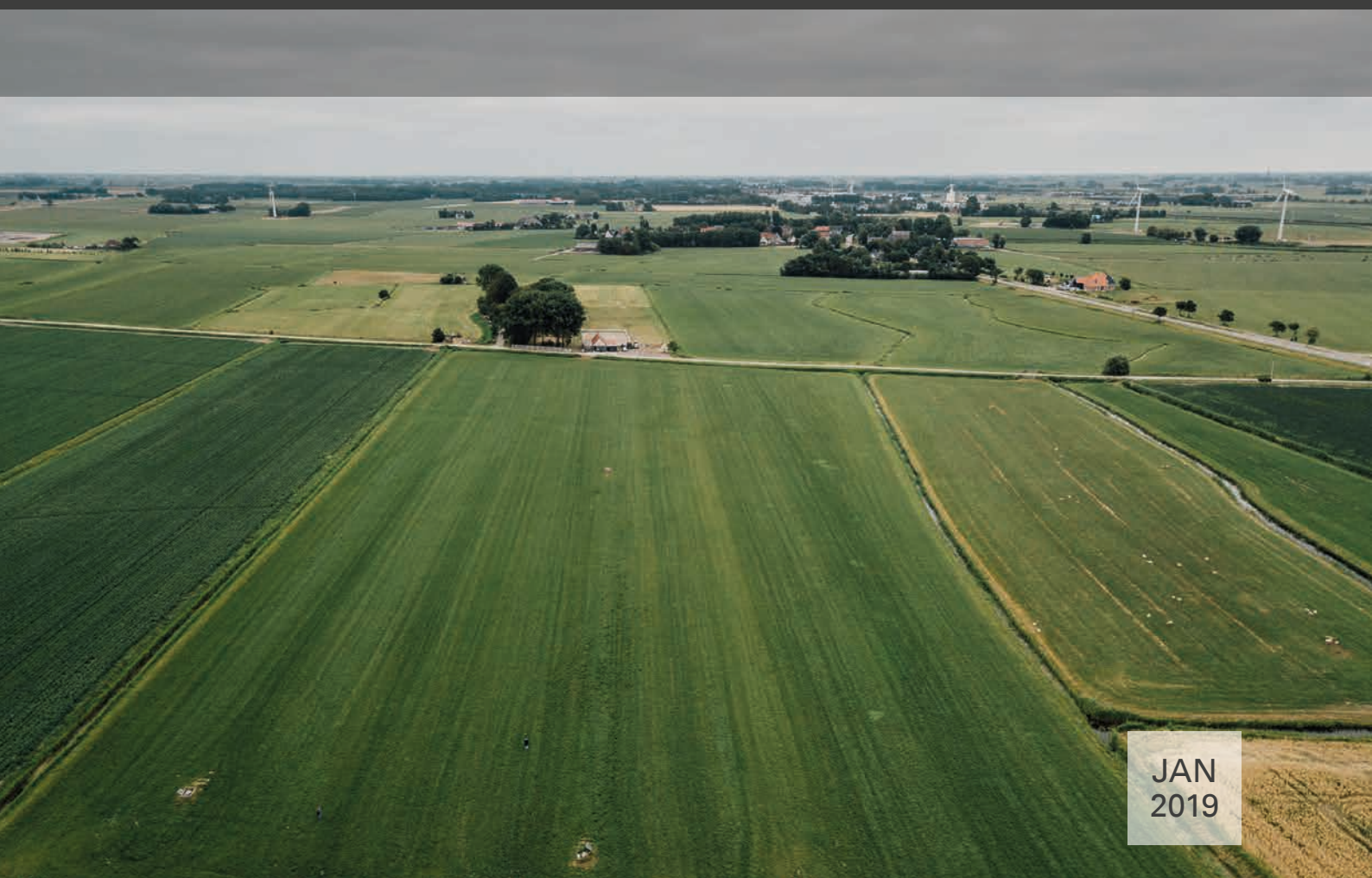


SPAARWATER

Spaarwater in de polder: Effecten op polderniveau

Technische rapportage 2016-2018

Achtergrondinformatie behorende bij hoofdrapport



JAN
2019

Financiers: Waddenfonds, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Wetterskip Fryslân, Waterschap Noorderzijlvest, Waterschap Hunze en Aa's, Provincie Noord-Holland, Provincie Fryslân, Provincie Groningen, STOWA, LTO Noord fondsen, Achmea Agro, Rabobank.

Uitvoerende partijen: Penvoerder Acacia Institute i.s.m. Acacia Water, Delphy, Wageningen Universiteit (Wageningen Economic Research), Vrije Universiteit Amsterdam, Technische Universiteit Delft, SEO Economisch Onderzoek, Broere Berekening, Combi Drain, YARA, Netafim, Han de Kreuk, CaTeC, METER Group, Vermaire Breezand.

Betrokken landbouwbedrijven: Langeveld VOF - locatie Breezand, Teeuwen en Zonen B.V. - Locatie Breezand, Maatschap Noordam ten Have - locatie Borgsweer, Maatschap J.W. Oosterhuis - locatie Hornhuizen, Maatschap A. Hofstra - locatie Herbaijum.

Overige betrokken partijen: LTO Noord, KAVB (Koninklijke Algemene Vereniging voor Bloembollencultuur), Nederlandse Voedsel en Warenautoriteit (NVWA) en Pootgoedacademie.

Colofon

Documenttitel	. Spaarwater 2 - Spaarwater in de polder
Status	. Technische rapportage
Datum	. 17 januari 2019
Projectnummer	. 681
Projectteam	. S. van Meijeren, A. van der Heijden, A. Gevaert, J. Velstra, J. Landheer

Disclaimer

Rapport: Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via info@acaciawater.com

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	1
1.1	Algemeen.....	1
1.2	Context	2
1.3	Leeswijzer.....	3
2	Methodiek watersysteemanalyse.....	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Aanpak.....	4
3	Oostpolder	8
3.1	Gebiedsbeschrijving.....	8
3.2	Systeembeschrijving oppervlaktewater.....	12
3.3	Kalibratie waterbalans	16
3.4	Zoetwatervoorziening onder druk.....	18
3.5	Eigen watervoorziening in de Oostpolder.....	19
4	Negenboerenpolder.....	21
4.1	Gebiedsbeschrijving.....	21
4.2	Systeembeschrijving oppervlaktewater.....	23
4.3	Kalibratie waterbalans	27
4.4	Doorspoelen in de Negenboerenpolder	29
4.5	Nutriëntenstroom in de Negenboerenpolder	29
5	Oude Biltpollen en Noorderleegpolder	31
5.1	Gebiedsbeschrijving.....	31
5.2	Systeembeschrijving oppervlaktewater.....	32
5.3	Kalibratie waterbalans	36
5.4	Anti-verziltingsdrainage in de Oude Biltpollen en Noorderleegpolder.....	38
6	Verziltingsbestrijding door peilopzet	39
6.1	Verziltingsrisico op slootniveau	39
6.2	Aanpak.....	39
6.3	Effecten van peilopzet op slootniveau	41
6.4	Peilopzet in de Waddenregio	43
7	Conclusies	45

1 Inleiding

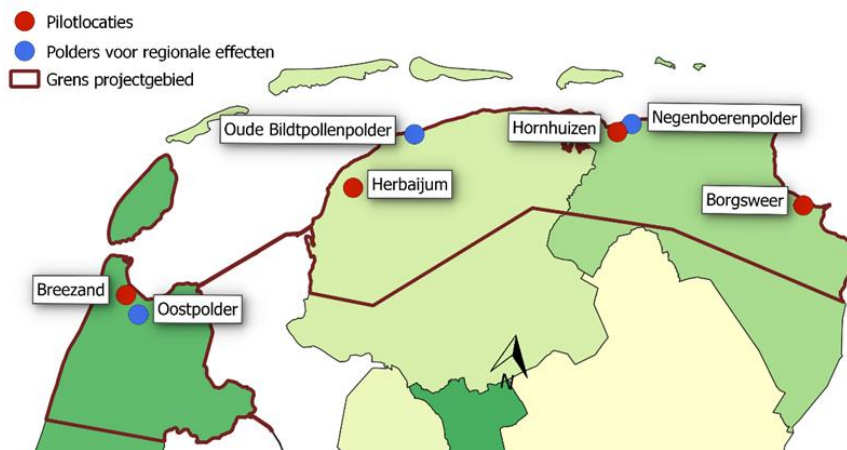
1.1 Algemeen

In 2013 is het project Spaarwater van start gegaan. Spaarwater richt zich op het ontwikkelen en beproeven van maatregelen (Spaarwatermaatregelen) voor het bestrijden van verzilting en het zekerstellen van voldoende zoet water. Onderzoek naar de economische haalbaarheid en regionale opschaling van de maatregelen maken integraal deel uit van het project.

Op een viertal locaties zijn de maatregelen ontwikkeld en getest. Daarnaast is voor de gehele Waddenregio in beeld gebracht waar de maatregelen kansrijk zijn. Ook zijn de waterhuishoudkundige en economische effecten bij toepassing op regionale schaal onderzocht en gekwantificeerd voor drie poldergebieden; in elk van de noordelijke provincies één. De Spaarwatermaatregelen omvatten anti-verziltingsdrainage, eigen watervoorziening en zuinig met zoet water.

- *Anti-verziltingsdrainage* beoogt verzilting te bestrijden, terwijl de ontwatering van het perceel gehandhaafd blijft en de zoutbelasting van het perceel naar de sloot niet toeneemt.
- *Eigen watervoorziening* heeft als doel de zoetwaterbeschikbaarheid voor de agrariër te vergroten door zoet drainagewater uit het perceel op te vangen, op te slaan in de diepe ondergrond en beschikbaar te maken voor gebruik gedurende het groeiseizoen.
- *Zuinig met zoetwater* richt zich op het beperken van het waterverbruik door gebruik van twee typen zuinige irrigatietechnieken: sub-irrigatie (het toedienen van water via bestaande drainage) en twee typen druppelirrigatie (druppelleidingen – jaarlijks aangelegd aan het oppervlak óf aangelegd onder de bouwvoor en daarmee semipermanent).

De gezamenlijke resultaten van het gehele project zijn samengevat in het hoofdrapport van Spaarwater. Van de resultaten van het onderzoek naar elk van de individuele Spaarwatermaatregelen en de waterhuishoudkundige en economische effecten op regionale schaal is een technische rapportage opgesteld. Voorliggend rapport geeft een overzicht van de resultaten van de waterhuishoudkundige analyse bij toepassing van Spaarwatermaatregelen op regionale schaal in drie poldergebieden. De poldergebieden betreffen de Oostpolder (NH), Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder (FR) en de Negenboerenpolder (GR) (zie Figuur 1). Naast de waterhuiskundige analyse bevat dit rapport ook de effectenanalyse bij toepassing van peilopzet in watergangen in relatie tot verzilting.



Figuur 1. Locatie van de drie polders die gebruikt zijn voor het bepalen van de regionale effecten aangegeven met blauwe stip (verder beschreven in deze technische rapportage) en locatie van de pilots aangegeven met rode stip.

1.2 Context

1.2.1 Deltaprogramma

Binnen het Deltaprogramma wordt er gewerkt aan de veiligheids- en zoetwateropgave in het IJsselmeergebied (Deltaprogramma, 2015). Het IJsselmeer is een belangrijke zoetwaterbuffer voor Noord-Nederland en staat onder druk door klimaatverandering en veranderde zoetwatervraag in de regio (Velstra et al., 2013). Zachte winters en hete zomers komen vaker voor en extreme neerslag in de winterperiode neemt toe (KNMI, 2014). Dit kan de zoetwatervoorraden in de regio sterk beïnvloeden. Daarnaast wordt de Rijnafvoer steeds grilliger. Het riviersysteem verandert steeds meer van een smeltwaterrivier in een regenwaterrivier. Dit zorgt voor een grotere variatie in de zoetwateraanvoer naar rivier de IJssel en het IJsselmeer gebied. Bovendien is er sprake van een zeespiegelstijging en een toename van zoetwatervraag in de regio. Het verbruik van zoetwater zal veranderen door nieuwe teelten. Daarnaast neemt de kwaliteitsvraag bij nieuwe teelten toe. De verwachting is dat de zoetwaterbuffer van het IJsselmeer in de toekomst vaker aangesproken zal moeten worden.

De vraag blijft hoe we de zoetwaterbuffer van het IJsselmeer in de toekomst kunnen blijven gebruiken en optimaal kunnen inzetten op een veilige en flexibele manier. Binnen het Deltaprogramma wordt gewerkt aan een robuuste zoetwatervoorziening en een van de doelen van het Deltaprogramma is zorgen voor een veilig en veerkrachtig IJsselmeergebied. Een efficiëntere benutting van water door gebruikers is een van de factoren die hieraan bijdragen. Om dit doel te bereiken wordt gezocht naar maatregelen om de watervraag in de regio te beperken. Hierin levert Acacia Water haar bijdrage in het project Spaarwater. Tevens onderzoekt het deltaprogramma manieren om de regionale watersystemen en de zoetwaterbuffer van het IJsselmeer te vergroten en optimaal te benutten (Velstra et al., 2013).

1.2.2 Context Kader Richtlijn Water

De Kader Richtlijn Water (KRW) geeft per deelgebied aan wat de vereisten zijn voor de waterkwaliteit. Het gaat om de chemische en ecologische toestand van watergangen. In het algemeen is het zo dat zoet water wordt ingelaten in de polders via de primaire watergangen om de secundaire watergangen te doorspoelen met zoet water. Het zoutgehalte en nutriënten gehalte heeft een grote invloed op de waterkwaliteit. Uit metingen blijkt dat het ingelaten water niet altijd het gewenste effect heeft in de haarvaten van het systeem. De vraag is of het ingelaten water overal zorgt voor de gewenste doorspoeling en de gewenste water kwaliteitseisen.

De richtlijn voor de waterkwaliteit van de drie poldergebieden die binnen Spaarwater zijn onderzocht, zijn weergegeven in Tabel 1. M1a komt overeen met zoete sloten (gebufferd) en M1b met niet-zoete sloten (gebufferd) (Evers en Knoben, 2007). De richtlijn voor M1a geldt voor de Oostpolder en de richtlijn voor M1b geldt voor de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder en de Negenboerenpolder.

Tabel 1. KRW-richtlijnen voor sloottypen M1A/B. GEP (Goed Ecologisch Potentieel). MEP (Maximaal Ecologisch Potentieel) (Evers en Knoben, 2007).

TABEL 3.5 MAATLAT VOOR DE ALGEMENE FYSISCH-CHEMISCHE KWALITEITSELEMENTEN VAN TYPE M1A/B

Kwaliteitselement	Descriptor	Eenheid	MEP	GEP	Matig	Ontoereikend	Slecht
Thermische omstandigheden	Dagwaarde	°C	≤ 23	≤ 25	25 – 27.5	27.5 – 30	> 30
Zuurstofhuishouding	Verzadiging	%	60 – 120	35 – 120	30 – 35 120 – 130	25 – 30 130 – 140	< 25 > 140
Zoutgehalte M1a	Saliniteit	mg Cl/l	≤ 150	≤ 150	150 – 200	200 – 300	> 300
Zoutgehalte M1b	Saliniteit	mg Cl/l	150 – 1000	150 – 1000	100 – 150 > 1000	50 – 100	< 50
Zuurgraad M1a	pH	-	5.5 – 8.5	5.5 – 8.5	8.5 – 9.0 < 5.5	9.0 – 9.5	> 9.5
Zuurgraad M1b	pH	-	6.0 – 9.0	6.0 – 9.0	9.0 – 9.5 < 6.0	9.5 – 10.0	> 10.0
Nutriënten M1a*	Totaal-P	mgP/l	≤ 0.042	≤ 0.22	0.22 – 0.44	0.44 – 1.10	> 1.10
	Totaal-N	mgN/l	≤ 1.13	≤ 2.4	2.4 – 4.8	4.8 – 12.0	> 12.0
Nutriënten M1b*	Totaal-P	mgP/l	≤ 0.076	≤ 0.50	0.50 – 1.00	1.00 – 2.50	> 2.50
	Totaal-N	mgN/l	≤ 1.4	≤ 2.4	2.4 – 4.8	4.8 – 12.0	> 12.0

* De werknorm voor nutriënten is het groeilimiterende element voor het specifieke waterlichaam. Voor M1a is fosfor in principe het groeilimiterende nutriënt en voor M1b kan dit ook stikstof zijn (door aanvoer van fosfaatrijke kwel).

1.3 Leeswijzer

In dit rapport worden achtereenvolgens de waterhuishoudkundige analyses van de Oostpolder, Negenboerenpolder en de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder beschreven. In hoofdstuk 5 volgt een uitgebreide analyse van het effect van peilopzet in de sloten op de oppervlaktewaterkwaliteit. Dit is als extra onderdeel toegevoegd aan het Spaarwater project.

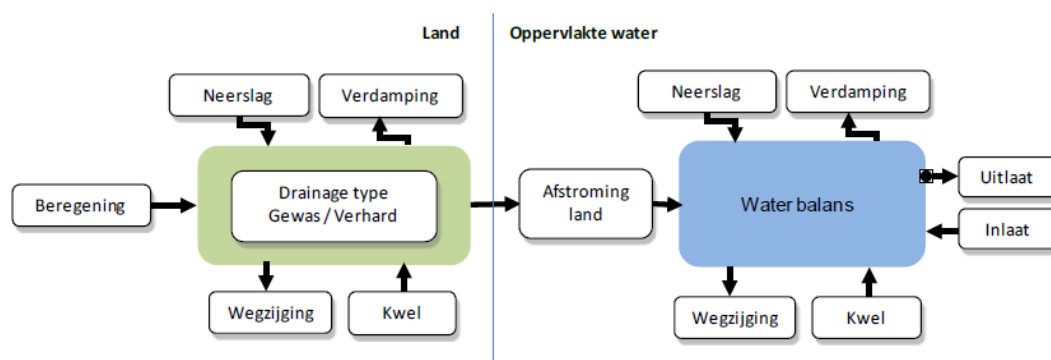
2 Methodiek watersysteemanalyse

2.1 Inleiding

Op basis van metingen van waterschappen, agrariërs en Acacia Water is binnen de drie pilotgebieden onderzoek gedaan naar de waterkwaliteit en waterkwantiteit van het oppervlaktewater. Deze metingen geven een goed inzicht in de ruimtelijke en temporele verdeling van het zout en nutriënten in het oppervlaktewatersysteem. De metingen vormen de basis voor de analyses in dit rapport en zijn gecombineerd met de effecten van Spaarwatermaatregelen beschreven in desbetreffende technische rapportages. De effecten en metingen zijn doorvertaald in regionale implicaties op het oppervlaktewatersysteem in de drie poldergebieden aan de hand van een waterbalans model.

Het waterbalansmodel verhoogt het systeembegrip van de poldergebieden en beschrijft de bijdrage van verschillende bronnen aan het chloride en nutriëntengehalte. Het oppervlaktewater van de polders is in dit model beschouwd als één bakje waar water aan toegevoegd wordt door neerslag, kwel, inlaat en afstroming van het land (drainage). Water verlaat het bakje door verdamping, wegzijging en uitlaat.

Op basis van tijdreeksen simuleert het model zoutgehalten en afvoeren van het oppervlaktewater van de Oostpolder, Negenboerenpolder en Oude Bildtpollen polder. De waterbalans combineert de uitkomsten van een landcomponent, dat afvoer van de perceels- en drainagesystemen berekent gebaseerd op de weerstand en doorlaatvermogen, met een oppervlaktewatercomponent (Figuur 2).



Figuur 2. Schematische weergave van de waterbalans. Links de afstroming van percelen berekend in de landcomponent. Rechts de posten van de waterbalans in de oppervlaktewatercomponent. Voor deze waterbalans is de post beregning weggelaten aangezien de meeste gewassen niet worden beregend.

2.2 Aanpak

2.2.1 Waterbalans

De waterbalans geeft inzicht in de bijdrage van het doorspoelen aan de verlaging van het zoutgehalte en de benodigde hoeveelheden water voor doorspoeling. Tevens kunnen de resultaten bijdragen aan het afwegen van maatregelen die de waterkwaliteit van het grondwater en oppervlaktewater verbeteren. Voor de waterbalans is onderscheid gemaakt tussen het oppervlaktewater en de percelen.

In Excel is een oppervlaktewaterbalans opgesteld waarvoor één van de inkomende posten de afstroom van de percelen is. Andere posten van de oppervlaktewaterbalans zijn neerslag, verdamping, kwel, inlaat en uitlaat.

$$Neerslag + Kwel + Afstroom\ percelen + Inlaat = Verdamping + Uitlaat$$

Het waterbalansmodel is gemaakt voor het oppervlaktewater. Op dagbasis wordt voor elke tijdstap (t) elke in- en uitgaande post berekend. In het perceelmodel (ook opgezet in Excel) wordt op dagbasis de afvoer van de percelen berekend uit de processen die zich afspelen in de onverzadigde zone en het ondiepe grondwater. Er is een koppeling gerealiseerd tussen de oppervlaktewaterbalans en het perceelmodel.

Voor zowel de kwantiteit als de kwaliteit van het oppervlaktewater is een waterbalans opgesteld.

2.2.2 Oppervlaktewater kwantiteit

Neerslag, kwel en verdamping worden vermenigvuldigd met het totaal oppervlak aan oppervlaktewater in het gebied. Vanaf de percelen komt een hoeveelheid water en er kan water ingelaten of uitgeslagen worden.

Wanneer er een verschil is tussen in- en uitgaande posten zorgt berging voor peilverandering. De grootte van de peilverandering wordt bepaald door de hoeveelheid berging gedeeld door het wateroppervlak.

$$Peil(t) = Peil(t-1) + \frac{Berging(t)}{Opp_{water}}$$

De peilverandering wordt binnen bepaalde grenzen gehouden door de drempelwaarde voor uitslag. Als het peil onder een minimumwaarde komt wordt automatisch water ingelaten in de polder.

$$Peil(t) + \frac{\Delta V(t)}{Opp_{water}} < Peil_{min}$$

Er wordt water uitgeslagen als het peil boven het maximumpeil komt. Het maximumpeil is het aanslagpeil van het gemaal.

$$Peil(t) + \frac{\Delta V(t)}{Opp_{water}} > Peil_{aanslag\ gemaal}$$

Er wordt water uitgeslagen tot het peil op het minimumpeil komt (afslagpeil gemaal).

$$Uitslag(t) = (Peil(t) - Peil_{afslag}) * Opp_{water} + \Delta V(t)$$

De hoeveelheid uitslag per dag kent een bovengrens die bepaald wordt door de maximumcapaciteit van het gemaal. Het peil kan boven het maximumpeil komen als de maximum uitslagcapaciteit te klein is om de benodigde hoeveelheid water uit te malen.

