

Waterdunen monitoring grondwater

Resultaten t/m 2022



Waterdunen monitoring grondwater
Resultaten t/m 2022

Waterdunen monitoring grondwater

Resultaten t/m 2022

Opdrachtgever	Provincie Zeeland
Documentgegevens	
Versie	0.1
Datum	09-03-2023
Projectnummer	11203311-001
Document ID	11203311-001-BGS-0015
Pagina's	28
Classificatie	
Status	definitief

Inhoud

1	Aanleiding en doel grondwatermetingen	5
1.1	Aanleiding grondwatermetingen	5
1.2	Doel en fasering grondwatermetingen	8
2	Algemene samenvatting resultaten grondwatermonitoring	11
2.1	Grondwaterstanden en stijghoogten	11
2.1.1	Ruimtelijk beeld	11
2.1.2	Variatie in de tijd	11
2.1.3	Gedempt getij in Waterdunen.	12
2.1.4	Veranderingen door uitvoeringswerkzaamheden en opening duiker	16
2.2	Zoet en zout grondwater	18
2.2.1	Ruimtelijk beeld	18
2.2.2	Variaties in de tijd	20
2.2.3	Veranderingen door uitvoeringswerkzaamheden en opening getijdenduiker	22
3	Referenties	23
A	De opbouw van ondergrond (bron: Geotop: www.dinoloket.nl)	24
B	Enkele karakteristieken van de meetpunten	25
C	De vlieglijnen door en rondom Waterdunen van de EM-helikoptermetingen 2015 (FRESHEM)	27

1 Aanleiding en doel grondwatermetingen

1.1 Aanleiding grondwatermetingen

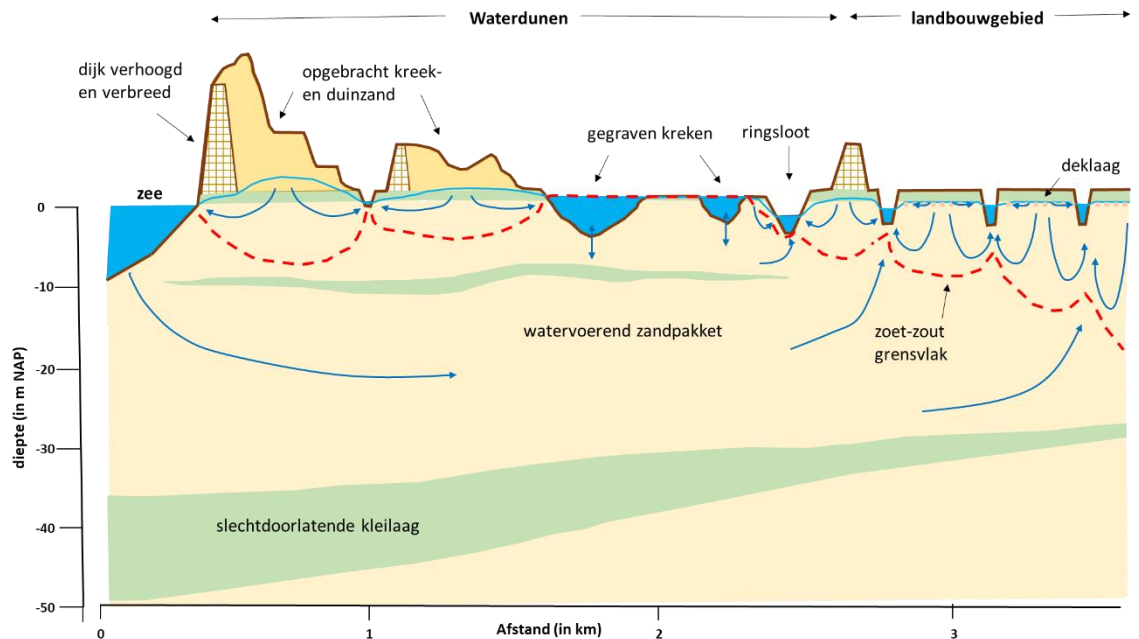
Het plan 'Waterdunen' houdt in dat een gedempt getijdengebied is ingericht in de historische polder Oud-Breskens, ten westen van Breskens (Figuur 1.1). Deze verandering van polder, voornamelijk landbouwgebied, naar een gedempt getijdengebied, leidt tot een andere waterhuishoudkundige situatie en heeft mogelijk ook gevolgen op het grondwatersysteem in het aangrenzende gebied. De grondwatermonitoring Waterdunen is er met name op gericht voor het aangrenzende gebied de nulsituatie vast te leggen en eventuele veranderingen in het grondwater als gevolg van de herinrichtingen te volgen.



Figuur 1.1 Linksboven: Plangebied Waterdunen voor uitvoer (begrensd door de rode lijn). Rechtsboven: het Inrichtingsplan Waterdunen (2009). Onder: Waterdunen op 8 mei 2019 (bron: Google Earth)

In Figuur 1.2 is het huidige gebied Waterdunen en omgeving schematisch weergegeven. De ondergrond bestaat uit een afwisseling van zand- en kleilagen (zie ook Bijlage A). Aan de top bevindt zich een deklaag bestaande uit zware klei en kleig zand die varieert in dikte en deze laag is slecht doorlatend. Daaronder wordt matig fijn zand en kleig zand aangetroffen die lokaal op ongeveer 10 meter diepte wordt begrensd door een kleilaag (0.5 tot 2 m dik). Onder deze kleilaag bevindt zich goed doorlatend zand tot een diepte van ongeveer 30 tot 40 meter.

In de zandpakketten kan grondwaterstroming door de betere doorlatendheid veel makkelijker plaatsvinden dan door de minder goed doorlatende kleilagen. De zandlagen worden daarom ook 'watervoerende lagen' genoemd. De watervoerende laag is niet overal even goed ontwikkeld en ook de diepte van voorkomen varieert. In Figuur 1.2 is met rood het grensvlak tussen zoet en zout grondwater schematisch weergegeven.

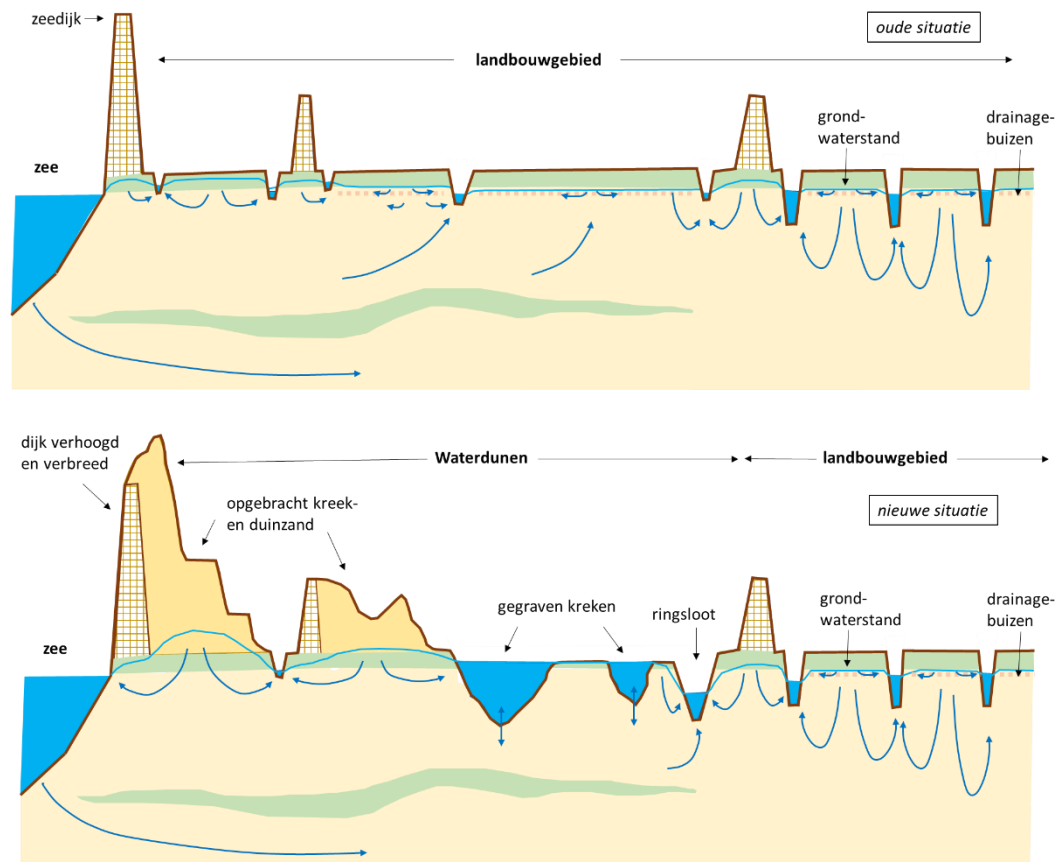


Figuur 1.2 Schematische weergave (noord-zuid profiel) van de huidige grond- en oppervlaktewatersituatie in Waterdunen en omgeving, met aangegeven grondwaterstromingsrichtingen, grondwaterstanden en het zoet-zout grensvlak.

