



Validatie en toetsing LHM 4.1

Deelrapport 4: Verzilting



Opdrachtgever



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Validatie en toetsing LHM 4.1



Deelrapport 4: Verzilting (definitief)



Inhoud

1	Colofon	1
2	Inleiding	2
2.1	Aanleiding toetsing LHM 4.1	2
2.2	Dit deelrapport: validatie verzilting	2
2.3	Doelstelling verzilting	4
2.4	Uitgangspunten	6
3	West-Nederland	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Aangeleverde data	7
3.3	Methode	8
3.4	Toetsingscriteria	8
3.5	Resultaat	9
4	Noord-Nederland	12
4.1	Inleiding	12
4.2	Aangeleverde data	12
4.3	Methode	13
4.4	Toetsingscriteria	15
4.5	Resultaat	16
5	Schouwen-Duiveland	23
5.1	Inleiding	23
5.2	Aangeleverde data	23
5.3	Methode	24
5.4	Toetsingscriteria	25
5.5	Resultaat	26
6	Conclusies en aanbevelingen	32
6.1	Conclusies	32
6.2	Aanbevelingen	34
7	Literatuur	36
	Bijlagen	37
A	Zoutvrachtbalans West-Nederland	39

1

Colofon

Voor u ligt een deelrapport dat de validatie en toetsing van het Landelijk Hydrologische Model (LHM) versie 4.1 beschrijft. Deze validatie en toetsing is uitgevoerd door HKV, Acacia Water en Berendrecht Consultancy in opdracht van Rijkswaterstaat. De begeleidingsgroep hiervoor was als volgt samengesteld:

- Jeroen Ligtenberg (Rijkswaterstaat, projectleider);
- Joost Heijkers (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden);
- Teun Spek (Provincie Gelderland);
- Mark Kramer (Hoogheemraadschap Rijnland);
- Wim Werkman (Rijkswaterstaat).

Verder was Deltares betrokken bij de validatie en toetsing als inhoudelijk klankbord en als leverancier van de rekenresultaten van het LHM.

De validatie en toetsing is beschreven in de volgende deelrapporten:

- Deelrapport 1: Grondwater.
Auteur: Wilbert Berendrecht (Berendrecht consultancy)
- Deelrapport 2: Onverzadigde zone.
Auteur: Michiel Pezij (HKV)
- Deelrapport 3: Oppervlaktewater.
Auteur: Nils van der Vliet (HKV)
- Deelrapport 4: Verzilting.
Auteurs: Annemieke van Doorn en Jouke Velstra (Acacia Water);
- Samenvattend hoofdrapport.
Auteur: Durk Klopstra (HKV) en bovengenoemden.

2 Inleiding

2.1 Aanleiding validatie toetsing LHM 4.1

Het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) is een geïntegreerd landsdekkend grond- en oppervlaktewatermodel van Nederland. Het LHM wordt binnen het Nationaal Water Model (NWM) ingezet voor diverse beleidsstudies op gebied van zoetwater (Deltaprogramma Zoetwater) en waterkwaliteit (hydrologische input voor modellering van nutriënten in grond- en oppervlaktewater, o.a. ten behoeve van de Nationale Analyse waterkwaliteit en KRW-Stroomgebied Beheerplannen. Daarnaast wordt het LHM door de Landelijke Coördinatie-commissie Waterverdeling (LCW) ingezet voor het maken van operationele verwachtingen.

Eind 2019 is LHM 4.0 beschikbaar gekomen. Deze versie bevat belangrijke en ingrijpende wijzigingen in vergelijking met vorige LHM versies. De schematisatie en parametrisatie van de ondergrond is geactualiseerd en gebaseerd op actuele informatie in REGIS en GeoTOP. Daarnaast is – ten behoeve van een betere simulatie van de gewasverdamming - een koppeling gemaakt tussen MetaSWAP en het gewasgroeimodel WOFOST. Verder maakt deze LHM-versie gebruik van de nieuwste softwareversies van iMOD, inclusief een vernieuwde MetaSWAP versie waarin de code meer robuust is gemaakt. Daarnaast zijn nog diverse overige wijzigingen doorgevoerd. Gezien de beoogde toepassing van deze nieuwe LHM-versie in waterkwaliteitsvraagstukken in 2021 en verder, is begin 2020 besloten om ten opzichte van de LHM 4.0 versie nog een beperkte verbeter- en kalibratieslag uit te voeren, die resulteert in versie LHM 4.1. Om inzicht te krijgen in de kwaliteit en daarmee het toepassingsbereik van het LHM 4.1 inclusief de benodigde toekomstige verbeteringen aan het LHM, is een uitgebreide toetsing en vergelijking aan metingen noodzakelijk.

2.2 Dit deelrapport: validatie verzilting

Het LHM bestaat uit een koppeling van verschillende modellen (zie Figuur 1):

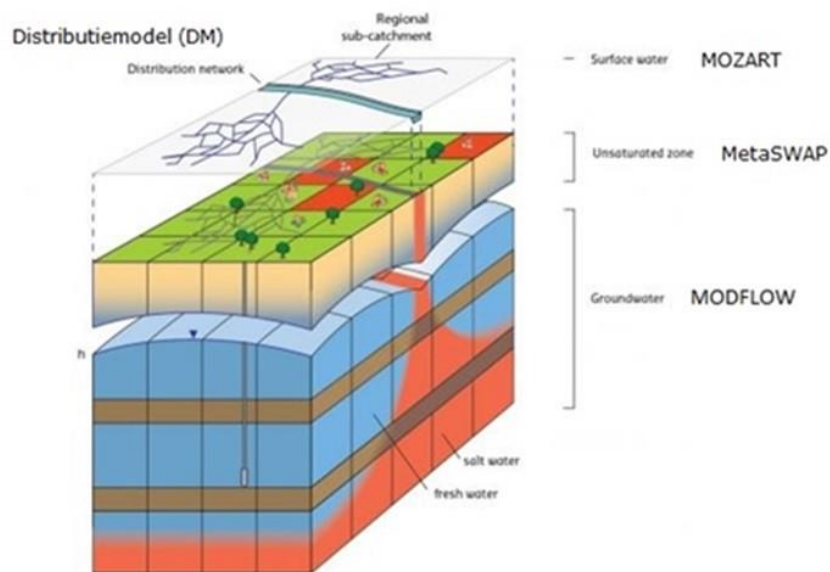
- MODFLOW (verzadigde zone);
- MetaSWAP (onverzadigde zone);
- WOFOST (gewasgroei)
- TRANSOL (Zoet-zout-modellering)
- MOZART (regionaal oppervlaktewater);
- Distributiemodel (DM, landelijk oppervlaktewater).

Dit deelrapport betreft de validatie van de verzilting van het ondiepe grondwatersysteem en de uittreding van zout richting het oppervlaktewater-systeem. Dit wordt berekend door een combinatie van de modelonderdelen MODFLOW en TRANSOL voor het zouttransport.

TRANSOL (Deltares, 2014)

TRANSOL (J.G.Kroesand & P.E.Rijtema, 1996) is een eenvoudig verticaal stoftransport model dat het zout uit diffuse kwel tijdelijk bergt, transporteert tussen bodemlaagjes en weer afgeeft aan het oppervlaktewatermodel Mozart. De Mozart-balansterm 'ondiepe drainage' bevat het diffuse kwelwater (via TRANSOL) en het neerslagoverschot dat via de bodem het oppervlaktewatersysteem op LSW-niveau bereikt. De zoutvracht via wellen komt direct op het oppervlaktewatersysteem terecht (dus niet via TRANSOL). De Mozart-balansterm 'diepe drainage' geeft de bijdrage van wellen weer.

Figuur 1 Opbouw van het LHM (bron: Deltares)



Om in beeld te krijgen in hoeverre het LHM geschikt is om te worden ingezet binnen de beoogde toepassingen, zijn in 2010 door Rijkswaterstaat - in samenwerking met de andere NHI-partners - functionele specificaties en kwaliteitseisen opgesteld, waar het LHM door middel van vergelijking met metingen, aan wordt getoetst. De laatste keer dat een dergelijke uitgebreide validatie en toetsing is uitgevoerd, betreft versie LHM 3.0 die in 2013 beschikbaar is gekomen.

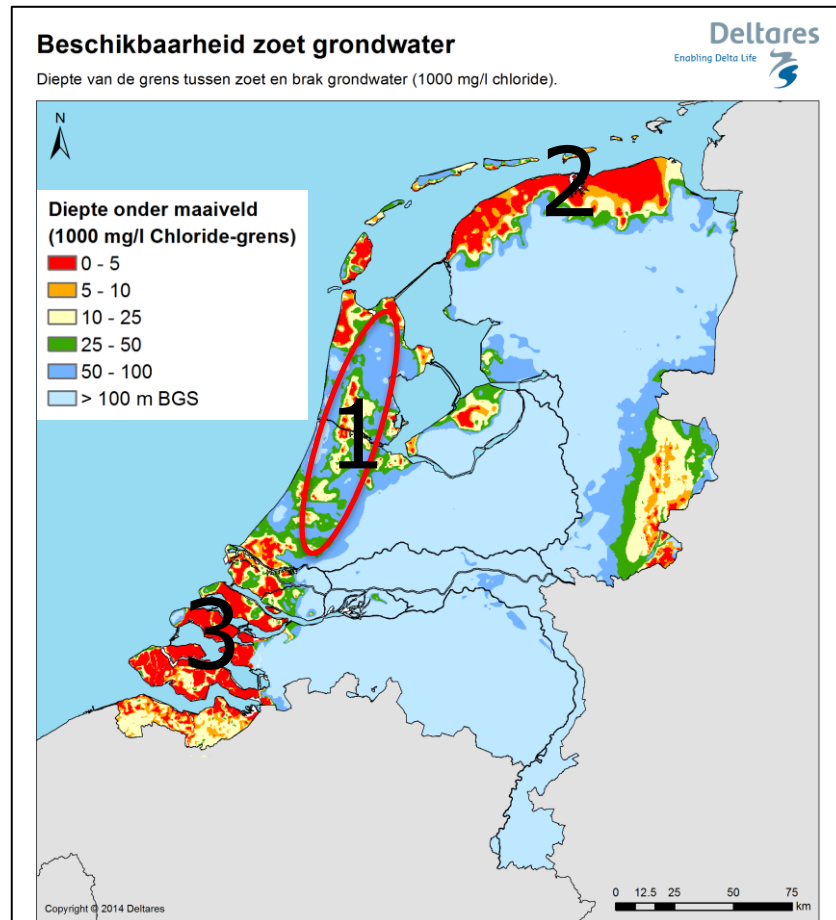
Eind 2019 is LHM 4.0 beschikbaar gekomen. Deze LHM-versie bevat belangrijke en ingrijpende wijzigingen in vergelijking met vorige LHM-versies. In 2020 is daarnaast een zoet-zoutmodel voor Nederland opgezet. Met dit model is ook een nieuwe initiële chlorideverdeling voor het LHM beschikbaar gekomen. In versie LHM 4.1 is deze nieuwe verdeling geïntegreerd. Om inzicht te krijgen in de kwaliteit en daarmee het toepassingsbereik van het LHM 4.1 inclusief de benodigde toekomstige verbeteringen aan het LHM, is een uitgebreide toetsing en vergelijking aan metingen noodzakelijk.