2.2.3 Oppervlaktewater kwaliteit

Aan iedere in- en uitgaande post van de waterbalans wordt een chloridegehalte toegekend. De toename in hoeveelheid chloride wordt berekend door elke in- of uitgaande post te vermenigvuldigen met het chloridegehalte van deze post.

$$\Delta m_{Cl} = P(t) * Cl_P + K(t) * Cl_K + Inlaat(t) * Cl_{Inlaat} + Perceelafstroom(t) * Cl_{Perceelafstroom}(t) + Cl_{opp.water,ber.}(t-1) * Uitslag(t)$$

Het chloridegehalte van het oppervlaktewater is de hoeveelheid aanwezige chloride in het systeem gedeeld door het totale volume oppervlaktewater (op t - 1) plus de toe- of afname.

$$Cl_{opp.water,ber.}(t) = \frac{Cl_{opp.water,ber.}(t-1) \cdot V(t-1) + \Delta m_{Cl}}{V(t)}$$

Afhankelijk van het chloridegehalte van de in- of uitgaande post treedt verdunning of juist toename van het chloridegehalte op.

De werkwijze voor de nutriënten stikstof en fosfor is overeenkomstig de werkwijze van het chloride. De concentratie stikstof en fosfor wordt toegekend aan de in- en uitgaande posten van de waterbalans.

Het oppervlaktewatermodel neemt aan dat de polder op dag 0 gevuld is met een bepaald volume met een specifieke concentratie stikstof en fosfor. De concentratie op de hierop volgende dagen wordt berekend door de afbraak van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater in beschouwing te nemen. De afbraak is afgeleid voor organisch stikstof (OrgN), ammonium (NH_4^+), nitriet (NO_2^-) en nitraat (NO_3^-), organisch en anorganisch fosfor ofwel orthofosfaat (PO_4^{3-}). De conceptuele afbraakformules zijn afkomstig uit het SWAT-model.

De stikstof of fosforconcentratie op dag 1 wordt berekend door aan het aanwezige volume de inkomende vracht afkomstig van kwel, neerslag perceel afstroom en inlaatwater toe te voegen. Dit leidt tot een nieuwe concentratie in de sloot waar vervolgens de afbraakprocessen voor worden berekend.

$$N_{mix(begin\ t=1)} = \frac{N_{t=0} \cdot V_{t=0} + N_{input} \cdot V_{input}}{V_{t=0} + V_{input}}$$

De processen zoals denitrificatie leiden tot een toe- of afname van de totale concentratie.

$$N_{1,i} = N_{mix} + \Delta N$$

Vermenigvuldigen van de nieuwe concentratie in het oppervlaktewatersysteem met het volume dat de polder verlaat geeft de nutriëntenvracht die de polder verlaat.

$$N_{uit} = N_i \cdot V_{uit}$$

De oppervlaktewaterconcentratie is gecorrigeerd voor de invloed van evaporatie. Hiertoe wordt het volume berekend na dag t=1, rekening houdend met het volume dat de polder inkomt en uitgaat. Hierbij wordt aangenomen dat evaporatie plaats vindt nadat water de polder heeft verlaten.

$$V_{zet} = V_0 + V_{input} - V_{uitlaat}$$

$$mgN_{zet} = N_{1,i} \cdot V_{zet}$$

Door evaporatie neemt het volume water in de sloot af, waardoor de concentratie in de sloot toeneemt.

$$V_i = V_{zet} - V_{ET}$$

$$N_i = \frac{mgN_{zet}}{V_i}$$

Bovenstaande stappen zijn herhaald voor de verschillende afbraakprocessen van zowel stikstof als fosfor.

2.2.4 Afstroom percelen

Voor het modelleren van de processen op perceelschaal is het perceelmodel opgezet in excel. Dit model simuleert het transport van water en chloride in de bodem op perceelschaal. Omdat in de zone boven het grondwater de transportrichting hoofdzakelijk verticaal is, is het model 1-dimensionaal. Het perceelmodel houdt rekening met neerslag, verdamping en kwel.

Voor het perceelmodel is de volgende waterbalans van toepassing:

$$\text{Netto neerslag} + \text{Kwel} = \text{Makkink gewasverdamping} + \text{Drainage}$$

De bovengrens van het model is het maaiveld met of zonder gewas. Randvoorwaarden zijn de meteorologische condities. In deze studie zijn hiervoor neerslag en Makkink-referentieverdamping gebruikt. Afstroming van grondwater naar de watergangen via drains en greppels treedt op als de grondwaterstand de drain- en greppelniveaus bereikt. De ondergrens van het model beschrijft de interactie met het (regionale) grondwater. Als randvoorwaarde is in deze studie de kwelflux genomen.

Het perceelmodel geeft een afstroomhoeveelheid per dag in een debiet (m³/d) welke in het oppervlaktewatermodel wordt omgerekend naar een perceel afstroomhoeveelheid per polderoppervlakte.

$$Q_{\text{perci}}(t) = \text{Opp}_{\text{land}} * q_{\text{afstroompercelen}}$$

Het perceelmodel geeft de chloridestromen in hoeveelheden per dag (g/d) welke in het oppervlaktewatermodel wordt omgerekend naar een perceel hoeveelheid per polderoppervlakte.

$$Cl_{\text{perci}}(t) = \text{Opp}_{\text{land}} * Cl_{\text{afstroompercelen}}$$

Bij toepassing van systeemgerichte drainage of ondergrondse opslag in de polder treedt een andere functie in werking om de drainflux te berekenen. In het geval van ondergrondse opslag wordt de hoeveelheid water dat wordt opgeslagen (water met chloride gehalte <365 mg/l) in mindering gebracht op de perceel afstroomhoeveelheid. In het geval van systeemgerichte drainage wordt het uitstroomniveau, dat is het niveau waarbij de het veld wordt gedraineerd, verhoogd. Water wordt gedurende de maanden oktober t/m maart gebufferd in het perceel.

2.2.5 Effecten Spaarwatermaatregelen

In het onderzoek naar de effecten van de verschillende Spaarwatermaatregelen op perceel niveau is de afname van debiet, chloride, stikstof en fosfaatgehalten naar het oppervlaktewatersysteem vastgesteld. Voor de analyse van regionale effecten van implementatie van Spaarwatermaatregelen zijn de berekende afnames gebruikt in het waterbalansmodel. De werkelijke effecten kunnen binnen een polder afwijken en leiden tot een andere uitkomst dan in dit rapport aangenomen. Tabel 2 geeft een samenvatting van de belangrijkste bevindingen van de effecten van Spaarwatermaatregelen op perceelniveau.

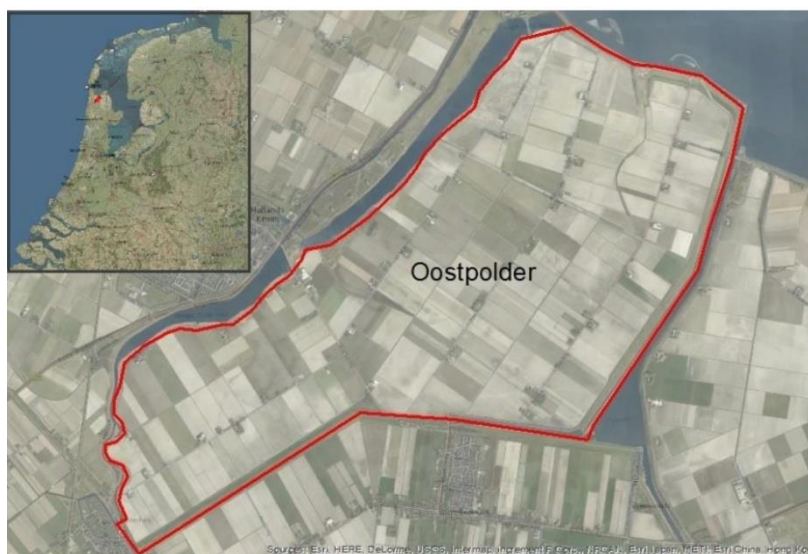
Tabel 2. Belangrijkste bevindingen voor de spaarwatermaatregelen met betrekking tot debiet, chloride- en nutriëntengehalten.

Spaarwatermaatregel	Pilotlocatie	Afname debiet	Afname chloride	Afname stikstof	Afname fosfor
Anti-verzillingsdrainage	Herbaijum	52%	76%	67%	70%
	Hornhuizen	50%	37%	57%	39%
Eigen watervoorziening	Breezand	80%	93%	79%	80%
	Borgsweer	33%	35%	23%	36%

3 Oostpolder

3.1 Gebiedsbeschrijving

De Oostpolder is onderdeel van de Anna Paulownapolder en ligt in het beheergebied van HHNK (Figuur 3). Het beheergebied van HHNK ligt in het lage deel van Nederland dat wordt gekenmerkt door de vele polders en droogmakerijen. De polders liggen als gevolg van veenaufgravingen, maaiveldafval en zeespiegelstijging beneden zeeniveau en het waterpeil wordt door bemaling gereguleerd. Het waterbeheer is over het algemeen gericht op het handhaven van een streefpeil. Het overtollige water wordt via de gemalen uitgeslagen (meestal in de winter). Water wordt ingelaten vanuit een boezemsysteem (vaak in de zomer). Inlaat vindt plaats voor peilhandhaving en kwaliteitsverbetering (bestrijding algenbloei en verzilting). In Noord-Holland liggen veel 'oude' polders relatief hoog. Dit zijn grotendeels veenweidegebieden. Daaromheen liggen de diepere droogmakerijen, welke zijn ontstaan door droogmaking van meren (Boekel et al, 2013).



Figuur 3. Ligging van de oostpolder in de kop van Noord-Holland.

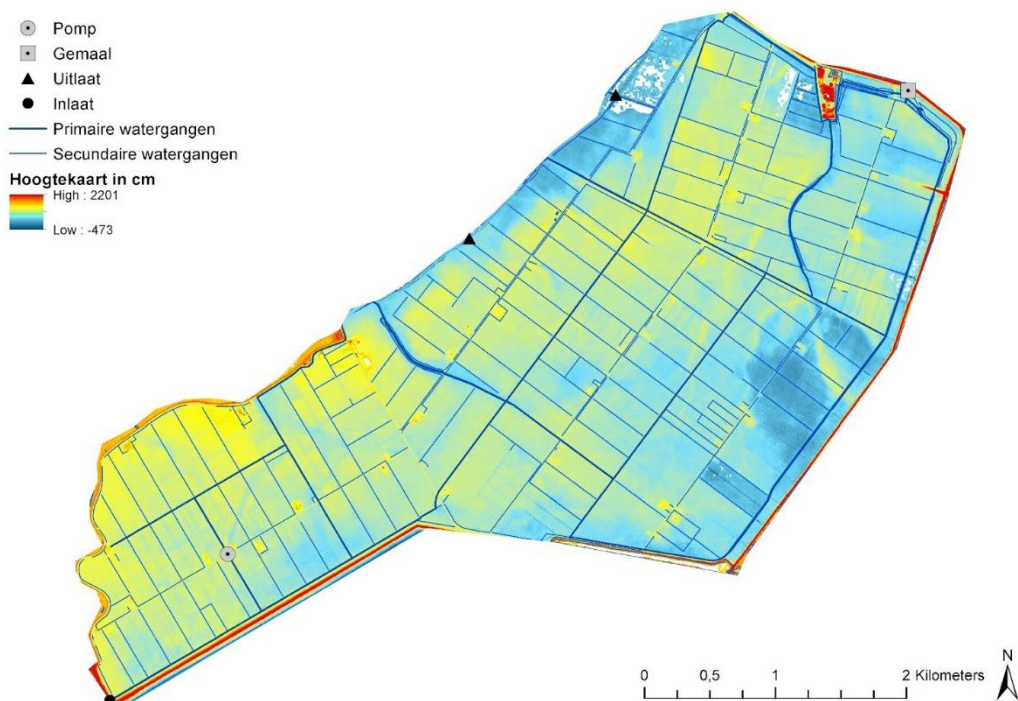
Het zoete water dat nodig is voor de doorspoeling van de Oostpolder is afkomstig uit het IJsselmeer en wordt vanaf Schardam (ten zuiden van Hoorn) aangevoerd. Het water heeft hierna nog een lange weg te gaan via de Boezem. De inlaat van de polder ligt bij Oude Sluis en gemaal de Oosthoek vormt de belangrijkste uitlaat.

3.1.1 Hoogtekaart

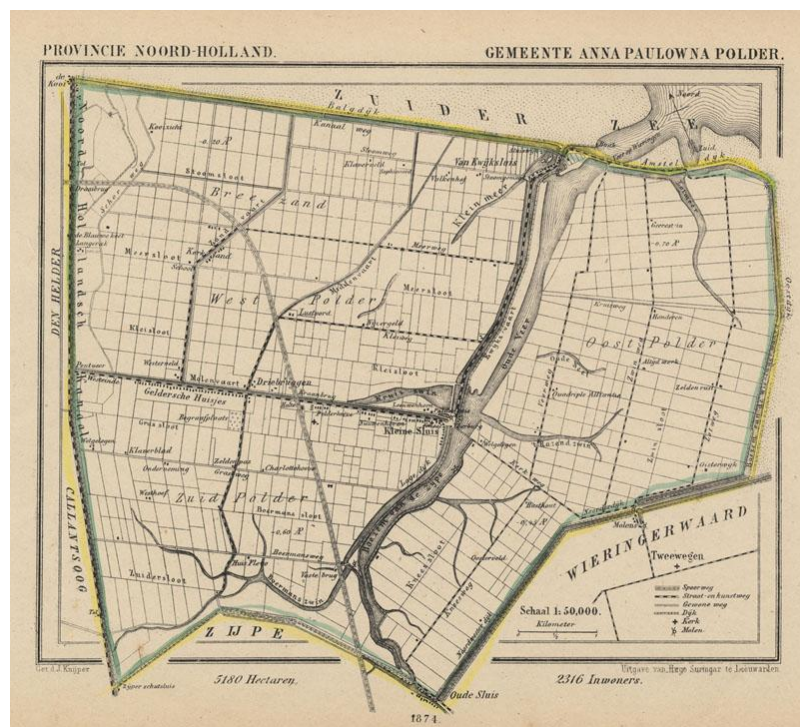
Voordat de Oostpolder in 1847 volledig was ingepolderd, was het gebied onderdeel van een delta dat een veengebied afwaterde richting de Noordzee. De polder is in het westen begrensd door de Oude Veer, wat vroeger de hoofdstroom voor de ontwatering was.

De polders in de regio zijn jonge bedijkingen. Oorspronkelijk was de Oostpolder een veengebied waar de zee een eroderende werking had op het veen.

Delen van het veen werden langzaam vervangen door een kleiige kwelder. In de Oostpolder heeft het vroegere veengebied lang standgehouden wat zorgt voor reliëf in het landschap langs de voormalige kreken (zwinnen) (Figuur 4 en Figuur 5, Jongmans et al, 2012).



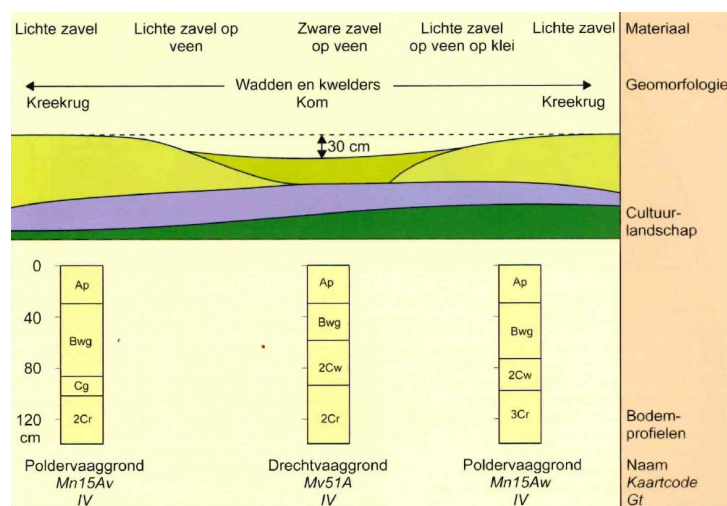
Figuur 4. Het reliëf in de polder langs de voormalige zwinnen is goed te zien in de hoogtekaart van de Oostpolder. Bron: AHN 5 meter.



Figuur 5. Antieke kaart Gemeente Anna Paulowna Polder, gemaakt door Jacob Kuyper in 1874. De oude waterlopen in de Oostpolder zijn nu nog te zien in het reliëf van de polder.

3.1.2 Bodem

Via de restgeul de Oude Veer drong het zeewater diep het veengebied binnen en sedimenteerde materiaal over het veen. Omdat de zavelen in een zout milieu zijn afgezet, zijn deze vaaggronden niet ontkalkt tijdens de afzetting. De huidige bodemsequentie bestaat uit lageregelegen kommen (kalkrijke drechtvaaggrond) en hoger gelegen kreekruggen (kalkrijke poldervaaggrond) (Figuur 6).



Figuur 6. Bodemsequentie in de Oostpolder. Bron: Landschappen van Nederland (Jongmans et al, 2012).

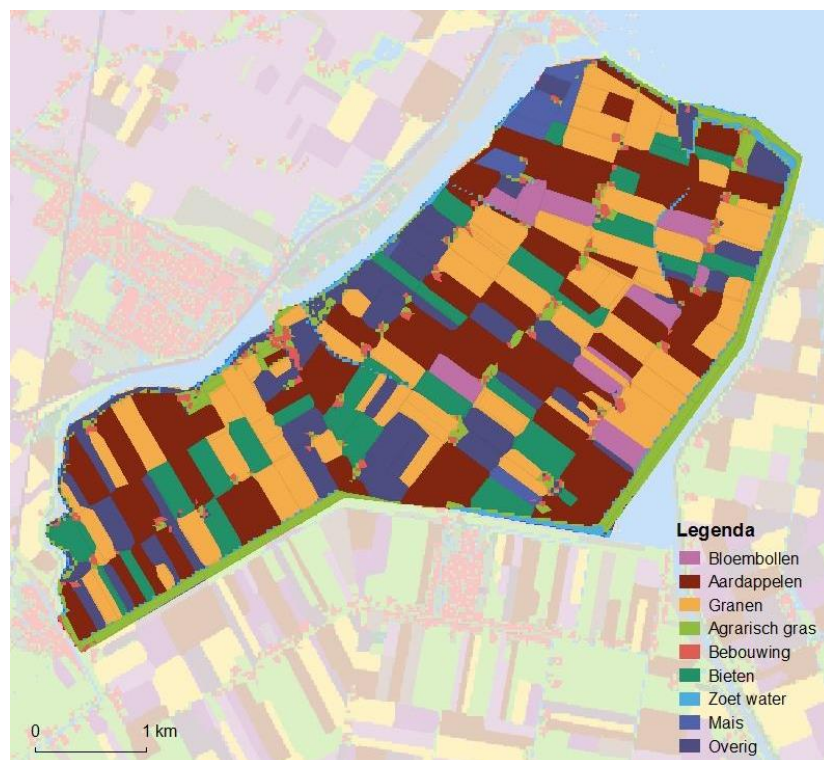
De kalkrijke poldervaaggronden bestaande uit lichte zavel en de drechtvaaggronden, bestaande uit zware zavel op veen, zijn terug te vinden op de grondsoortenkaart (Figuur 7). In vrijwel alle bodems komt nog veen in de ondergrond voor. Deze wordt niet op de grondsoortenkaart weergegeven omdat hij onder dikke kreekruggen ligt. Langs de lageregelegen randen van de polder komen zware kleigronden voor.



Figuur 7. Grondsoortenkaart van de Oostpolder. Bron: Alterra grondsoorten kaart van 2006.

3.1.3 Landgebruik

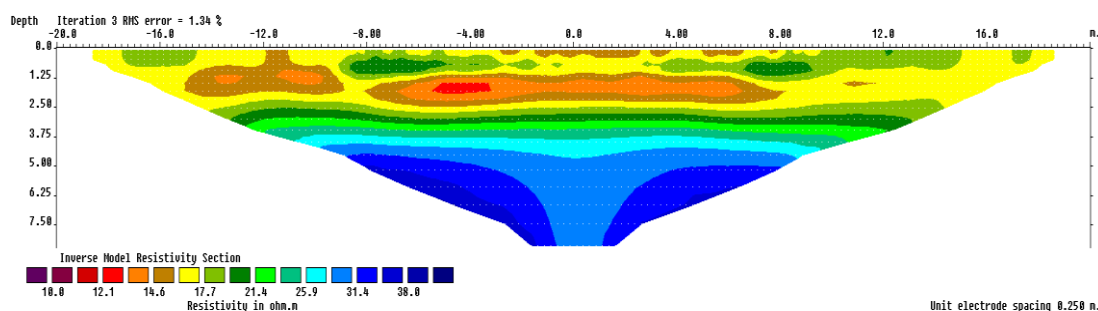
Op basis van de LGN7 kaart is vastgesteld welke landgebruikstypen voorkomen in het gebied (Figuur 8). Het grootste gedeelte van het gebied is onbebouwd. De polder is wel bewoond door voornamelijk agrariërs, maar de grote woonkernen zijn om de polder heen gesitueerd. Momenteel is gewasrotatie met poot aardappels, bieten en granen de meest voorkomende akkerbouw in de regio. Bloembollen worden afwisselend geteeld op gehuurde percelen in de Oostpolder.



Figuur 8. Landgebruik in de Oostpolder volgens de LGN 7.