De waterhuishoudkundige veranderingen die gepaard zijn gegaan met de inrichting van Waterdunen zijn in grote lijnen als volgt (zie ook Figuur 1.3):

- (1) verandering naar een afgesloten gedempt getijdengebied waarbij het oppervlak aan oppervlaktewater (gegraven krekken) is vergroot. Er is bodemmateriaal weggegraven voor de aanleg van de krekken waarbij delen van de kleiige deklaag zijn weggehaald. Deze grond is gebruikt in de ophoging en landschappelijke vormgeving t.b.v. de waterkering en het recreatiepark. De gecontroleerde in- en uitstroom van zout zeewater geschiedt via de getijdenduiker waardoor Waterdunen in verbinding staat met de Westerschelde. Het zoute systeem van de krekken staat op geen enkele wijze in verbinding met het omliggende agrarische poldersysteem, ook alle drainage in het krekengebied van Waterdunen is niet meer functioneel en alle randen zijn afgesloten van ont- en afwateringsmiddelen. De afwatering van het recreatie park verloopt via Waterdunen en niet via de polderafwatering.
- (2) aanleg van een ringsloot en verbetering van de afwatering van het rondom Waterdunen gelegen agrarische gebied en bebouwing. Hiertoe is tevens een nieuw gemaal gerealiseerd. De ringsloot en polderafwatering hebben een vast winter- en vast zomerpeil.

Deze veranderingen hebben geleid tot een andere waterhuishoudkundige situatie in Waterdunen dan voorheen in het oorspronkelijke agrarische gebied. Deze veranderingen zouden effect kunnen hebben op het grondwatersysteem buiten Waterdunen en de monitoring is er op gericht dit te kunnen vaststellen. In een eerdere rapportage van Tauw (Tauw 2012) zijn deze mogelijke veranderingen beschreven.



Figuur 1.3 Schematische weergave (noord-zuid profiel) van de waterhuiskundige situatie vóór (boven) en na uitvoering (onder) van Plan Waterdunen.

Een eventuele uitstraling van veranderingen van het (grond)waterpeil in Waterdunen naar het gebied er omheen, vindt plaats via de zogenaamde stijghoogte in het watervoerende pakket. Het watervoerende pakket is een zandlaag waar makkelijker grondwater door stroomt dan door kleiige lagen. De stijghoogte is de waterdruk in deze watervoerende laag onder de deklaag bestaande uit klei en kleiig zand (zie Figuur 1.2). Deze stijghoogte of waterdruk kan hoger of lager zijn dan de 'freatische' grondwaterstand (het ondiepe grondwater dat je tegenkomt als je een gat graaft): bij een hogere stijghoogte vindt er kwel vanuit het watervoerend pakket (opwaartse stroming) naar het oppervlak plaats en met een lagere stijghoogte vindt er juist neerwaartse stroming van het ondiepe grondwater naar het watervoerend pakket plaats.

Een hogere of lagere waterdruk in Waterdunen leidt tot een hogere of lagere stijghoogte in het watervoerend pakket en dit kan via uitstraling de stijghoogte buiten Waterdunen beïnvloeden. Een eventuele stijging van de stijghoogte buiten Waterdunen zou kunnen leiden tot hogere ofwel ondiepere ('freatische') grondwaterstanden, meer zoute kwel of het dunner worden van zoetwaterlenzen in het gebied buiten Waterdunen. Een lagere stijghoogte zal juist het omgekeerde effect hebben. Het is daarom van belang om deze stijghoogte in de tijd te volgen om eventuele veranderingen en effecten buiten het Waterdunen gebied te signaleren. Immers, wanneer er geen veranderingen in de stijghoogte zijn te zien, zullen er ook geen effecten op de grondwaterstand, zoute kwel en zoetwaterlenzen waarneembaar zijn.

Eventuele uitstraling van effecten (via de stijghoogte) worden (deels) gecompenseerd door de ringsloot rondom Waterdunen waardoor de stijghoogte in de omgeving niet of nauwelijks zou moeten veranderen. Het water in de ringsloot wordt door het nieuwe gemaal 'Nieuwe Sluis' naar de Westerschelde gepompt. Ook zijn rond een aantal (woning)percelen sloten aangelegd langs de perceelscheidingen, om voldoende af- en ontwatering van de percelen te garanderen.

Het monitoringprogramma is er specifiek gericht om veranderingen van de grondwaterstanden en zoutgehaltes in de omliggende regio buiten Waterdunen te volgen t.o.v. van situatie van vóór de aanleg van Waterdunen. Voor de monitoring is in opdracht van de Provincie Zeeland rond Waterdunen een grondwatermonitoringsnetwerk ingericht door Deltares, zodat na realisatie van Waterdunen eventuele veranderingen aangetoond kunnen worden en gerelateerd kunnen worden aan Waterdunen. Een kwantificering van mogelijke effecten vormen geen onderdeel van de opdracht aan Deltares en deze rapportage. In deze rapportage worden de opzet van het meetnet en de meetresultaten tot december 2022 besproken.

1.2 Doel en fasering grondwatermetingen

De doelstellingen van de grondwatermonitoring zijn:

1. Vastlegging van de nulsituatie van het grondwatersysteem, zowel grondwaterstanden als zoutgehaltes in de bodem;
2. Signaleren van veranderingen in deze grondwatersituatie;
3. Inzicht in het grondwatersysteem rond Waterdunen vergroten.

De grondwatermonitoring is gestart in 2010. Er worden drie monitoringsfasen onderscheiden, die parallel lopen aan de uitvoering van plan Waterdunen:

1. Nulfase (tot 2014). Dit was de oorspronkelijke situatie waarin nog geen ingrepen in het plangebied waren uitgevoerd. In deze fase diende de grondwatermonitoring om de nulsituatie van het grondwatersysteem vast te leggen. De nulfase eindigde eind december 2013 en is gerapporteerd (Deltares, 2014);
2. Uitvoeringsfase (2014 tot september 2019). In deze fase werd het grondwerk voor Waterdunen uitgevoerd, en diende de grondwatermonitoring om eventuele tijdelijke effecten op het grondwatersysteem als gevolg van de uitvoering te signaleren. Een deel van de deklaag is afgegraven om de kreken van het getijdengebied op de gewenste diepte te realiseren (Figuur 1.4). Ook zijn nieuwe waterlopen gegraven zoals de ringsloot rondom het gehele plangebied om Waterdunen mogelijk te maken en eventuele effecten buiten Waterdunen te compenseren. Om voldoende ontwatering van bebouwde percelen in en langs het plangebied te garanderen, zijn bovendien lokaal waterlopen gegraven. Bij 't Killetje is de inlaatduiker gebouwd die het peil in het getijdengebied reguleert.

Het waterpeil in de nieuwe ringsloot is eind 2014 ingesteld op het huidige polderpeil: NAP -0,6 m in de zomer en -0,9 m NAP in de winter. Het peil in de kreken is tijdens de uitvoering in fasen ingesteld op maximaal +0,2 m NAP in natte winter perioden. De waterpeilen zakken in de zomerperiode uit naar -0,60 m NAP in de zomer, gelijk aan het zomerpeil in de ringsloot. In 2018 en 2019 zijn de peilen in de kreken door droogte zelfs gezakt tot -0,80 NAP. De uitvoeringsfase begon in januari 2014 en is geëindigd op 19 september 2019 toen de getijdenduiker officieel in bedrijf werd genomen;

3. Eindfase (vanaf 19 september 2019). In de eindfase is de getijdenduiker in bedrijf genomen. In de beginfase na de opening (testfase) werd het peil in de kreken van het getijdengebied gerealiseerd door handmatige bediening (opening van de getijdenduiker). Hiermee werd nog geen getij maar wel wisselende waterstanden gerealiseerd t.b.v. testen van de getijdenduiker en de doorwerking op het aangelegde krekengebied. Vanaf april 2020 is de getijdenduiker handmatig ingesteld op vaste openingen waardoor in Waterdunen een gedempt getij is ontstaan afhankelijk van en volgend op de waterstanden in de Westerschelde. Daarmee wordt nog niet de volledig fluctuatie van het beoogde getij in Waterdunen bereikt zoals is voorgenomen. De waterpeilen fluctueren in deze periode van maximaal +0,75 m NAP tot -0,40 m NAP.

