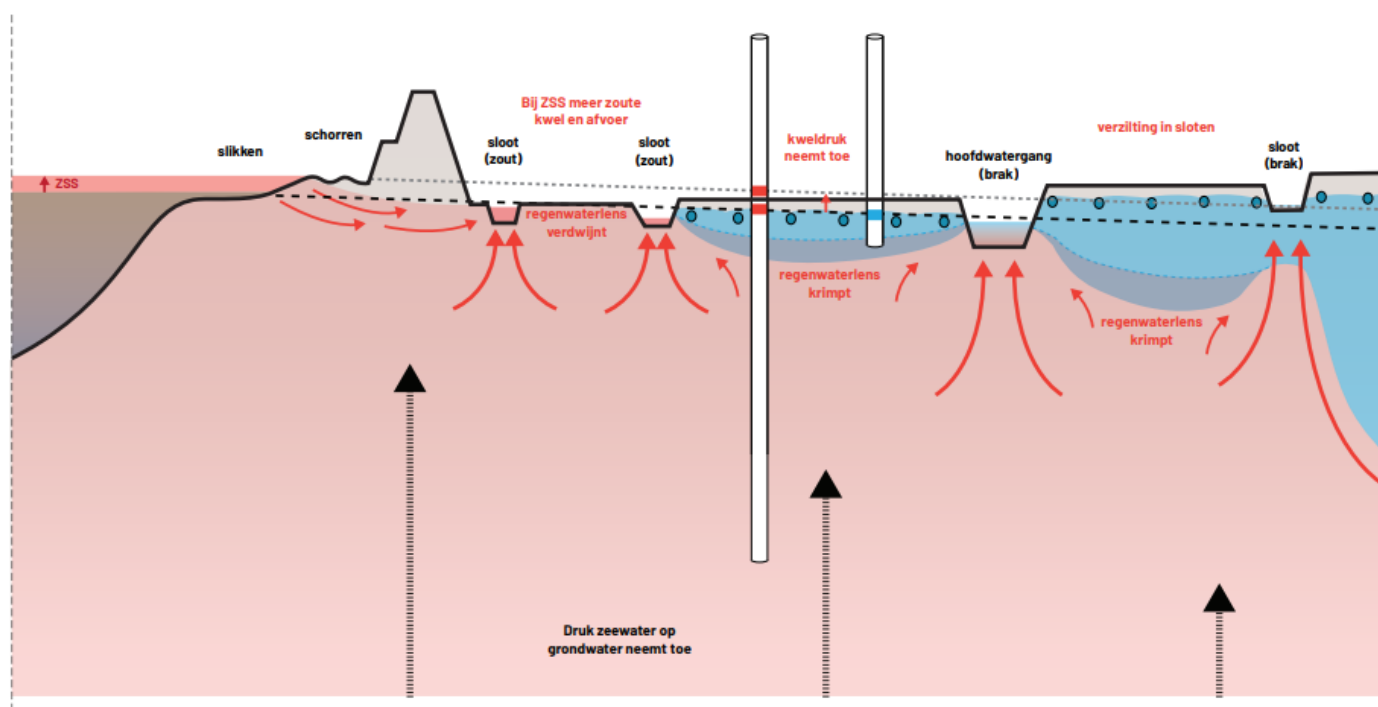


Verziltiging bij zeespiegelstijging

Achtergrond document bij doorsnedes verziltiging zeespiegelstijging – waterkerend landschap Ouwerkerk



Verziltling bij zeespiegelstijging

Achtergrond document bij doorsnedes verziltling zeespiegelstijging – waterkerend landschap
Ouwerkerk

Auteurs:

Ilja America – van den Heuvel (Deltares)

Vince Kaandorp (Deltares)

Philip Drontmann (Drontmann Alliantiemanager)

Peter van Veelen (Buro Waterfront)

Jan van Berkum (Aequator)

Illustrator:

Iris van Driel

Gefinancierd en mede mogelijk gemaakt door Zuidwestelijke Delta

11-12-2023

Kernboodschappen verkennend onderzoek

Naar effect zeespiegelstijging op landbouwgrond achter de dijk bij Ouwerkerk

Hoe werkt het huidige systeem?

- Zoet regenwater drijft op zout grondwater
- In de poelgronden komen dunne zoet regenwaterlenzen voor met een dikte van maximaal enkele meters. Met name het neerslagoverschot (grondwateraanvulling), drainage en kweldruk bepalen de dikte hiervan.
- Zoetwaterlenzen vormen zich langzaam en worden bepaald door neerslagoverschot en doorlatendheid van grond.
- Wanneer in droge periode water wordt onttrokken uit zoetwaterbellen, stijgt aan de onderkant het zoute grondwater omhoog (opkegeling)

Wat gebeurt er als de zeespiegel stijgt?