3.1.4 Zoet-zout verdeling in de ondergrond

Voor de akkerbouw in de Oostpolder is het belangrijk dat het brakke of zoute grondwater niet de wortelzone bereikt. Geofysicametingen kunnen inzicht geven in de zoet-zout verdeling in de ondergrond. Figuur 9 geeft de doorsnede weer van de weerstandsmeting van een perceel van dhr. Wilms. Dit perceel is gesitueerd langs de Lotweg en geeft lage weerstanden hoog in het perceel en hoge weerstanden dieper dan >5m. De lage weerstanden geven aan dat de verzadigde zone onder drainniveau uit kleiig materiaal bestaat en brak water bevat. Met een hoge kweldruk of hoge capillaire opstijging zou het brakke grondwater de wortelzone kunnen bereiken.



Figuur 9. Resultaten van de CVES-metingen op een veld van dhr. Wilms. Het profiel is genomen vanaf 20 tot 60 m vanaf de sloot, die evenwijdig aan de weg loopt, eveneens over het DUALEM-profiel.

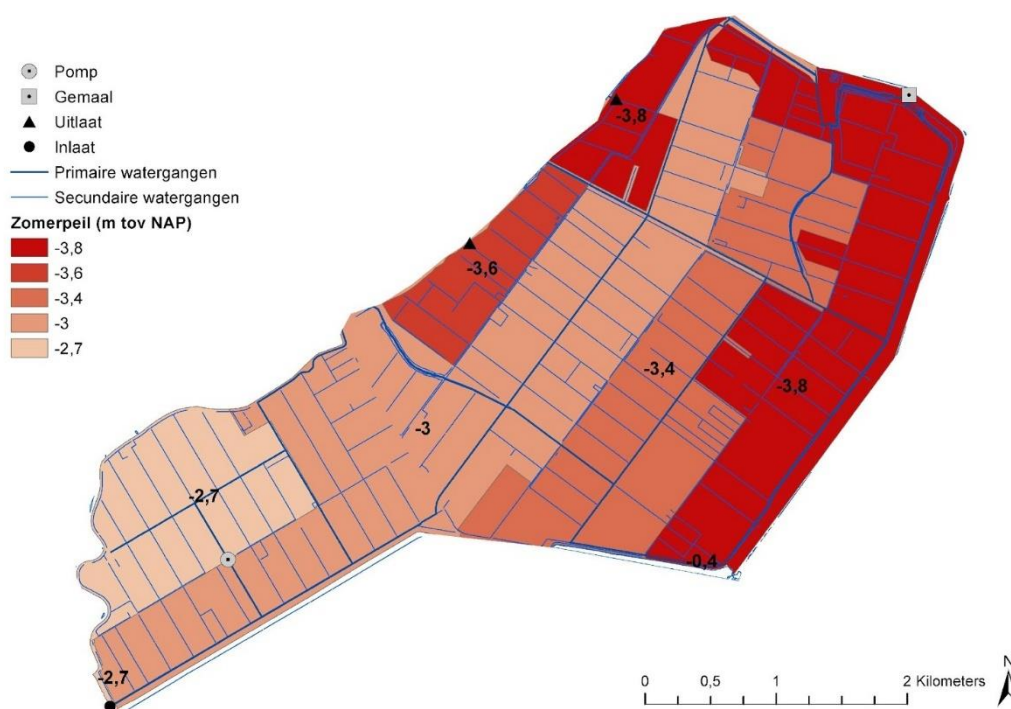
De hoge weerstanden dieper in het profiel geven zandige pakketten met mogelijk zoeter water weer. Deze mogelijke zoete laag biedt kansen voor een ondergronds opslagsysteem.

3.2 Systeembeschrijving oppervlaktewater

3.2.1 Drooglegging en doorspoeling

De Oostpolder valt onder het Watergebiedsplan Anna Paulowna. Een watergebiedsplan omvat een beschrijving van alle gedachten en uitkomsten van onderzoeken die leiden tot een peilkeuze en peilbeheer en/of inrichting en onderhoud van het watersysteem in het betreffende gebied. In de Lage Oude Veer, Kruiszwijn en Razend Zwin wordt seizoensgebonden dynamisch peilbeheer gevoerd rond het huidige zomer en winterpeil (Figuur 10 en Figuur 11). Hierdoor wordt in de polder zoveel mogelijk geanticipeerd op de aanwezige teelt en de actuele weersomstandigheden. In de overige wateren is gekozen voor dynamisch of vast peilbeheer, omdat het agrarisch belang in de polder zwaar weegt. Toch zijn er met name rondom de Oosthoek problemen met wateroverlast tijdens piekafvoeren.

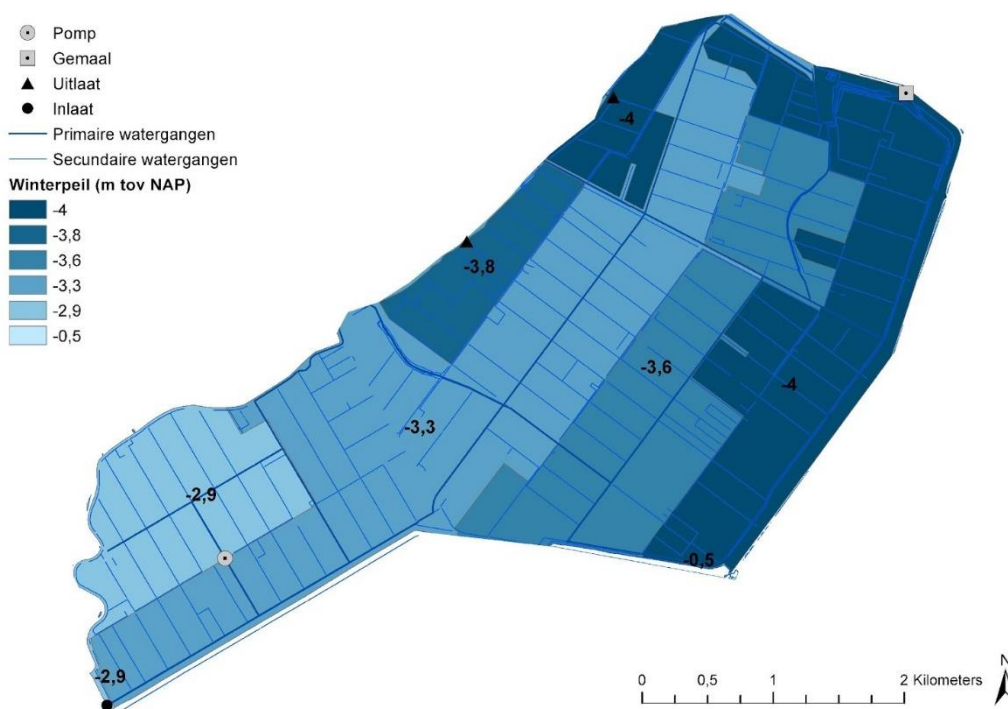
3.2.2 Zomer en winterpeil



Figuur 10. Zomerpeil tov NAP in meter en doorstroming in de hoofdwatgangen aangegeven met blauwe pijlen. Tijdens het groeiseizoen wordt de Oostpolder gespoeld met inlaat water bij Oude Sluis.

Water stroomt vanuit de inlaat, Oude Sluis, richting het noorden lands de Noordwesterdijk Wieringwaard. Het gebied ten westen van deze grote watergang, genaamd de Kneeshoek, heeft een hoger waterpeil dan het inlaatpunt. Daarom wordt er in dit gebied gepompt door pomp 'de Kneesweg'. Het midden van de polder ligt wat hoger dan de randengebieden van de polder. Er is sprake van een 'hoge rug' in het gebied vanwaar het water wordt verdeeld in westelijke en oostelijke richting.

Voor enkele percelen langs de Noordwesterdijk is het huidige zomerpeil vrij hoog; de telers zouden graag direct afvoeren naar de Oostdijk. Ter verduidelijking, dit is het gebied ten zuiden van pomp de Kneeshoek met een peil van -3m. Het verlagen van het zomerpeil is alleen mogelijk als er een investering wordt gedaan in de verbreding van de Kneessloot en een nieuwe aanvoer langs de Kerkweg. Op dit moment wegen de kosten niet op tegen de baten voor de agrarische sector. De aanvoer van de gehele Oostpolder zal langs de huidige weg plaats moeten blijven vinden via Oude Sluis.



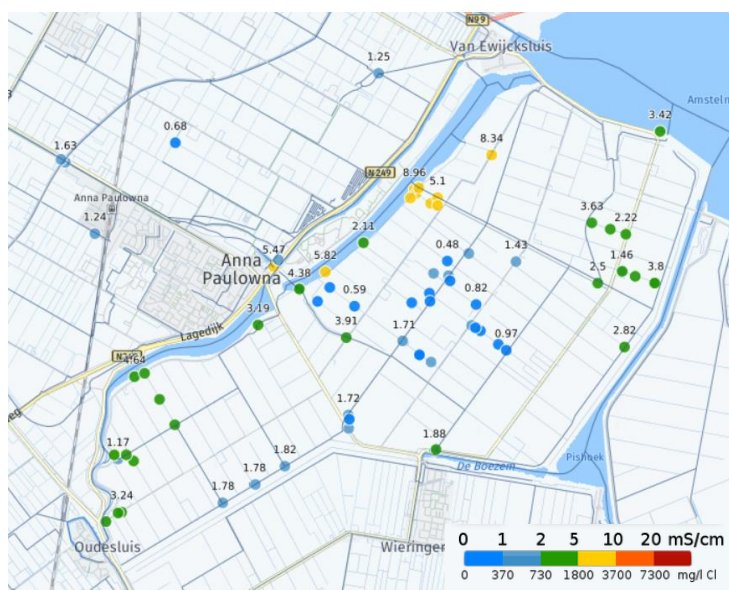
Figuur 11. Winterpeil tov NAP. In de winter vindt er geen inlaat van water plaats. Om de polder te ontwateren worden de stuwen aan de westgrens verlaagd zodat er meerdere uitstroom punten zijn. Daarnaast blijft gemaal de Oosthoek in werking. In de winter is het peil in de Oostpolder 20-30 cm lager dan in een zomer situatie.

Aan de westkant zijn twee blokbemalingen die uitlaten op de Oude Veer. Deze uitlaten zijn genaamd Hoogschagen en Waiboer. Deze onderleiders zorgen voor een verbinding van het westelijk deel met gemaal Wijdens Spaans gelegen aan de Oude Veer ter hoogte van Anna Paulowna. In het noordoosten staat gemaal de Oosthoek. Dit gemaal bemaalt het grootste deel van de Oostpolder. De aanvoer voor gemaal de Oosthoek vindt voor het grootste gedeelte plaats via de zwinsloot en lotmeer. De maximale capaciteit van gemaal de Oosthoek is 62 m³/minuut.

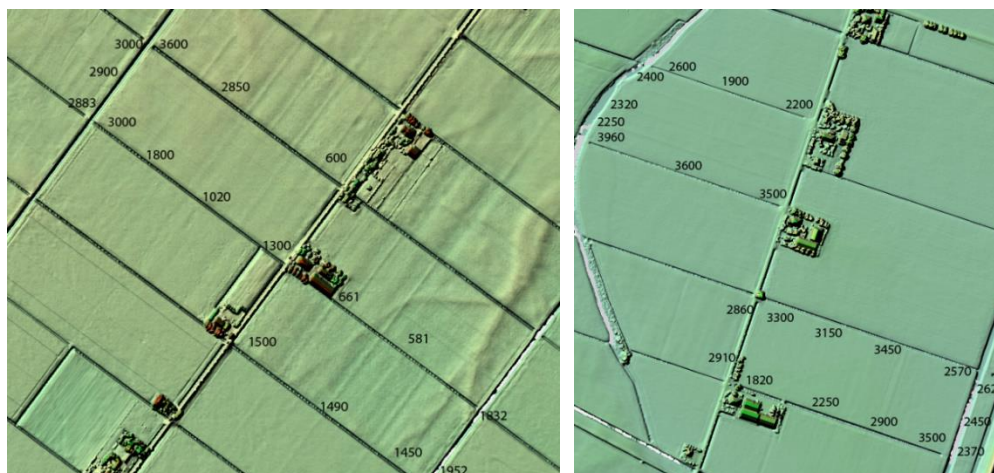
3.2.3 Chloride in oppervlaktewatersysteem

Figuur 19 geeft de gemeten chloridegehalten van de Oostpolder weer ter hoogte van gemaal de Oosthoek. Figuur 13 laat zien dat de chloride concentraties door het jaar heen veranderen: 's winters laag en 's zomers hoog. In de winter is er meer neerslag en meer afvoer vanaf de percelen en ligt de chloride concentratie rondom de 300 mg/l. Rond de zomermaanden schiet de chloride concentratie omhoog en ligt de concentratie tussen de 800 en 1400 mg/l. De chloride concentraties van het boezemwater zijn relatief hoog. Dit komt deels doordat Boezem Zijpe relatief aan het einde van het doorspoelsysteem in Noord-Holland ligt. De chloride en nutriëntenconcentraties in deze polder worden elke drie jaar door HHNK bemonsterd. De andere jaren vertonen vergelijkbare patronen in de metingen.

Naast een seizoenale variatie is er ook een grote ruimtelijke variatie in de chloride concentraties. De metingen van www.Oostpoldermeet.nl laten ook een sterke ruimtelijke verdeling zien in het oppervlaktewater (Figuur 12). In een Acacia Water veldwerkstudie is de geleidbaarheid van het slootwater ook in detail gemeten rondom vier percelen. Wat hierin opvalt is de grote variatie van geleidbaarheid in de verschillende watergangen. Dit wordt bevestigd door de continuumetingen die Acacia Water uitvoert in de Oostpolder ter hoogte van de stuwen bij het Razend Zwin, de Veerweg en de Kneeskade (Figuur 14 en Figuur 15)



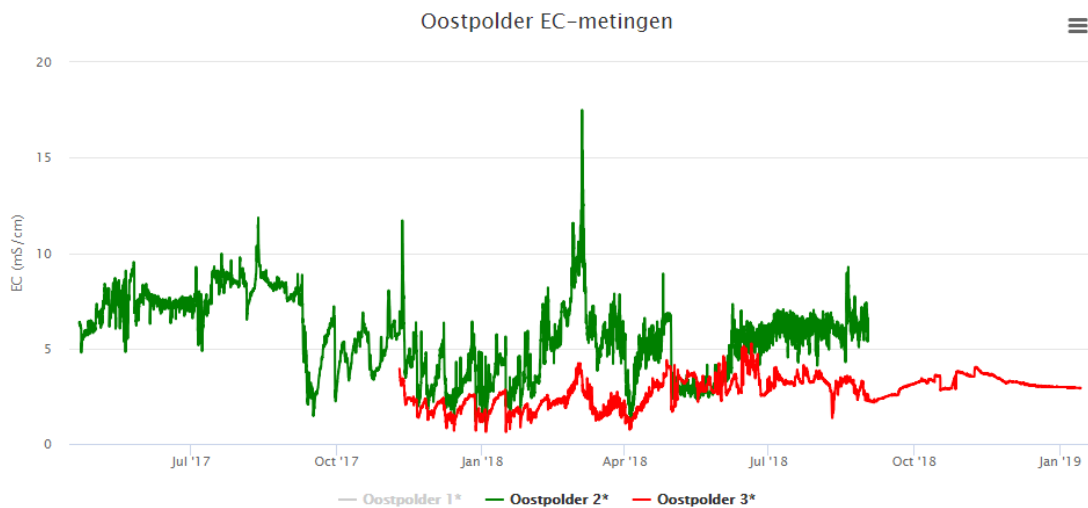
Figuur 12. Overzicht van de chloride metingen in Oostpoldermeete.nl.



Figuur 13. Overzicht van uitgevoerde metingen van het geleidbaarheid (uS/cm) van het slootwater tijdens een veldwerkstudie in 2016.



Figuur 14. Locatie van continuumetingen van het elektrisch geleidend vermogen (EGV of EC) van oppervlaktewater in de Oostpolder.



Figuur 15. Resultaten van de continuumeting van EGV in het oppervlaktewater van de Oostpolder. Meetpunt 1 is niet weergegeven vanwege een defect aan de apparatuur.

3.2.4 EC-routing in zomer en winter

Om een beter beeld te krijgen van de zoutverdeling over het oppervlaktewater is er in een winter- en zomerperiode een zogenaamde routing uitgevoerd. Hierbij is een zoutmeter op constante diepte door het oppervlaktewatersysteem in de Oostpolder geleid. Tegelijkertijd is hierbij de exacte locatie geregistreerd zodat de zoutgehalten te koppelen zijn aan de locatie. De routing meting laat grote verschillen tussen watergangen zien en zelfs binnen een watergang (Figuur 16 en Figuur 17). Inlaatwater bereikt in veel gevallen de haarvaten van het systeem niet.



Figuur 16. Zomer routing van 2016. EC-meting uitgevoerd in het groeiseizoen nadat de doorspoeling al 26 dagen was start was gegaan.



Figuur 17. Winter situatie. EC-metingen uitgevoerd van 2 tot 10 februari 2016.

3.2.5 Waterkwaliteit

Het oppervlaktewater in de Oostpolder wordt niet gebruikt voor de beregening van pootaardappelen. De gehele Oostpolder valt binnen het beregening verbodsgebied voor oppervlaktewater vanwege het gevaar op bruinrot.

Bruinrot is een aardappelziekte die wordt veroorzaakt door de bacterie *Ralstonia solanacearum*. Deze bacterie kan makkelijk met water worden verspreid. Het oppervlaktewater wordt in Nederland jaarlijks bemonsterd en getoetst op bruinrot. Aan de hand van de uitslagen van watermonsters worden verbodsgebieden opgesteld voor het gebruik van oppervlaktewater.

3.3 Kalibratie waterbalans

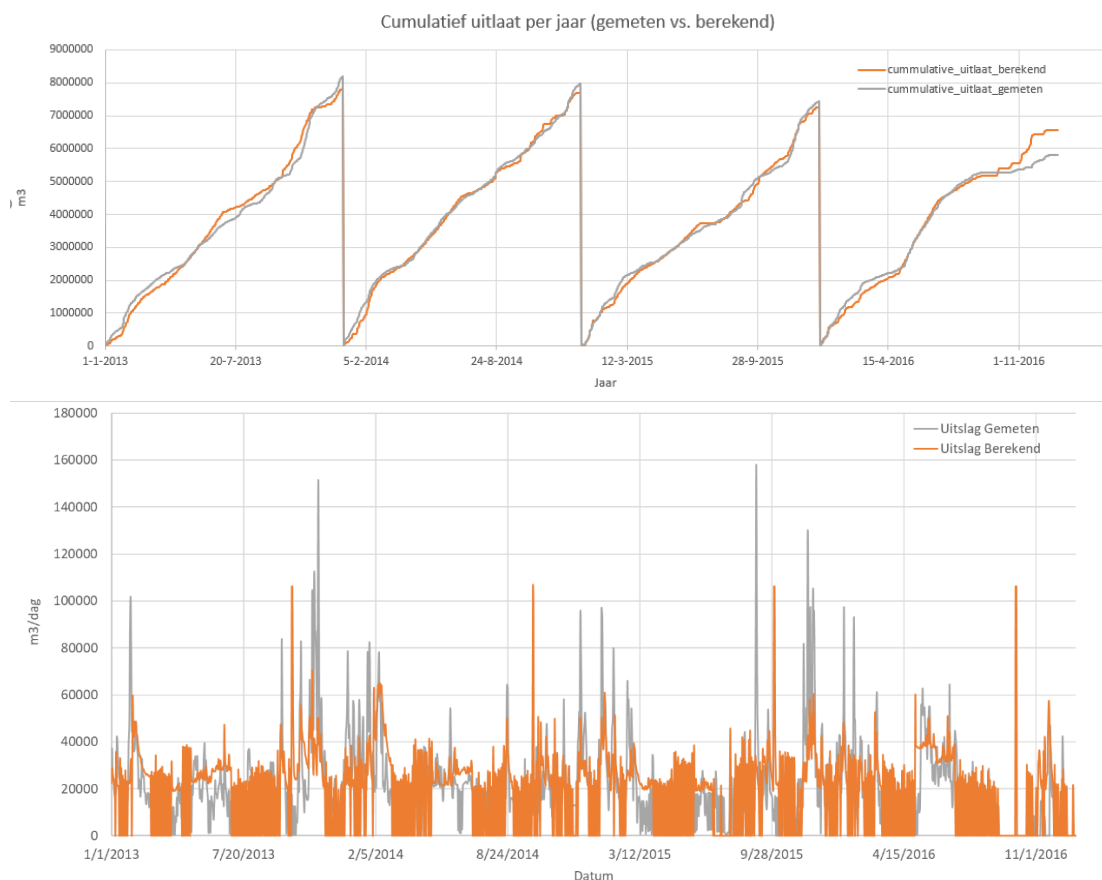
Om te toetsen of de waterbalans een goed beeld geeft van het watersysteem is een kalibratie uitgevoerd met de maalstaten van de poldergemalen in de Oostpolder (Tabel 3). Aangezien de Oostpolder is versimpeld in één waterbalans, zijn de maalstaten van Oosthoek, Hoogschagen en Waiboer bij elkaar opgeteld.

Tabel 3. Herkomst van de invoergegevens voor het waterbalansmodel van de Oostpolder.