In deze eindfase (t/m 5 jaar na opening en dus tot eind 2024) dient de grondwatermonitoring het doel om eventuele effecten op het grondwatersysteem als gevolg van het plan Waterdunen te signaleren.



Figuur 1.4 Het gedempt getijdengebied. Waterdunen met duidelijk het gegraven krekenspatroon en de ringsloot (foto augustus 2021, provincie Zeeland)

Het monitoringsnetwerk is weergegeven in Figuur 1.5.. Het meetnet omvat zowel meetpunten buiten het plangebied Waterdunen in het landbouwgebied en bebouwd gebied als binnen het plangebied Waterdunen waar vooral rond bebouwing wordt gemeten. De meetpunten met code EC staan veelal aan de rand van Waterdunen en dienen om eventuele veranderingen in het landbouwgebied goed te kunnen volgen. Ze bestaan uit een ondiepe (freatische grondwaterstand) en diepe (stijghoogte in watervoerend pakket) grondwaterbuis. Het filter van de ondiepe buis zit op een diepte van 2 á 3 meter en hier wordt de grondwaterstand handmatig gemeten. De diepe buis heeft het filter op een diepte van 5 tot 12 m diepte en hier wordt de stijghoogte continue gemeten met druksensoren. In een aantal van deze diepe EC-buizen (aangegeven met rood in Figuur 1.5) wordt jaarlijks de positie van het zoet-zout grensvlak (diepteprofiel van het zoutgehalte) gemeten met de zogenaamde EM-SlimFlex (zie paragraaf 2.2).

De overige meetpunten liggen rond bebouwing in Waterdunen of net er buiten (vakantiepark Schoneveld) en zijn over het algemeen ondiepe meetpunten waar de freatische grondwaterstand met druksensoren wordt gevolgd.

De resultaten van de nulmeting, tot en met december 2013, zijn vastgelegd in de rapportage 'Nulmeting grondwater Waterdunen' door Deltares (2014).

In de voorliggende rapportage worden de resultaten van de grondwatermonitoring van de gehele periode beschreven; van nulmeting (nulfase) de uitvoeringsfase (vanaf 2010 tot september 2019), het moment dat de getijdenduiker in de testfase in werking is gesteld, en de periode daarna tot en met december 2022. De metingen laten dus de resultaten tot opening van de duiker zien en drie-en-een-half jaar na opening. Per locatie zijn de beschrijvingen van de monitoringsresultaten in meer detail opgesteld en in afzonderlijke bijlagen opgenomen. Om redenen van privacy zijn deze niet openbaar.



Figuur 1.5 Meetnet grondwatermetingen Waterdunen. In de rode meetpunten wordt naast de grondwaterstand (of stijghoogte) ook het zoet-zout grensvlak met de EM-SlimFlex gemeten.

2 Algemene samenvatting resultaten grondwatermonitoring

2.1 Grondwaterstanden en stijghoogten

2.1.1 Ruimtelijk beeld

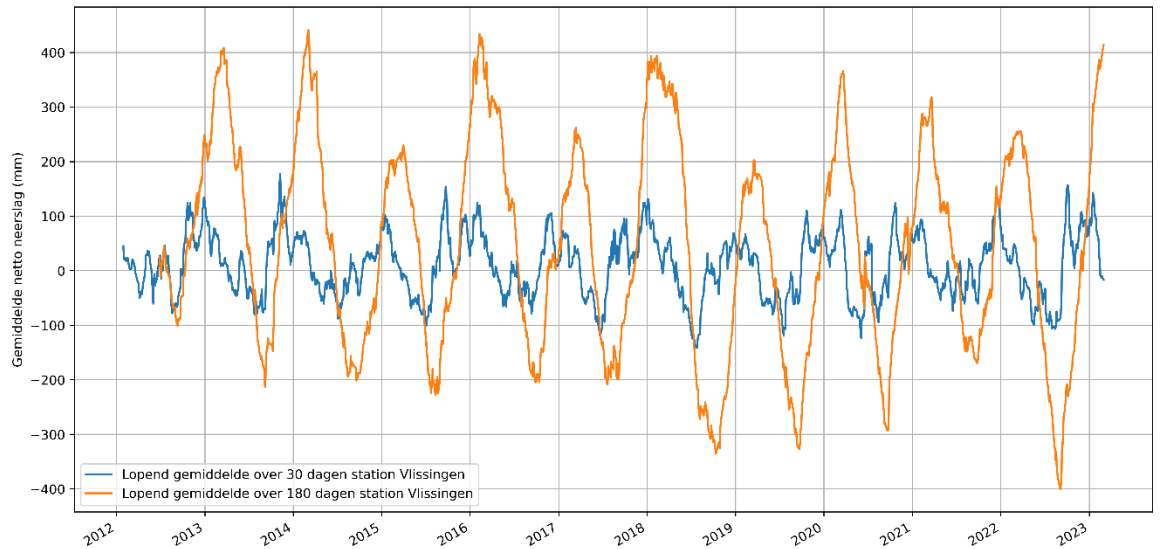
De in de tijd gemiddelde stijghoogte bij de grens tussen Waterdunen en het landbouwgebied varieert tussen NAP -0,7 en 0,2 m, al naar gelang het meetpunt en enkele uitschieters daargelaten. De laagste stijghoogten worden gemeten vlak bij de sloten die op polderpeil liggen en waar de ondergrond zandig is. De hoogste waarden worden gemeten op grotere afstand van de poldersloten.

De grondwaterstanden (freatisch) lijken op de stijghoogten, maar de dynamiek is vaak iets hoger (fluctuatie). Dit komt omdat het ondiepe grondwater sterker reageert op neerslag, en ook op verdamping, dan de diepere stijghoogten waar deze impulsen worden afgezwakt door de ondergrond. Nabij de kustlijn worden de hoogste grondwaterstanden gemeten, gemiddeld NAP +0,2 tot +0,6 m. Op een aantal locaties staat het grondwater (freatisch) in natte perioden dicht onder maaiveld (0.2 tot 0.5 m), als gevolg van een lage ligging, een grote(re) afstand tot sloten, of een kleiige grondslag die de afvoer van regenwater belemmert. Op sommige locaties staat de freatische grondwaterstand in natte perioden dieper dan één meter minus maaiveld en de meeste grondwaterstanden worden tussen 0.5 en 1.0 m onder maaiveld aangetroffen.

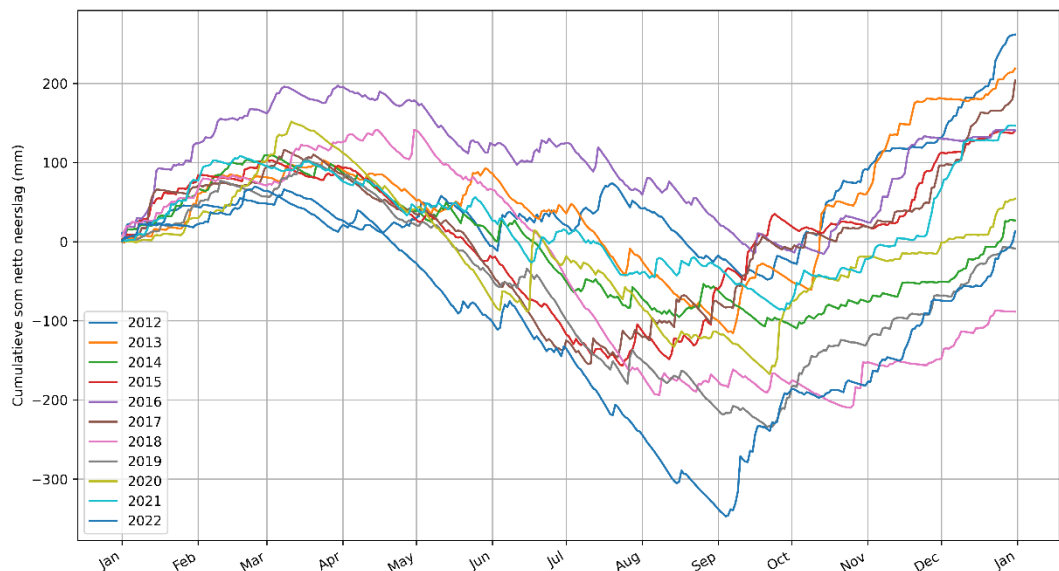
2.1.2 Variatie in de tijd

Figuur 2.1 laat het lopend gemiddelde van het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) zien sinds 2015. De winters van 2015-16, 2017-18 en 2019-20 zijn duidelijk natter dan de andere winters en dit is ook terug te zien in de grondwaterstandsmetingen. De mate waarin de grondwaterstand uitzakt in de zomer, varieert van jaar tot jaar met 20 tot 40 cm. Dit uitzakken is het gevolg van het draineren van grondwater door sloten, drainagebuizen en het verdampingsoverschot (meer verdamping dan neerslag) dat meestal vanaf eind maart – begin april ontstaat. Een combinatie tussen weinig neerslag en een hoge verdamping leidt tot een hoger verdampingsoverschot en daarmee tot lagere grondwaterstanden.