2.3

Doelstelling verzilting

Het doel van de zoet-/ zoutvalidatie is om de geschiktheid van het LHM 4.1 bij toepassingen op verziltingsstudies op deze punten in beeld te brengen. Dit is gedaan door, aanvullend op de gebruikelijke werkwijze met zoutvrucht balansen uit literatuur, gebruik te maken van meetreeksen van waterschappen en enkele unieke datasets die Acacia Water heeft aangelegd vanuit het programma 'Boeren meten Water op Schouwen-Duiveland' en 'Spaarwater'.

*Figuur 2
Beschikbaarheid van
zoet water in
Nederland (Bron:
Nationaal Georegis-
ter) met globaal de
ligging van de pol-
ders waar het LHM
op verzilting is ge-
toetst.*



Het gewenste toepassingsbereik op het gebied van verzilting is als volgt gedefinieerd voor het LHM:

- Het in kaart brengen van verzilting in de kustzone veroorzaakt door lange termijn processen;
- Het managen van de doorspoeling van Nederlandse polders en het in kaart brengen van risico's op deze doorspoeling door lange termijn processen;
- Het bepalen van de landbouwschade als gevolg van verzilting en de beïnvloeding door lange termijn processen;
- Het risico bepalen van verzilting van (drinkwater)winnings en strategische zoetwatervoorraden.

Figuur 2 geeft de gebieden aan in Nederland waar verzilting optreedt. De toetsing interne verzilting is uitgevoerd in drie regio's in Nederland: 1 West-Nederland, 2 Noord-Nederland en 3 Schouwen-Duiveland. De toetsingsmethoden verschillen per gebied omdat ze afhankelijk zijn van de data, die beschikbaar zijn. De aanpak per deelgebied wordt hieronder kort toegelicht. De methode, beschikbare gegevens, toetsingscriteria en resultaten per regio worden in de drie opeenvolgende hoofdstukken steeds gedetailleerder toegelicht. Niet alle toetsingen zijn uitgedrukt in harde validatiecriteria, dit komt omdat de datavergelijking soms meer kwalitatief van aard is als de datasets niet één op één met elkaar overeenkomen.

1-West-Nederland

In West-Nederland treedt met name zout uit in de diepe polders. Dit treedt uit via wellen en via het ondiepe watersysteem. In de vorige validaties zijn steeds bestaande zoutvrachtbalansen van een aantal diepe poldersystemen vergeleken met de resultaten van het NHI/ LHM. Deze validatietoetsing is herhaald.

2-Noord-Nederland

In Noord-Friesland en Groningen zijn geen diepe polders aanwezig. Het voorkomen van zoetwaterlenzen in de kuststrook wordt bepaald door de lokale maaiveldhoogte en drainagediepte ten opzichte van de omgeving. Duidelijk afgebakende poldersystemen met beschikbare data voor water- en zoutbalansen is niet goed beschikbaar. Dit maakt het valideren van het LHM in dit deel van Nederland niet eenvoudig.

Binnen het project Spaarwater (Acacia Water, 2019) is nader onderzoek uitgevoerd naar het voorkomen van zoetwaterlenzen in de kuststrook. Hiervoor zijn ERT-metingen (geofysica) uitgevoerd, waaruit afgeleid kan worden of lokaal een zoetwaterlens aanwezig is. Voor Noord-Nederland wordt getoetst of de ontwikkeling van zoetwaterlenzen (en de daarbij behorende grondwaterstromingsrichting) lokaal overeenkomt met de gegevens.

3-Schouwen-Duiveland

Schouwen-Duiveland is behalve bij de Kreekrug een zout gebied in Zeeland met dunne zoetwaterlenzen. Het eiland staat bekend om het optreden van zout- en droogteschade in droge jaren (door het wegvallen van de zoetwaterlens). Het eiland is goed in kaart gebracht: vlakdekkende FRESHM-metingen van de ondiepe chlorideconcentratie, gemaalgebieden en EC-metingen, duidelijk afgebakende afvoergebieden en een gedetailleerd EC-metingen netwerk 'natuurlijk zoet' (onderdeel Boeren meten Water) sinds 2019. Het LHM 4.1 wordt getoetst aan enkele van de genoemde beschikbare brongegevens, belangrijk daarbij is of het model de processen in gemiddelde, droge (zomer)tijden en natte (winter) tijden goed kan volgen.

2.4

Uitgangspunten

De LHM modelberekeningen zijn door Deltares uitgevoerd met modelversie 4.1.1 op de LHM rekenserver¹. Dit model bestaat uit 8 modellen voor het verzadigde grondwater en bevat het gewasgroeimodel WOFOST. Het model is doorgerekend voor de periode 2011-2020.

¹ De run is gedraaid met iMODFLOW SVN-versie 2766 en MetaSWAP SVN-versie 1644

3 West-Nederland

3.1 Inleiding

In eerdere validaties (2011, 2013) is het LHM aan enkele zoutvrachtbalansen (beschikbaar vanuit verschillende publicaties) in Westelijk Nederland gevalideerd. In dit hoofdstuk wordt deze validatie op dezelfde wijze herhaald voor het LHM 4.1.

In 2020 is een zoetzoutmodel opgesteld (Deltares & Arcadis, 2020) voor Nederland met als doel om tot een betere chlorideverdeling te komen in het LHM. Toen is de 3D-chlorideverdeling opnieuw bepaald op basis van alle beschikbare brondata. Bij het opstellen van het zoetzoutmodel zijn ook de zoutvrachten, berekend met het zoetzoutmodel, voor een aantal diepe polders in West-Nederland vergeleken met de zoutvrachtbalansen uit verschillende publicaties. Deze nieuwe chlorideverdeling in het zoetzoutmodel is ingebracht als initiële chlorideconcentratie in het LHM 4.1.

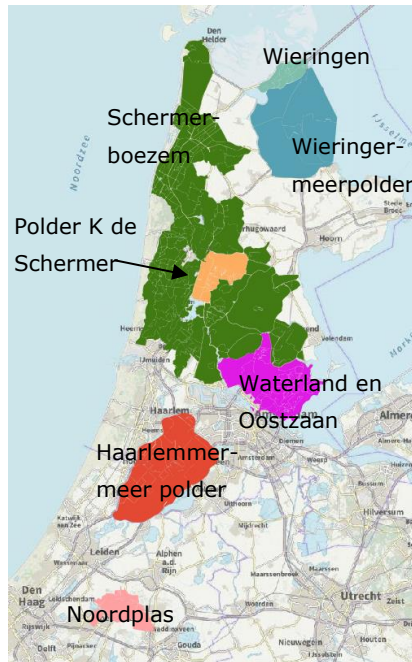
Deze toetsing geeft inzicht in:

- De prestatie van het LHM 4.1 ter plaatse van de polders, waarvoor het LHM eerder is gevalideerd;
- Eventuele onbedoelde verschillen tussen de modellen: LHM 4.1 en het zoetzoutmodel (2020).

3.2 Aangeleverde data

De toetsing is uitgevoerd voor de volgende polders, zie Figuur 3:

- Haarlemmermeerpolder;
- Noordplas;
- Peilvak 9 in de Haarlemmermeer;
- Schermerboezem (Noord- en Zuid);
- Wieringermeerpolder;
- Polder K in de Schermer;
- Waterland en Oostzaan;
- Wieringen.



Figuur 3 overzicht locaties diepe polders West-Nederland

Voor deze toetsing zijn de contourpolygonen van een aantal polders aangeleverd door Deltares (Wieringermeer, peilvak 9, Noordplaspolder, en Haarlemmerpolder). Voor de polders waar geen contour van is aangeleverd, zijn de grenzen gebaseerd op de benamingen in de LSW-file uit het NHI DATA Portaal (www.data.nhi.nu/). Figuur 3 geeft de locaties van de polders weer. Daarnaast zijn literatuurwaarden voor zoutbalansen overgenomen uit eerdere toetsingsrapportages (Deltares, 2013 en Deltares & Arcadis, 2020). Er zijn geen nieuwe zoutbalansen aangeleverd.

3.3

Methode

De zoutvrachten zijn uitgelezen uit de MOZART-files op LSW-niveau. De zoutvrachten worden bepaald door de zoutvracht van de diepe drainage (uitstroom door wellen) en de ondiepe drainage (uitstroom via het ondiepe oppervlaktewatersysteem) te sommeren. Per polder zijn de zoutvrachten van de local surface waters ('LSW's'), die binnen de desbetreffende poldergrens vallen, gesommeerd. Vervolgens is het jaargemiddelde bepaald over de periode 2012 t/m 2018.

3.4

Toetsingscriteria

De toetsingscriteria (Tabel 1) voor de polders in West-Nederland zijn overgenomen uit een eerdere toetsingsrapportage (Deltares, 2013). Ze worden geschikt geacht voor de brondata waar de zoutvrachten in de diepe polders nu en bij vorige validaties mee zijn vergeleken. Deze 'brondata' (literatuur uit 1981 t/m 2013) zijn gebaseerd op waterbalansen en niet op metingen en betreffen balansen op basis van de toen best beschikbare gegevens. In deze literatuur is geen betrouwbaarheid van de waterbalans opgenomen. Het is daarom goed mogelijk dat de zoutvracht in de doorgerekende modelperiode van het LHM 4.1 anders is. Een verschil in zoutvracht betekent daarom ook niet dat het LHM 4.1 persé fout of goed is of fouter/beter dan een vorige versie van het LHM/NHI. Wel moeten verschillen tussen de versies plausibel zijn (uit te leggen op basis van aanpassingen in de modelparameters) en geeft de toetsing inzicht of er een plausibel zoutvrachtbeeld ontstaat of niet. Grote verschillen kunnen dan een reden zijn om de modelinput en resultaten nader te verifiëren.

Tabel 1 Toetsingscriteria LHM interne verzilting ter plaatse van diepe polders

Toetsingsonderdeel	Criterium: LHM voldoet
Zoutbalans diepe polders	<ul style="list-style-type: none"> Zoutvracht in gebied met maximaal 2 meetwaarden: voor 80% van de gebieden is de maximale toegestane afwijking een factor 3)* Zoutvracht in gebied met meer dan 2 meetwaarden: voor 80 % van de gebieden is de maximale toegestane afwijking een factor 1.5*

*voor dit criterium wordt aangesloten bij de eerder gehanteerde criteria

3.5

Resultaat

Bijlage 1 geeft per polder en overzicht van de literatuurwaarden en de berekende zoutvrachten tijdens deze validatie en eerdere validaties. De resultaten zijn gesommeerd in Tabel 2. De enige polder, waar meer dan 3 referenties voor zijn, de Haarlemmermeerpolder, voldoet voor alle NHI/ LHM versies. De berekende zoutvrachten voor de overige polders komen minder goed overeen met de literatuurwaarden.