Herkomst gegevens	
Neerslag en verdamping	KNMI weerstation De Kooy (Den Helder)
Gemeten chloride gehalte	HNK-water.nl
Maalstaten gemaal de Oosthoek en pompgegevens Oude Veer	HHNK
Inlaat gegevens 'Oude Sluis'	HHNK
Afmetingen watergangen	INTWIS, legger en google earth
Gegevens maaiveldhoogte	AHN

3.3.1 Maalstaten en kalibratie

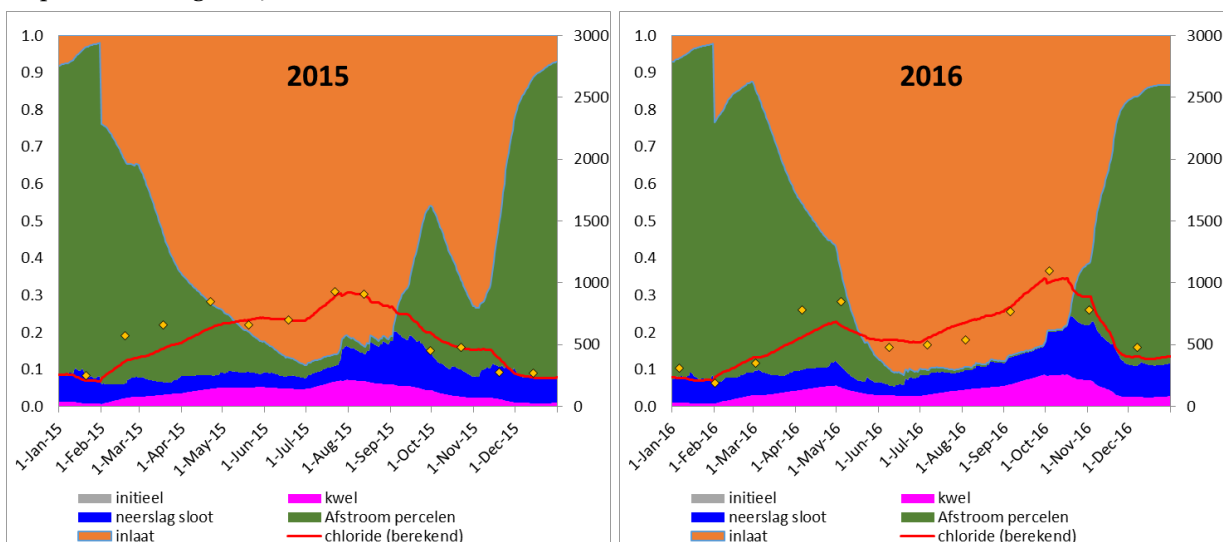
Uit de vergelijking van de absolute en cumulatieve maalstaten met de resultaten van de waterbalans kan worden vastgesteld dat het model de werkelijkheid goed simuleert (Figuur 18).



Figuur 18. Overzicht van gemeten en berekende cumulatieve uitlaat (boven) en uitslag (onder) van gemaal de Oosthoek en uitlaten Hoogschagen en Waiboer.

3.3.2 Kalibratie chloride

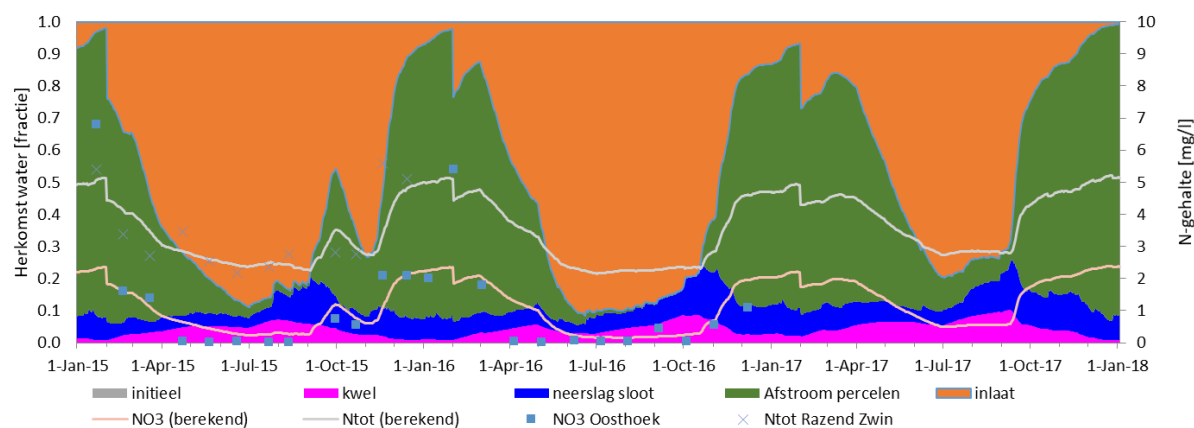
Op basis van beschikbare chloridemetingen in de Oostpolder is een kalibratie van het model uitgevoerd. De kalibratie laat zien dat het model de chloridegehalten in de Oostpolder op een goed reproduceert (Figuur 19).



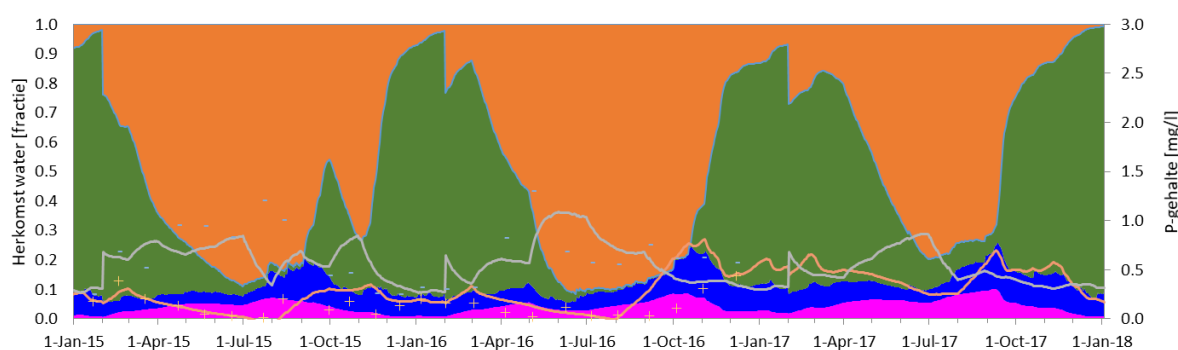
Figuur 19. Verloop van chloridegehalten in de Oostpolder op basis van chloride metingen (gele stippen) bij gemaal de Oosthoek.

3.3.3 Kalibratie nutriënten

Aan de hand van stikstof en fosfor metingen is het model verder verfijnd voor de simulatie van nutriëntengehalten. De gebruikte metingen zijn genomen ter plaatse van het Razend Zwin en gemaal de Oosthoek. De kalibratie op nitraat, fosfaat en totaal fosfor- en stikstofgehalten is weergegeven in onderstaande figuren (Figuur 20 en Figuur 21).



Figuur 20. Verloop van nitraat en totaal stikstofgehalten in de Oostpolder op basis van metingen bij de Oosthoek en Razend Zwin.



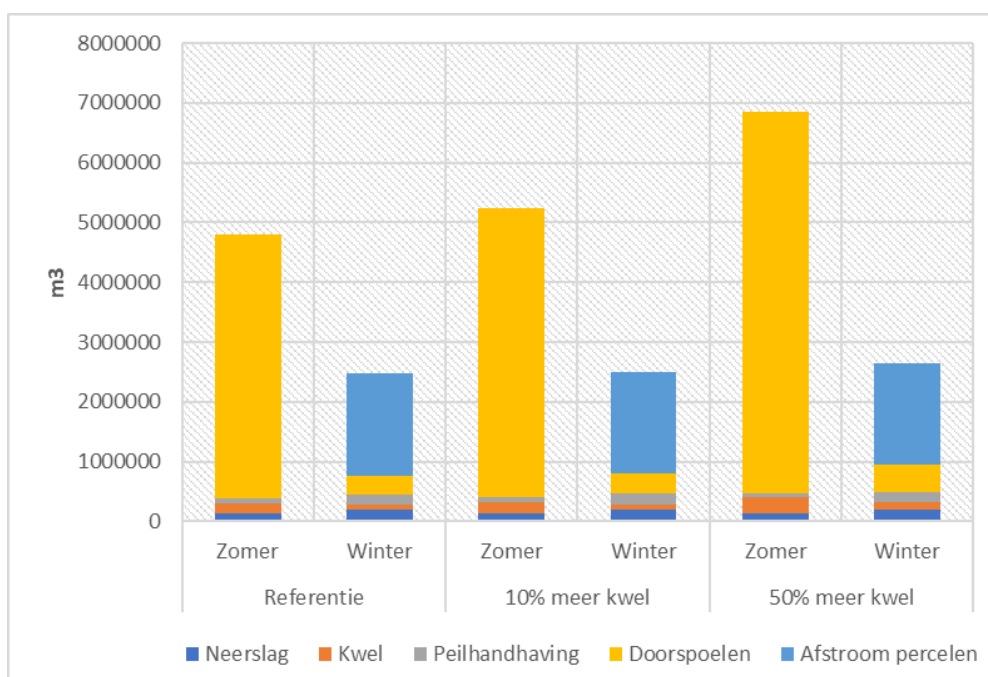
Figuur 21. Verloop van fosfaat en totaal fosforgehalten in de Oostpolder op basis van metingen bij de Oosthoek en Razend Zwin.

3.4 Zoetwatervoorziening onder druk

Bodemdaling, zeespiegelstijging en veranderingen in het klimaat maken dat de zoetwatervoorziening onder druk komt te staan. Bovendien zorgt een verhoging van de kweldruk (van zout en brak grondwater) voor een toename van de zoetwatervraag en de externe wateraanvoer. Dat de externe zoetwateraanvoer gerelateerd is aan de kweldruk wordt geïllustreerd in Figuur 22. Door een toename in de kweldruk neemt de zoute flux richting kavelsloten en hoofdwatervaten toe, met een hoger zoutgehalte in het oppervlaktewater tot gevolg. Figuur 22 laat het effect zien van een 10% en 50% kweltoename in de Oostpolder op de benodigde doorspoelhoeveelheid om een goede waterkwaliteit ($EC = 2 \text{ dS/cm}$) in de sloten te behouden. Bij een kweltoename van 50% is in de zomerperiode meer dan 50% extra doorspoelwater nodig.

Voor het behouden van dezelfde waterkwaliteit is onder toekomstige omstandigheden dus veel meer water nodig.

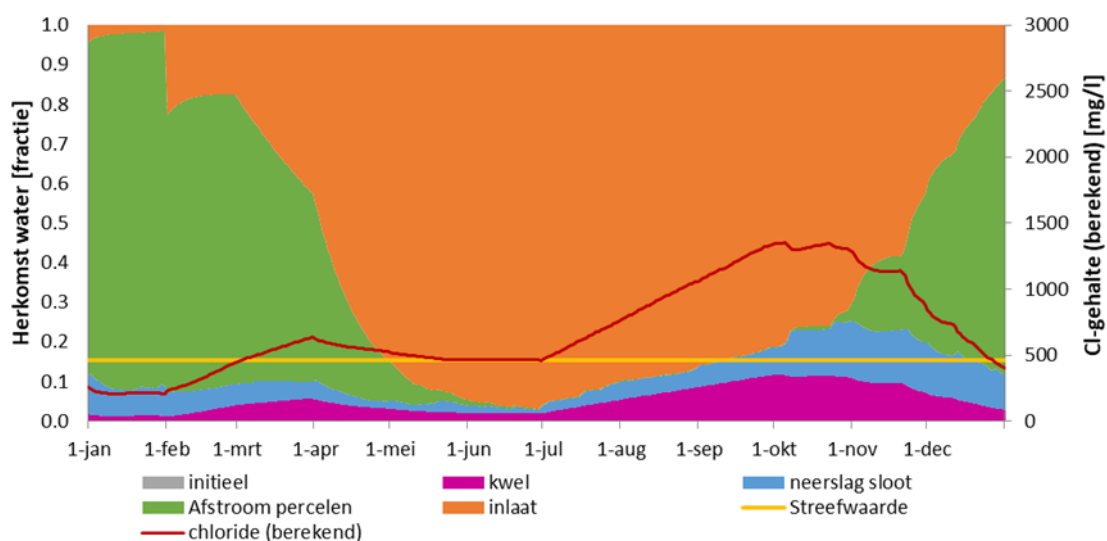
De referentiesituatie wordt gevormd door de inlaathoeveelheid af te stemmen op de streefwaarde van chloride in het oppervlaktewater. Hierop wordt in de Oostpolder gestuurd in de maanden mei tot en met juni. Vervolgens is een procentuele toename van kwel doorgevoerd op enkel het slotensysteem.



Figuur 22. Het effect van kweltoename op het de doorspoelbehoefte in de Oostpolder bij het waarborgen van een waterkwaliteit van $EC = 2 \text{ dS/m}$ (460 mg/L).

3.5 Eigen watervoorziening in de Oostpolder

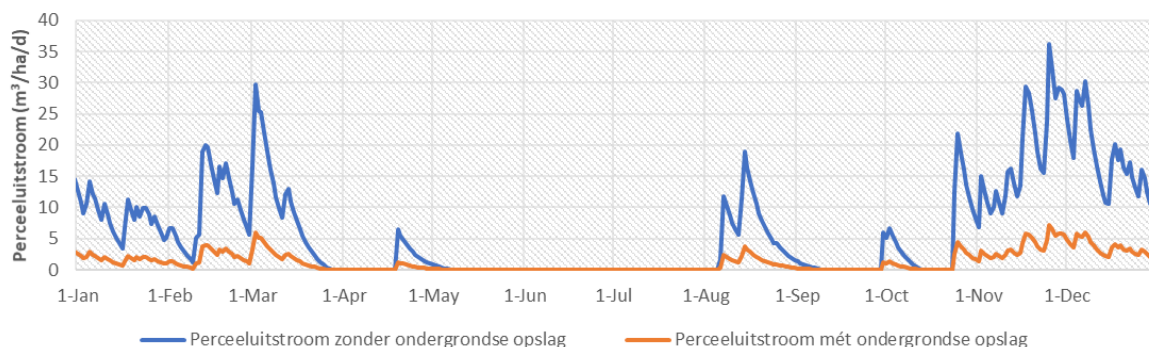
De effecten van Spaarwatermaatregelen op perceel niveau (Bijlage 2) zijn met behulp van het waterbalansmodel doorvertaald naar de implicaties op regionaal niveau. Voor de Oostpolder zijn de effecten van het toepassen van ondergrondse opslag op 50% van het polderoppervlakte doorgerekend. Hiervoor is gebruikgemaakt van een referentiesituatie waarin de inlaat is afgestemd op het behalen van een zogenaamde streefwaarde voor chloride (Figuur 23). Aan de hand van de hierboven beschreven kalibratie van de waterbalans is vastgesteld dat de inlaat in de Oostpolder zich richt op het behalen van een streefwaarde van $EC=2 \text{ dS/m}$ (460 mg Cl/L) gedurende de periode mei tot en met juni. In de referentiesituatie wordt deze streefwaarde behaald door het inlaten van voldoende zoetwater: er vindt doorspoeling plaats.



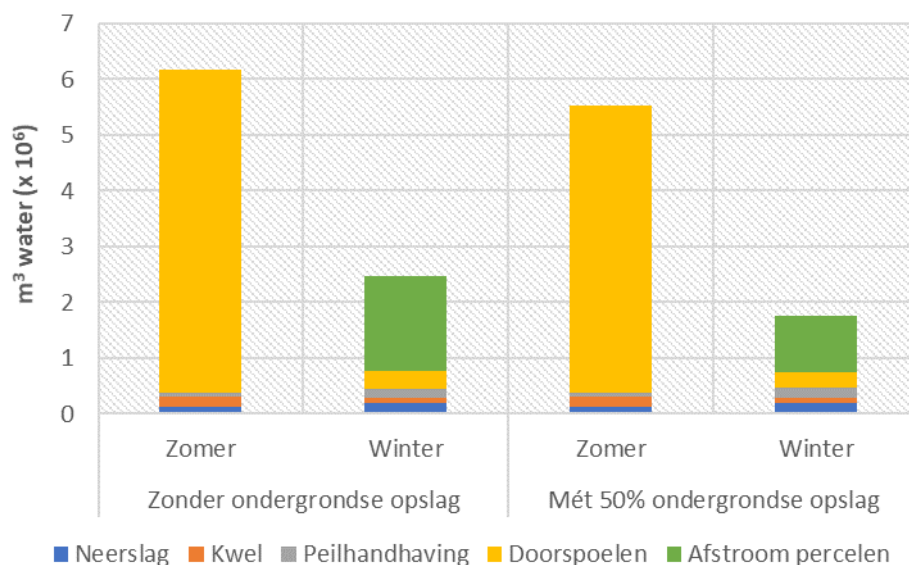
Figuur 23. Referentiesituatie voor de Oostpolder waarbij de inlaat is afgestemd op het behalen van de streefwaarde voor het chloridegehalte ($EC=2 \text{ dS/m}$) in de periode mei tot en met juni.

Door toepassing van ondergrondse opslag kan een oplossing worden geboden voor de problemen van agrariërs in de Oostpolder, namelijk zoetwatertekort in de zomer en wateroverlast bij piekafvoeren. Ondergrondse opslag beperkt de piekafvoer van drainwater uit percelen na neerslag (Figuur 24). Het overtollige water wordt in het perceel opgeslagen en infiltreert vervolgens in de ondergrond via de aanwezige infiltratieputten.

Bovendien kan bij toepassing van ondergrondse opslag in 50% van de Oostpolder een 11% inlaatreductie plaatsvinden (Figuur 25). De verlaging van zoutlast uit het perceel maakt dat met minder inlaatwater de streefwaarde voor het zoutgehalte in het oppervlaktewater kan worden behaald. Ondanks de inlaatreductie kan de ondergrondse opslag de agrariërs van voldoende zoetwater voorzien.



Figuur 24. Perceeluitstroom met en zonder toepassing van ondergrondse opslag. Toepassing van ondergrondse opslag leidt tot een vermindering van de piekafvoer.



Figuur 25. Overzicht van waterbalans in de Oostpolder in de zomer en winter zonder toepassing van ondergrondse opslag en mét toepassing van ondergrondse opslag in 50% van de Oostpolder. Bij gelijkblijvend chloridegehalte in het oppervlaktewater ($EC=2$ dS/m) is 11% minder doorspoeling nodig door toepassing van ondergrondse opslag.

4 Negenboerenpolder

4.1 Gebiedsbeschrijving

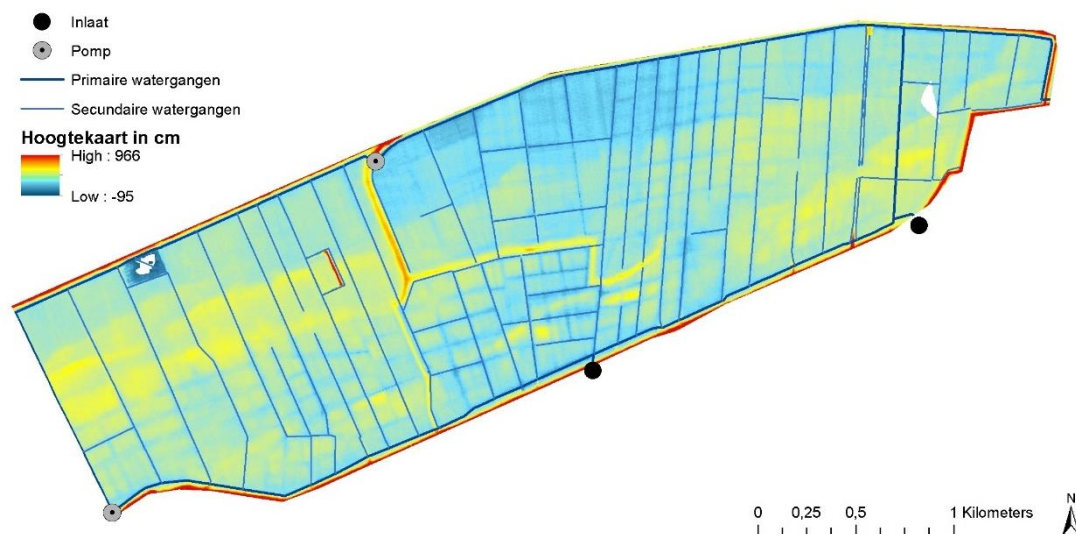
De Negenboerenpolder is gelegen ten westen van het Lauwersmeer en ten noorden van de Dorpen Kloosterburen en Hornhuizen binnen in het beheersgebied van waterschap Noorderzijlvest (Figuur 26). De polder is onderdeel van het zoetwaterplan waarmee het kustgebied wordt voorzien van zoet water. Het water wordt aangevoerd via andere polders. De streefwaarde voor het zoutgehalte is 3 mS/cm, wat overeenkomt met ongeveer 800 mg/l chloride.



Figuur 26. Ligging van de Negenboerenpolder tegen de zeedijk in Groningen.

4.1.1 Hoogtekaart

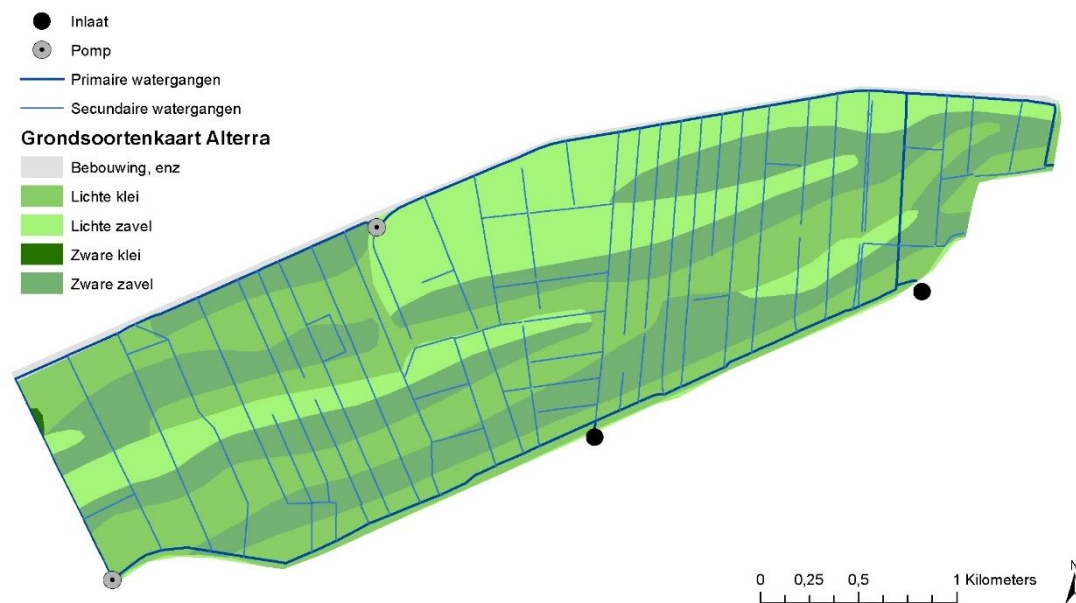
Het ontstaan van de Negenboerenpolder volgt uit een serie van inpolderingen van kwelders (Figuur 27). De Negenboerenpolder ligt ten noorden van de Bokumer-Ikemapolder en ontstond in 1872.



Figuur 27. Hoogtekaart van de Negenboerenpolder. Bron: AHN 5 meter.