2018 was een extreem droog jaar en dit is terug te zien in lage grondwaterstanden voor enkele meetpunten. Ook de zomers van 2019 en 2022 waren zeer droog, de droge zomer van 2019 werd gevolgd door een natte winter (zie Figuur 2.2) waardoor het grondwatersysteem zich enigszins kon herstellen. Verschillen in het optreden van lage grondwaterstanden tussen meetpunten onderling worden veroorzaakt door lokale omstandigheden zoals drainage, afstand tot sloten, begroeiing, bodemopbouw en lokale (onweers)buien.



Figuur 2.1 Lopende gemiddelden van de netto neerslag (neerslag minus verdamping), afgeleid uit neerslagmetingen en potentiële verdamping in Vlissingen. Bron originele data: KNMI.



Figuur 2.2 Cumulatieve som van de netto neerslag (neerslag minus verdamping), afgeleid uit de neerslagmetingen en potentiële verdamping in Vlissingen. Bron originele data: KNMI

2.1.3 Gedempt getij in Waterdunen.

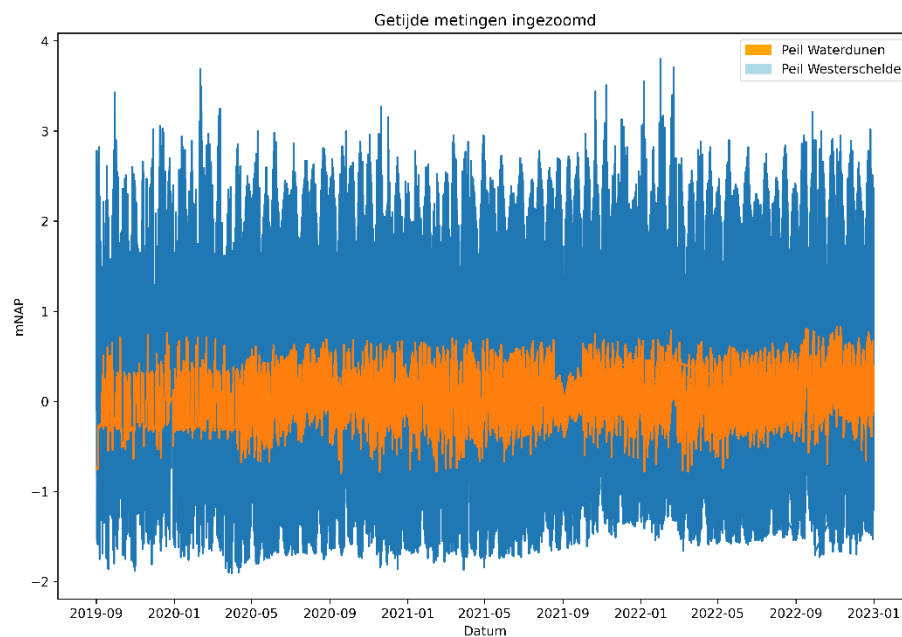
Het peil van de krekken in Waterdunen bedroeg tijdens de uitvoerfase maximaal +0.2 m NAP gedurende natte perioden in de winter met uitzakkende peilen tot -0,6 en -0.8 m NAP in de zomerperiode.

Vanaf september 2019 is men begonnen met de testfase van het openen en sluiten van de schuiven van de getijdenduiker (zie bovenste grafiek, Figuur 2.3). Hierdoor kan water vanuit de Westerschelde bij hoogwater het getijdengebied instromen en bij laagwater weer uitstromen. Hierdoor ontstaat een gedempt getijdengebied in de Waterdunen. Figuur 2.3 (onderste grafiek) laat het gedempt getij zien na de testfase met een veel natuurlijker verloop dan tijdens de testfase (bovenste grafiek). De schuifstanden worden in de weekenden op een kleinere opening ingesteld.

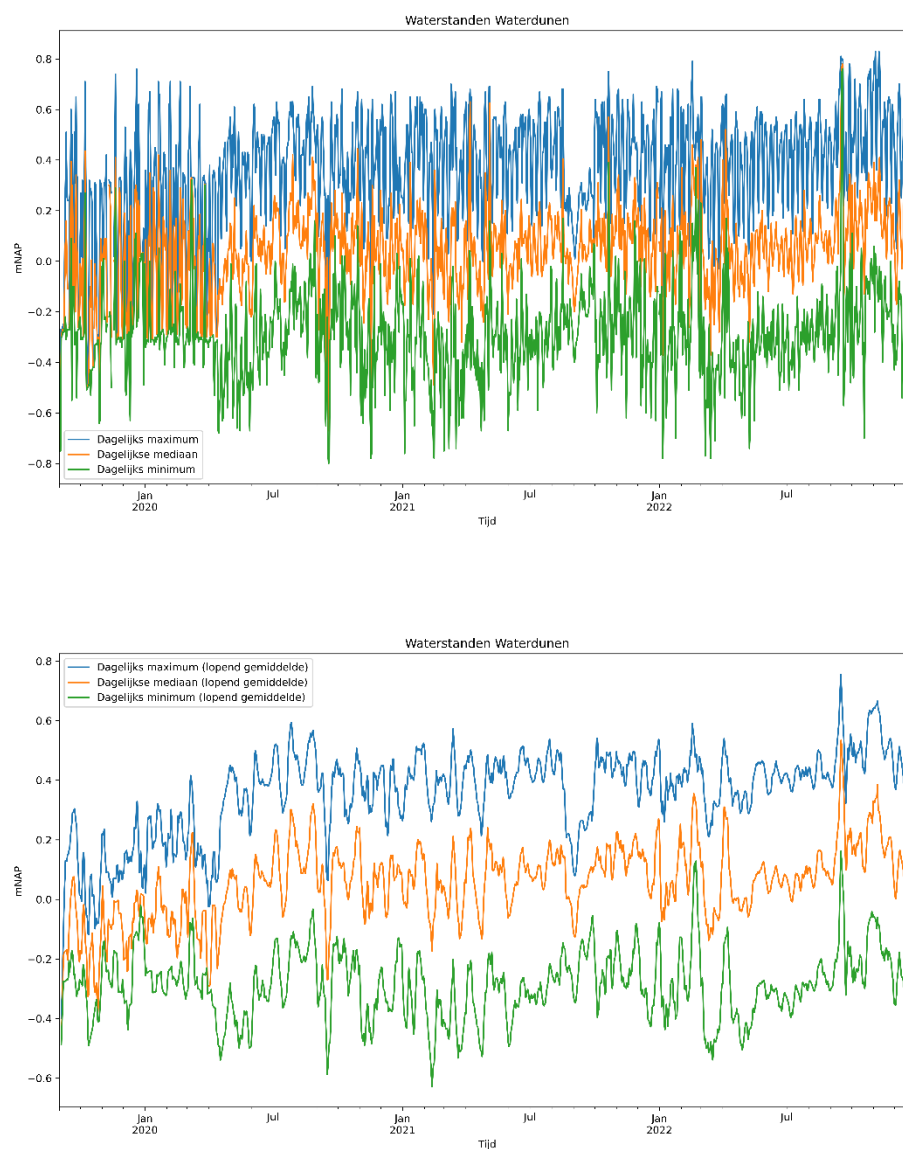


Figuur 2.3 De schuifstanden van de duiker (oranje), het waterpeil in Waterdunen (donkerblauw) en het Westerscheldepeil (lichtblauw) voor een maand in de testfase (oktober 2019, boven) en de operationele fase (november 2021, onder).