Tabel 2 Toetsingsoordeel diepe polders in West-Nederland (groen voldoet, rood voldoet niet) in ton per jaar

polder	Aantal referenties	Referentie zoutbalans	NHI 2.2 (2011)	NHI 3.0 (2013)	Zoetzout model (2020)	LHM 4.1 (2020)
Haarlemmermeer	> 2	34 000 – 75 800	113 886	34 593	58 747	49 515
Noordplas	1	11 600	7 194	5 079	2 871	2 234
Peilvak 9 HM	2	5 500 - 6 681	69 164	15 850	1 263	Geen LSW
Schermerboezem	1	45 959	317 948	116 459	x	97 135
Wieringermeerpolder	1	369 127	345 040	123 032	265 509	222 913
Polder K Schermer	1	911	5 734	1 814	31 140	38 281
Waterland en Oostzaan	1	1 793	12 134	8 616	x	8 902
Wieringen	1	1 255	4 046	2 693	x	279
LHM voldoet aan toetsingscriterium?						
Resultaat*			37.5 %	87.5 %	40 %	43 %

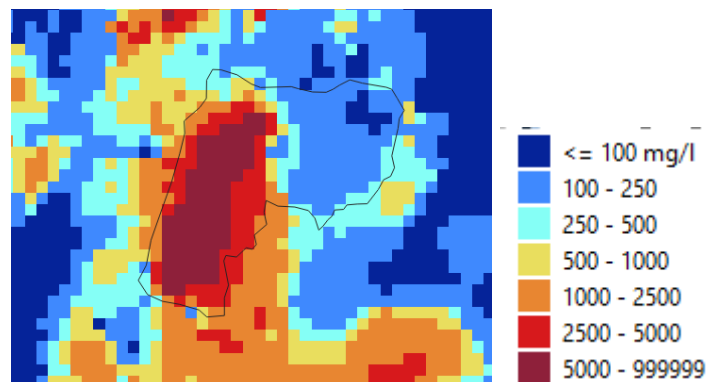
*het resultaat is niet gecorrigeerd voor de oppervlakte van de polders

Het model LHM 4.1 scoort ongeveer gelijk als het zoetzoutmodel (2020) en het NHI 2.2. Uit de zoutvrachtwaardes blijkt dat het LHM 4.1 doorgaans een iets lagere zoutvracht berekent dan het zoetzoutmodel 2020. Dit lijkt

plausibel aangezien in het zoetzoutmodel het ondiepe zouttransport is overgeslagen.

Het NHI 3.0 scoort beter ten opzichte van de overige modelversies. De initiële chlorideverdeling in het NHI 3.0 is na de validatie uit 2011 aangepast op basis van kleinere doch regionale modellen, mede naar aanleiding van het toetsingsoordeel uit 2011. Er is dus gericht modelverbetering uitgevoerd op basis van de validatieslag uit 2011. In 2020 is een zoetzoutmodel opgezet. Toen is een nieuw 3D-chloridebeeld gegenereerd op basis van alle beschikbare metingen in Nederland. De chlorideconcentratie in het LHM 4.1 is overgenomen uit het zoetzoutmodel. Deze chlorideverdeling is niet tussentijds getoetst voor de zoutbalansen in de validatie, vandaar dat het validatieresultaat van LHM 4.1 niet geheel overeenkomt met het validatieresultaat van LHM 3.0. En ondanks dat het toetsingsresultaat voor het NHI 3.0 aangeeft dat het model voldoet, zijn ook de afwijkingen tussen dit model en de literatuurdata groot, dit is mogelijk door de grote toegestane afwijking van een factor 3.

Polder K de Schermer, valt op, omdat voor deze polder een veel hogere zoutvrachtbalans wordt berekend dan in NHI 3.0 en 2.2. Uit de kaart zoetzout_cl_boils (NHI DATA Portaal, zie Figuur 4) blijkt dat de chlorideconcentratie in een groot deel van de polder meer dan 5000 mg/l bedraagt. Op basis van de zoutvrachtbalanstoetsing lijkt dit niet te kloppen.



Figuur 4 Chlorideconcentratie (mg/l) in deklaag bij polder K de Schermer (zwarte contour)

De zoutvracht in een polder wordt bepaald door de hoeveelheid water die uittreedt door wellen danwel diffuse kwel en de zoutconcentratie van het water. Omdat alleen de zoutvrachten in de eerdere validatieslagen vergeleken zijn, is de oorzaak voor verschillen moeilijker te duiden. Daarnaast wordt het model vergeleken met berekende waterbalansen uit literatuur uit 1981 t/m 2013. Mogelijk zijn deze minder representatief voor de huidige situatie. Ook is een bandbreedte voor een toetsingsoordeel van een factor 3 nog groot. Het is de vraag of het model inderdaad beter is geworden (om de juiste redenen) als de afwijking van een factor 3.5 (validatie voldoet niet) naar een factor 2.5 (validatie voldoet wel) kan worden bijgesteld. Om uitspraken te kunnen doen of het LHM 4.1 inderdaad geschikt is voor de beoogde doelen op het gebied van verzilting, is het noodzakelijk om deze

bandbreedte naar beneden bij te stellen. Hiervoor zijn wel betere brondata noodzakelijk.

Voor de toekomst heeft het daarom meerwaarde als naast de zoutvrachten ook de waterfluxen vergeleken worden en er meer gemeten wordt aan de zoutconcentraties en maalstaten. Bij voorkeur metingen in de tijd, omdat het zoutgehalte soms sterk kan variëren in het jaar.

4 Noord-Nederland

4.1 Inleiding

Binnen het project Spaarwater is onderzoek uitgevoerd naar het voorkomen en vergroten van zoetwaterlenzen in de kustzone van Friesland en Groningen (Acacia Water, 2013 en 2019). Om tot geschikte pilotlocaties te komen voor proeven met onderwaterdrainage en ondergrondse opslag is eerst de regionale hydrologie beter in kaart gebracht met veldstudies en metingen. Dit heeft geresulteerd in een aantal datasets, die ingezet worden om het LHM 4.1 in deze regio te toetsen.

Ook heeft het onderzoek inzichtelijk gemaakt dat de ondiepe verticale stromingsrichting in Noord-Friesland en Groningen lokaal kan verschillen. Of lokaal een kwel- stagnante of infiltratiestroming heerst, is afhankelijk van de lokale maaiveldhoogte en drainagediepte. Het verschil tussen de drainagehoogte en stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is namelijk gering in tegenstelling tot de onderzochte polders in West-Nederland.

4.2 Aangeleverde data

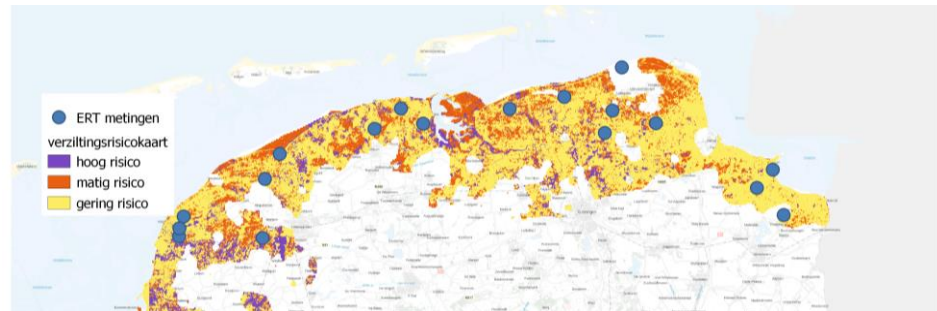
Het Wetterskip Fryslân heeft reeksen van EC-metingen en chlorideconcentraties aangeleverd van oppervlaktewatermeetpunten in de kuststrook van Friesland. Het Waterschap Noorderzijlvest heeft aangegeven geen betrouwbare metingen ter beschikking te kunnen stellen.

Acacia Water heeft de volgende gegevens beschikbaar gesteld:

- 19 ERT (of CVES) metingen in de kustzone van Friesland en Groningen;
- Een verziltingsrisicokaart voor Noord-Nederland;
- Water- en chloridebalansen voor 2 polders (Negenboerenpolder en Bildtpollenpolder).

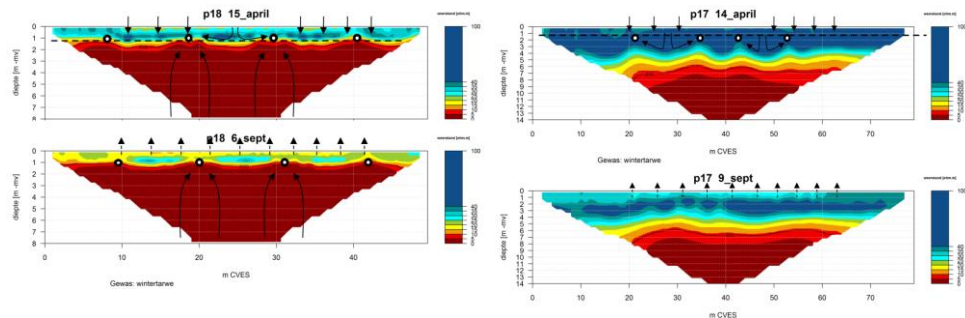
Figuur 5 geeft de locatie van de beschikbare ERT-metingen weer en de verziltingsrisicokaart. ERT-metingen geven inzicht in de verdeling van de chloridedeconcentratie op een doorsnede van 40m (zoals hier meestal uitgevoerd) in de ondergrond tot een diepte van ongeveer 7m. Door de ERT-metingen, de vorm en dikte van de neerslaglens te vergelijken met het peil- en drainageniveau kan tevens geconcludeerd worden of er lokaal een kwel- of een infiltratiestroming is, zie Figuur 6 en Figuur 7.

Figuur 5
Locaties geofysica metingen en verziltingsrisicokaart van Acacia Water



Figuur 6 (links)
CVES Perceel 18 in Voorrijp, een locatie met kwel

Figuur 7 (rechts)
CVES Perceel 17 in Uithuizen, een locatie met infiltratie jaarrond



De verziltingsrisicokaart is opgesteld op basis van een analyse op basis van de voorjaarsstijghoogte onder de deklaag (op basis van metingen, Acacia Water, 2019), weerstand van de deklaag, de bodemgegevens en afstand en diepte tussen de drainagebuizen (Acacia Water, 2011) in combinatie met de zoutconcentratie in de ondergrond (gebaseerd op VES-metingen in DINO-loket, zie Acacia Water, 2011)). Deze kaart is dus niet middels een grondwatermodel tot stand gekomen.

De twee polders, Negenboerenpolder (Groningen) en Bildtpollenpolder (Friesland), liggen net binnendijks van de dijk nabij de zee. Figuur 8 geeft een overzicht van zo'n poldersysteem en -balans weer. Zichtbaar is dat de chlorideconcentratie in de polder in de winter met name door het water uit de polder zelf wordt bepaald, maar dat in de zomer juist de inlaat van grote invloed is.