- Stijging van de zeespiegel leidt tot verhoogde kweldruk, tot ongeveer 10 kilometer landinwaarts.
- Het gebied net achter de dijk zal naar verwachting de meeste effecten ondervinden, waarbij de ondiepe (freatische) grondwaterstand ook deels zal meestijgen door een verhoogde kweldruk. Dit effect is afhankelijk van de bodemopbouw en ontwateringssituatie.
- De zomer grondwaterstand zal hoger worden.
- Een hogere zoute kweldruk duwt regenwaterlenzen omhoog en bemoeilijkt het dieper infiltreren van zoet regenwater.
- Een hogere kweldruk brengt dieper brak/zout grondwater naar boven. Net achter de dijk kan dit grondwater afkomstig zijn uit de Oosterschelde .
- Door hogere kweldruk en daarmee een hogere zoutvrucht worden dunne regenwaterlenzen kleiner en de worden sloten brakker/zouter.

Wat zijn de belangrijke gevolgen?

- Door zoute kweldruk is de kans dat regenwaterlenzen dunner worden.
- Een gemiddeld hogere grondwaterstand verhoogt het risico van interne verslemping waardoor de bodemstructuur voor planten/organismen verslechterd.
- Een hogere grondwaterstand kan in de zomer bijdragen aan minder droogte stress wanneer zoet regenwater naar boven wordt gedrukt, en (zoet)water dichterbij de wortelzone komt.
- Als een regenwaterlens in de zomer door verdamping verdwijnt kan zout grondwater in de wortelzone komen waardoor gewassen zoutschade kunnen ondervinden.
- De dikte zoetwaterbellen kunnen door de hogere grondwaterdruk kleiner worden.

Wat kun je doen om ermee om te gaan?

- Een betere bodemstructuur (door bijvoorbeeld groenbemesters en niet kerende grond):
 - verminderd het risico van verslemping,
 - kan beter regenwater bergen en vergroot de capillaire werking.
- Voorkom onttrekking van te veel water uit zoetwaterbellen, zorg voor tegendruk waardoor zoute kweldruk minder kans krijgt, ook richting sloten. Dit kan door het peil zo lang mogelijk hoog te houden.
- Door peilgestuurde drainage kan beter gestuurd worden op de grondwaterstand in een perceel, zoet water langer worden vastgehouden en de regenwaterlens aangroeien.
- Zolang we het peil in de polders gelijk houden zal de hoogste grondwaterstand beperkt stijgen. Wel zal de afvoercapaciteit groter moeten worden.

Toelichting Doorsnedes

Historie Schouwen-Duivenland¹

Schouwen-Duiveland wordt omringd door het brakke en zoute water van de Noordzee, de Oosterschelde en de Grevelingen. Het eiland is gevormd door overstromingen en inpolderingen. Rond het jaar 0 bestond Zeeland uit een vrijwel ononderbroken veenlandschap. In de eeuwen daarna hebben overstromingen een groot deel van het veen weggeslagen en werden eilanden gevormd. Door de invloed van de zee werd het ondiepe grondwater vervolgens zout.

In de periode 1000 – 1200 na Christus werden aan de kust de jonge duinen gevormd en begonnen bewoners met het omdijken van droge gebieden en vanaf de 13^e eeuw werden ook gebieden van de zee teruggewonnen en ingepolderd. Deze gebieden liggen nu wat hoger dan de vroegst bedijkte gebieden, doordat langere tijd sedimentatie heeft kunnen plaatsvinden.

De kreken vormden vroeger de laagste delen van het landschap. Doordat dijken werden aangelegd en gebieden werden ontwaterd door het graven van sloten en greppels zijn veenlagen ingeklonken en kleibodems gerijpt. Hierdoor is het maaiveld gedaald. Doordat de dichtgeslibde kreken zandiger zijn heeft hier minder bodemdaling plaatsgevonden waardoor deze nu hoger in het landschap liggen: het landschap heeft zich in wezen ‘omgekeerd’ waardoor we nu spreken van kreekruggen.

De lager gelegen gebieden noemen we poelgronden. Het eiland bestaat dus voor een groot deel uit polders, het grootste deel van het maaiveld op het eiland bevindt zich op een hoogte van ongeveer NAP. Op enkele plekken steken de kreekruggen enkele meters boven de polders uit. De duinen aan de westzijde van het eiland hebben een hoogte tot ongeveer 35 m boven NAP.

Voor het maken van de doorsnedes zijn verschillende databronnen gebruikt zoals het [AHN](#), [FRESHEM](#), en informatie vanuit waterschap Scheldestromen.

Zeespiegelstijging in de Oosterschelde

Als gevolg van klimaatverandering zal de zeespiegel komende honderden jaren blijven stijgen, maar de snelheid waarmee hangt af van de hoeveelheid broeikasgassen die de wereld blijft uitstoten. De nieuwste klimaatscenario's van het KNMI (2023) gaan uit van een stijging in het jaar 2100 van 26 tot 73 cm in het scenario dat het lukt om wereldwijd de broeikasgassen terug te dringen en een stijging tot 124 cm in het geval dat er veel meer broeikasgassen worden uitgestoten.

Voor deze studie gaan we uit van een stijging van 1 meter op zee in 2100. We gaan er verder vanuit dat het waterpeil rondom Schouwen-Duiveland meestijgt met de zeespiegel. Een tweede effect van klimaatverandering is de toenemende droogte. Het KNMI verwacht langere perioden van droogte in het voorjaar en zomer en nattere omstandigheden in het najaar en winter. Het neerslagoverschot blijft bestaan maar wordt minder gunstig verdeeld over het jaar.