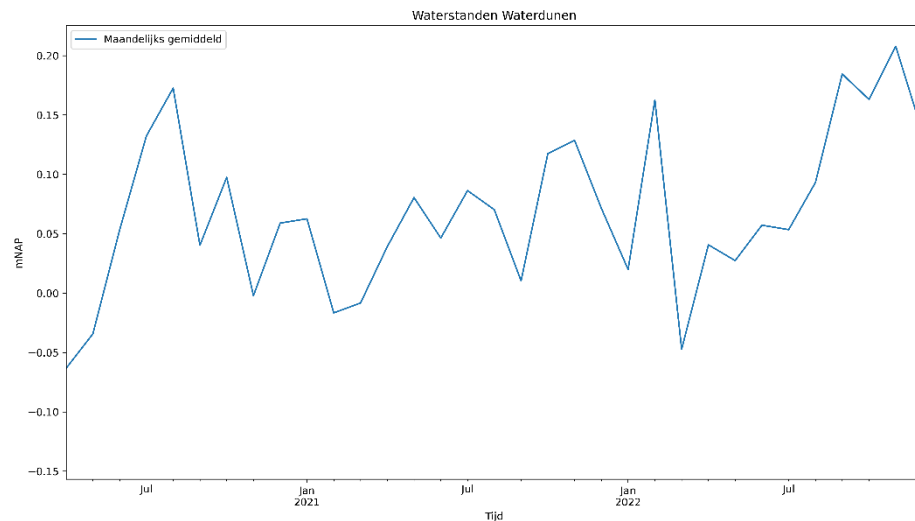
Figuur 2.4 laat het waterpeil van de Westerschelde en het waterpeil van Waterdunen zien vanaf het openen van de getijdenduiker tot en met december 2021. Het waterpeil op de Westerschelde fluctueert tussen circa -2 m NAP en +3 m NAP. De hogere pieken en diepere dalen komen twee keer per maand voor en zijn de perioden met springtij en worden afgewisseld met doodtij wanneer het verschil tussen eb en vloed het kleinst is. Het waterpeil in Waterdunen (gedempt getij) fluctueert gemiddeld tussen circa -0.25 m NAP en +0.50 m met uitschieters naar -0.60 tot +0.60 m NAP en een gemiddelde waterstand van + 0.03 m NAP. Dit is duidelijker zichtbaar in Figuur 2.5 waar de maximale, mediane en minimale waterstand in Waterdunen is geplot als ook het voortschrijdend gemiddelde (week) hiervan. In Figuur 2.6 staat het gemiddelde peil per maand weergegeven dat sinds de zomer van 2020 varieert tussen -0.02 en 0.12 m NAP.



Figuur 2.4 Het peil van de Westerschelde in blauw (getijde) en het gedempt getij in Waterdunen in oranje.



Figuur 2.5 Het gedempt getij (waterpeil) in Waterdunen weergegeven met het maximale (blauw), mediane (oranje) en minimale peil (groen) per dag (boven) en deze waarden gemiddeld per week (onder).

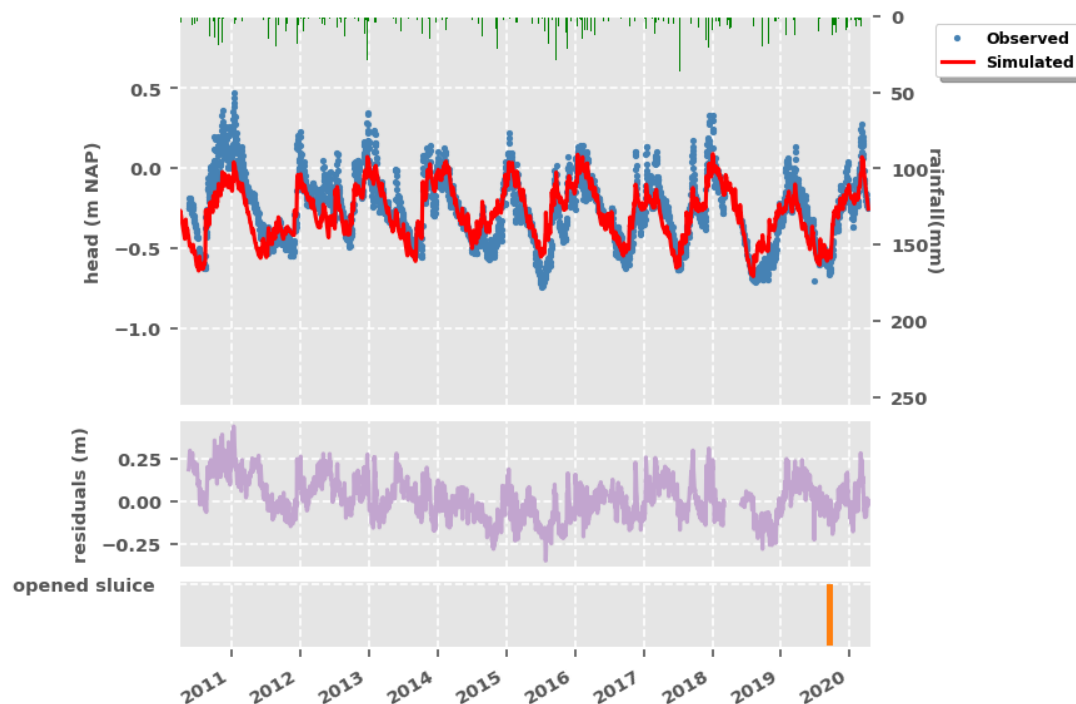


Figuur 2.6 Het gemiddeld waterpeil per maand in Waterdunen sinds april 2020

2.1.4 Veranderingen door uitvoeringswerkzaamheden en opening duiker

Tijdens de uitvoeringsfase en na opening van de duiker zijn er in vergelijking met de nulfase nauwelijks structurele veranderingen in de grondwaterstand en stijghoogte gemeten. Bijna alle tussen 2010 en augustus 2019 gemeten veranderingen waren tijdelijk. Neerslag en verdamping hebben een grote invloed op de dynamiek van de grondwaterstand en stijghoogte waardoor het moeilijk is om kleine structurele veranderingen (structureel lager of hoger) visueel uit de metingen te halen. Daarom is voor alle meetpunten een tijdreeksanalyse uitgevoerd waarmee het effect van neerslag en verdamping uit de meetreeks is gefilterd. Structurele veranderingen als gevolg van ingrepen worden zo zichtbaarder.

In onderstaande figuur 2.7 staat een voorbeeld van zo'n tijdreeksanalyse. In de bovenste grafiek geeft de blauwe lijn de gemeten grondwaterstand weer en de rode de gemodelleerde grondwaterstand op basis van alleen neerslag en verdamping. Het gaat er hierbij om dat het verloop van de gemeten grondwaterstand (blauw) redelijk goed wordt berekend (rood). Maar er zullen altijd afwijkingen zijn tussen de gemeten en gemodelleerde grondwaterstand die soms best groter kunnen zijn dan 25 cm. Het tijdreeksmodel is niet perfect, bevat onnauwkeurigheden en kan soms pieken of dalen niet goed benaderen. Echter, de tijdreeksanalyse is daar niet voor bedoeld maar juist zeer geschikt om structurele afwijkingen tussen de gemeten grondwaterstand en gemodelleerde grondwaterstand in beeld te brengen. Als de gemeten grondwaterstand op een bepaald moment structureel gaat afwijken van de gemodelleerde grondwaterstand zou dit veroorzaakt kunnen zijn door externe factoren zoals bijvoorbeeld een peilverhoging of -verlaging. Ook worden op deze manier meetfouten zichtbaar, zoals bijvoorbeeld verplaatsing van de sensor-hoogte. In de grafiek eronder geeft de paarse lijn het verschil tussen de berekening en de metingen weer en de afwijkingen schommelen tussen de -25 en + 25 cm. Trendmatige afwijkingen die effecten van externe factoren of meetfouten aantonen, zijn in onderstaande grafiek niet zichtbaar. De oranje lijn geeft het moment weer dat de getijdenduiker in werking is gesteld.



Figuur 2.7 Het resultaat van een tijdreeksanalyse van een meetpunt rondom Waterdunen. De rode lijn geeft het tijdreeksmodel dat op basis van neerslag en verdamping is opgesteld. Afwijkingen met de gemeten tijdreeks (de blauwe lijn) geven eventueel aanwijzingen voor structurele veranderingen in de waterhuishouding.

De resultaten van de tijdreeksanalyse laten voor bijna alle meetpunten geen structurele veranderingen zien gedurende de werkzaamheden en na opening van de getijdenduiker. Echter, er zijn nog langere tijdreeksen nodig om dit met meer zekerheid te kunnen vaststellen.

Voor een enkel meetpunt in het plangebied Waterdunen zijn veranderingen zichtbaar vóór de opening van de getijdenduiker zoals voor de meetpunten bij 't Killetje dichtbij de gegraven inlaatkreek. Als het gevolg van de droogte in 2019 zakte het peil in de kreek steeds verder uit tot beneden het polderpeil waardoor ook de grondwaterstand verder kon dalen. Op enkele percelen heeft het graven van de ringsloot geleid tot lagere grondwaterstanden in natte perioden. Enkele andere meetpunten in het plangebied lijken op basis van de tijdreeksanalyse de laatste jaren iets hogere grondwaterstanden te laten zien maar er zijn langere meetreeksen nodig om dit met meer zekerheid te kunnen vaststellen. De mogelijk iets hogere grondwaterstanden hebben overigens geen enkele nadelige consequenties voor de bebouwing bij het meetpunt.