4.1.2 Bodem

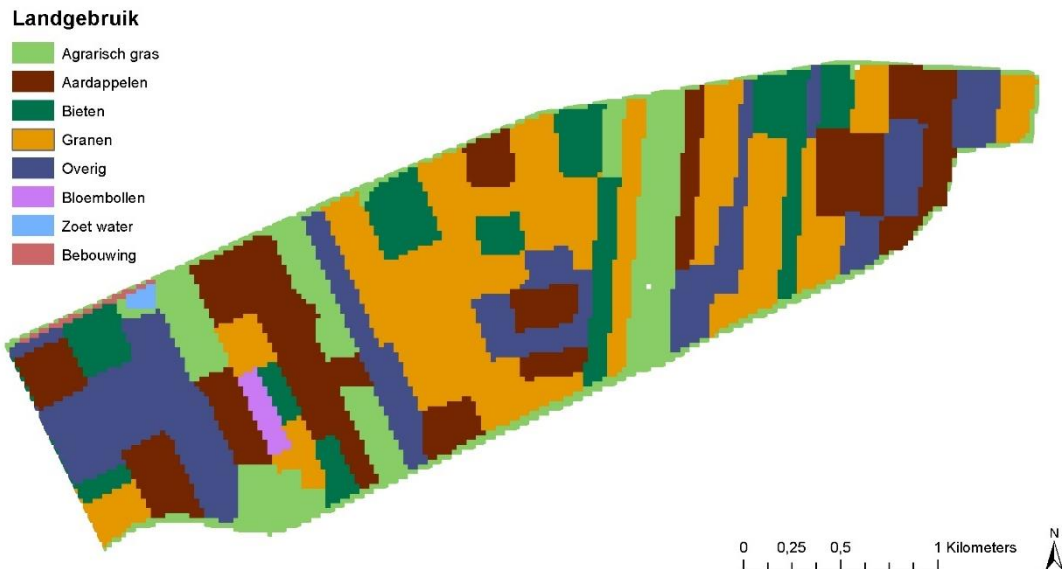
De Negenboerenpolder heeft een bodemsamenstelling dat varieert van lichte zavel tot zware klei (Figuur 28). De laagopbouw reflecteert de natuurlijke afzetting van lichte materialen (e.g. silt en klei).



Figuur 28. Grondsoortenkaart van de Negenboerenpolder. Bron: Alterra grondsoorten kaart van 2006.

4.1.3 Landgebruik

Op basis van de LGN5 kaart is vastgesteld welke landgebruikstypen voorkomen in het gebied (Figuur 29). Het grootste gedeelte van het gebied is onbebouwd. De polder is wel bewoond door voornamelijk agrariërs, maar de grote woonkernen zijn om de polder heen gesitueerd. Momenteel is gewasrotatie met poot aardappels, bieten en granen de meest voorkomende akkerbouw in de regio.

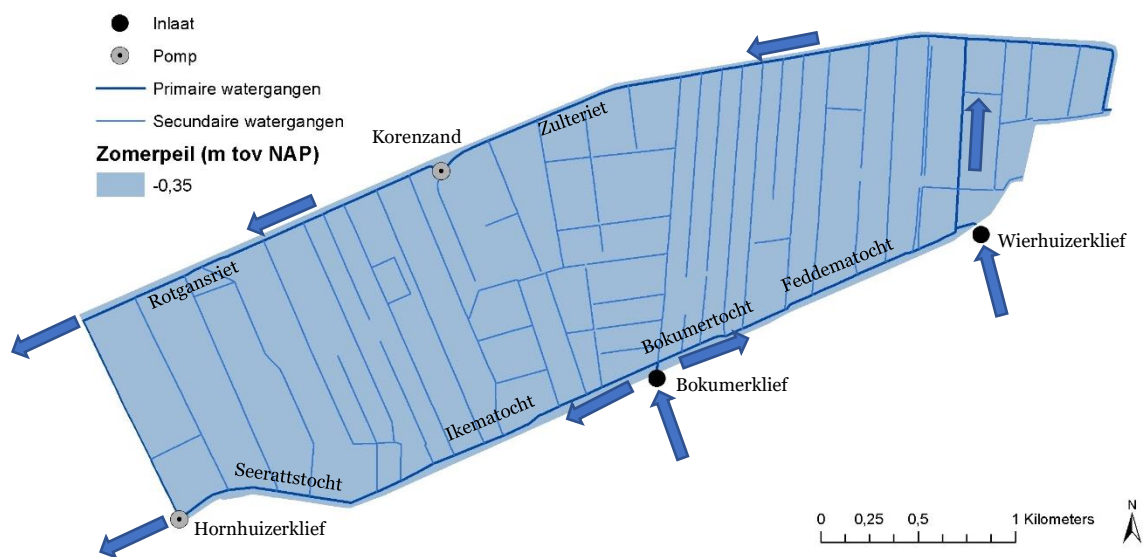


Figuur 29. Landgebruik in de Negenboerenpolder volgens de LGN 5.

4.2 Systeembeschrijving oppervlaktewater

4.2.1 Polderbeheer en oppervlaktewaterstroming

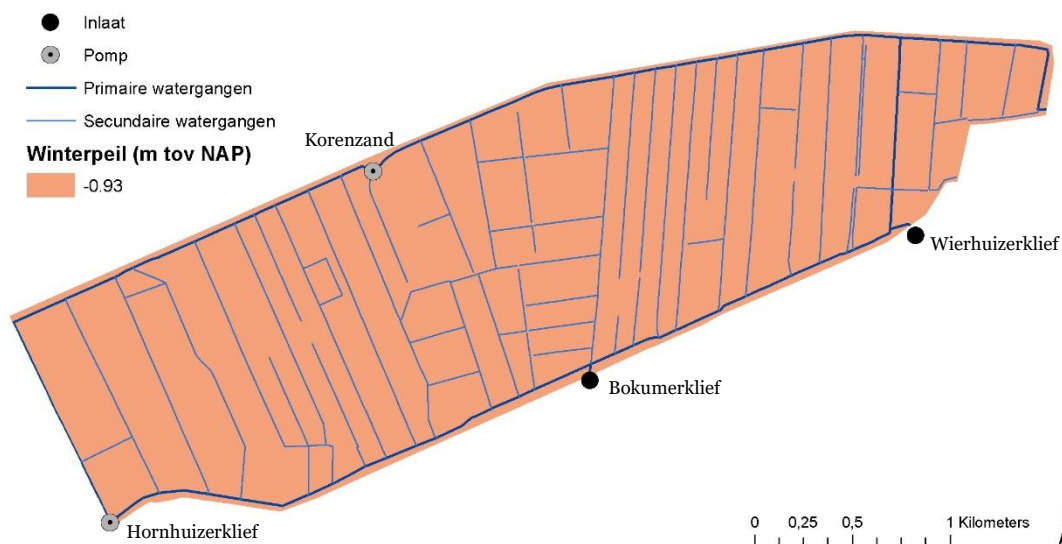
De Negenboerenpolder is opgesplitst in twee peilvakken die met elkaar in verbinding staan door middel van duikers en stuwjes. In de peilvakken worden identieke peilen gehanteerd, welke verschillen tussen zomer en winter (Figuur 30 en Figuur 31). Het zomerpeil is -0.35 m tov NAP en het winterpeil is -0.93 m tov NAP.



Figuur 30. Overzicht van zomerpeil (m tov NAP) en stromingsrichting van water in de Negenboerenpolder.

De Negenboerenpolder ontvangt water vanuit het boezemsysteem aan de Pieterbuurstermaar. Het waterschap Noorderzijlvest start vanaf februari met het doorspoelen van dit boezemsysteem om zo de toevoer naar de Negenboerenpolder te verzoeten. Hierdoor wordt als het ware een zoutfront voortgeduwd, die de Negenboerenpolder bereikt medio maart/april. Vanaf eind april wordt dan ook het oppervlaktewatersysteem van de Negenboerenpolder verzoet.

Water bereikt de Negenboerenpolder via de Wierhuizerklief en de Bokumerklief. De toevoer naar de Wierhuizerklief ontvangt water uit de verschillende oostelijk gelegen polders. Dit zorgt ervoor dat de inlaatkwaliteit in bepaalde perioden van het jaar slechter is dan de toevoer naar Bokumerklief. De Bokumerklief wordt gevoed via de Bokumertocht. Vanaf de Bokumerklief stroomt het water richting oostelijke of westelijke richting, respectievelijk door de Bokumertocht en de Feddematocht of door de Ikematocht en de Seerattstocht. Het water van de Wierhuizerklief stroomt in noordelijke richting door de Negenboerentocht en stroomt vervolgens in westelijke richting door de Zulteriet of Dijksloot langs de dijk naar het doorvoergemaal Korenzand. Korenzand pompt het water door in de Rotgansriet, waarna het de polder verlaat.



Figuur 31. Overzicht van winterpeil (m tov NAP).

4.2.2 Invloed van grondwater

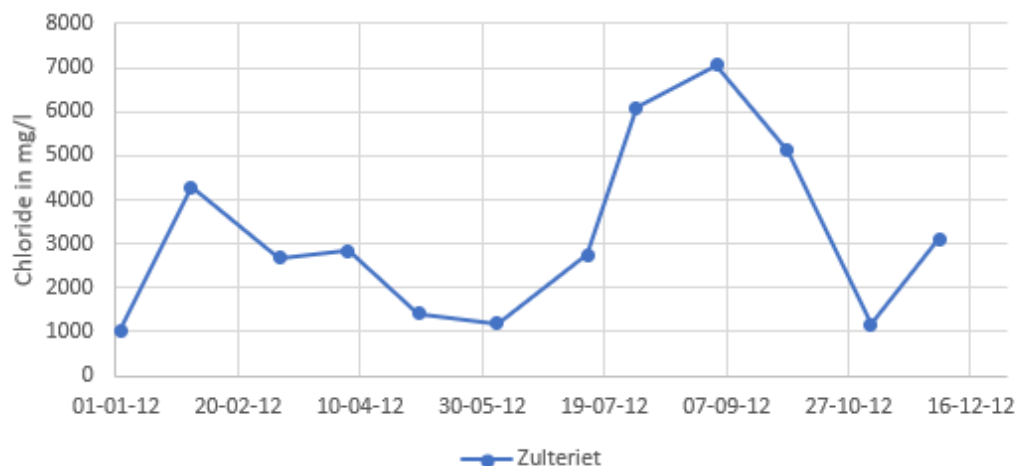
Regionaal

Het regionale stromingspatroon van het grondwater laat een gradiënt in WVP 1, 2 en 3 zien vanuit de Waddenzee richting het Lauwersmeer (westelijke richting) en richting het binnenland van Groningen (Bedum, zuidoostelijke richting).

Kwel

De Negenboerenpolder is onderhevig aan lichte kwel gedurende zomer- en winterperiode. Een neerslagoverschot of neerslagtekort is van invloed op de geobserveerde chloride beweging in de polder. Daarnaast is ook het effect van getijde zichtbaar in de waterkwaliteit van de poldersloten. Met name de Dijksloot is sterk onderhevig aan kwel.

4.2.3 Chloride in oppervlaktewater systeem



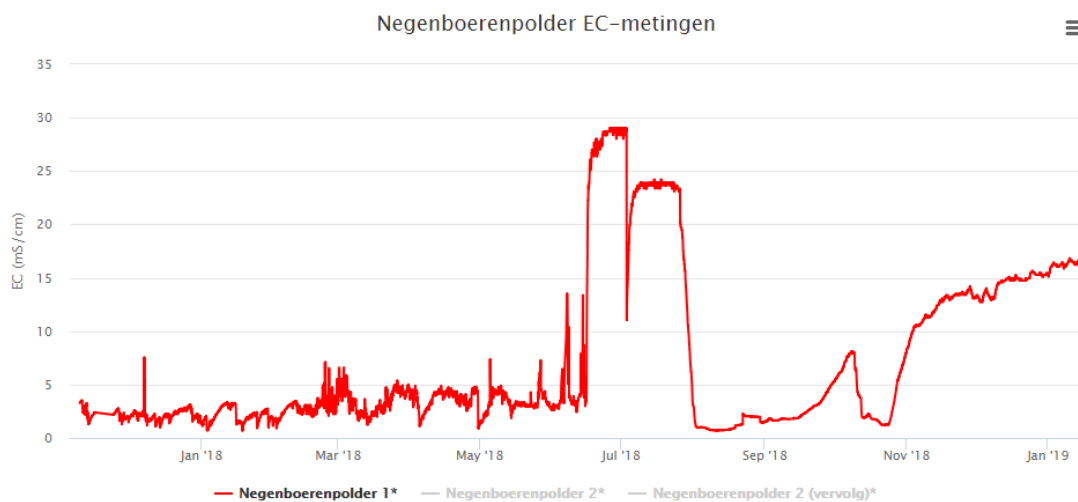
Figuur 32. Gemeten chloridegehalten in de Negenboerenpolder op 4 verschillende locaties. Gegevens van Waterschap Noorderzijlvest.

Figuur 32 geeft de gemeten chloride gehalten van de Negenboerenpolder weer. Figuur 32 laat zien dat de chlorideconcentraties door het jaar heen veranderen afhankelijk van de hoeveelheid regen en inlaatwater. In de winter is er meer neerslag en meer afvoer vanaf de percelen en ligt de chloride concentratie tussen de 1000-3000 mg/l. In het voorjaar neemt de chloride concentratie in de sloot toe door een hoge kweldruk op de sloten. Vanaf april bereikt water met een lager chloridegehalte de polder en neemt de chloride concentratie in de sloten af. In het begin van juli neemt dit echter alweer toe als gevolg van een verhoogd chloridegehalte in het inlaatwater. Chloridegehalten in de nazomer bereiken waarden tot 7000 mg/l. Het waterschap bepaalt het chloridegehalte in Zulteriet elke 3 jaar. De andere jaren vertonen een vergelijkbaar patroon met de metingen uit de figuur.

Het verloop van chloride concentraties is ook terug te zien in de continumetingen die Acacia Water uitvoert in de Negenboerenpolder langs de Rotgansriet en Seerattstocht (Figuur 33 en Figuur 34). In de zomer van 2018 liepen de zoutgehalten in de Seerattstocht op tot waarden hoger dan 25 mS/cm.



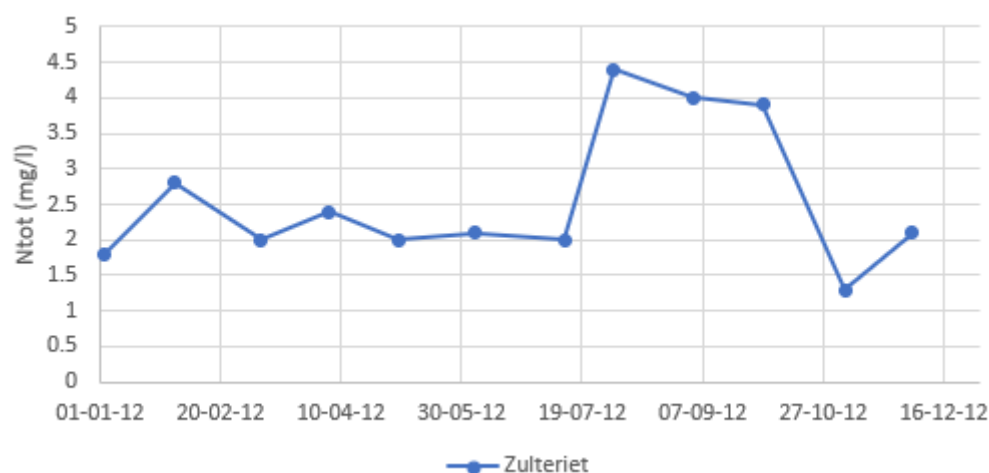
Figuur 33. Locatie van continumetingen van het elektrisch geleidend vermogen (EGV of EC) van oppervlaktewater in de Negenboerenpolder.



Figuur 34. Resultaten van de continuumeting van EGV in het oppervlaktewater van de Negenboerenpolder. Meetpunt 2 is niet weergegeven vanwege een defect aan de apparatuur.

4.2.4 Waterkwaliteit

Stikstof in oppervlaktewater systeem

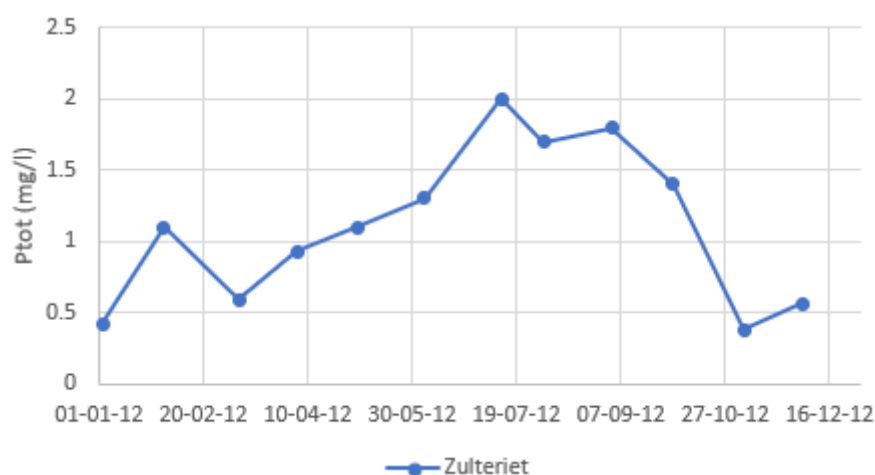


Figuur 35. Gemeten totaal Stikstofgehalten in Zulteriet in de Negenboerenpolder. Gegevens van Waterschap Noorderzijlvest.

Het stikstofgehalte in het oppervlaktewater wordt elke 3 jaar door het waterschap gemeten. In het oppervlaktewater van de Negenboerenpolder is duidelijk te zien dat de concentraties stikstof hoog zijn in de winter en laag in de zomer (Figuur 35). Stikstof in het oppervlaktewater kan afkomstig zijn van aanwezige nutriënten in de bodem die via mineralisatie en andere omzettingsprocessen vrijkomen. Ook de bijdrage van antropogene bronnen kan groot zijn.

Totaal fosfaat in het oppervlaktewater systeem

Het totaal fosfaat gemeten door waterschap Noorderzijlvest is laag in de winter en hoog in de zomer (Figuur 36). Wat de aanleiding is voor verhoogde fosfaatgehalten in de zomer is op basis van de beschikbare gegevens niet goed te verklaren. Hiervoor zijn ook metingen van het inlaatwater nodig.



Figuur 36. Gemeten totaal Fosforgehalten in Zulteriet in de Negenboerenpolder. Gegevens van Waterschap Noorderzijlvest.

4.3 Kalibratie waterbalans

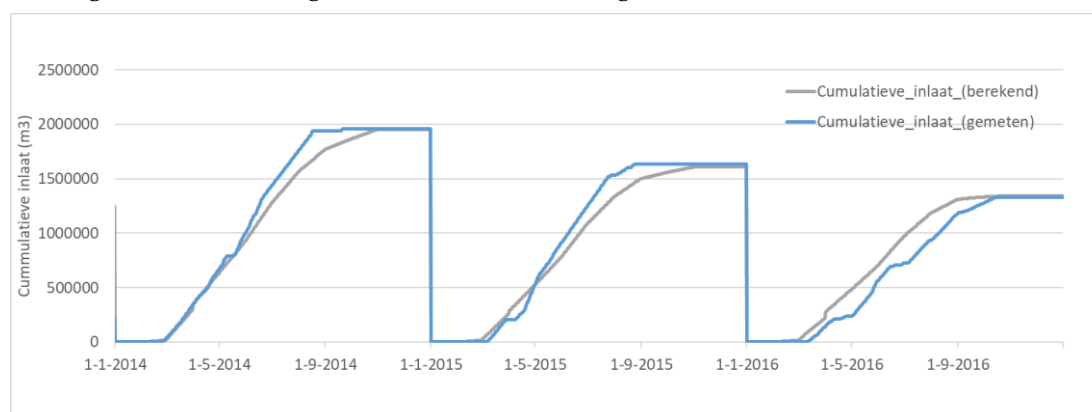
Voor de waterbalans van de Negenboerenpolder zijn onderstaande gegevens gebruikt (Tabel 4).

Tabel 4. Herkomst van de invoergegevens voor het waterbalansmodel van de Negenboerenpolder.

Herkomst gegevens	
Neerslag en verdamping	KNMI weerstation Lauwersoog
Gemeten chloride gehalte	Waterschap Noorderzijlvest
Maalstaten Bokumerklief, Wierhuizerklief, Hornhuizerklief en Korenzand	Waterschap Noorderzijlvest
Afmetingen watergangen	INTWIS, legger en google earth
Gegevens maaiveldhoogte	AHN

4.3.1 Maalstaten en kalibratie

De maalstaten en pompgegevens zijn gebruikt om het model te ijken. De gemeten inlaat is vergeleken met de berekende inlaatgegevens (Figuur 37). Hiervoor zijn de gemeten waarden van Bokumerklief en Wierhuizerklief bij elkaar opgeteld. De berekende uitlaat kan in het geval van de Negenboerenpolder niet vergeleken worden met gemeten uitlaat, omdat laatstgenoemde ontbreekt.

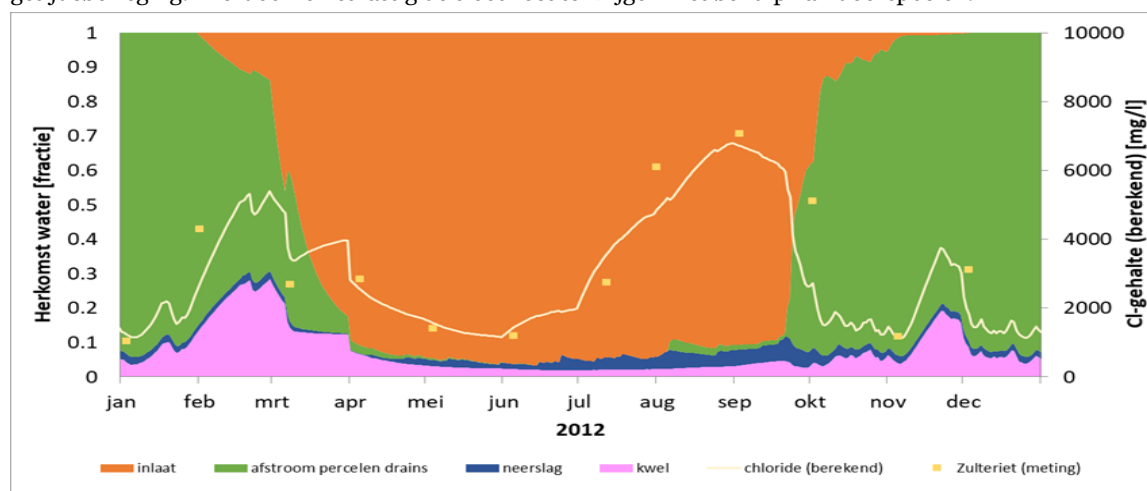


Figuur 37. Berekende en gemeten cumulatieve inlaat in de Negenboerenpolder.