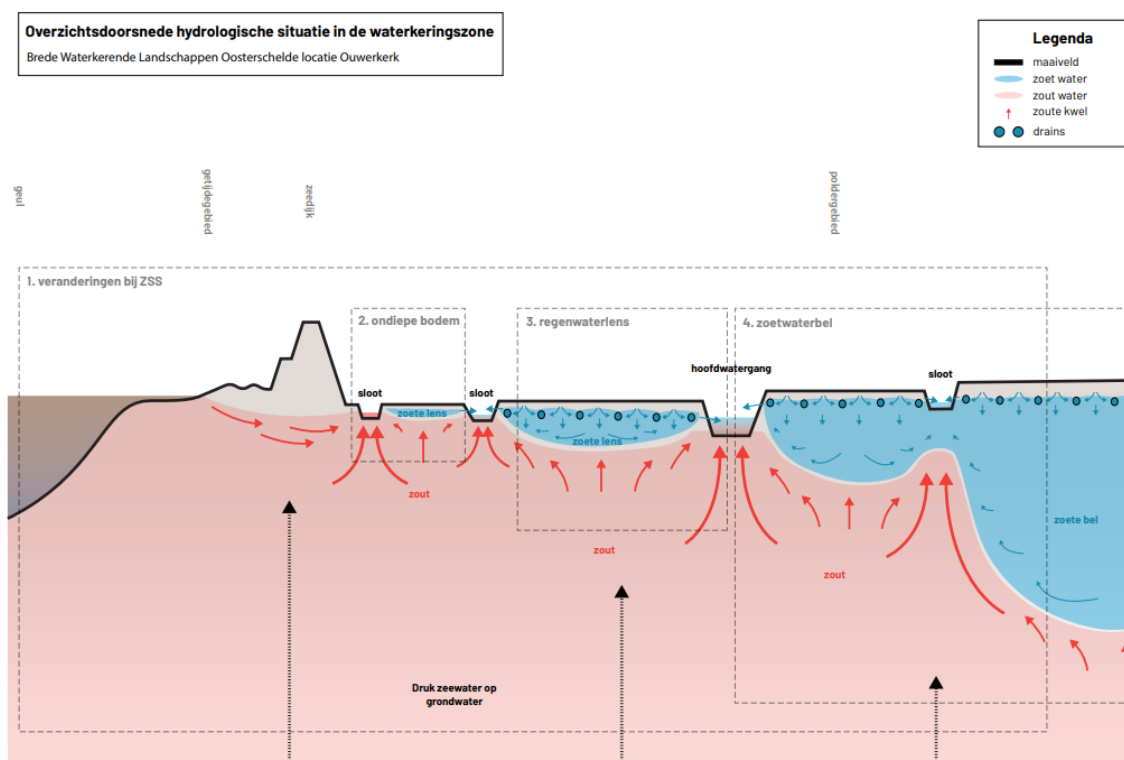
Overzichtsdorsnede

In het overzichtsfiguur is een doorsnede te zien van de huidige situatie met aan de linkerkant de Oosterschelde met aangrenzend de zeedijk. Rechts van de zeedijk zijn verschillende zones te onderscheiden die meer landinwaarts te vinden zijn.

Op de zandige kreekruggen (4. zoetwaterbel) infiltreert zoet regenwater waardoor zoetwaterbellen zijn gevormd met een dikte tot ongeveer 30 meter. Deze zoetwaterlenzen ontstaan door het verschil in dichtheid tussen zoet en zout water. Doordat zout water zwaarder is, drijft het zoete water als het ware op het diepere zoute grondwater, analoog aan het drijven van ijs in water. Zoetwaterlenzen vormen langzaam: bij een neerslagoverschot van 0.8 mm/dag en een porositeit (hoeveelheid poriën) van 30% duurt het iets meer dan 10 jaar om een 10 meter dikke zoetwaterlens te vormen.

De polders hebben over het algemeen kleiige tot zavelige bodems en door de lage ligging komt in de poelgronden kwel voor. Deze omhoog gerichte stroming van zout grondwater belemmert de infiltratie van regenwater naar het diepere grondwater. Hierdoor zijn regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden meestal dun (< 2 m) en is het ondiepe grondwater vrijwel overal brak tot zout (3. Regenwaterlens). Dankzij regenwaterlenzen is de bovengrond zoet, wat landbouw mogelijk maakt. Buisdrainage voert grondwater af en heeft daardoor een groot effect op de regenwaterlenzen.

In de zone direct achter de zeedijk is de kweldruk hoog. In deze zone komt zoute kwel dicht tegen het oppervlakte voor en wordt vaak afgevoerd door een kwelsloot. De percelen rond deze zone hebben slechts een dunne regenwaterlens (2. ondiepe bodem).