Buiten het plangebied Waterdunen zijn voor twee meetpunten significante veranderingen opgetreden in de laatste jaren. Voor één meetpunt betreft dit een stijghoogteverlaging sinds halverwege 2020 maar de metingen vertonen een onnatuurlijke stijghoogteverloop. In oktober 2022 is geconstateerd dat het hier om een kapotte peilbuis gaat. Een ander meetpunt vertoont sinds halverwege 2019 een grondwaterstandsverhoging die vermoedelijk te relateren is aan een lokale verandering van de waterhuishouding.

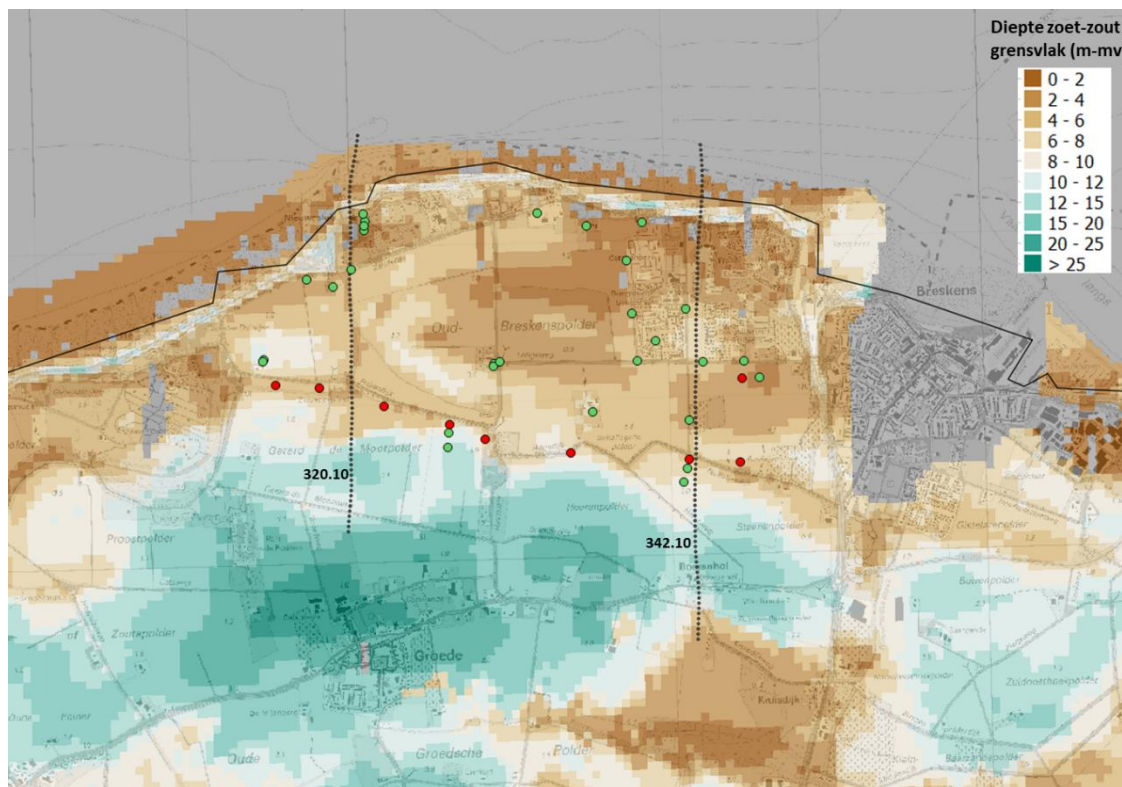
2.2 Zoet en zout grondwater

2.2.1 Ruimtelijk beeld

In 2015 zijn in het kader van het project FRESHEM elektromagnetische (EM) metingen m.b.v. een helikopter (HEM-metingen) verricht (Figuur 2.8) waarmee de zoet-zout verdeling van de ondergrond van Waterdunen en omgeving in beeld is gebracht (Van Baaren et al., 2017). Voor enkele focusgebieden zoals Waterdunen lagen de vlieglijnen dicht bij elkaar voor een gedetailleerder beeld (200 m i.p.v. 300 m). Op een vlieglijn zijn met de helikopter om de 4 meter EM-metingen uitgevoerd zodat een zeer gedetailleerd ruimtelijk beeld ontstaat van de diepte van het zoet-zout grensvlak. Deze metingen vormen een belangrijk onderdeel van de nulmeting van het zoet-zout grensvlak omdat de ruimtelijke variatie van het grensvlak op deze manier goed in beeld is gebracht. De resultaten zijn sinds begin 2017 beschikbaar en kunnen via de website van de provincie door een ieder worden geraadpleegd. Hieronder volgt een korte beschrijving van de meetresultaten. Voor een uitgebreide beschrijving van het FRESHEM-project met opzet van de meetcampagne en de methoden voor het verwerken van de meetgegevens, wordt verwezen naar Van Baaren et al. (2017).



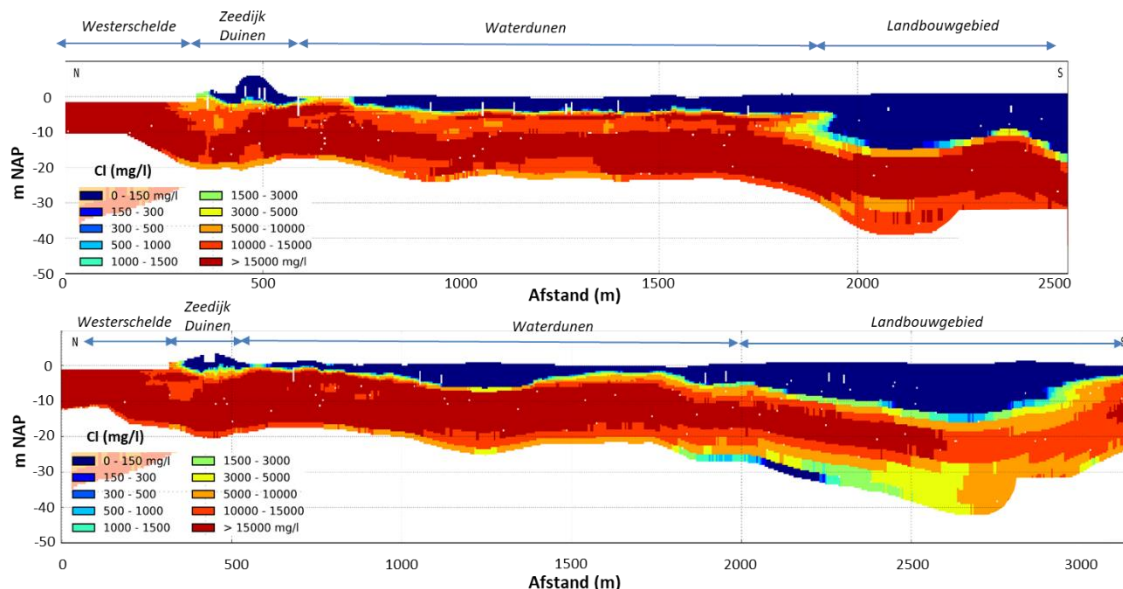
Figuur 2.8 Het uitvoeren van Elektromagnetische metingen vanuit een helikopter (BGR-systeem) voor het in kaart brengen van het zoutgehalte in de ondergrond van Zeeland: het FRESHEM-project.



Figuur 2.9 De diepte van het zoet-brakzout grensvlak op basis van de FRESHEM-metingen uit 2015 (Van Baaren et al., 2017). Voor dit grensvlak is het chloridegehalte van 300 mg/l gehanteerd. Tevens zijn de twee vlieglijnen weergegeven (stippellijn) waarvoor profielen van het zoutgehalte worden getoond in Figuur 2.10. De rood en groene bolletjes geven de grondwatermeetpunten weer, in de rode meetpunten worden naast grondwaterstanden ook jaarlijks zoet-zout profielen gemeten met de EM-SlimFlex

In Figuur 2.9 is een ruimtelijk beeld van de overgangsdiepte van zoet naar brakzout grondwater op basis van de helikopter-EM metingen weergegeven. De overgangsdiepte kan ook worden geïnterpreteerd als de dikte van de zoetwaterlens die drijft op het zoute grondwater. Voor het Waterdunen-gebied zijn vooral roodbruine kleuren te zien wat inhoudt dat de zoetwaterlens relatief dun is, variërend van minder dan 2 meter tot 10 meter dikte voor enkele iets hoger gelegen gebieden in Waterdunen. Tevens valt op dat vanaf de zuidgrens van Waterdunen, de dikte van de zoetwaterlens naar het zuiden toeneemt, van 6-8 meter dikte naar 10-15 meter tot zelfs meer dan 25 meter dikte ter hoogte van het dorp Groede. NB: het is in de provincie Zeeland niet toegestaan om grondwater uit een zoetwaterlens te onttrekken wanneer deze dunner is dan 15 meter omdat een zoetwater dan niet duurzaam gebruikt kan worden. Dit om verzilting van het aanwezige zoete grondwater tegen te gaan.