4.3.2 Kalibratie chloride

De waterbalans is gekalibreerd met chloridemetingen van waterschap Noorderzijlvest zoals gepresenteerd in 3.2.3 (Figuur 38). Door de kwelflux licht te verhogen of te verlagen verandert bijvoorbeeld de chlorideconcentratie. De Negenboerenpolder ligt in een kwelgebied. De berekende kwelflux van het waterbalansmodel is vergeleken met de gemeten waterkwaliteit in de Negenboerenpolder.

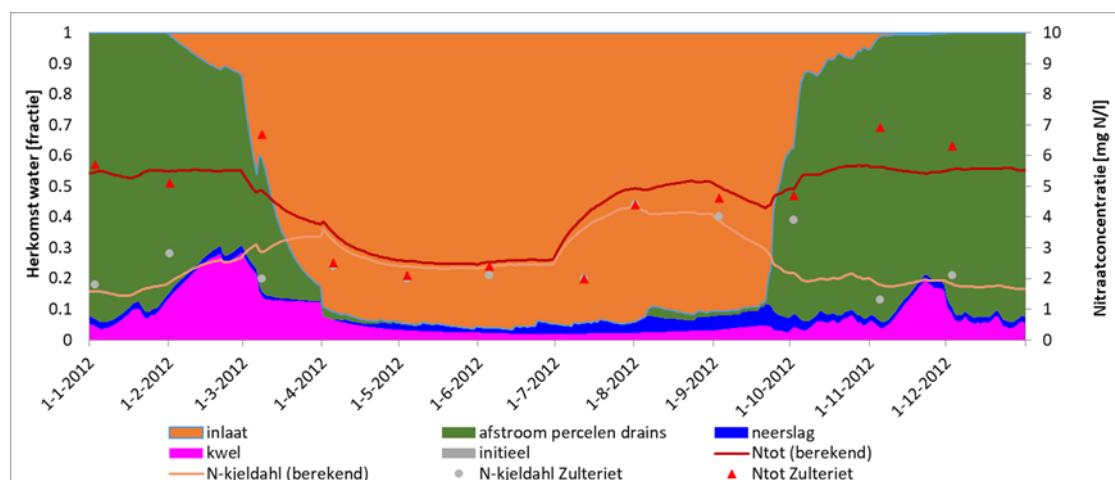
De beschikbare chloride gegevens laten zien dat het chloridegehalte in de Dijksloot/Zulteriet (in het poldergebied) in de gehele meetperiode hoog is (700-11000 mg/l). De Dijksloot wordt beïnvloed door getijdebeweging. Hierdoor is het lastig de sloot zoet te krijgen met behulp van doorspoelen.



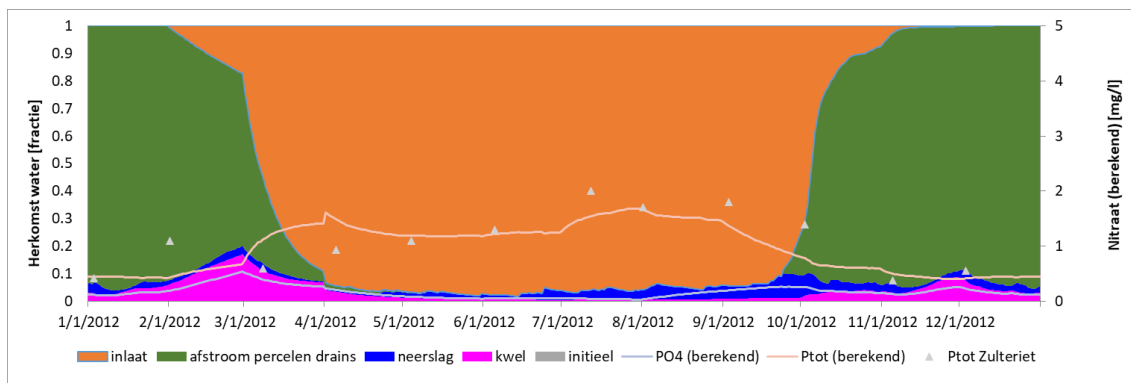
Figuur 38. Kalibratie van de waterbalans van de Negenboerenpolder op gemeten chloride concentraties in de zulteriet.

4.3.3 Kalibratie nutriënten

Voor de kalibratie van stikstof en fosfor is gebruik gemaakt van beschikbare metingen in de Zulteriet (Figuur 39 en Figuur 40). In het voorjaar en najaar wordt totale stikstof gedomineerd door NO_3^- . Vanaf februari/maart, wanneer de inlaat start, neemt de fractie nitraat in totale stikstof af. Totale stikstof wordt vanaf dat moment bepaald door N-kjeldahl (NH_4^+ en organisch stikstof). Vanaf juli neemt totale stikstof toe. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de inlaat van water uit andere polders. Deze toename is namelijk in overeenstemming met de toename in chloride vanaf juli. Vervolgens is er opnieuw een toename van nitraat vanaf oktober en neemt de contributie van N-kjeldahl in de bepaling van totaal stikstof af.



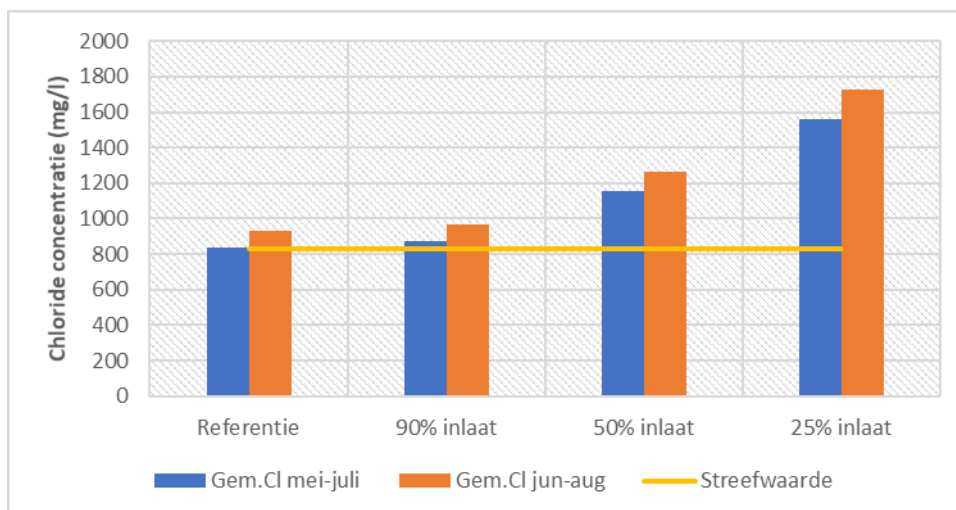
Figuur 39. Verloop van nitraat en totaal stikstofgehalten in de Negenboerenpolder op basis van metingen bij de Zulteriet.



Figuur 40. Verloop van fosfaat en totaal fosforgehalten in de Negenboerenpolder op basis van metingen bij de Zulteriet.

4.4 Doorspoelen in de Negenboerenpolder

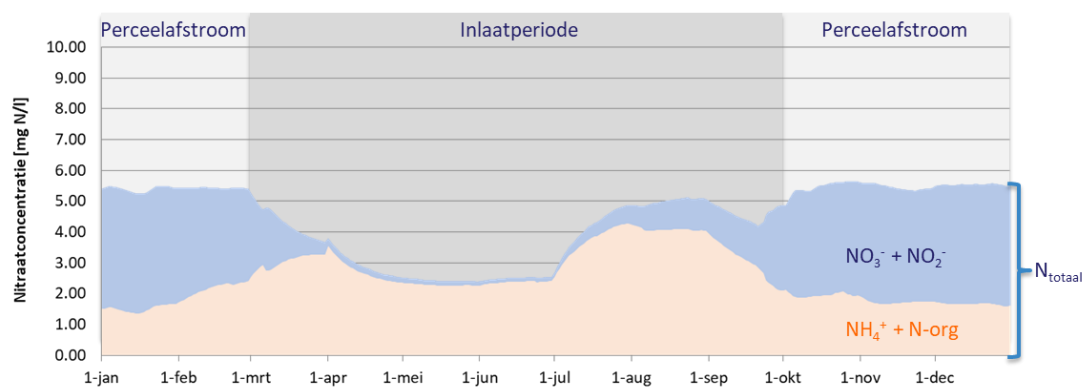
Waterschap Noorderzijlvest probeert het oppervlaktewatersysteem van haar beheergebied tot in de haarvaten te bereiken met zoet water. Dit is nodig om de chloridegehaltes te drukken en de agrariërs van voldoende zoetwater te voorzien. Het effect van doorspoelen op het chloridegehalte in de Negenboerenpolder is aanzienlijk (Figuur 41). Halvering van de doorspoelhoeveelheid leidt tot een toename van het chloridegehalte van ca. 30%.



Figuur 41. Invloed van inlaatreductie op de chlorideconcentratie in de Negenboerenpolder.

4.5 Nutriëntenstroom in de Negenboerenpolder

Naast het verhogen van de zoutlast op perceel en sloten, zorgt de kwelstroom in veel gebieden voor een aanvoer nutriënten, zoals stikstof en fosfaat, naar het oppervlaktewatersysteem. Het gebruik van bemesting in de landbouw en de atmosferische depositie van nutriënten dragen verder bij aan een verhoging van nutriëntengehalten in het oppervlaktewater. In de Negenboerenpolder blijkt dat het stikstofgehalte in het oppervlaktewater gerelateerd is aan het type water dat domineert in het oppervlaktewater; perceelafstroom water, kwelwater of inlaatwater. Nitraat en in kleine mate nitriet domineren in het voorjaar en najaar (perioden van hoge perceelafstroom), terwijl ammonium en organische stikstof domineren in de zomerperiode (periode van lage perceelafstroom, veel inlaatwater en hoge kwel) (Figuur 42). Stikstof in het oppervlaktewater kan afkomstig zijn via aanwezige nutriënten in de bodem die via mineralisatie en andere omzettingsprocessen vrijkomen. Ook de bijdrage van antropogene bronnen kan groot zijn.



Figuur 42. Verloop van stikstofconcentraties gedurende het jaar gebaseerd op werkelijk gemeten waterkwaliteitsmonsters en gereconstrueerd in het waterbalansmodel voor de Negenboerenpolder.

5 Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder

5.1 Gebiedsbeschrijving

De Oude Bildtpollen polder is onderdeel van het beheergebied van Wetterskip Fryslân. De Oude Bildtpollen polder is onderverdeeld in twee poldergebieden genaamd Oude Bildtpollen in het westen en de Noorderleegpolder (Noarderleech) in het oosten. Het gebied is begrensd door dijken die het gebied van de Miedemapolder scheidt in het zuiden en het Waddengebied in het noorden. Gedurende Springtij kan het zeewater de noordelijkste dijk bereiken. De polder is dunbevolkt en wordt voornamelijk voor de landbouw gebruikt. Op het merendeel van de percelen is drainage aangebracht. De agrariërs in het gebied hebben geen last van het vaak brakke slootwater omdat ze niet beregenen vanuit de sloot. Op menig perceel staan poot aardappelen, en beregenen met slootwater is niet toegestaan vanwege de risico's op bruinrot. In het kader van Spaarwater heeft Acacia Water metingen uitgevoerd in de polder om uit te zoeken hoe het ingelaten zoete water voor doorspoeling zich verspreidt over het afwateringssysteem.

5.1.1 Hoogtekaart

De hoogtekaart van de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder laat grofweg een tweedeling zien (Figuur 43). De noordelijke helft van de polder is hoger gelegen. Duidelijk te zien zijn de aanzettingen tegen de dijk. Richting het binnenland neemt de ligging van de percelen ten opzichte van NAP af.



Figuur 43. Het reliëf in de polder langs de voormalige zwinen is goed te zien in de hoogtekaart van de Oude Bildtpollen polder. Bron: AHN 5 meter.

5.1.2 Bodem

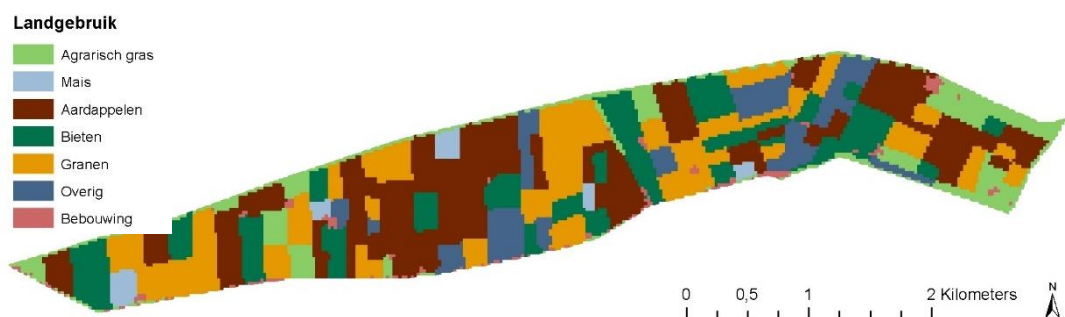
De Oude Bildtpollenpolder heeft een bodemsamenstelling die varieert van lichte zavel tot zware klei (Figuur 44). De laagopbouw reflecteert de natuurlijke afzetting van lichte materialen (e.g. silt en klei).



Figuur 44. Grondsoortenkaart van de Oude Bildtpollen polder. Bron: Alterra grondsoorten kaart van 2006.

5.1.3 Landgebruik

Op basis van de LGN5 kaart is vastgesteld welke landgebruikstypen voorkomen in het gebied (Figuur 45). Het grootste gedeelte van het gebied is onbebouwd. De polder is wel bewoond door voornamelijk agrariërs, maar de grote woonkernen zijn om de polder heen gesitueerd. Momenteel is gewasrotatie met pootaardappels, bieten en granen de meest voorkomende akkerbouw in de regio. Maar ook bloembollen worden geteeld op gehuurde percelen in de Oude Bildtpollen polder.



Figuur 45. Landgebruik in de Oude Bildtpollen polder volgens de LGN 5.

5.1.4 Zoet-zout verdeling in de ondergrond

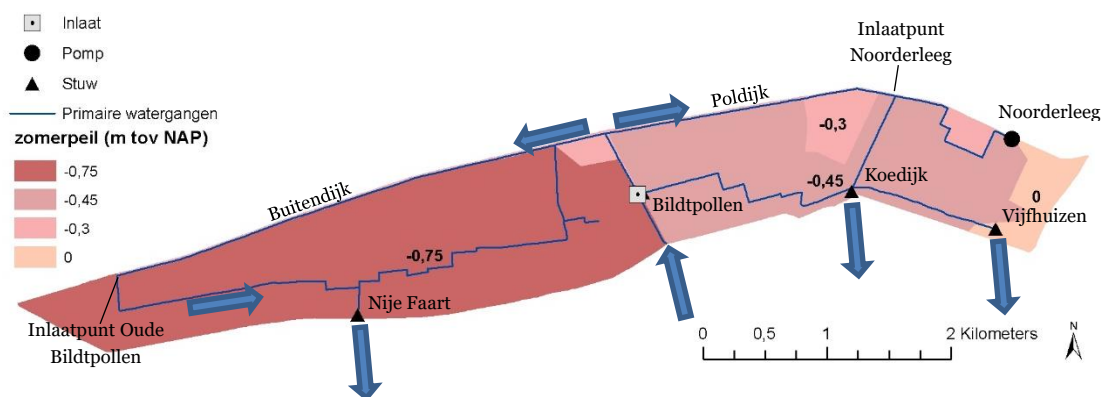
Er zijn verschillende factoren die invloed hebben op de zoutverdeling in het afwateringssysteem van deze polder. Langs de noordelijke dijk in de polder is het maaiveld wat hoger en is het lutumpercentage aanwezig in de bodem lager. Langs de zuidelijke dijk is het maaiveld lager en is er een hoger lutum gehalte aanwezig. Hier is de bodem kleiiger. Dit heeft invloed op de verdeling van zoute kwel over het gebied. Ook is de vorm en diepte van de sloten van invloed op de zoutverdeling. De watergangen verschillen in breedte van 0,5m voor perceel sloten tot 6m voor de grote primaire watergangen. Ook de insnijding verschilt per watergang. Dit beïnvloedt de kwelintensiteit aangezien diepere sloten meer zoute kwel aan kunnen trekken.

5.2 Systeembeschrijving oppervlaktewater

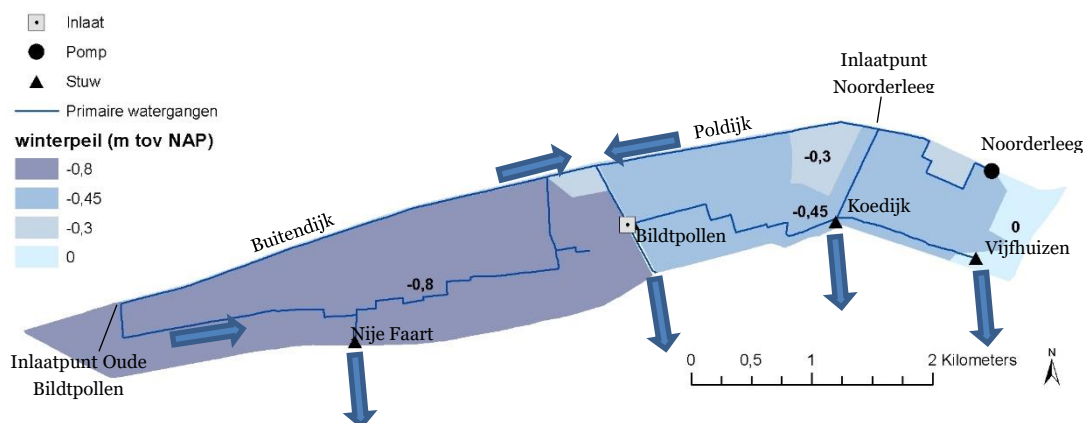
5.2.1 Polderbeheer en oppervlaktewaterstroming

De Oude Bildtpollen polder bestaat uit een vijftal peilvakken die met elkaar in verbinding staan door middel van duikers en stuwjes. De gehanteerde peilen verschillen tussen zomer en winter en variëren tussen -0,75 en 0 m tov NAP in de zomer en tussen -0,9 en 0 m tov NAP gedurende de winter (Figuur 46 en Figuur 47).

Zomer en winterpeil



Figuur 46. Zomerpeil tov NAP in meter en doorstroming in de hoofdwatgangen aangegeven met blauwe pijlen. Tijdens het groeiseizoen wordt de Oude Bildtpollen polder gespoeld met inlaat water bij Oude Sluis.



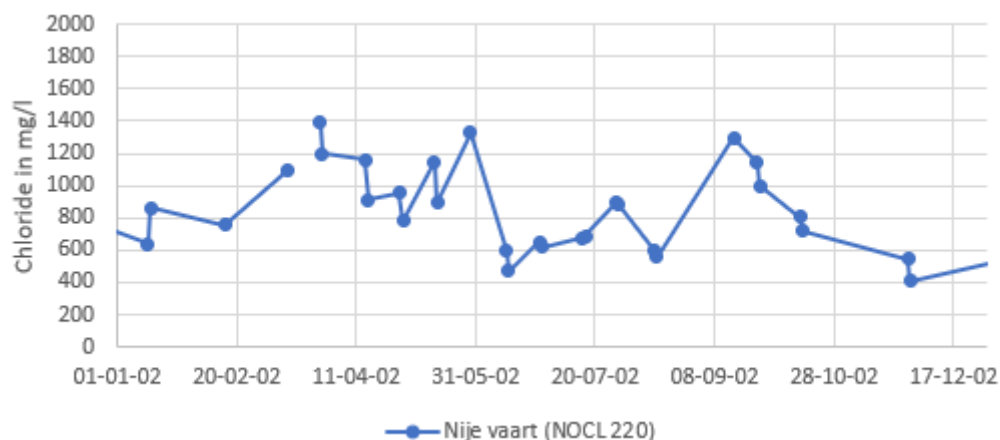
Figuur 47. Winterpeil tov NAP. In de winter vindt er geen inlaat van water plaats. Om de polder te ontwateren worden de stuwen aan de westgrens verlaagd zodat er meerdere uitstroom punten zijn. Daarnaast blijft gemaal de Oosthoek in werking. In de winter is het peil in de Oude Bildtpollen polder 20-30 cm lager dan in een zomer situatie.

De Oude Bildtpollen polder wordt voorzien van zoetwater uit boezemsysteem het Leech. De toevoer van water vindt plaats via de Kadijkstervaart waar het water of de polder in gaat of langs de polder geleid wordt in de richting van het H.G. Miedema gemaal. Het H.G. Miedema gemaal pompt het water vervolgens in de Waddenzee. Het Bildtpollen inlaatstation, gelegen in het midden van de polder, maalt water van de Miedema Polder (-0.75 m NAP) op naar een niveau van -0.3m NAP.

Vanaf het Bildtpollen inlaatstation stroomt water in noordelijke richting en wordt het in westelijke en oostelijke richting verdeeld langs de Poldijk en de Buitendijk. Aan de westzijde van de polder wordt water de polder ingelaten via inlaatpunt 'Oude Bildtpollen'. Aan de oostzijde stroomt het water de polder in via het inlaatpunt 'Noorderleeg'. Water dat niet wordt ingelaten bij Noorderleeg stroomt door naar de Noorderleeg opmaal waar het water wordt opgepompt tot om NAP. Het water verlaat de polder aan de oostzijde via de Koedijk- of Vijfhuizenstuw en aan de westzijde via de Nije vaartstuw.