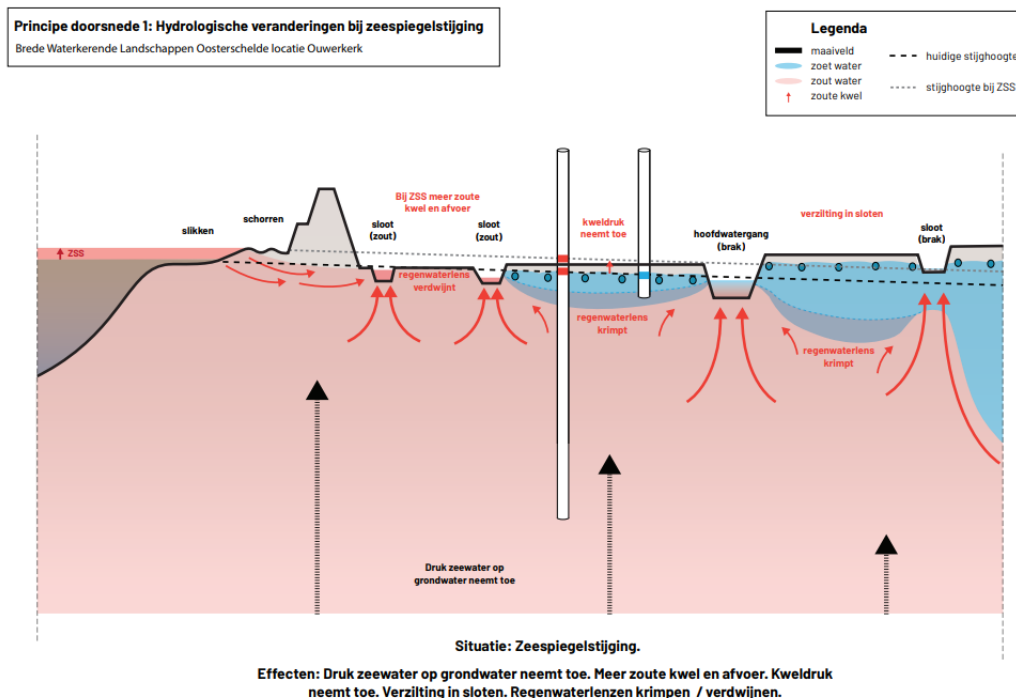


Doorsnede 1: Het effect van zeespiegelstijging.

Het gebied net achter een zeedijk zal naar verwachting de meeste effecten ondervinden omdat het stijgende (zee)waterpeil zich op de kortste afstand bevindt. Dit water staat in contact met het diepere grondwater en de waterdruk die zich hier bevindt (de zogenaamde 'stijghoogte') neemt toe. Hierdoor zal in dit gebied de ondiepe (freatische) grondwaterstand ook deels meestijgen door de verhoogde (kwel)druk. De grootte van dit gebied is afhankelijk van de weerstand van de ondergrond, aanwezigheid van kleilagen, de maaiveldhoogte, sloten en drainage en het polderpeil. De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) zal waarschijnlijk niet veel veranderen, want deze wordt bepaald door de ontwatering door drains en polderpeilen (zolang het waterschap blijft pompen).

De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) zal in grotere mate worden beïnvloed en gemiddeld hoger komen te staan. De stijging van de zomergrondwaterstand kan ervoor zorgen dat de bovenkant van de regenwaterlens in deze zone minder diep wegzakt in de zomer waardoor er minder droogtestress ontstaat in tijden van droogte (zie doorsnede 2C). Deze 'voordelige' situatie zal alleen geldig zijn tot een bepaalde zeespiegelstijging. Op een gegeven moment wordt een knikpunt bereikt waarbij de zeespiegel zo ver stijgt en de grondwaterdruk in de polder toeneemt dat het meer nadelige condities veroorzaakt. In gebieden zonder ontwatering, zoals natuurgebieden, zullen te natte condities ontstaan.

In ontwaterde gebieden kan tijdens droge perioden de zoete regenwaterlens verdwijnen en de ondiepe ondergrond verzilt. In dit gebied kan een, iets dieper gegraven, 2^{de} kwelsloot, net achter de dijk, verlichting bieden doordat een gedeelte van de kwelflux kan worden afvangen². Een (constante) stijging van de grondwaterstanden heeft invloed op de situatie in de bodem en kan slemp veroorzaken (zie doorsnede 2B).



Verder landinwaarts, tot ongeveer 10 kilometer, veroorzaakt de stijging van de zeespiegel een toename van de zoute kwelflux³. De ondiepe grondwaterstand worden verder landinwaarts minder beïnvloed door zeespiegelstijging doordat de ontwateringssituatie aan maaiveld hier een grotere rol speelt. Door een toenemende kweldruk en zoute kwelflux komen de zoete regenwaterlenzen en zoetwaterbellen onder druk te staan (zie doorsnedes 3 en 4).