Figuur 2.10 laat twee noord-zuid profielen van de zoet-zout verdeling in de ondergrond door Waterdunen zien. Zowel de oostelijke als de westelijk doorsnede laten hetzelfde beeld zien: de afwezigheid van zoetwater in de Westerschelde, een geringe zoetwaterlens ter hoogte van de zeedijk en duinen, in Waterdunen een dunne zoetwaterlens van gemiddeld 2 tot 6 m dikte en een dikkere zoetwaterlens van 10 tot 15 m dikte in het landbouwgebied grenzend aan Waterdunen.

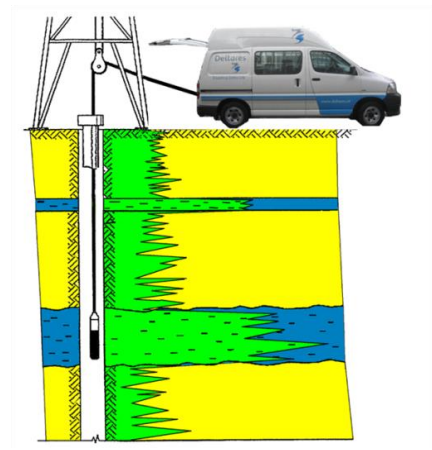


Figuur 2.10 Het zoutgehalte (in mg/l chlorideconcentratie) voor twee noord-zuid vlieglijnen (profiel) door Waterdunen, bepaald uit de EM-helikopter metingen. De blauwe kleuren geven zoet grondwater weer en de rode kleuren geven brak-zout grondwater weer. Het bovenste profiel is vlieglijn 320.10, het onderste profiel is vlieglijn 342.10 (zie Figuur 2.9 voor locatie van de vlieglijnen)

2.2.2 Variaties in de tijd

Uit onderzoek is gebleken (De Louw, 2013; Pauw, 2015) dat het grensvlak tussen het zoete en zoute grondwater in Zeeland nauwelijks varieert als gevolg van de seizoenen en tussen droge en natte jaren. Veranderingen in dikte van de zoetwaterlens vinden alleen plaats als er structurele veranderingen in de hydrologie van het gebied plaatsvinden zoals grondwateronttrekkingen of een herinrichting van een gebied waarbij bijvoorbeeld de waterpeilen veranderen. Veranderingen van de diepte van het zoet-zout grensvlak gaan relatief langzaam. Daarom zijn voor zowel een goed beeld van de nul-situatie als ook van veranderingen als gevolg van de herinrichting 1 á 2 metingen per jaar voldoende.

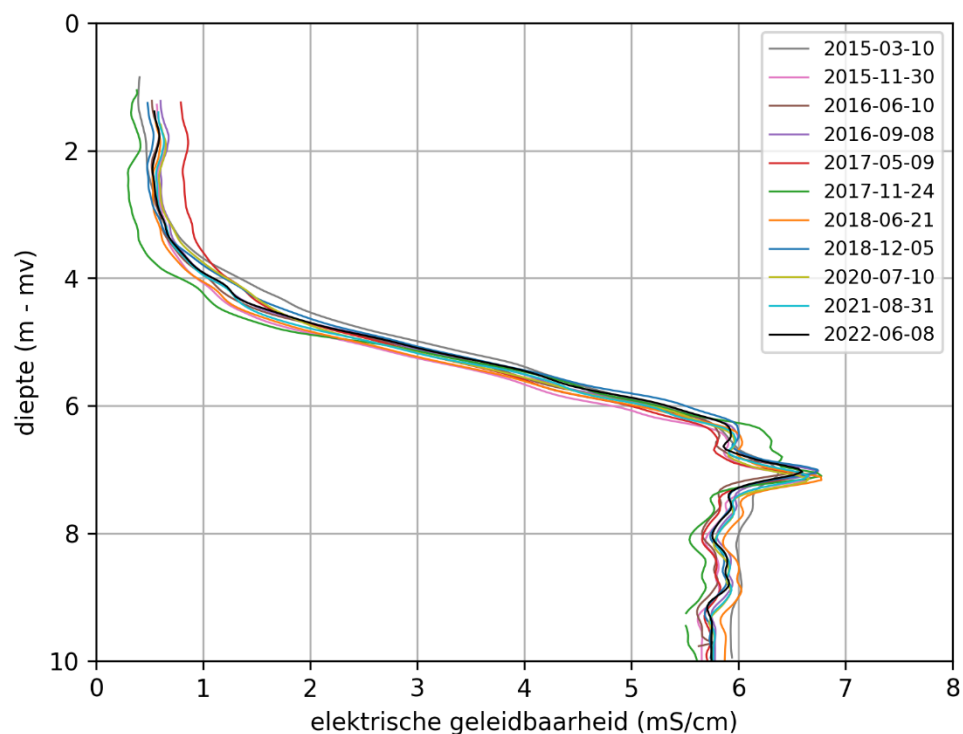
Variaties in de ligging van het zoet-zout grensvlak worden in de tijd gevolgd door middel van metingen met een smalle elektromagnetische sonde in een bestaande peilbuis, de EM-SlimFlex (zie Figuur 2.11). De EM-SlimFlex meet per diepte-interval van 10 cm de geleidbaarheid van de bodem buiten de peilbuis met behulp van elektromagnetische metingen. De bodemgeleidbaarheid wordt bepaald door twee factoren: de bodemopbouw en het zoutgehalte van het grondwater. Bij brak en zout grondwater speelt de bodemopbouw een ondergeschikte rol bij de bodemgeleidbaarheid waardoor heel goed de overgangszone tussen zoet en zout grondwater kan worden gemeten met de EM-SlimFlex. Samen met het feit dat de bodemopbouw niet verandert, kunnen ook veranderingen van het zoutgehalte in de tijd goed worden gevolgd met de EM-SlimFlex.



Figuur 2.11 Uitvoering van een EM-Slimflex-meting voor het in beeld brengen van de verdeling van het zoete, brakke en zoute grondwater

De EM-metingen zijn sinds 2010 halfjaarlijks en vanaf 2019 jaarlijks uitgevoerd in de meetpunten aangegeven met rood in Figuur 1.5 en Figuur 2.9. Figuur 2.12 laat een voorbeeld zien van EM-SlimFlex-metingen in één van de meetpunten rondom Waterdunen sinds 2015. Zoals alle meetpunten laten zien, wordt er eerst een laag zoet grondwater aangetroffen, met daaronder een overgangszone naar zout grondwater. In het voorbeeld van Figuur 2.12 reikt de zoetwaterlaag tot ongeveer 4 m diepte met daaronder een overgangszone van 2 meter tot een diepte van ruim 6 meter waar het zoute grondwater met toenemende diepte een relatief constant zoutgehalte vertoont. De uitstulping op 7 m diepte is het gevolg van de aanwezigheid van een kleilaag die ook een hogere geleidbaarheid heeft.

De diepte van het zoet-zout grensvlak gemeten met de EM-helikopter (zie Figuur 2.9) blijken goed overeen te komen met de in-situ metingen met de EM-SlimFlex.



Figuur 2.12 De elektrische geleidbaarheid gemeten met de EM-SlimFlex in één van de meetpunten rondom Waterdunen voor verschillende momenten sinds 2015.

Deze meting laat ook duidelijk zien dat er nauwelijks fluctuatie van het zout-brakzout grensvlak met de tijd optreedt, ofwel de dikte van de zoetwaterlens verandert nauwelijks in de tijd. Ook de zoutgehaltes van het grondwater fluctueren niet. En dit geldt voor alle meetpunten waarin het zoetzout profiel met de EM-SlimFlex wordt gemeten.