4.3

Methodie

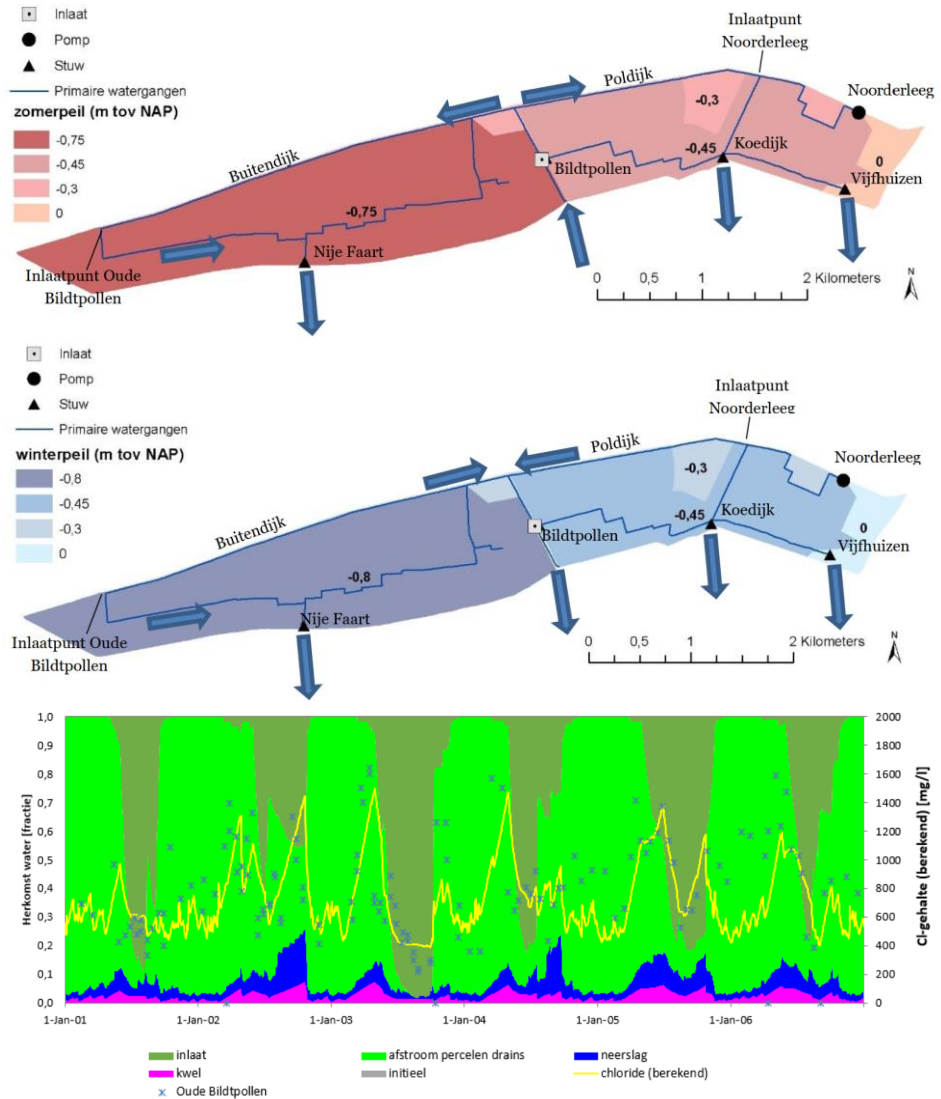
Toetsing aan ERT-metingen en verziltingsrisicokaart

De volgende vergelijkingen worden gemaakt tussen de ERT-metingen (momentopname), verziltingsrisicokaart en het model:

- Puntlocaties: diepte zoetzoutgrensvlak en fluxrichting ter plaatse van ERT-metingen;
- Vlakdekkend: vergelijking tussen fluxkaart model, chlorideconcentratie aan de onderkant van de deklaag (zoetzout_cl_boils_mgl van NHI DATA Portaal) en fluxkaart t.b.v. verziltingsrisicokaart, verziltingsrisicokaart;
- Komt de ondiepe stromingsrichting o.b.v. CVES overeen met de gemiddelde stromingsrichting in het model?

- Getoetst wordt of de risicogebieden overeenkomen of dat er gebieden zijn die verschillen. Voor deze gebieden wordt nagegaan of er oorzaken voor de verschillen zijn aan te duiden.

Dit betreft een grotendeels kwalitatieve toets.



Figuur 8
 Boven: overzicht van de gemeten waterstromen in de zomer en winter in de Bildtpollenpolder.
 Onder: overzicht van de deelstromen die van invloed zijn op de chlorideconcentratie en de berekende concentratie op basis van waterbalansmodel

Toetsing water- en zoutbalans

Voor een tweetal polders zijn de zoutvracht en de waterbalans getoetst aan debieten en EC-waarden bij gemalen voor een aantal jaren op maandbasis. Beide polders zijn veel kleiner dan de LSW in MOZART ter plaatse. Dit betekent dat er geen gebruik gemaakt kan worden van de geaggregeerde data op LSW niveau en de toe- en uitstroming naar andere LSW's of het DM.

Deltares heeft voor alle gridcellen binnen deze twee polders de drainage- en infiltratiefluxen en zoutvrachten per tijdstap weggeschreven. Vervolgens zijn deze gesommeerd per polder per tijdstap om zo tijdreeksen te maken van de drainageflux – en kwaliteit (grondwater en neerslag samen). Deze tijdreeksen zijn vervolgens vergeleken met de drainage uit de percelen in de winter als de inlaat geen rol speelt.

4.4

Toetsingscriteria

Toetsing aan ERT-metingen en verziltingsrisicokaart

Getoetst wordt of het model overeenkomt met het beeld van de ERT-meting qua diepte zoet-zoutgrensvlak en fluxrichting.

Toetsing water- en zoutbalans

De water- en zoutbalans van de 2 polders zijn beide vergeleken met modeldata. Naast de zoutvracht is nu dus ook de waterflux als toetscriterium opgenomen. De zoutvracht is namelijk een resultante van de waterflux en de bijbehorende concentratie. De zoutvracht kan in theorie ook goed berekend worden met een lagere waterflux maar hogere concentratie. Door beide parameters tezamen te beschouwen is ook duidelijker op welk aspect het model moet worden aangepast.

Naast dit aspect geeft ook de dynamiek van de zoutvracht in het jaar veel informatie terug over de betrouwbaarheid van het model en de mogelijkheden om toekomstvoorspellingen mee te doen. In de winter is er doorgaans geen inlaat en wordt de zoutvracht bepaald door neerslag/afvoer en kwel rechtstreeks uit de sloten. In de zomer wordt de waterbalans en zoutvracht met name bepaald door de inlaat. Om de zoutvracht vanuit de polder zelf in de zomer te bepalen, zijn betrouwbare gegevens van de inlaat nodig. Deze ontbreken meestal.

Tabel 3 geeft de validatiecriteria weer.

Tabel 3 Voorstel aangepaste toetsingscriteria voor polders met geijkte waterbalans aan maalstaten en EC-metingen.

Indicator	Criterium
ERT-metingen	Fluxrichting bovenin deklaag is gelijk (kwel, stagnant of infiltratie) voor 80 % van de meetpunten
Flux poldersysteem	In 80% van de meetpunten in een gebied: Gemiddeld: afwijking minder dan 50 %* Hoog zomer (juni, juli): afwijking minder dan 50 % Hoog winter (jan-feb): afwijking minder dan 50 %
Zoutvracht poldersysteem	In 80% van de meetpunten in een gebied: *Hoog winter (jan-feb): afwijking minder dan 50 %

*Deze toets zou ook als alternatief uitgevoerd kunnen worden voor de gehele zomerperiode (1 april – 1 oktober) en de winter (1 oktober – 1 april). Waarbij de overgang gelijk wordt gezet met de inlaatperiodes/ peilwisselingen.

Toetsing aan ERT-metingen

Tabel 4 geeft een overzicht van de gemeten/ ingeschatte (ERT-meting) en berekende (LHM) ondiepe fluxrichting en diepte tot het zoutfront. De toets is uitgevoerd op het criterium fluxrichting, omdat deze bepalend is voor de ontwikkeling van een zoetwaterlens. Uit de tabel blijkt dat de fluxrichting in het model op 63 % van de locaties overeenkomt met de inschatting op basis van de ERT-meting.

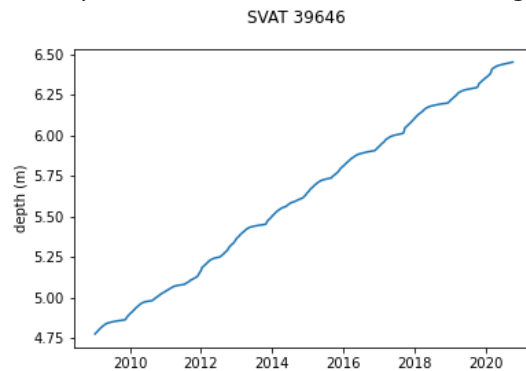
Tabel 4 validatie LHM 4.1 aan ERT metingen

Nr	Locatiennaam	fluxrichting LHM 4.1	Fluxrichting ERT	Diepte tot zoutfront LHM (2016)	Diepte tot zoutfront ERT (2016)
1	Sexbierum	kwel	infiltratie	4.6 m	4.9 m
2	Den Andel	stagnant	infiltratie	5.6 m *	4.3 m
3	Kruisweg	stagnant	infiltratie	9.5 m*	6.5 m
4	Herbaijum	kwel	kwel	5 m	2 m
5	Koedijk Nieuwe Bildtzijl	stagnant	alternerend	8.5 m	6 m
6	Langrousterwei Oosternijkerk	stagnant	alternerend	4 m*	4 m
7	Hantummerburen	Zeer lichte infiltratie/stagnant	kwel	5.4 m*	2.7 m
8	Finsterwolde	kwel	Niet goed interpreteerbaar	3.15 m	nvt
9	Zeerijp	kwel	kwel	4.2 m	5.3 m
10	Fraamklap Middelstum	Stagnant/kwel	Kwel, stagnant	4.4 m*	5.7 m
11	Trekweg Rottum	Stagnant/ kwel	alternerend	3.9 m*	3.9 m
12	Anjum	kwel	kwel	3.4 m	0.5 m
13	Blessum	stagnant	kwel	6 m*	2 m
14	Nieuwolda	stagnant	kwel	3.0 m*	1 m
15	JohannesKerkh Woldendorp	kwel	kwel	2.15 m	1.6 m
16			Niet uitgevoerd		
17	Uithuizen**	kwel	infiltratie	7.5 m*	7 m
18	Voorrijp Sexbierum	kwel	kwel	1.8 m	1.6 m
19	Vrouwenparochie	Infiltratie/stagnant	infiltratie	7.5 m*	>7 m
	LHM voldoet?	63 %			

*zoutfront verdiept zicht steeds meer in de tijd. **Uithuizen ligt nabij de grens van de modelcel. De naburige modelcellen komen beter overeen. Deze locatie is daarom niet meegenomen in de toetsing.

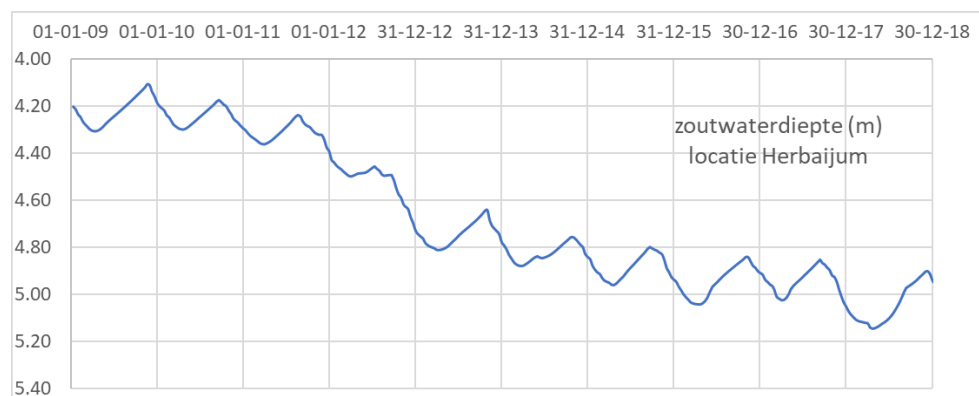
Uit de tabel blijkt dat het LHMmodel op meer locaties aangeeft dat de fluxrichting ongeveer stagnant is. De diepte tot het zoutfront wordt ook

berekend door het model. Op veel locaties verdiept het zoutfront zich in de tijd. Dit wordt weergegeven in Figuur 9 voor de locatie Blessum en is aangemerkt met '*' in bovenstaande tabel. Dit geldt met name voor locaties waar sprake is van een infiltrerende of stagnante situatie.