Een groot voorland voor de dijk (slikken en schorren) heeft mogelijk een dempend effect op de toename van de kweldruk door zeespiegelstijging. Dit komt door de hogere weerstand van het slib dat is afgezet in de Slikken van Viane. Hierdoor kan de kweldruk afnemen. Hoe dit lokaal uitpakt is van veel factoren afhankelijk. Daarnaast kan een groot voorland leiden tot nog een extra (relatief gezien) dempend effect. Het slikken en schorren landschap heeft een hogere grondwaterstand doordat het grondwater in het gebied blijft hangen na hoog water en niet voldoende tijd heeft om mee te zakken tot het niveau van laag water. De kweldruk in gebieden achter dit landschap is in de huidige situatie daarom hoger dan in gebieden zonder voorland⁴. Bij een stijging van de zeespiegel zal de situatie daardoor relatief gezien minder snel veranderen. Een meegroeiend slikken landschap kan mogelijk een positief effect op de achterliggende polders.

Doorsnede 2: Wat gebeurt er in de bodem?

Een gezonde bodem is één van de belangrijkste randvoorwaarden voor een agrariër. Rondom Ouwerkerk bevinden zich voornamelijk lichte zavelgronden, naast zandige kreekkruggen. Lichte zavelgronden hebben het risico van oppervlakkige en interne verslemping bij hoge vochtgehalten (zie doorsnede 2B).

Oppervlakkige verslemping, oftewel een dicht (slemp)laagje of korst aan de oppervlakte kan optreden wanneer in natte perioden het harder regent dan de grond aan kan. Interne verslemping treedt op in zeer natte, onnatuurlijk losse (dus bewerkte) gronden. Bij beide processen spoelen fijne bodemdeeltjes tussen de grovere bodemdeeltjes en vormen daar een compacte en dichte laag. Net als een ploegzool bemoeilijkt dit de infiltratie van water en ook de capillaire opstijging van water.

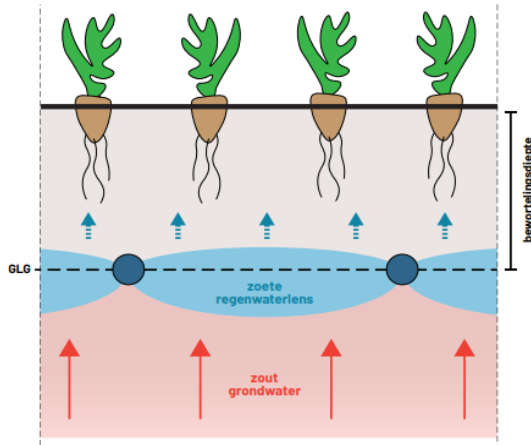
In de praktijk komt interne slemp voornamelijk in slecht ontwaterde, organische stofarme, lichte zavelgronden voor. Een goede ontwatering en droge perioden zijn nodig voor een goede bewerkbaarheid van de grond om interne verslemping tegen te gaan. Het streven om zoveel mogelijk neerslag op te vangen in de zoete regenwaterlens kent dus ook grenzen en risico's. Door niet kerende groundbewerking, het bedekt houden van de grond en groenbemesters kan de bodemstructuur worden verbeterd (in de bovengrond).

Echter, een diepe ontwatering kan nu, en in de toekomst, zorgen voor te droge bodemcondities, wanneer er vaker periodes van droogte verwacht worden (zie doorsnede 2A). Wanneer het grondwater zo ver zakt dat er onvoldoende bodemvocht in de wortelzone is, veroorzaakt dit droogtestress aan de gewassen. Door de beperkte zoetwaterbeschikbaarheid op Schouwen-Duivenland is beregening alleen mogelijk voor agrariërs die bij een kreekkrug, en dus zoetwaterbel, gesitueerd zijn (zie doorsnede 4).

Principe doorsnede 2: Wat gebeurt er in de bodem

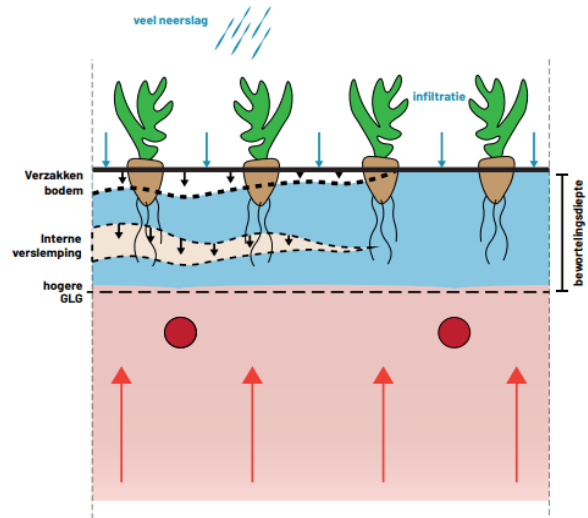
Brede Waterkerende Landschappen Oosterschelde locatie Ouwerkerk

Legenda			
	maaiveld		GHG = Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand
	zoet water		GLG = Gemiddeld Laagste Grondwaterstand
	zout water		drains zoet
	zoute kwel		drains zout
	capillaire nalevering		



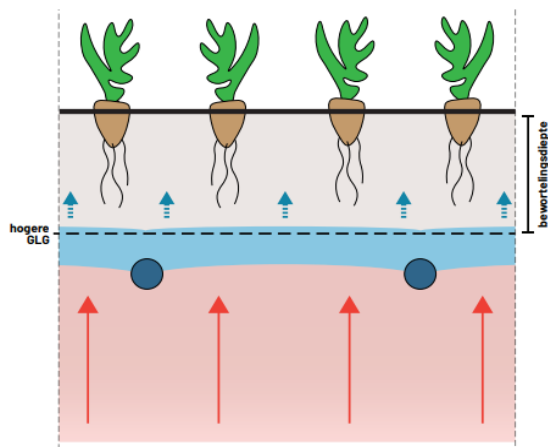
2A: Huidige situatie

In de huidige situatie komen dunne regenwaterlensen voor door hoge kweldruk. Bij onvoldoende capillaire nalevering in een droge zomer kan droogte stress ontstaan.