Gedurende de winterperiode stroomt water langs de Poldijk en Buitendijk in tegengestelde richting terug naar het Bildtpollen inlaatstation, waar het de polder verlaat via stuw KSF-W8 en de Opdijkstuw.

5.2.2 Chloride in oppervlaktewater systeem



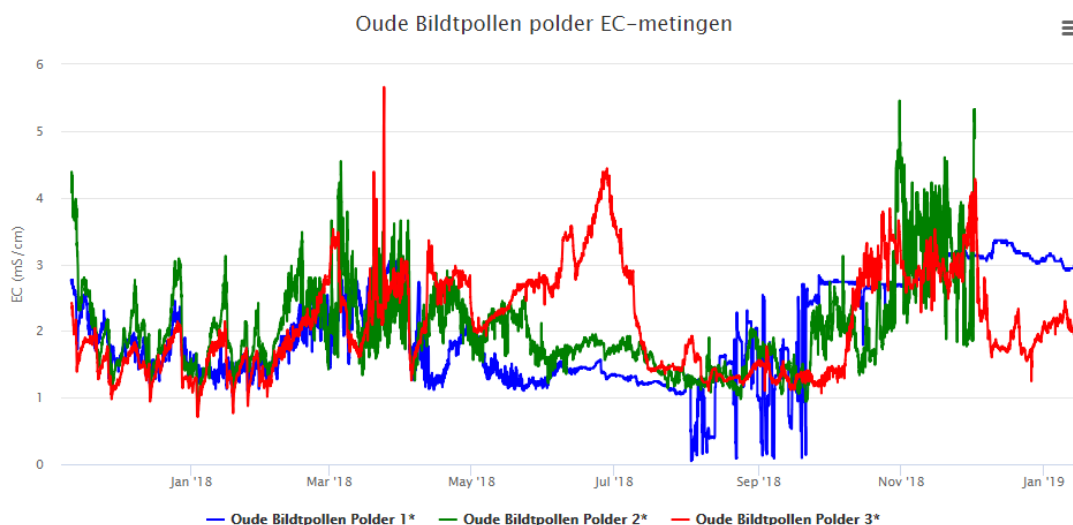
Figuur 48. Gemeten chloride gehalten in de Oude Bildtpollenpolder ter hoogte van de Nije Vaart

Figuur 48 geeft de gemeten chloride gehalten van de Oude Bildtpollen polder weer. Figuur 48 laat zien dat de chloride concentraties door het jaar heen veranderen: 's winters laag en 's zomers hoog. In de winter is er meer neerslag en meer afvoer vanaf de percelen en ligt de chloride concentratie rondom de 500 mg/l. Rond de zomermaanden schiet de chloride concentratie omhoog richting tussen de 800 en 1400 mg/l.

Het verloop van chloride concentraties is ook terug te zien in de continumetingen die Acacia Water uitvoert in de Oude Bildtpollen polder ter hoogte van de stuwen Nije Vaart en Koedijk en bij het inlaatstation Bildtpollen (Figuur 49 en Figuur 50). Het verloop van de chlorideconcentraties van Nije Vaart en Bildtpollen komt overeen met de metingen van het waterschap. De metingen aan de Koedijk laten in de zomer van 2018 een toename van het chloride gehalte zien. Dit kan duiden op een gebrek aan doorspoeling, waardoor verzilting op treedt in het oppervlaktewatersysteem.



Figuur 49. Locatie van continumetingen van het elektrisch geleidend vermogen (EGV of EC) van oppervlaktewater in de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder.



Figuur 50. Resultaten van de continuumeting van EGV in het oppervlaktewater van de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder.

5.2.3 EC-routing in zomer en winter

Om een beter beeld te krijgen van de zoutverdeling over het oppervlaktewater is er in een winter en zomerperiode een zogenaamde routing uitgevoerd (Figuur 51 en Figuur 52). Hierbij is een zoutmeter op constante diepte door het oppervlaktewatersysteem in de Oude Bildtpollen polder geleid. Tegelijkertijd is hierbij de exacte locatie geregistreerd zodat de zoutgehalten te koppelen zijn aan de locatie. De routing meting laat grote verschillen tussen watergangen zien en zelfs binnen een watergang.



Figuur 51. Zomer routing van 2016. EC-metingen zijn uitgevoerd op 25 en 26 mei 2016. Tijdens de EC-metingen werd het oostelijk deel van de polder niet volledig doorgespoeld.



Figuur 52. Winter routing van 2016. De EC-metingen zijn uitgevoerd op 11, 22 en 23 februari 2016.

In de wintersituatie is er geen inlaat van zoet water in de polder. Neerslag en kwel zorgen voor de toevoer van zout en zoet water. Het water stroomt onder vrij verval het gebied uit naar de Miedema Polder via de stuwen. Het peil in de Miedema polder is lager (van -0.3m naar -0.75 m). In de westelijke hoek van de polder is een sluis, deze is gesloten in de wintersituatie waardoor de vaart (langs de noordelijke dijk) afwatert naar de Miedema polder via het Bildtpollen inlaatstation in het midden van de polder.

In de grote en dieper gelegen watergangen worden vaker hoge EC-waarden aangetroffen, en dan met name in de watergangen aan de noordkant van de polder. De hogere zoute concentraties aan de noordkant kunnen worden verklaard door de lithologie van de polder. De bodems aan de noordkant hebben een lager kleigehalte dan de bodems aan de zuidkant. De doorlatendheid van de bodem is dus hoger in de noordkant. Hier zal het regenwater sneller afgevoerd worden door de aanwezige drainage en kan de zoute kwel in het gebied hoger in het bodemprofiel optrekken.

5.3 Kalibratie waterbalans

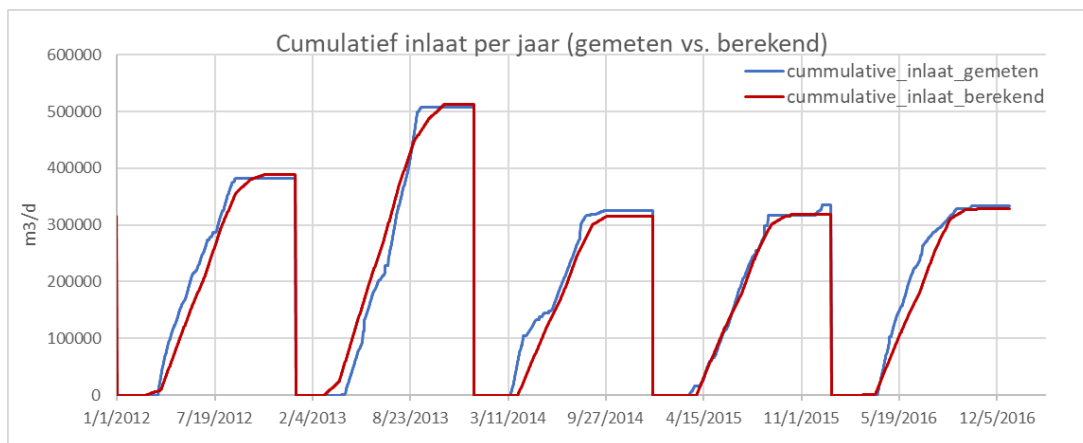
Voor de waterbalans van de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder zijn onderstaande gegevens gebruikt.

Tabel 5. Herkomst van de invoergegevens voor het waterbalansmodel van de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder.

Herkomst gegevens	
Neerslag en verdamping	KNMI weerstation Leeuwarden
Gemeten chloride gehalte	Wetterskip Fryslân
Inlaat gegevens 'Bildtpollen'	Wetterskip Fryslân
Afmetingen watergangen	INTWIS, legger en google earth
Gegevens maaiveldhoogte	AHN

5.3.1 Maalstaten en kalibratie

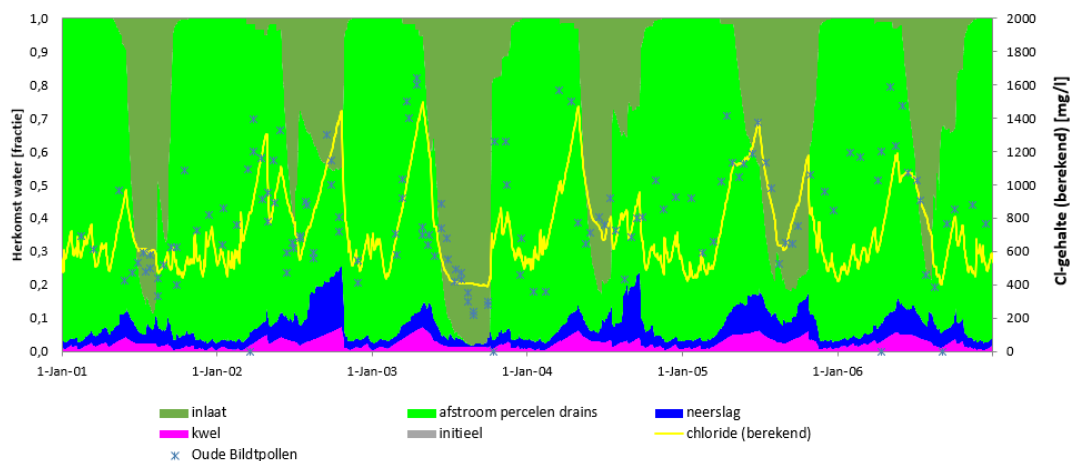
De maalstaten en pompgegevens zijn gebruikt om het model te ijken. De gemeten inlaat is vergeleken met de berekende inlaat gegevens (Figuur 53). Hiervoor zijn de gemeten waarden van inlaat de Bildtpollen gebruikt. De berekende uitlaat kan in het geval van deze polder niet vergeleken worden met gemeten uitlaat, omdat laatstgenoemde ontbreekt.



Figuur 53. Berekende en gemeten cumulatieve inlaat in de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder.

5.3.2 Kalibratie chloride

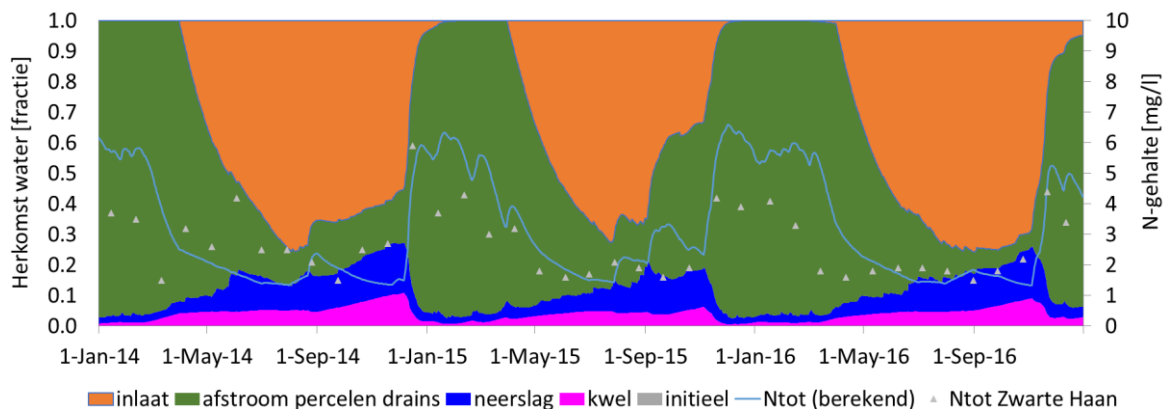
De waterbalans is gekalibreerd met chloridemetingen van wetterskip Fryslân zoals gepresenteerd in 4.2.2 (Figuur 54). Door de kwelflux licht te verhogen of verlagen veranderd bijvoorbeeld de chlorideconcentratie. De Oude Bildtpollenpolder ligt in een kwelgebied. De berekende kwelflux van het waterbalansmodel is vergeleken met de gemeten waterkwaliteit in de polder.



Figuur 54. Kalibratie van chlorideconcentraties in de Oude Bildtpollenpolder op gemeten chloridegehalten bij de Oude Bildtpollen inlaat.

5.3.3 Kalibratie nutriënten

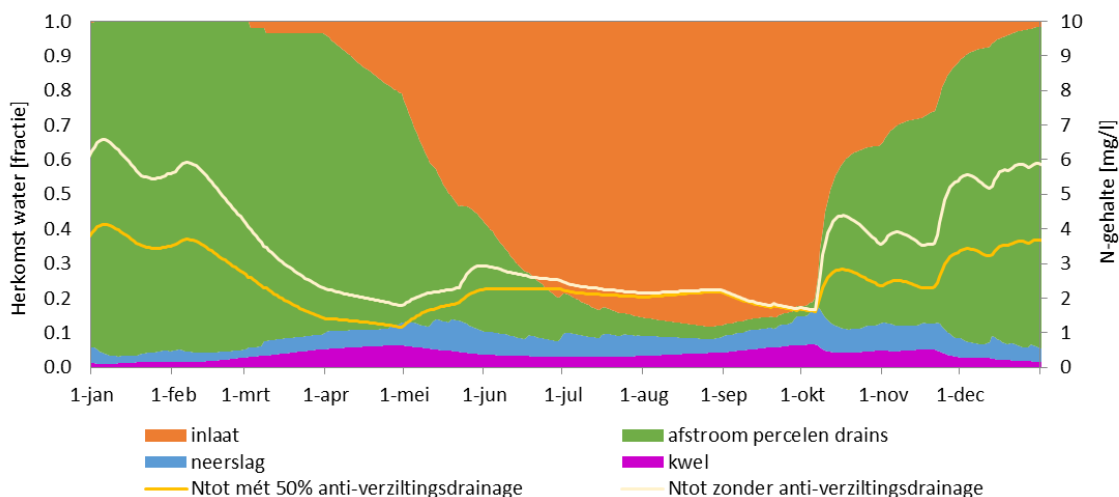
De kalibratie van nutriënten voor de Oude Bildtpollen polder is bij gebrek aan beschikbare metingen gebaseerd op dezelfde parameters en inputwaarden zoals gebruikt in de nutriëntenbalans van de Oostpolder. Er kan dus geen vergelijking plaatsvinden tussen gemeten en gesimuleerde data, maar waarden kunnen een inschatting geven van de afbraakprocessen die in de polder plaatsvinden. Ter vergelijking is in onderstaande figuur de gesimuleerde totale stikstofconcentratie weergegeven ten opzichte van meetpunt de Zwarte Haan, welke buiten de polder ligt (Figuur 55). Ter plaatse van de Zwarte Haan komt doorspoelwater van verschillende polders bij elkaar. De gemeten en gesimuleerde concentraties komen globaal met elkaar overeen.



Figuur 55. Concentraties van gemeten en berekend stikstof in de Oude Bildtpollen polder. De metingen zijn afkomstig van de Zwarte Haan, een meetstation buiten de polder.

5.4 Anti-verziltingsdrainage in de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder

Vanwege de ligging van de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder aan het einde van het zoetwateraanvoersysteem, is het behalen van een goede oppervlaktewaterkwaliteit in de polder een uitdaging. Toepassing van anti-verziltingsdrainage in 50% van de polder leidt tot een afname van nutriëntengehalte in het oppervlaktewater (Figuur 56). Dit effect is het grootst gedurende de winterperiode wanneer perceelseigen water in de percelen wordt vastgehouden. Gedurende de zomerperiode (april-september), welke van belang is voor de KRW, is de gemiddelde afname van totaal stikstof 15%. De verminderde nutriëntenuitstroom draagt hiermee bij aan de KRW-opgave die het waterschap in de regio heeft.



Figuur 56. Effect van toepassing van anti-verziltingsdrainage in 50% van de oude bildtpollenpolder.

6

Verziltingsbestrijding door peilopzet

In Spaarwater zijn mogelijkheden onderzocht om de zoutbelasting naar percelen te onderdrukken door middel van anti-verziltingsdrainage. Een andere mogelijkheid voor het verlagen van de zoutbelasting is het toepassen van peilopzet in sloten. Dit wordt bijvoorbeeld al toegepast in gebieden met bollenteelt. Door in de sloten een verhoogd peil te hanteren kan de zoutbelasting op sloten worden verlaagd.

6.1 Verziltingsrisico op slootniveau

Het verziltingsrisico op slootniveau is bepaald aan de hand van het effect van peilopzet in de sloot op de zoutflux naar de sloot. De verwachting is dat de (zoute) kwelflux afneemt als het slootpeil verhoogd wordt. Dit komt doordat het drukverschil tussen het eerste watervoerend pakket (het eerste watervoerend pakket in de Pleistocene ondergrond) en het drainageniveau afneemt, waardoor de zoute kwelflux afneemt. Om deze hypothese te toetsen zijn een serie modelsimulaties uitgevoerd. Het programma SVoffice is gebruikt om voor verschillende bodemtypes en combinaties van stijghoogte en deklaagweerstand de zoutflux naar de sloot te simuleren. Bij de simulaties is uitgegaan van 30 cm verhoging, wat overeenkomt met 80 cm beneden maaiveld.

6.2 Aanpak

Het effect van peilopzet in tertiaire sloten is berekend met SVoffice. Dit 2D-model koppelt een hydrologisch model met een chemisch model voor zouttransport, en berekent de stationaire fluxen van water en zout. De modelresultaten zijn vervolgens vertaald naar een vlakdekkende kaart voor de noordelijke kustregio.

6.2.1 Model ontwerp

Dimensies

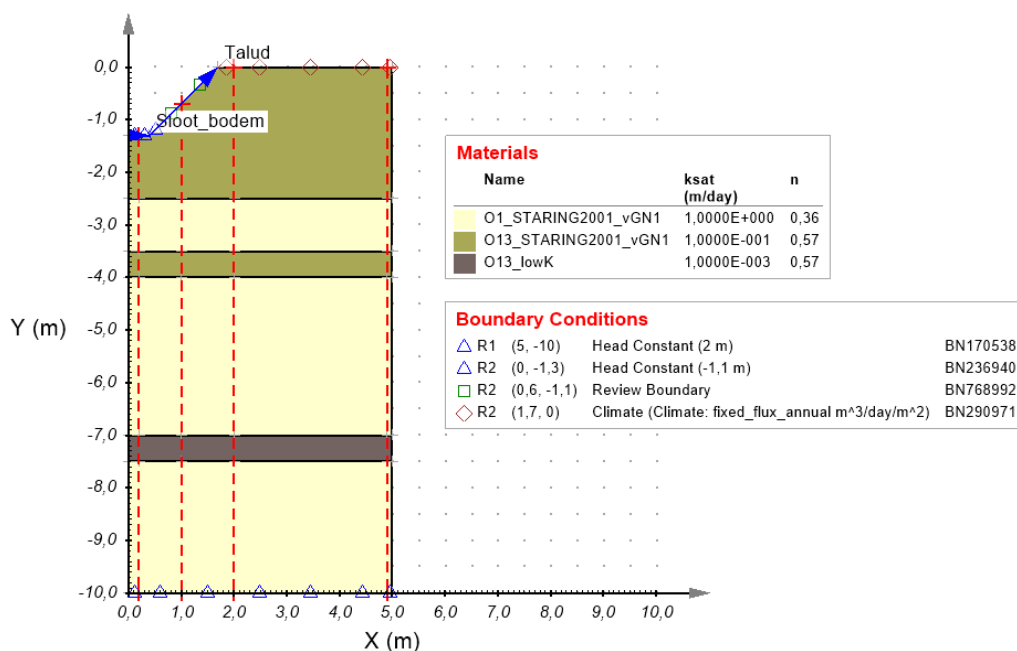
Het model simuleert een doorsnede van het midden van de sloot tot aan de waterscheiding in het perceel (zie Figuur 57). De afmetingen van de sloot zijn gebaseerd op de afmetingen van een standaard tertiaire sloot in zeekleigebied, met een slootpeil van 1,1 m onder maaiveld onder de huidige situatie. In de simulaties is gekozen voor een peilopzet van 30 cm. Dit is een groot verschil in peilniveau, waardoor de simulaties het grootst mogelijk effect van peilopzet op zoute kwel voorstellen.

De dimensies van het model zijn gebaseerd op een aantal keuzes en onderliggende aannames. Wij hebben gekozen voor een breedte van 5 m. Dit komt overeen met een drainageafstand van 10 m, als het drainageniveau in het perceel gelijk staat aan het slootpeil in de standaard situatie. Als het drainage hoger ligt dan het slootpeil, komt de breedte van het model overeen met een drainafstand van minder dan 10 m.

De tweede keuze is dat we de breedte van het model niet hebben aangepast in de situatie met peilopzet. In de werkelijkheid verschuift de waterscheiding dichterbij de sloot met peilopzet, waardoor de breedte zou moeten afnemen. Door de breedte onveranderd te laten is de gesimuleerde flux van het perceel naar de sloot ongeveer 10% hoger dan als de verschuiving in de waterscheiding wel meegenomen zou worden.

De invloed op de totale flux is kleiner, omdat de invloed van het perceel op de flux door de slootbodembodem kleiner is. Als de zoutflux evenredig is aan de waterflux betekent dit dat het model het effect van peilopzet wat zal onderschatten. De zoutflux wordt echter beïnvloed door de stromingspaden van het water, waardoor het waarschijnlijk niet evenredig zal zijn aan de verandering in water flux.

De derde keuze is dat het model de situatie midden tussen de drains simuleert, waar de opbolling het grootst is. Hierdoor zijn berekende fluxen hoger dan gemiddeld over het perceel. Hoewel de verhouding tussen zoutfluxen uit het perceel misschien vergelijkbaar zal zijn met de situatie dicht bij de drains, kan dit voor de absolute waarden wel belangrijk zijn.



Figuur 57. Voorbeeld van de modelopzet voor een gelaagd profiel met klei rond het drainageniveau inclusief de sloot (linksboven) en dekweerstandslaag (bruin). Informatie over de bodemtypes en randvoorwaarden staan rechts. De zoutflux naar de sloot wordt berekend over de slootbodembodem en schuine rand van de sloot.