2.2.3 Veranderingen door uitvoeringswerkzaamheden en opening getijdenduiker

Op basis van alle metingen wordt geconcludeerd dat er in de uitvoeringsfase en tot op heden als gevolg van de opening van de getijdenduiker, in veruit de meeste meetpunten geen veranderingen in het zoet-zout grensvlak zijn opgetreden voor de meetlocaties rond Waterdunen. Uitzondering hierop zijn twee meetpunten ten oosten van Waterdunen waar sinds een aantal jaren verzoeting lijkt op te treden. Een mogelijke oorzaak zijn de hogere grondwaterstanden in het oostelijk deel van Waterdunen als gevolg van het verwijderen van drainage. Door de hogere grondwaterstand kan regenwater dieper infiltreren en is er waarschijnlijk een zoetwaterbel ontstaan die zich in oostelijke richting uitbreidt. De komende jaren zal jaarlijks het zoetzout-profiel (en daarmee de ligging van het zoetzout grensvlak) in de meetpunten worden gemonitord.

Zeer waarschijnlijk zal in 2023 of 2024 opnieuw een FRESHEM kartering worden uitgevoerd (zie ook 2.2.1). Hiermee zal opnieuw voor het hele gebied in kaart gebracht worden wat de zoet-zout verdeling in Waterdunen is. Door de resultaten te vergelijken met de FRESHEM kartering van 2017 kan voor het hele gebied in kaart worden gebracht of er sinds 2017 veranderingen zijn opgetreden in de zoet-zout verdeling in het gebied. Dit zal aan de eindrapportage toegevoegd worden.

3 Referenties

De Louw, P.G.B., (2013). Zoute kwel in delta's. Preferente kwel via wellen en interacties tussen dunne regenwaterlenzen en zoute kwel. Academisch proefschrift, Vrije Universiteit Amsterdam, ISBN/EAN 9789461085429.

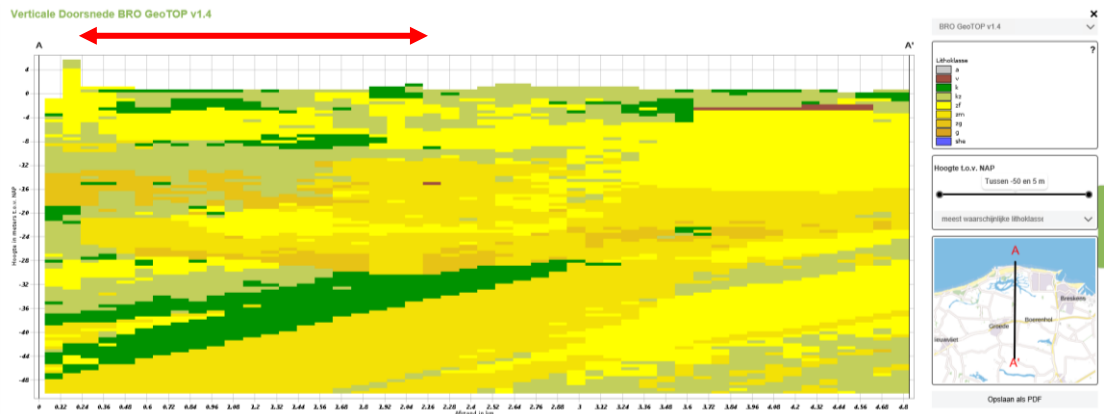
KNMI, 2021. Dagwaarden neerslagstations. <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen>.

Pauw, P.S., Van Baaren, E.S., Visser, M. De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P. (2015). Increasing a freshwater lens below a creek ridge using a controlled artificial recharge and drainage system: a case study in the Netherlands. Hydrogeology Journal - Volume 23, Issue 7, pp 1415–1430 doi: 10.1007/s10040-015-1264-z

Van Baaren, E.S., Delsman, J.R., Karaoulis, M., Pauw, P.S., Vermaas, T., Bootsma, H., De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Dabekaussen, W., Gunnink, J.L., Dubelaar, W., Menkovic, A., Siemon, B., Steuer, A., Meyer, U (2017). FRESHM Zeeland. FRESH Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Province of Zeeland. Deltares-TNO-BGR report.

Tauw (2012). Nader onderzoek waterhuishouding Waterdunen. Rapportage technische onderbouwing peilbesluiten en watergunning. Kenmerk R0001-4781059BJQ-nja-V07-NL.

A De opbouw van ondergrond (bron: Geotop: www.dinoloket.nl)



De opbouw van de ondergrond in klei en zandlagen van de bovenste 50 meter van de ondergrond in een noordzuid-profiel (A-A') door Waterdunen. In onderstaande figuur staat de ligging van het profiel weergegeven.

Gelige kleuren geven zand aan en groenige kleuren klei. Afkortingen: a=antropogeen, v=veen, k=klei, kz=kleiig zand, zf=fijn zand, zm=middelfijn zand, zg=grof zand, g=grind.



B Enkele karakteristieken van de meetpunten

Peilbuis	Locatie	Maaiveld (m t.o.v. NAP)	Bovenkant filter	Onderkant filter	Einddiepte
EC-01	akkerbouw	0.87	-4.1 (diep) ca. -2 (ondiep)	-5.1 (diep) ca. -3 (ondiep)	-15.1
EC-02	akkerbouw	0.88	-5.9 (diep) ca. -2 (ondiep)	-6.9 (diep) ca. -3 (ondiep)	-14.1
EC-03	akkerbouw	0.29	-7.7 (diep) ca. -2 (ondiep)	-8.7 ca. -3 (ondiep)	-13.7
EC-04	akkerbouw	0.75	-3.5 (diep) ca. -2 (ondiep)	-4.5 (diep) ca. -3 (ondiep)	-10.3
EC-05	akkerbouw	0.65	-2.5 (diep) ca. -2 (ondiep)	-3.5 (diep) ca. -3 (ondiep)	-9.4
EC-06	akkerbouw	0.59	-4.7 (diep) ca. -2 (ondiep)	-5.7 (diep) ca. -3 (ondiep)	-10.4
EC-07	akkerbouw	0.98	-5.0 (diep) ca. -2 (ondiep)	-6.0 (diep) ca. -3 (ondiep)	-15.0
EC-08	akkerbouw	0.93	-4.1 (diep) ca. -2 (ondiep)	-5.1 (diep) ca. -3 (ondiep)	-13.1
EC-09	akkerbouw	0.74	-3.3 (diep) ca. -2 (ondiep)	-4.3 (diep) ca. -3 (ondiep)	-8.0
EC-10	akkerbouw	0.62	-4.9 (diep) ca. -2 (ondiep)	-5.9 (diep) ca. -3 (ondiep)	-8.4
EC-11	akkerbouw	1.17	-5.3 ca. 2 (ondiep)	-6.3 (diep) ca. -3 (ondiep)	-10.8
EC-12	akkerbouw	0.87	-5.5 (diep) ca. -2 (ondiep)	-6.5 (diep) ca. -3 (ondiep)	-11.1
EC-13	akkerbouw	0.29	-11.3 ca. -2 (ondiep)	-12.3 ca. -3 (ondiep)	-12.0
EC-14	akkerbouw	0.57	-6.5 ca. -2 (ondiep)	-7.5 ca. -3 (ondiep)	-10.0
W-8	Plangebied	0.81	-5.0	-6.0	-6.0
EC-15	Plangebied	1.3	-2.5	-3.5	-3.5
EC-16	Plangebied	1.27	-4.5	-5.5	-5.5
EC-13*	oppervlaktewater	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
H-1	Sch'veld/Heem	1.09	-5.0	-6.0	-6.0
H-2	Sch'veld/Heem	1.25	-5.0	-6.0	-6.0
S-3	Sch'veld/Heem	1.16	-5.0	-6.0	-6.0
S-4	Sch'veld/Heem	0.92	-5.0	-6.0	-6.0
S-5	Sch'veld/Heem	1.17	-5.0	-6.0	-6.0
S-6	Sch'veld/Heem	0.87	-5.0	-6.0	-6.0
S-7	Sch'veld/Heem	0.87	-5.0	-6.0	-6.0
SB05.1	huisperceel	geen DGPS	-3.0	-4.0	-4.00
KB06.2	huisperceel	1.12	-0.7	-1.7	-1.68
KB08.2	huisperceel	1.63	-0.4	-1.4	-1.37
KB10.1	huisperceel	1.36	-0.2	-1.2	-1.24

NB09.1	huisperceel	1.08	-0.6	-1.6	-1.62
NB11.2	huisperceel	0.95	-0.7	-1.7	-1.65
PG01.1	huisperceel	geen DGPS	2.5	3.5	3.50
WG02.1	huisperceel	0.66	-1.3	-2.3	-2.34
WG04.3	huisperceel	0.59	-1.3	-2.3	-2.31
ZB19.1	huisperceel	1.52	-0.7	-1.7	-1.69
ZB17.1	huisperceel	geen DGPS	1.8	2.8	2.80
LB103.2	huisperceel	geen DGPS	1.9	2.9	2.9

C De vlieglijnen door en rondom Waterdunen van de EM-helikoptermetingen 2015 (FRESHEM)



Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl

Deltares