, meteen water
	250-330			8		slappe grijsblauwe klei
21	0-25	Ap	3april:	7	2	vrij vast, wel beworteld
	25-35	Cg1	70	7	0,5	vaste blauwige laag
	35-60	Cg2		5	1	gelaagd, poreus
	60-75	Cg3		6	10	rietklei, zeer poreus
	75-100	Cw		vW		los, kort veen
	85-120	Cr	SCORE:	vW		bruin, kleilig, wel grof en los, vochtig
22	0-10	Ap1	7	7	2	kruimelig, los, tarwe nauwelijks uitgestoeld
	10-25	Ap2	6	7	2	heel vast, prisma's redelijk beworteld
	25-35	Ap3	4	7	2	verkneed, blauwig
	35-55	Cg1	7	7	0,5	sterk beworteld, prismatisch, vrij compact, matig tot redelijk poreus, vochtig
	55-65	Cg2	8	5	1	gelaagd, poreus, matig beworteld, los, roest -> fletse roest op 60 cm
	60-80	Cg3	9	5	3	sterk gelaagd, zeer poreus
			gws cm-mv			
	75-95	Cw	3 apr: 70	rV		los, kort veen
	95-375	Cr	17apr: 85	rV		bruin

Bijlage 7 – Bodemprofielen proefperceel 3

Onderstaande figuur geeft een overzicht van de meetpunten binnen proefperceel 3 waar de bodemstructuur is geanalyseerd.



Nr	Laag cm-mv	horizont	gws cm-mv	grondsoort	Org. stof %	Opmerkingen
11	0-30	Ap		6	3	veengat, bovenop verweerd, heel poreus, heel vochtig, kluiten van binnen verkneed, dus losse grond en kluiten, score 5-8
	30-35	AC	80	6	2	verkneede overgang, score 5
	35-65	Cw1	op 22mrt:	w		veraard, korrelig, los
	65-70	Cw2	60	w		veraard en compact
	70-170	Cr	op 3april:	w	w	met bruin hout
	170-330		67	8		slappe grijsblauwe klei
12	0-30	Ap	na 1,5 uur:	7	4	kneedbare grond, 'zwaar' van het vocht
	30-45	Cg1	107	6	1	vrij los
	45-75	Cg2	op 22mrt:	6	10	gemengd met wat veen
	75-100	Cw	85	w		kort en fijn veen
	100-110	Cr		rV		bruin
13	0-20	Ap	na 1,5 uur:	6	6	vochtig, kruimelig en rul (opgebrachte grond)
	20-30	A2		6	6	blauwzwart, vast en verdicht, grote kluiten
	30-50	A2	74	6	4	blauwzwart, vast en verdicht
	50-75	Cg	op 22mrt:	5	12	gemengd met veen
	75-90	Cw	75	w		kort veen, iets kleilig
	90-200	Cr	3 april:	w		kort veen, iets kleilig, bruin
	200-330		77	8		slappe grijsblauwe klei met hout en rietklei
14	0-30	Ap	na 1,5 uur:	7	2,5	verkneed, vochtig
	30-45	Cg1	70	6	0,5	sterk gelaagd
	45-75	Cg2	op 22mrt:	6	6	blauwgrijs, iets gemengd
			70			vrij vast o.i.v. vocht
	75-110	Cr		D		
15	0-25	Ap	na 1 uur:	7	4	zeer vochtig, 15-25 cm verkneed
	25-35	ACg	70	7	3	verdicht
	35-65	Cw1		V		korrelig, heel los
	65-90	Cg		6	12	veel roest, poreus, los, blauwgrijs
	90-105	Cw2		rV		los, meteen water
	105-120	Cr		rV		bruin, grof
18	0-30	Ap		5	3,5	
	30-35	A2		6	3	
	35-60	AE			2	zwak lemig, matig fijn zand
	60-110	Cu			0,5	zwak lemig, matig fijn zand, lichtgrijs



van Hogendorpplein 4
2805 BM Gouda

Telefoon: 0182 - 686 424
Internet: www.acaciawater.com
Email: info@acaciawater.com