Figuur 9 Diepte van het zoutfront bij de locatie Blessum berekend met het LHM TRANSOL.

Voor de locatie Herbaijum, de locatie waar Acacia ook een proefperceel heeft, ziet de ontwikkeling van de zoutwaterdiepte er niet logisch uit, zie Figuur 10. Het model geeft aan dat de locatie een kwelsituatie betreft, toch verdiept de zoutwaterdiepte zich in de tijd. Door Deltares is aangegeven dat de eerste 2 jaren moeten worden gezien als inregeljaren (2009 en 2010). Van 2011 t/m 2013 is een sterk dalende trend te zien, die zich daarna stabiliseert. Mogelijk is de dalende trend van 2011 t/m 2013 nog een effect van het inregelen van het model en wellicht is de minder sterk dalende trend van 2014 t/m 2019 dat ook nog. Paul van Walsum gaf in een overleg aan dat het mogelijk is dat invloed van de initiële zoutconcentratie na 2 jaar inregelen van het model nog doorwerkt, maar of dat de oorzaak is, zal onderzocht moeten worden.

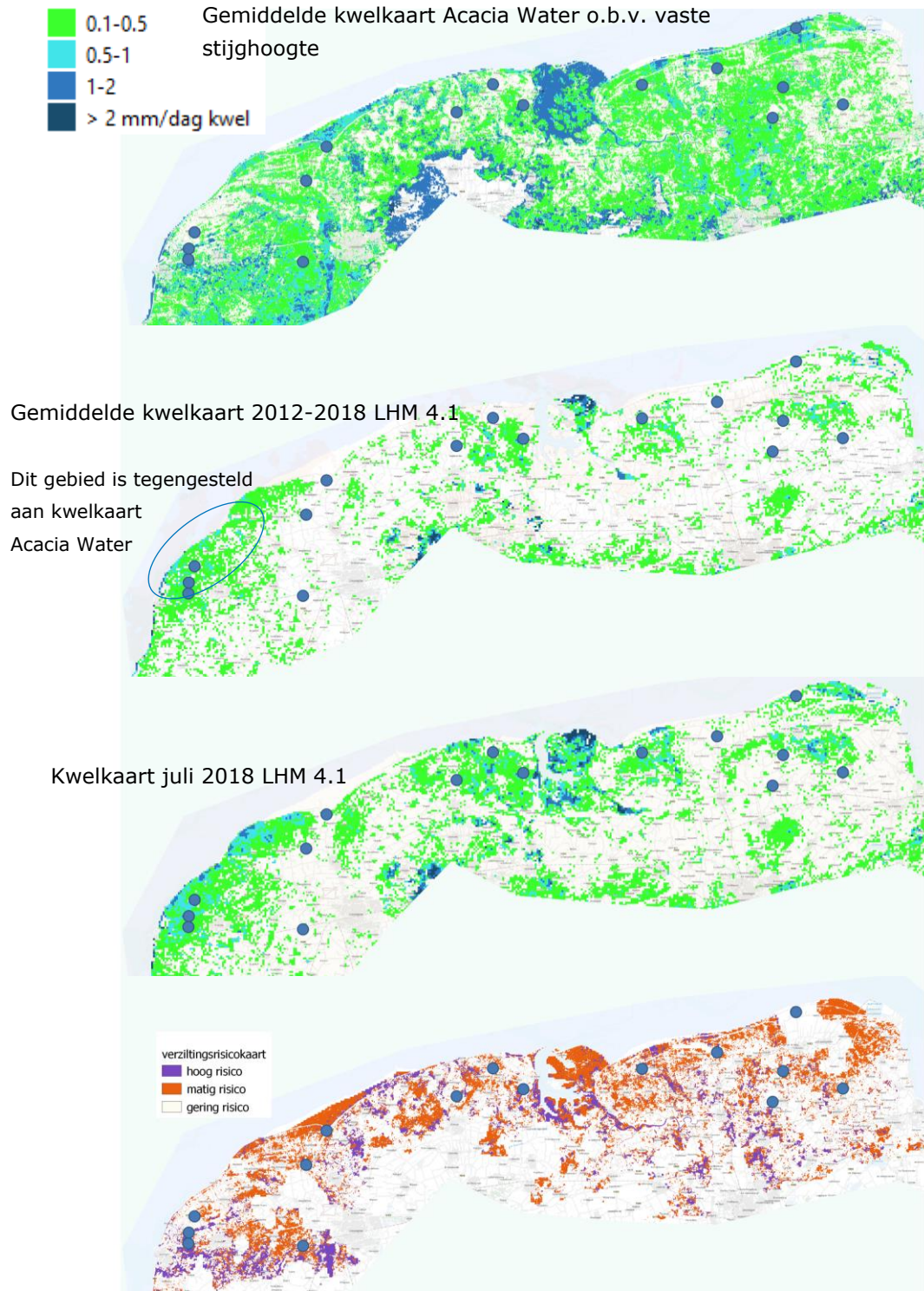


Figuur 10 Diepte van het zoutfront op de locatie Herbaijum berekend met het LHM TRANSOL

Toetsing aan verziltingsrisicokaart

Het verziltingsrisico speelt op bij aanwezigheid van zout grondwater in de ondiepe ondergrond en een netto kwelstroming gedurende het jaar. Figuur 11 geeft een overzicht weer van de kwelflux berekend met het LHM 4.1 en de kwelfluxkaart, die op basis van een vaste stijghoogte is gemaakt door Acacia Water. In het gebied zijn weinig locaties voorhanden met

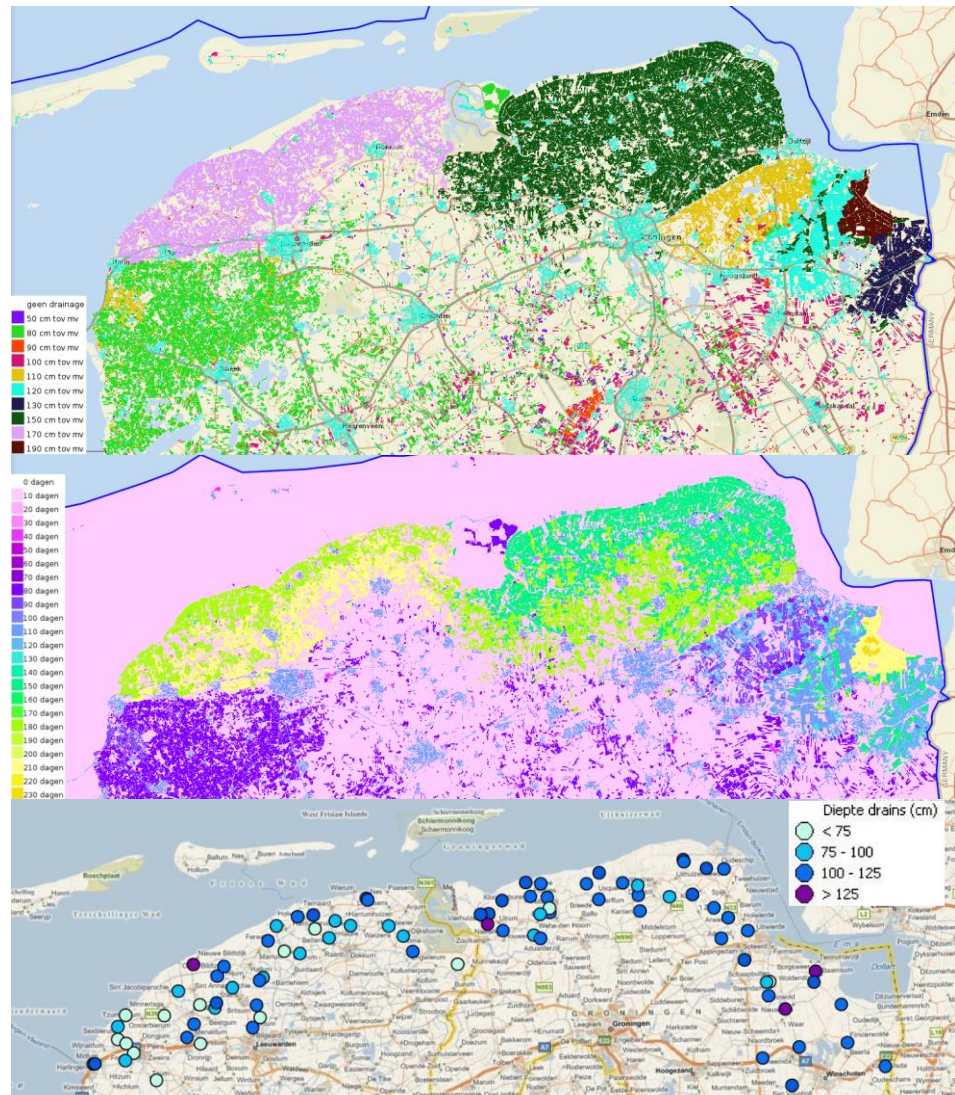
waterstandmetingen in de deklaag en in het eerste watervoerende pakket om de fluxrichting mee te baseren.



Figuur 11 Overzicht van de kwelflux voor een aantal verschillende bronbestanden en tijdsperiodes en de verziltingsrisico kaart van Acacia Water.

Het valt op dat kwelflux in het LHM 4.1 op veel plekken gering is of ontbreekt. Dit impliceert dat het risico op verzilting gering is, en hierdoor zal met het LHM 4.1 op weinig plaatsen zoutschade berekend worden als gevolg van zout grondwater. Ook is zichtbaar dat in een droge periode (juli 2018) de

kwelflux wel iets toeneemt, maar nog steeds beperkt blijft. Het chloridegehalte in de deklaag is in het hele weergegeven gebied hoger dan 1000 mg/l. Globaal geeft de kwelkaart uit het LHM 4.1 ter plaatse van de hoog verziltingsgevoelige gebieden (Acacia Water onderste afbeelding in Figuur 11) wel een kwelflux weer.