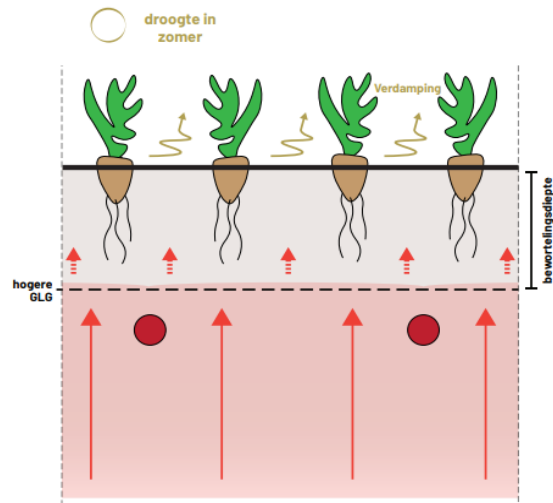
2B: Verslemping

Een te natte bovengrond, door ZSS of meer neerslag, zorgt voor vervloeien vangronddeeltjes oftewel verslemping. Dit geeft een compacte laag in de bovengrond, waardoor het maaiveld verzakt. De bewortelingsdiepte neemt af, waardoor gewas minder ruimte heeft om te groeien.



2C: Hogere GWS door ZSS

De hogere kweldruk bij ZSS zorgt voor hogere GLG condities, met name net achter de dijk



2D: Verzilting door ZSS

Een combinatie van langdurige droogte en meer kweldruk door ZSS zorgt ervoor dat zout grondwater omhoog geduwd wordt tot in de wortelzone, waardoor zoutschade aan gewassen kan optreden.