Randvoorwaarden

De zijanten van het model liggen op de waterscheiding, waardoor gekozen is voor een 'no flux' randvoorwaarde, zowel voor water als voor zout. Neerslag van 0,8 mm/d met een zoutgehalte van 10 mg/L werd aan de bovenrand van het perceel opgelegd. Onderin het model is de randvoorwaarde een vaste stijghoogte. Water dat via de onderkant van het model het perceel in stroomt heeft een concentratie van 10.000 mg/L. In de sloot is een vaste stijghoogte van 0,2 m gebruikt. Voor de schuine rand van de sloot boven het waterniveau is gekozen voor een 'review' boundary. De zoutflux over de rand van de sloot wordt berekend aan de hand van de volgende vergelijking:

$$\text{zoutflux} = -v_{avg} \cdot v_{wc} \cdot c.$$

In de formule is v_{avg} de flux over de rand van de sloot is (L/d), v_{wc} de vochtgehalte (-) en c de concentratie zout langs de rand (mg/L).

Initiële waarden

Voor het hydrologisch model is voor de initiële waarden aangenomen dat het grondwater gelijk staat aan het slootpeil. Voor het chemisch model is een vergelijking gebruikt om een geleidelijke overgang tussen zoet en zout water op 1 m diepte:

$$c = \text{SWAGE}(y+1, 10000, 10, 0.2).$$

In de formule is c de zoutgehalte, y de diepte in het profiel, 10.000 en 10 mg/L de zoutgehalte onder- en bovenin het profiel, en 0,2 een indicatie van de dikte van de overgangszone.

6.2.2 Invoergegevens

De bodemtypen zijn gebaseerd op GeoTOP. GeoTOP verdeelt de ondergrond in lagen van 50 cm, onderverdeeld in klei, veen of zand. Uit eerste simulaties bleek dat het bodemtype op en net boven het drainageniveau van belang was en dat gelaagdheid onder of boven dat niveau nauwelijks invloed had op de modelresultaten.

Daardoor is ervoor gekozen om drie bodemtypes te simuleren waar het bodemtype rond het drainageniveau respectievelijk klei, veen of zand was. De bodemeigenschappen zijn gebaseerd op Staring bodemtypes, waarbij de doorlatendheden deels aangepast zijn (zie Tabel 6).

Tabel 6. Overzicht van Staring bodemtypes en doorlatendheden

Bodemtype	Doorlatendheid (m/d)	Staring bodemtype
Klei	0,1	O13
Veen	0,3	O17
Zand	1,0	O1
Weerstandslaag	0,001	O13

De kwelflux is aan het model toegevoegd op basis van een opgegeven stijghoogte onderin het model en een weerstandslaag in de bodem. De doorlatendheid van de weerstandslaag is gelijk gehouden, en de dikte aangepast om verschillende weerstanden te simuleren. De stijghoogte is gebaseerd op de voorjaarsstijghoogte van het eerste watervoerende pakket, afkomstig van de Grondwatertools van de Geologische Dienst Nederland. Deze stijghoogte is opgegeven ten opzichte van NAP. De AHN met resolutie van 1 m is gebruikt om de stijghoogten ten opzichte van maaiveld te bepalen, zoals nodig is voor het model. De deklaagweerstand is gebaseerd op GeoTOP.

De kaarten van voorjaarsstijghoogte en deklaagweerstand zijn gebruikt om te bepalen welke combinaties van de twee variabelen gesimuleerd zijn met het model. Het gaat om veelvoorkomende combinaties van stijghoogte en deklaagweerstand, aangevuld met minder vaak voorkomende combinaties om inzicht te krijgen in de extremen. Alle combinaties staan in Tabel 7.

Tabel 7. Combinaties van deklaagweerstand en stijghoogte

Deklaagweerstand (d)	Stijghoogte (m tov maaiveld)
500	-0.8, -0.5, 0, 1, 2, 3
250, 1000	0, 2

6.2.3 Vlakdekkende kaart

De modelberekeningen zijn vertaald naar een vlakdekkende kaart met behulp van vergelijkingen. De relaties tussen stijghoogte, deklaagweerstand en effect van peilopzet voor iedere bodemtype zijn gekwantificeerd met behulp van een tool. De tool fit automatisch verschillende typen functies. De beste functie is gekozen aan de hand van de correlatie en de fout tussen de modelresultaten en de waardes berekend door de functie.

De vergelijkingen zijn vervolgens toegepast op de kaarten van voorjaarsstijghoogte, deklaagweerstand en bodemtype tussen 100 en 150 cm om inzicht te geven in het effect van peilopzet in het studiegebied.

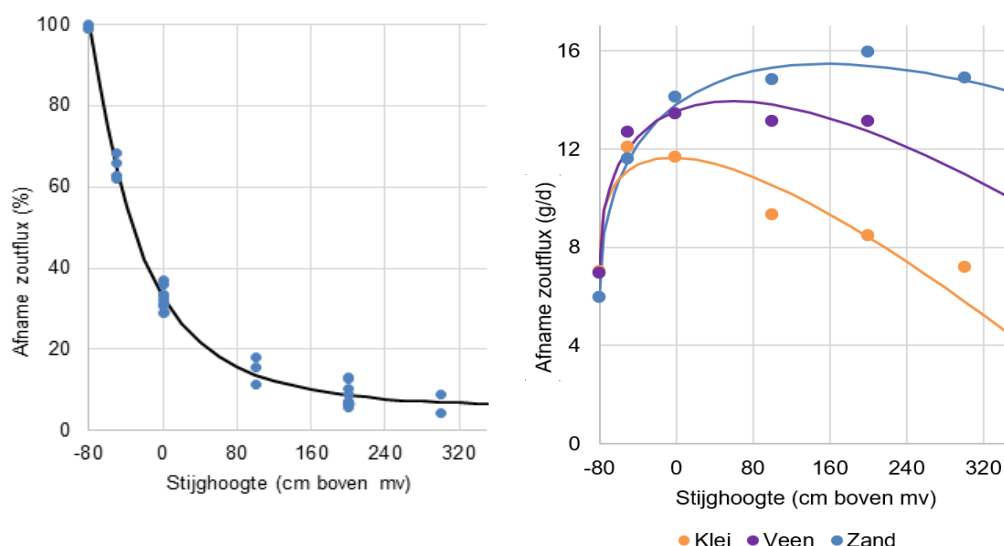
6.3 Effecten van peilopzet op slootniveau

Het toepassen van peilopzet in de sloot zorgt voor afhankelijkheid van het regionale waterbeheer. De methode houdt geen rekening met de verschillen die binnen een peilvak kunnen bestaan met betrekking tot bijvoorbeeld maaiveldhoogte, doorlatendheid en kweldruk.

Karakteristieken die van belang zijn in het fragiele evenwicht tussen zoet en zout. Zo zou brak water vanuit de sloot via drains infiltreren in het perceel wanneer de drains zich onder slootpeil bevinden en de sloot onder invloed is van zoute kwel. Het risico bestaat dat ook ziektekiemen het perceel op deze manier kunnen binnendringen. Peilopzet in de sloot verlaagt bovendien de bergingscapaciteit van het oppervlaktewatersysteem, waardoor tijdige afvoer van overtollig regenwater tot problemen kan leiden.

Het effect van peilopzet in de sloot op de zoutflux naar de sloot kan op twee manieren gekwantificeerd worden. Eerst, als het absolute verschil in zoutflux naar de sloot tussen de simulaties met het standaard en het verhoogde peil (kilogram/hectare/jaar). Ten tweede, de percentuele afname van de zoutflux ten opzichte van de uitgangssituatie (geen verhoogd slootpeil), ofwel de relatieve afname van de zoutbelasting.

Uit de eerste model simulaties bleek dat het bodemtype rond de sloot belangrijk is, maar dat de invloed van gelaagdheid in het profiel beperkt is. De afname in zoutflux berekend door het model, is afhankelijk van de doorlatendheid van de bodem, de deklaagweerstand en stijghoogte. Het effect van peilopzet is het grootst voor zandbodems en het kleinst voor kleibodems. Het verziltingsrisico van sloten verminderen door middel van peilopzet is effectiever bij 1) lagere deklaagweerstand, en/of 2) middelmatig tot hoge stijghoogtes.



Figuur 58. De impact van 30 cm peilverhoging in watergangen op de zoutflux ten opzichte van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Een stijghoogte van -80 cm (=80 cm beneden maaiveld) komt overeen met een slootpeil wat 30 cm verhoogd is. De linker figuur laat de relatieve afname zien. De punten representeren verschillende combinaties van bodemtype (klei, veen of zand) en deklaagweerstand (250, 500 of 1000 dagen). Rechts is de absolute afname in zoutflux weergegeven in g/d. De punten representeren resultaten voor verschillende bodemtypes gecombineerd met een deklaagweerstand van 500 dagen. Resultaten voor klei, veen en zand worden met verschillende kleuren aangegeven.

In Figuur 58 zijn de resultaten weergegeven. De linker figuur laat de afname van de zoutflux zien bij 30 cm peilopzet bij verschillende drukverschillen tussen het oppervlaktewaterpeil en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Hoe groter de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket is, hoe kleiner de impact van 30 cm peilopzet in de sloot is.

De rechter figuur laat de absolute afname van de zoutflux zien. Bij 30 cm drukverhoging (-80 cm boven maaiveld) wordt alle kwel weggedrukt. Bij kleine drukverschillen wordt de hele (beperkte) kwel flux weggedrukt. Naarmate de overdruk vanuit het eerste watervoerend pakket echter toeneemt, stabiliseert de afname van de zoutflux, of neemt de afname van de zoutflux zelfs af.

Uit de modelsimulaties blijkt dus dat de relatieve afname in zoutflux naar de sloot bij een verhoogd slootpeil voornamelijk bepaald wordt door de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. De invloed van zowel bodemtype als deklaagweerstand is beperkt.

De relatieve afname in zoutflux is groot waar het verschil tussen de stijghoogte en drainageniveau klein is. Bij toenemende stijghoogteverschillen wordt het effect steeds kleiner.

6.4 Peilopzet in de Waddenregio

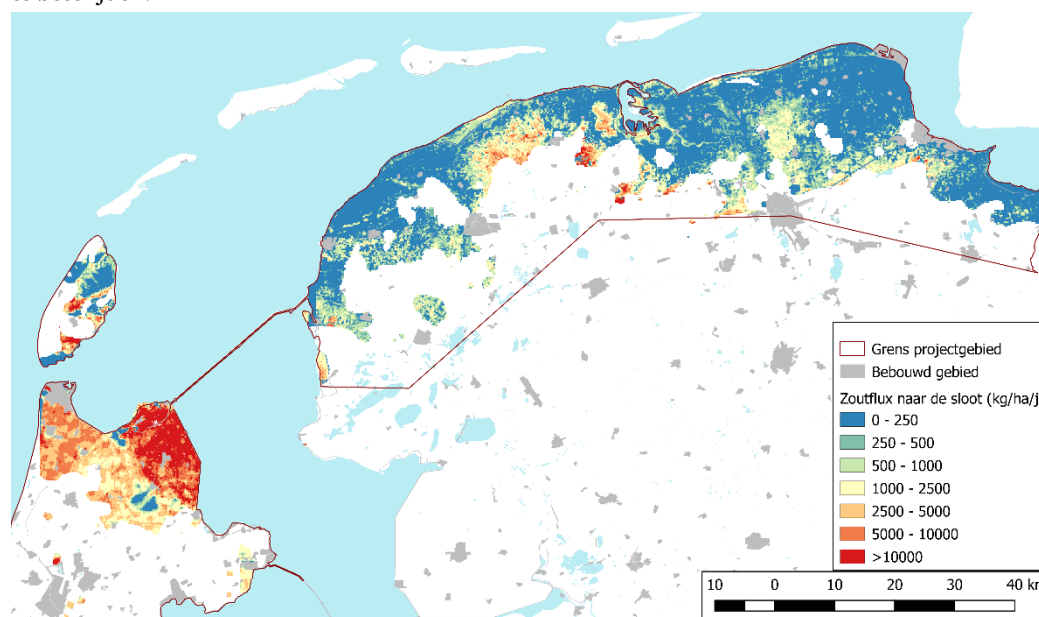
De modelresultaten zijn vertaald naar een kaart met behulp van een bodemkaart, stijghoogtekaart en weerstandskaat van de deklaag. De kaart met voorkomende bodemprofielen is gebaseerd op GeoTOP. De bodemtypes zijn onderverdeeld in klei, veen of zand op basis van het bodemtype rond het drainageniveau. De doorlatendheden van deze bodemtypes staan in Tabel 8. De deklaagweerstandskaat is ook gebaseerd op GeoTOP. De stijghoogte is gebaseerd op de voorjaarsstijghoogte van het eerste watervoerend pakket, afkomstig van de Grondwatertools van de Geologische Dienst Nederland.

Tabel 8. Overzicht van de doorlatendheden toegepast in de simulaties

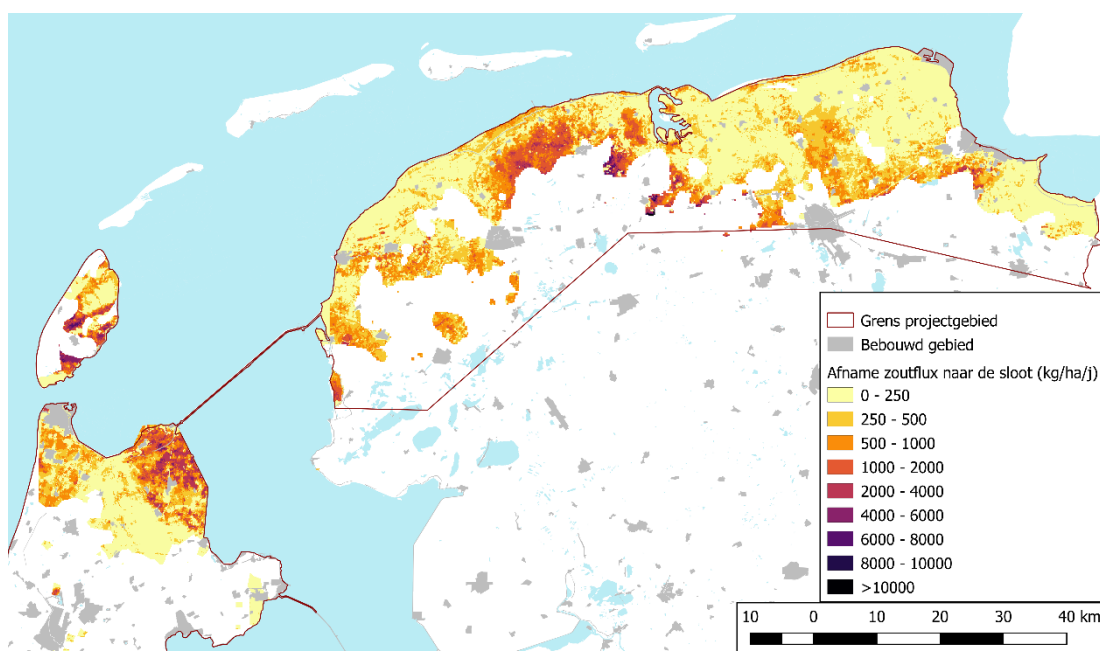
Bodemtype	Doorlatendheid [m/d]
Klei	0,1
Veen	0,3
Zand	1

Door deze invoerkaarten te combineren met de verbanden uit de modelsimulaties is het effect van peilopzet op de zoutflux naar de sloot in kaart gebracht. De kaarten beslaan het risicogebied in Noord-Nederland waar het zoet-zout grensvlak binnen 5 m-mv ligt (zie ook onderzoeksvraag B). De huidige (Figuur 59), absolute (Figuur 60) en relatieve afname (Figuur 61) van de zoutbelasting naar sloten is inzichtelijk gemaakt voor de Waddenregio. De kaarten zijn geschikt voor gebruik op regionaal niveau.

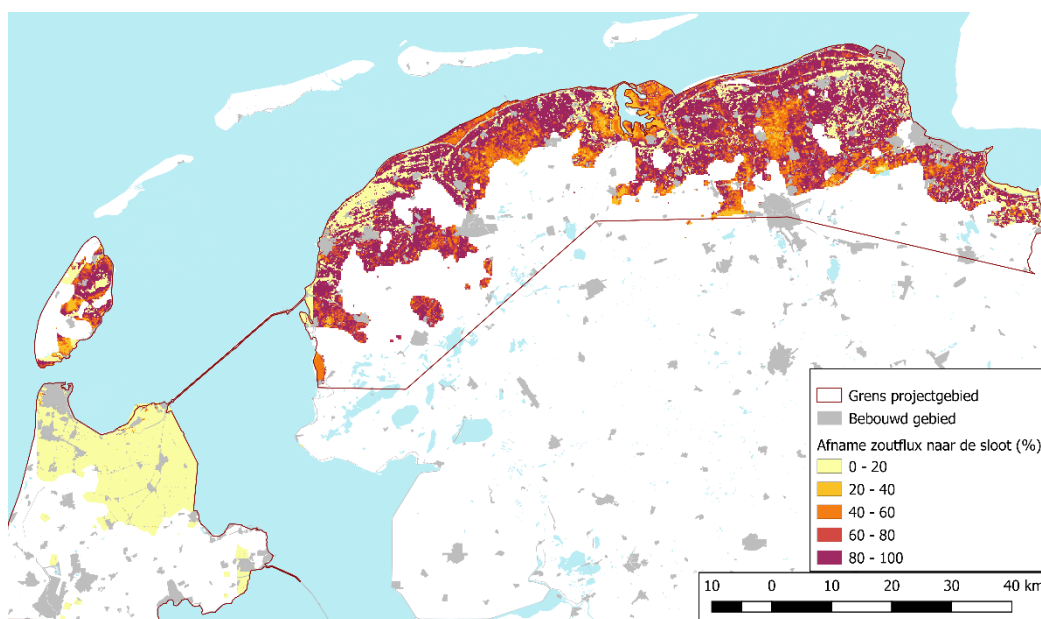
Uit de kaarten blijkt dat het verhogen van het slootpeil een effectieve maatregel kan zijn om de zoutbelasting te verlagen. Dit is vooral het geval op Texel en op het vaste land van Friesland en Groningen, waar zowel de absolute en relatieve afname in zoutflux betrekkelijk hoog zijn. De berekende afname in zoutflux naar de sloot is in lijn met de lagere gemeten zoutgehaltes in het drainagewater. De kaarten bekrachtigen daardoor de potentie van het toepassen van anti-verziltingsdrainage om verzilting te bestrijden.



Figuur 59. De huidige directe zoutflux vanuit de ondergrond (kwel) naar de sloten. Deze kaart illustreert niet de flux vanuit de percelen naar de sloot. De kaart is geschikt voor gebruik op regionaal niveau; het risico kan in werkelijkheid lokaal afwijken.



Figuur 60. De absolute afname in zoutflux naar de sloten als het slootpeil met 30 cm verhoogd wordt. Het risico is weergegeven voor het vaste land van Friesland en Groningen, Texel en de kop van Noord-Holland. De kaart is geschikt voor gebruik op regionaal niveau, daar het risico in werkelijkheid lokaal kan afwijken.



Figuur 61. De relatieve afname (als % ten opzichte van de uitgangssituatie met een ongewijzigd slootpeil) in zoutflux vanuit de ondergrond (kwel) naar de sloten als het slootpeil met 30 cm verhoogd wordt. De kaart is geschikt voor gebruik op regionaal niveau; het risico kan in werkelijkheid lokaal afwijken.

7

Conclusies

Het huidige waterbeheer is ingericht op de aanvoer van zoetwater voor (1) peilhandhaving, (2) doorspoelen om het zoutgehalte te verlagen, (3) verbetering van waterkwaliteit in relatie tot KRW-doelstellingen en (4) uiteraard op de afvoer van overtollig regenwater. Toename van kweldruk door bodemdaling, zeespiegelstijging en veranderingen in het klimaat zorgt ervoor dat in de toekomst meer inlaatwater nodig is voor het behoud van dezelfde waterkwaliteit.

Binnen het watersysteem zijn alternatieve waterbeheersmaatregelen mogelijk zoals verzoeting van de hoofdwatgangen of peilopzet in de sloten. Peilopzet in de sloten verlaagt de directe zoutbelasting naar de sloot. De maatregel kan niet zonder meer worden toegepast. Het leidt onder andere tot een beperking van de bergingscapaciteit. Er bestaat bovendien een risico op verzilting in percelen wanneer slootwater via ondergelopen drainagebuizen het perceel indringt. Tevens stijgt het risico op indringing van gewasziekten vanuit het slootwater.

Toepassing van Spaarwatermaatregelen op regionale schaal heeft positieve effecten voor het waterbeheer in een polder. Ondergrondse opslag beperkt de piekafvoer van drainwater uit percelen na neerslag. Door een eigenwatervoorziening is er minder inlaatwater nodig om dezelfde streefwaarde voor het zoutgehalte te realiseren. Anti-verziltingsdrainage leidt tot een daling van het nutriëntengehalte in het oppervlaktewater. Het leidt tevens tot een lagere zoutbelasting. Er is minder inlaatwater nodig om dezelfde streefwaarde voor het zoutgehalte dan wel nutriëntengehalte te realiseren. Door een grotere buffercapaciteit in het perceel leidt ook antiverziltingsdrainage tot een lagere piekafvoer.

Referenties

- van Boekel, E. M. P. M., J. Roelsma, H. T. L. Massop, H. M. Mulder, P. C. Jansen, L. V. Renaud, and R. F. A. Hendriks. (2013). "Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK." Deelrapport 26: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor deelgebied Anna Paulownapolder Laag. Alterra-rapport 2475.26, ISSN 1566-7197
- Evers, C. H. M., Knoben, R. A. E. (2007). Omschrijving MEP en maatlatten voor sloten en kanalen voor de Kaderrichtlijn Water. Stowa. Rapportnummer 2007-32b.
- Deltaprogramma (2016). Werk aan de Delta – En nu begint het pas echt. Uitgave van het ministerie van Infrastructuur en Milieu en het ministerie van Economische zaken. September 2015.
- Jongmans, A. G., Van den Berg, M. W., & Sonneveld, M. P. W. (2012). *Landschappen van Nederland: geologie, bodem en landgebruik*. Wageningen Academic Publishers.
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (2014) Klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. Herziene uitgave 2015. Brochure. KNMI, De Bilt.
- Velstra, J, van Staveren G., Oosterwijk J., Van der Werff R., Tolk L. & Groen J., 2013. Verziltingsstudie Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Eindrapport. Acacia Water. pp. 175

Acacia Institute
Van Hogendorpplein 4
2805 BM Gouda

Telefoon: 0182 – 686424
Internet: www.acaciawater.com
Email: info@acaciawater.com