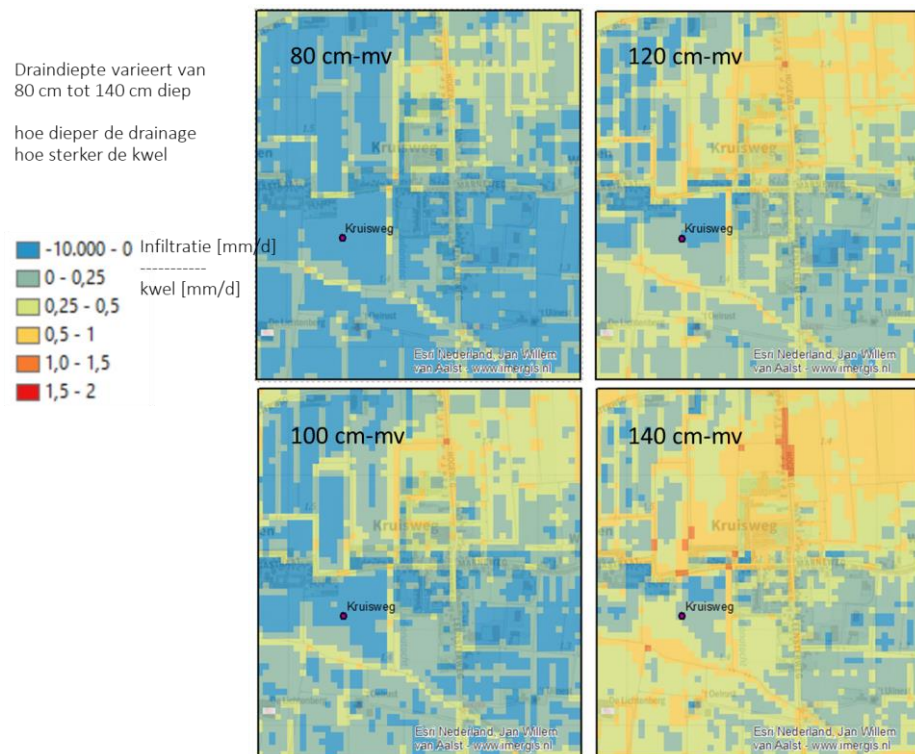
Figuur 12 boven: diepte drainage in cm-mv in LHM, midden: weerstand drainage in dagen in LHM (bron: NHI DATA Portaal) en onder: drainage diepte op basis van enquête (Acacia Water, 2011)

In Figuur 11 is een ellips weergegeven, ten noordwesten van Franeker. Dit is een markant beeld, de kwelflux is hier lokaal het sterkst aanwezig op deze kwelkaart, maar de kwelfluxkaart van Acacia Water geeft hier juist een infiltratiesituatie weer. Uit diverse gegevens (ERT-metingen en overleg met boeren) blijkt dat hier inderdaad geen verzilting van de percelen optreedt. Uit een bespreking met Deltares blijkt dat de drainage diepte aan de noordkant van Friesland en Groningen lokaal diep is in het model (>1,5 m-mv). Daarnaast blijkt tevens dat de drainage weerstand lokaal juist hoog is.

Acacia Water heeft in het verleden onderzoek gedaan naar de drainage diepte (Acacia Water, 2011), de resultaten hiervan geven een beeld van veel ondiepere drainage, zie Figuur 12. De verwachting is dan ook dat het

aanpassen van de drainageparameters (diepte en weerstand) een sterke verbetering van het model zal geven.

Deze analyse bestaat uit het vergelijken van twee gegenereerde databestanden, welke beide onvolkomenheden (kunnen) bevatten. De verschillen geven aanleiding om de situatie nader te beschouwen. Een geringere kwelflux in het model dan in werkelijkheid leidt ertoe dat het toestromen van zout naar boven (en evt. zoutschade) zal worden onderschat. Op basis van deze analyse wordt aangeraden om de ontwateringsniveau 's, de drainageweerstand in de zoute kuststrook en de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket te controleren.



Figuur 13 invloed van drainagediepte op de ondiepe (kwel)flux in een gebied met landbouwpercelen

Toetsing water- en zoutbalans

De water- en zoutbalans zijn getoetst aan de toetsingscriteria en het resultaat is weergegeven in Tabel 5. Omdat de waterbalans alleen goed bepaald kan worden in de winterperiode, als er geen inlaat is (en de afvoer bijna geheel bestaat uit neerslag/ afvoer en kwelwater), is de toetsing beperkt tot deze periode. Figuur 14 en Figuur 15 geven de waterbalans en zoutbalans voor de twee polders weer.

Tabel 5 validatiescore polders Negenboerenpolder en Bildtpollenpolder

Negenboerenpolder	hoeveelheid water [m3/maand]	chloride concentratie [mg/l]
Meting jan+feb	264 127	1 555
Model jan+feb	280 494	724
Bildtpollenpolder	hoeveelheid water [m3/maand]	chloride concentratie [mg/l]
Meting jan+feb	267 911	490
Model jan+feb	432 520	1 122
LHM voldoet aan toetsingscriterium?		
2 polders samen beschouwd	50 %	0 %

Negenboerenpolder

De afvoer in de winter komt goed overeen tussen de opgestelde waterbalans en de modelresultaten. Het model berekent een iets te lage concentratie voor het water dat afgevoerd wordt in de winter voor deze polder. Dit kan te maken hebben met de initiële zoutconcentratie of diepte daarvan of het kan te maken hebben in een gering verschil in het aandeel (zoute) kwelwater in de afvoer.

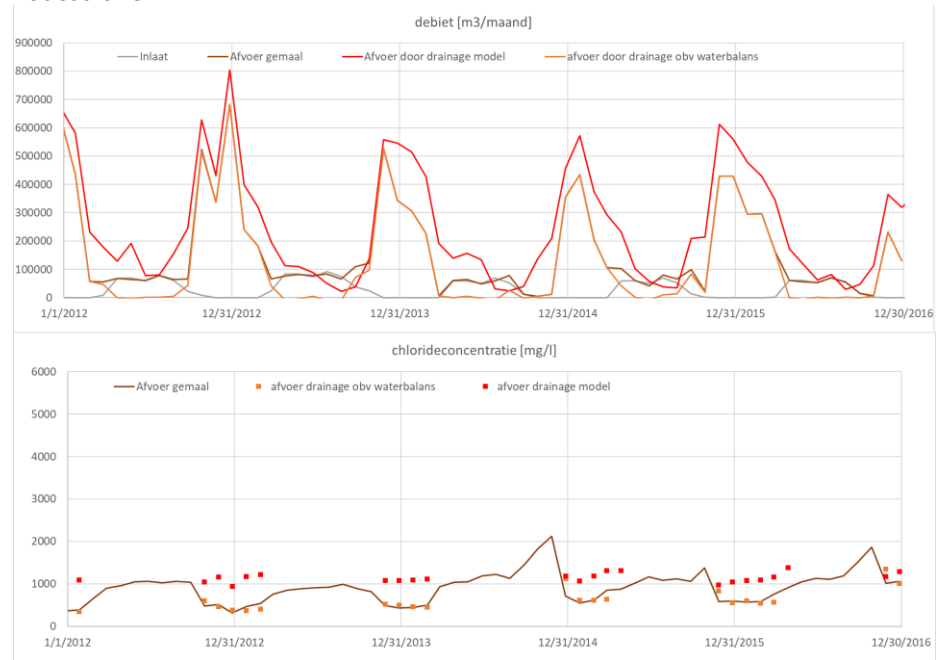


Figuur 14 Water- en zoutbalans Negenboerenpolder, 2012 - 2016

Bildtpollenpolder

De afvoer wordt in de winter te hoog berekend door het model alsmede de zoutconcentratie. Een verklaring kan zijn, dat het model in deze polder een iets te hoge kwelflux heeft berekend, waardoor de afvoer hoger is en ook de chlorideconcentratie ook hoger is dan in de metingen. De metingen van het Waterschap in deze polder geven aan dat de chlorideconcentratie in februari

2019 varieerde tussen 150 mg/l en 980 mg/l en gemiddeld 390 mg/l bedroeg. Dit bevestigt de geconstateerde waarden in de opgestelde water- en zoutbalans.



Figuur 15 Water- en zoutbalans Bildtpollenpolder, 2012 - 2016

5

Schouwen-Duiveland

5.1

Inleiding

In Zeeland (pilot Schouwen-Duiveland) zit het zoet-/zoutgrensvlak betrekkelijk ondiep en is deze gedetailleerd in kaart gebracht met FRESHEM-metingen. Deze schematisatie is gebruikt bij het opstellen van het 3D-initiële chloridebeeld van het LHM.

Daarnaast vindt op dit eiland geen wateraanvoer plaats. Het LHM-model is daardoor iets eenvoudiger te begrijpen. Ook is redelijk goed in beeld welk gebied afwatert op een bepaald gemaal, waardoor vergelijken op LSW-niveau met gemaalmeetreeksen van de water- en zoutbalans beter mogelijk zijn dan in poldergebieden in Noord-Friesland en Groningen.

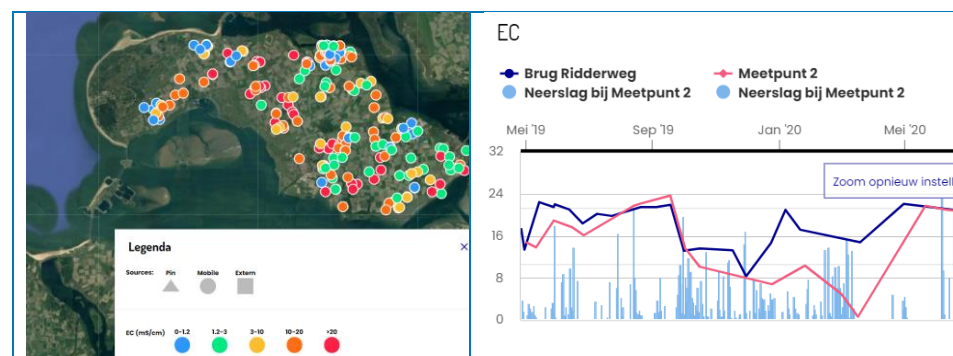
De verwachting is hierdoor dat deze regio, één van de relatief eenvoudigere gebieden is om het zouttransport te simuleren voor het LHM. Dit maakt het een interessant gebied om het model te toetsen. De toetsing geeft inzicht in: 1) hoe het model kan presteren als de basisdata redelijk op orde zijn en 2) de resultaten kunnen mogelijk inzicht geven voor processen die nu (nog) niet goed in het model geparametriseerd zijn.

5.2

Aangeleverde data

Voor deze studie zijn brongegevens beschikbaar gesteld door het waterschap Scheldestromen voor de regio Schouwen-Duiveland, het betreft debieten en EC-waarden bij gemalen en GIS-informatie van de polders, gemalen en afvoergebieden.

*Figuur 16
Overzicht EC-
metingen in het
oppervlaktewater op
Schouwen Duiveland*



Binnen het participatieve meetproject 'Natuurlijk zoet'² zijn sinds het voorjaar 2019 EC-metingen gedaan door agrariërs veelal in de haarvaten van het watersysteem. Dit heeft een gedetailleerd ruimtelijk meetnet opgeleverd voor

² schouwenduivelandmeet.nl onderdeel van boerenmetenwater

Schouwen-Duiveland (Figuur 16). De metingen zijn om de paar weken uitgevoerd waardoor ook de temporele variaties in beeld komen (Figuur 16). Naast deze kwantitatieve metingen heeft Acacia Water hier onlangs een groot aantal agrariërs geïnterviewd over de verziltingssituatie binnen hun percelen. Hierdoor is een goed inzicht gekregen in het lokale watersysteem, de excessen die optreden bij droogte en de ervaringen van de agrariërs met betrekking tot eventuele schade.

5.3

Methodie

In deze validatiestap vergelijken we de gemeten EC-gehalten en de dynamiek daarvan met de berekende chlorideconcentraties met het LHM 4.1 op LSW-niveau. Dit is gedaan voor 2 afvoerregio's middels een tijdreeks en ruimtelijk voor heel Schouwen-Duiveland voor een nat wintermoment (jan-feb 2020) en een droog zomermoment (jun-jul 2019).

Temporele water- en zoutbalans op polderniveau

Voor de afvoergebieden Dreischor en Duiveland-Oosterland zijn water- en zoutbalansen over de modelperiode 2012 t/m 2019 opgesteld. Deze polders zijn gekozen omdat bij het gemaal debietfluxen en EC-waarden zijn geregistreerd en het achterliggende afvoergebied duidelijk afgebakend is. Bij de geleverde data is niet aangegeven hoe betrouwbaar de data zijn.