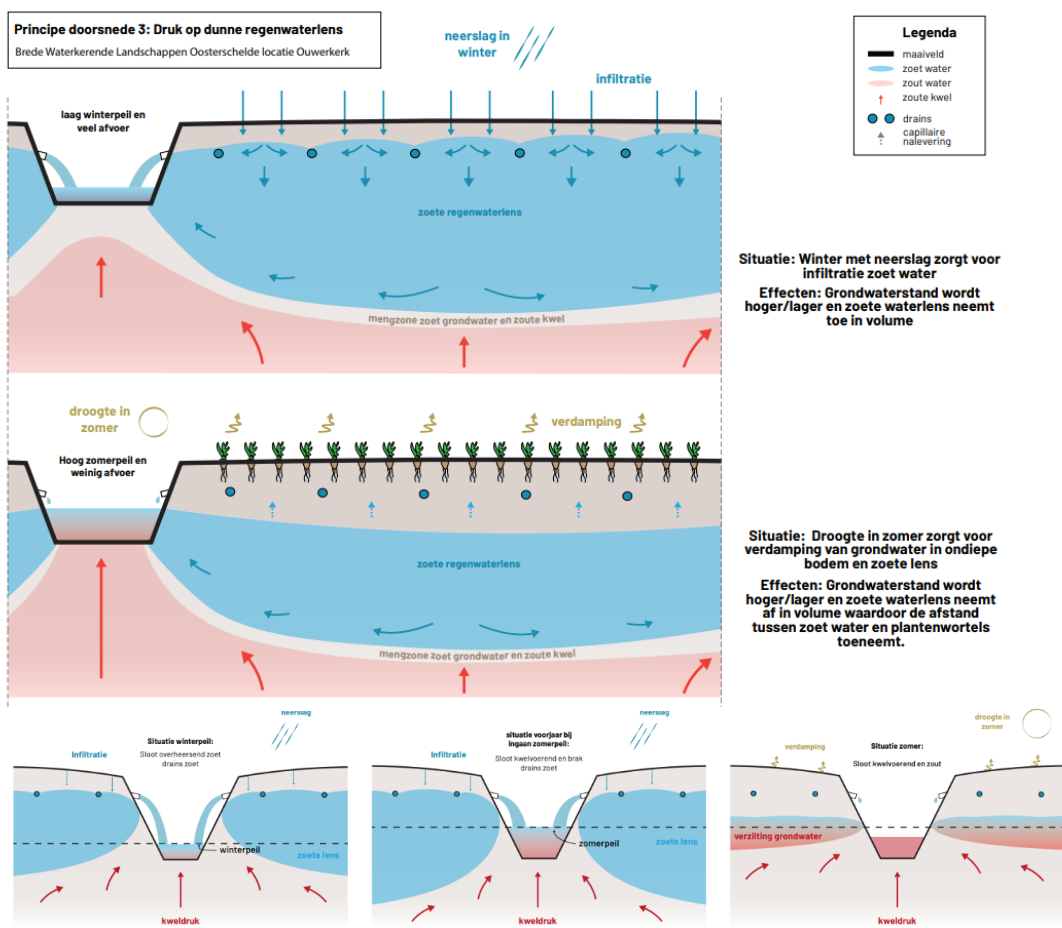
Doorsnede 3: Regenwaterlens

Een regenwaterlens is een dunne zoetwaterlens in een perceel. Zoetwaterlensen zijn vaak niet dikker dan enkele meters. Regenwaterlensen worden gevormd door een gemiddeld jaarlijks neerslag overschot. De permanente opwaartse stroming van zout kwelwater belemmert echter de infiltratie van regenwater naar het diepere grondwatersysteem.

Grondwateraanvulling, kwelflux en drainagediepte zijn de belangrijkste factoren die de karakteristieken van de regenwaterlens bepalen. Ondanks de dynamische processen in de ondiepe ondergrond door neerslag en verdamping is het zoutprofiel van de regenwaterlens vrij constant in de tijd.

De positie van de mengzone (waar zoet en zout water elkaar tegenkomt), aan de onderkant van de regenwaterlens, verandert nauwelijks in de tijd⁵. Het zoutgehalte van het drainagewater is veel dynamischer en verandert continu door het samenspel van neerslag, verdamping en afvoer van grondwater uit de regenwaterlens en afvoer van zoute kwel.

In de winter zijn sloten brak tot zoet doordat de drains zoet regenwater afvoeren en dit mengt met zout kwelwater. In de zomer is de zoutconcentratie van het slotwater hoger doordat er weinig tot geen (zoet) drainwater aanwezig is (grondwaterstand is lager dan drainagediepte).

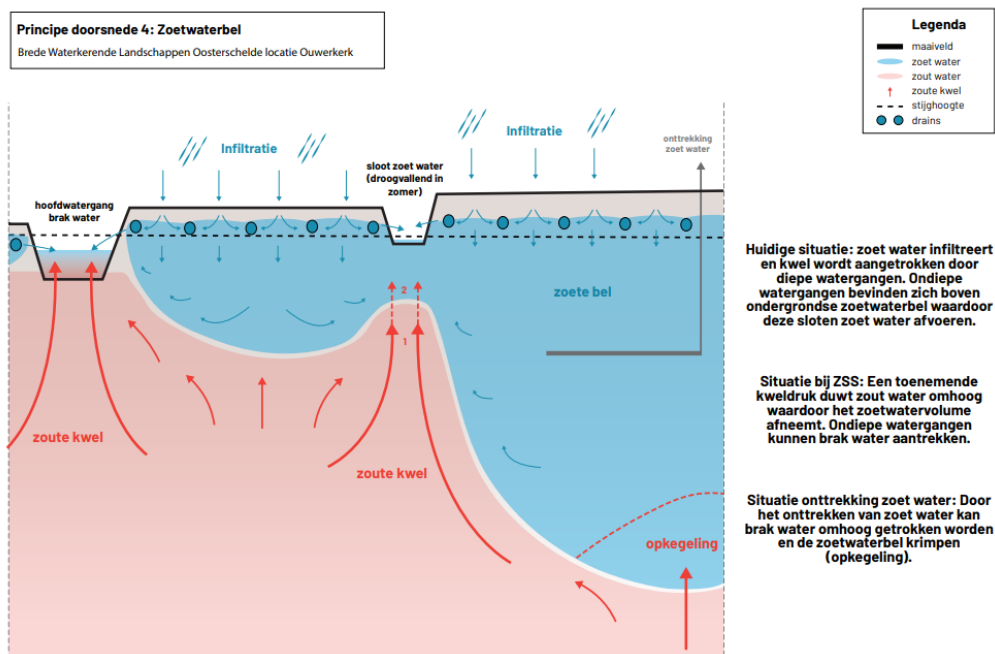


Zeespiegelstijging zorgt voor toenemende zoute kweldruk. Deze toenemende kweldruk zorgt ervoor dat het zoet-zout grensvlak hoger in het perceel komt te liggen waardoor de regenwaterlens dunner wordt (zie doorsnede 1). In droge zomers bestaat het risico dat de grondwaterstanden diep wegzakken waardoor de regenwaterlens helemaal verdwijnt/verdampt. Hierdoor kan het bovenste grondwater brak of zout worden en zout via capillaire naleving in de wortelzone terecht komt (zie doorsnede 2D). Hierdoor kunnen gewassen naast droogteschade ook zoutschade ondervinden.