De afvoer naar DM/ downstream en de drainagezoutvrachten zijn per maand gesommeerd voor de LSW's binnen het desbetreffende afvoergebied. Vervolgens zijn de berekende afvoerfluxen vergeleken met de gemeten debieten en de berekende chlorideconcentraties vergeleken met de gemeten EC-waarde (welke is omgerekend naar een chlorideconcentratie middels ($Cl [mg/l] = 360 * EC (mS/cm) - 450$; De Louw, 2013)).

De analyse geeft inzicht in hoeverre de afvoer- en zoutvracht uit het afvoergebied overeenkomen met de meetreeksen en in hoeverre de jaarlijkse gemeten dynamiek gevolgd wordt door het model.

Ruimtelijke chloridebeeld in zomer en winter

Voor het eiland Schouwen-Duiveland zijn chloridekaarten gemaakt voor een nat moment in de winter (jan-feb 2020) en een droog zomermoment (juni-juli 2019). De volgende datagegevens zijn vergeleken:

- Gemiddelde EC-waarden gemeten in het participatief meetnet 'natuurlijkzoet' over deze twee maanden;
- Berekende gemiddelde chlorideconcentratie over deze periode op LSW-niveau;
- Berekende gemiddelde chlorideconcentratie in de wortelzone over deze periode;
- Informatie over het voorkomen van zoute kwel op basis van interviews van boeren.

Toetsingscriteria

Voor de tweekanal polders op Schouwen-Duiveland zijn de zoutvracht en de waterbalans getoetst aan debieten en EC-waarden bij gemalen voor een 7-tal jaren op maandbasis. Voor de toetsing van deze gebieden wordt zoveel mogelijk aangesloten bij de toetsingscriteria voor Noord-Nederland.

Op Schouwen wordt in de zomer de zoutvracht bepaald door de kwelflux rechtstreeks naar de sloten en/of in sommige gevallen lopende drains met een flux uit de percelen. Op Schouwen is namelijk geen inlaat. De zoutvracht is hierdoor doorgaans in de zomer veel hoger dan in de winter. Indien het model dit goed kan simuleren, dan is het model ook veel geschikter om maatregelen (die vaak in een deel van het jaar functioneren) door te rekenen.

Tabel 6 geeft de criteria weer.

Tabel 6 Voorstel aangepaste toetsingscriteria voor polders met geijkte maalstaten en EC-meting.

Indicator	Criterium
Flux poldersysteem	In 80% van de meetpunten in een gebied: Gemiddeld: afwijking minder dan 50 %* Hoog zomer (juni, juli): afwijking minder dan 50 % Hoog winter (jan-feb): afwijking minder dan 50 %
Zoutvracht poldersysteem	In 80% van de meetpunten in een gebied: Gemiddeld: afwijking minder dan 50 %* Hoog zomer (juni, juli): afwijking minder dan 50 % Hoog winter (jan-feb): afwijking minder dan 50 %

*Deze toets zou ook als alternatief uitgevoerd kunnen worden voor de gehele zomerperiode (1 april – 1 oktober) en de winter (1 oktober – 1 april). Waarbij de overgang gelijk wordt gezet met de inlaatperiodes/peilwisselingen.

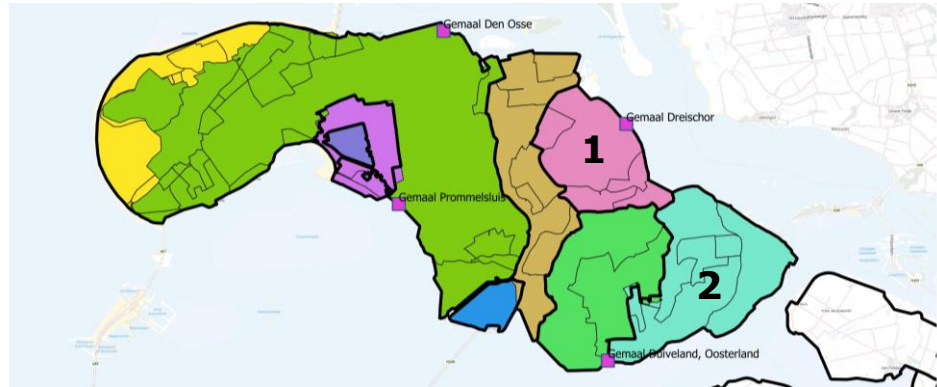
Daarnaast zijn er 'zachte toetsingen' voor verzilting mogelijk. Dit zijn geen toetsingen op basis van metingen die exact dezelfde parameter weergeven. Daarom is er ook voor gekozen om deze toetsingen alleen kwalitatief uit te voeren. Wel kunnen deze toetsingen inzicht geven in de werking en representativiteit van het model onder gemiddelde, droge en natte omstandigheden.

- Vergelijking berekende chloride in de wortelzone met feedback vanuit interviews met boeren en/of EC-metingen op de percelen, bv. in de drainagebuizen gedurende het jaar.

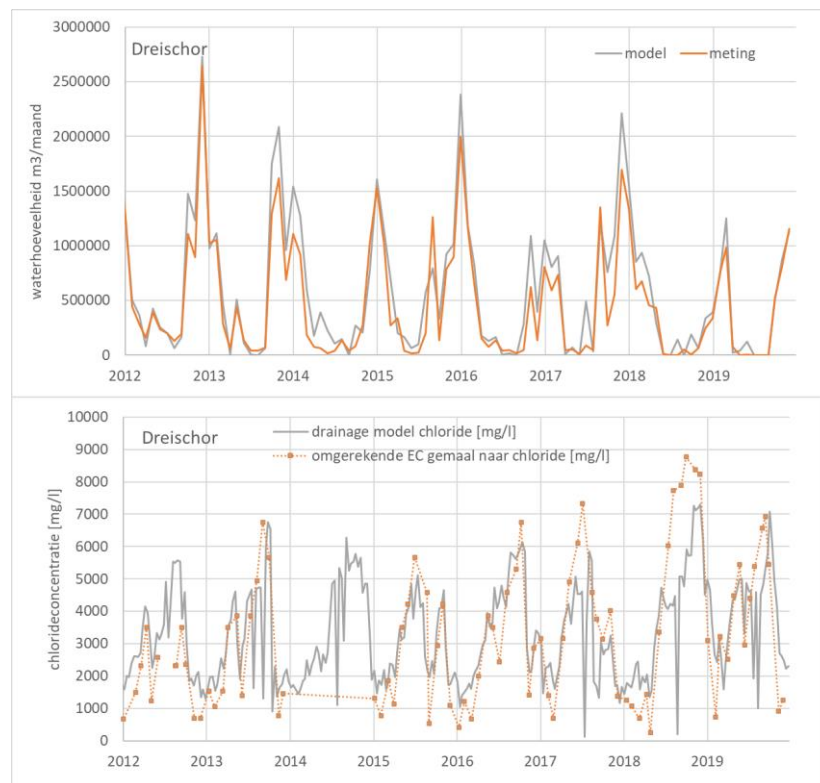
Resultaat

Temporele water- en zoutbalans op polderniveau

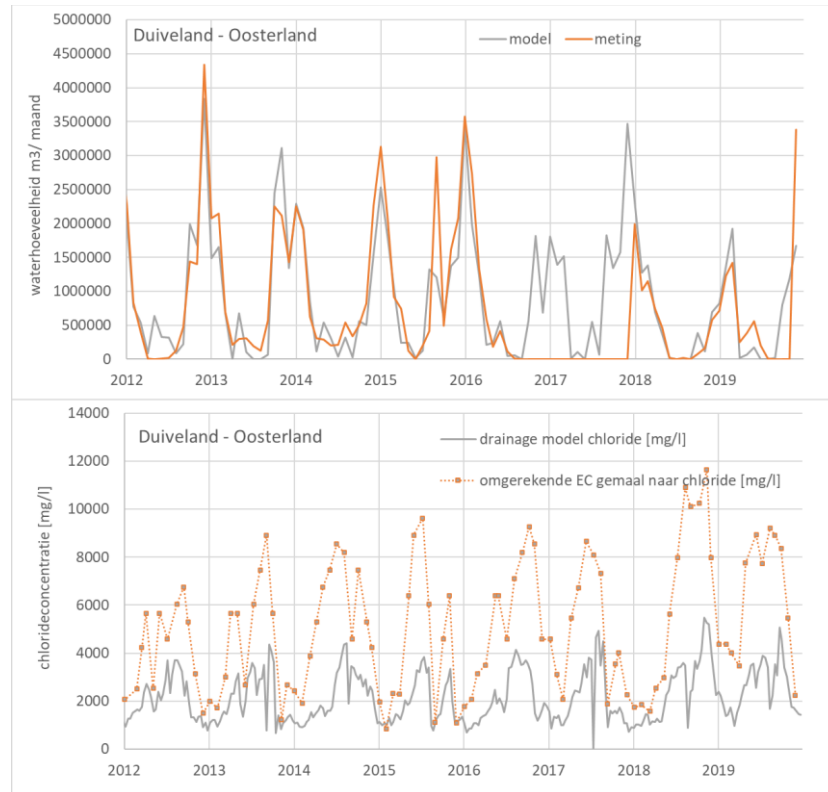
Figuur 17 geeft de locaties van de twee afvoerregio's op Schouwen-Duiveland weer en Figuur 18 en Figuur 19 geven een afbeelding weer van de water- en zoutbalans in de periode 2012 t/m 2019 voor de twee afvoerregio's.



Figuur 17 locatie van de twee afvoergebieden: 1: Dreischor (roze) en 2: Duiveland - Oosterland (licht blauw)



Figuur 18 water- en zoutbalans van 2012 t/m 2019 voor de afvoerregio Dreischor



Figuur 19 water- en zoutbalans van 2012 t/m 2019 voor de afvoerregio Duiveland - Oosterland

De water- en zoutbalans zijn getoetst aan de toetsingscriteria en het resultaat is weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 validatiescore afvoergebieden Dreischor en Duiveland - Oosterland

Dreischor	hoeveelheid water [m3/maand]	chloride concentratie [mg/l]
Meting gemiddeld 2012 - 2019	460 667	3 359
Model gemiddeld 2012 - 2019	579 592	3 313
Meting jan+feb	978 394	1 368
Model jan+feb	1 150 456	2 082
Meting jun + jul	62 262	3 848
Model jun + jul	116 741	3 922
Duiveland - Oosterland	hoeveelheid water [m3/maand]	chloride concentratie [mg/l]
Meting gemiddeld 2012 - 2019	856,504	5 144
Model gemiddeld 2012 - 2019	884 331	2 177
Meting jan+feb	1 754 000	2 460
Model jan+feb	1 803 640	1 224
Meting jun + jul	159 408	6 971
Model jun + jul	162 077	2 966
LHM voldoet aan toetsingcriterium?		
2 afvoerregio's samen beschouwd	83 %	33 %

Uit de tabel blijkt dat de waterbalansen goed voldoen. Voor de polder Dreischor wordt alleen de gemiddelde uitmaling in de zomerperiode iets overschat door het model. Mogelijk is een verklaring dat in de zomer het gemaal minder wordt ingezet om zo water vast te houden in de polders.

De zoutbalans in polder Duiveland – Oosterland geeft aan dat de zoutbelasting met ongeveer een factor 0.5 onderschat wordt. Door de zoutbalans samen met de waterbalans te beschouwen is aannemelijk dat het ondiepe zoutgehalte in de percelen naar verwachting te laag berekend wordt door het TRANSOL-model.