Mogelijke maatregelen zijn het versterken van de zoetwaterlens door aangepaste drainage. Bij antiverziltingsdrainage wordt drainage dieper aangelegd waardoor meer zout grondwater wordt gedraineerd. Hierdoor ontstaat er meer ruimte in de bodem voor de zoete regenwaterlens. Een nieuwe techniek voor gebieden met een hoge grondwaterdruk is dubbele drainage. Deze techniek wordt momenteel op Schouwen-Duiveland getest. Bij deze maatregel voeren diepe drains het zoute grondwater af en ondiepe drains het zoete water tijdens natte perioden, wat kan worden opgevangen in een bassin. Het zoete regenwater wordt dus direct in het perceel gescheiden gehouden van het zoute kwelwater. De lens wordt hierdoor niet dikker maar het zoete water kan wel gebruikt worden, bijvoorbeeld via een druppelirrigatiesysteem.

Doorsnede 4: Zoetwaterbel

Zoetwaterbellen worden gevormd in hoger gelegen zandige plekken zoals kreekruggen. In deze gebieden kan regenwater wel dieper in de ondergrond infiltreren doordat de hogere grondwaterstanden die vaak boven NAP liggen voldoende tegendruk geven aan de kweldruk. In de loop van de tijd zijn hierdoor zoetwaterbellen van 1020 meter diepte ontstaan. Op dit moment zijn veel agrariërs afhankelijk van het zoete water dat beschikbaar is in deze zoetwaterbellen. In droge perioden wordt zoet water onttrokken, vaak door middel van diep drains. De onttrekking zorgt voor een opkegeling, het omhoogkomen van zout grondwater aan de onderkant van de zoetwaterbel.



Door zeespiegelstijging neemt de overdruk (de grondwaterstand ten opzichte van het zeeniveau) af; het grondwater kan namelijk niet meestijgen met de zeespiegel omdat het gebied gedraineerd moet blijven vanwege de risico's op wateroverlast. Een kleine afname van de overdruk heeft een grote invloed op de dikte van de zoetwaterbel. Bij zoet water bovenop 100% zeewater is die dikte 40 keer de overdruk. Dus als de overdruk 1m afneemt, neemt de dikte van de zoetwaterlens theoretisch met 40m af (Ghyben-Herzberg principe). Hierdoor zal door zeespiegelstijging de zoetwaterbel wat kleiner worden. In praktijk is deze relatie afhankelijk van meerdere factoren waaronder de ondergrond en dichtheidsverschillen in het grondwater.

In de huidige situatie voeren sloten in deze gebieden voornamelijk zoetwater af omdat de zoetwaterlens groot genoeg is en daarmee voldoende tegendruk uitoefent tegen de zoute kweldruk. Wanneer door zeespiegelstijging kweldruk toeneemt en de zoetwaterbellen kleiner worden, kunnen deze sloten brakker worden doordat zoute kwel zijn weg naar boven vindt (nummer 1 in doorsnede 4). De zoetwaterbel kan daardoor plaatselijk ook doorsneden worden met zoute zones en minder robuust worden (nummer 2 in doorsnede 4). Dit kan ertoe leiden dat het benutten van het water met een diepdrain niet meer mogelijk is.

Mogelijke maatregelen om de zoetwaterbel te versterken bestaan uit 3 mogelijke oplossingen:

- Verhogen overdruk door het opzetten van de grondwaterstand. Dit kan door het polderpeil op te zetten of, wanneer dat niet kan vanwege de risico's op wateroverlast, het vasthouden van zoetwater in het perceel door peilgestuurde drainage. Het opzetten van het polderpeil heeft minder effect dan peilgestuurde drainage. Met drainage stuur je direct op het grondwaterpeil. Het slootwaterpeil heeft met name invloed op de zone direct rondom de sloot. Verder in het perceel is het dan afhankelijk van drainage waardoor de grondwaterstand kan opbollen of uitzakken.
- Voorkomen van het draineren van de zoetwaterbel door het verondiepen van sloten of omleggen van hoofdwatgangen zodat het zoute grondwater niet opkegelt naar de watgangen en de zoetwaterbel doorsnijdt.
- Het actief inbrengen van overtollig zoet regenwater door infiltratie systemen waardoor de bel aangroeit. Bijvoorbeeld door middel van het kreekkrug infiltratie systeem (infiltratie via ondiepe drains).

Referenties

1. Kaandorp VP, Schoonderwoerd E, de Louw PGB, et al. Samenwerken voor zoet water Schouwen-Duiveland - van pilots naar grootschalige toepassing. Deelrapportage 1: Technieken en potentiekaarten. *Deltares Rapp 11205909-000-BGS-0002*. Published online 2021.
2. van de Lageweg W, Salvador de Paiva J, de Vet P, et al. Perkpolder Tidal Restoration - final report. *Cent Expert delta Technol*. Published online 2019.
3. Delsman J, America I, Mulder T. Grondwaterverziltting en watervraag bij een stijgende zeespiegel. *Deltares Rapp 1120 039-009-BGS-0001*. Published online 2022:90.
4. de Louw P, Schoonderwoerd E, Kok H, Davids T. Tidal area morphology and the impact of sea level rise on groundwater systems (in prep). Published online 2023.
5. de Louw PGB, Eeman S, Siemon B, et al. Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage. *Hydrol Earth Syst Sci*. 2011;15(12):3659-3678. doi:10.5194/hess-15-3659-2011