Ruimtelijk chloridebeeld in zomer en winter

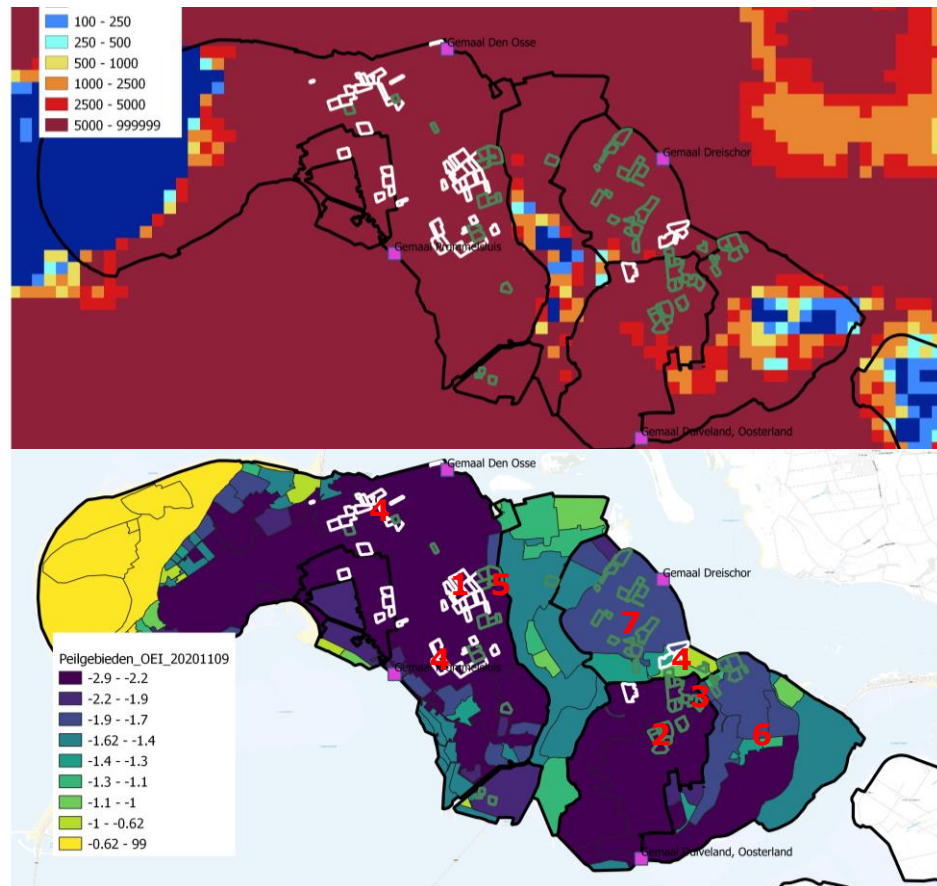
Figuur 21 t/m Figuur 24 geven een afbeelding weer van de berekende en gemeten chlorideconcentratie op Schouwen in de winter van 2020 en zomer van 2019. In de afbeeldingen zijn tevens de percelen weergegeven waar interviews met boeren hebben plaatsgevonden. De witte contouren van percelen betreffen percelen waar de boeren hebben aangegeven dat in de zomermaanden zoutschade optreedt. Dit wordt vaak ondersteund door EC-metingen in de drainagebuizen (indien uitgevoerd), die aangeven dat het water zout is. Het daadwerkelijk meten aan de chlorideconcentratie in de wortelzone is lastig. Daarom zijn deze gegevens gebruikt.

Figuur 20 geeft een overzicht weer van de chlorideconcentratie in de deklaag en de gemiddelde polderpeilen. In het midden loopt in Noord-Zuid richting een kreekrug. Dit gebied ligt hoger dan zijn omgeving en het heeft ook relatief hogere polderpeilen. Het water infiltreert hier lokaal, waardoor de ondergrond tot grotere diepte zoet is. Aan de noordkant van de kreekrug is het oppervlaktewater zout. Ten westen en oosten van de kreekrug is het oppervlaktewater zout.

Uit de interviews zijn de volgende gebiedskenmerken teruggekoppeld, welke geverifieerd kunnen worden in de modeloutput. In Figuur 20 zijn de volgnummers weergegeven op de kaart om de locatie aan te duiden.

1. Hier is de zoetwaterlens in de winter erg dun, in mei is deze meestal al opgelost. De EC-waarde in de drainagebuizen komt niet onder de 2 mS/cm en in de zomer is deze tussen de 10 en 17 mS/cm;
2. In de winter (nov 2020) is de EC in de drainagebuizen 10 mS/cm. De boer geeft aan dat er zout in de wortelzone aanwezig is. Opgemerkt wordt dat de drainage hier lokaal dieper ligt.
3. Het perceel is zoet, maar de sloten zijn zout.
4. Hier is het perceel en de sloten zout.
5. Deze percelen zitten precies tussen het gebied met het zoetere en het zoutere oppervlaktewatersysteem in. De waterlopen vallen in de zomer regelmatig droog.
6. Midden in deze polder ligt het maaiveld hoger. Hier treedt zoet water uit en komen wel zoetwaterlenzen voor. De kleinere waterlopen vallen in de loop van de zomer vaak droog. De hoofdwatgangen zijn overwegend zout. Reden hiervoor is kwel, zowel van verder weg langs de dijk tot lokale kwelplekken.

- Middenin in polder Dreischor, op de hogere delen, is het lokaal zoet. Aan de randen en in de lagere delen van de polder is wel een zoute kwel aanwezig. Opvallend is dat in de wintermaanden de waarden van het zoutgehalte in sommige waterlopen hoger zijn dan in de zomer (met een hoog zomerpeil). Blijkbaar is in deze polder het oppervlaktewaterpeil lokaal, sterk van invloed op de kwel.

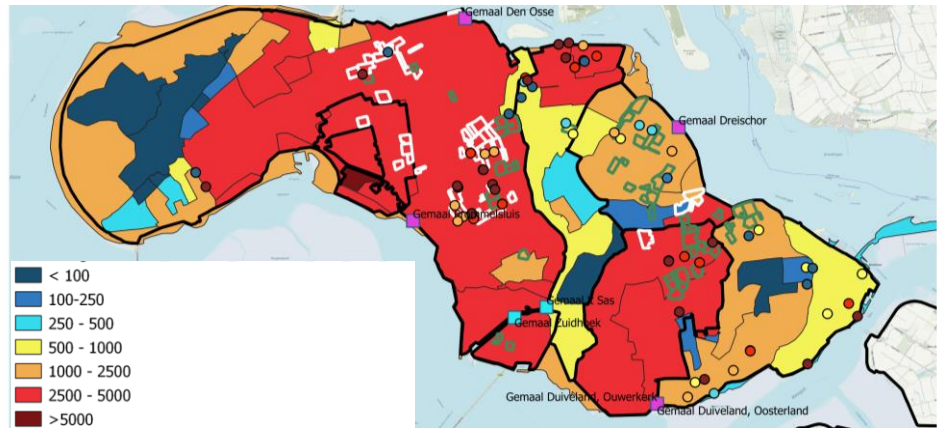


Figuur 20 boven: initiële chlorideconcentratie deklaag [mg/l] en onder: overzicht gemiddelde polderpeilen op Schouwen-Duiveland [mNAP] met de locaties van de percelen van enkele geïnterviewde boeren (wit: zoutschade, groen: zoetwaterlens aanwezig). De rode nummers worden in de tekst op de voorgaande pagina toegelicht.

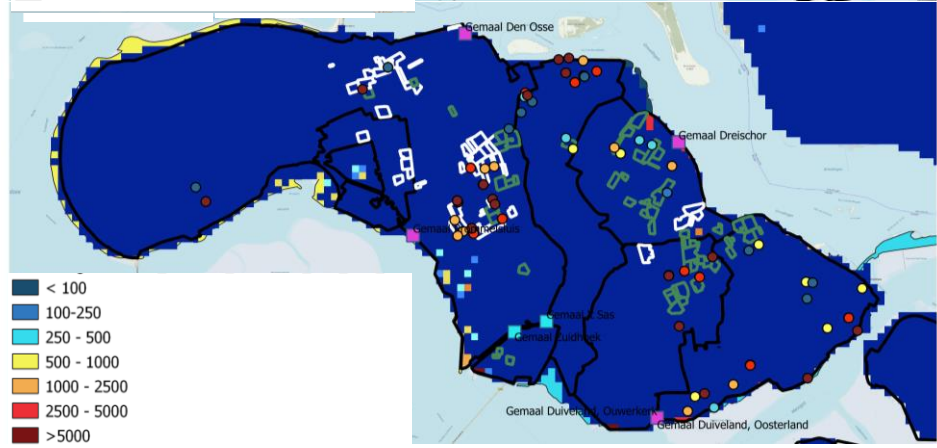
De resultaten van het LHM 4.1 voor een winter- en zomersituatie worden weergegeven in Figuur 21 t/m Figuur 24. Deze resultaten worden alleen gebruikt voor een "zachte" validatie omdat de modelresultaten niet één op één te vergelijken zijn met de brondata. De gemiddelde berekende chlorideconcentraties per LSW met het LHM komen qua orde grootte overeen met de gemeten chlorideconcentraties in de haarvaten van het oppervlaktewatersysteem. Ook komen ze overeen met de terugkoppeling uit de interviews met de boeren. Daarnaast is goed zichtbaar dat de zoutconcentraties in het oppervlaktewatersysteem in de zomer oplopen ten opzichte van de winter.

De berekende chlorideconcentraties in de wortelzone komen niet overeen met het beeld van de metingen en interviews. In droge perioden blijft het water in de wortelzone zoet volgens het LHM-model. Dit is tevens geverifieerd voor de eerste weken van juli in 2018 (zeer droog moment).

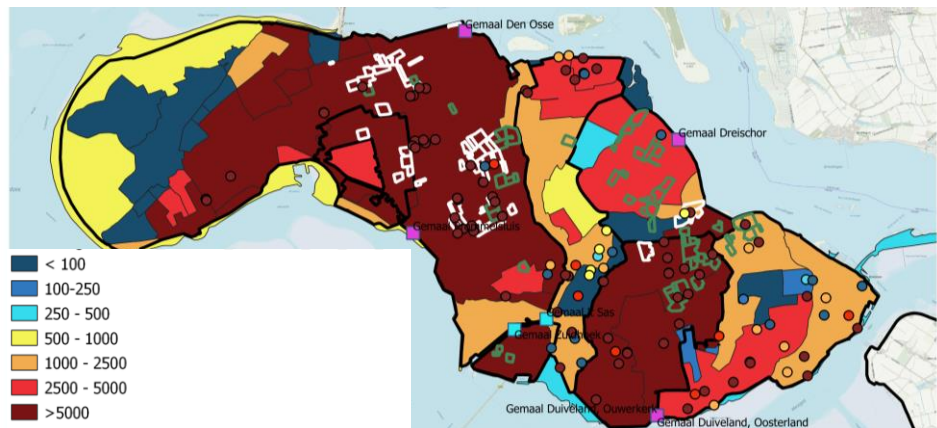
Figuur 21 Winter 2020
 Berekende gemiddelde chlorideconcentratie [mg/l] per LSW-unit in februari 2020 met daarbij de puntmetingen (chloride mg/l) in dezelfde periode en de contouren van de percelen waar verzilting optreedt (wit) en geen verzilting in de zomer (groen).



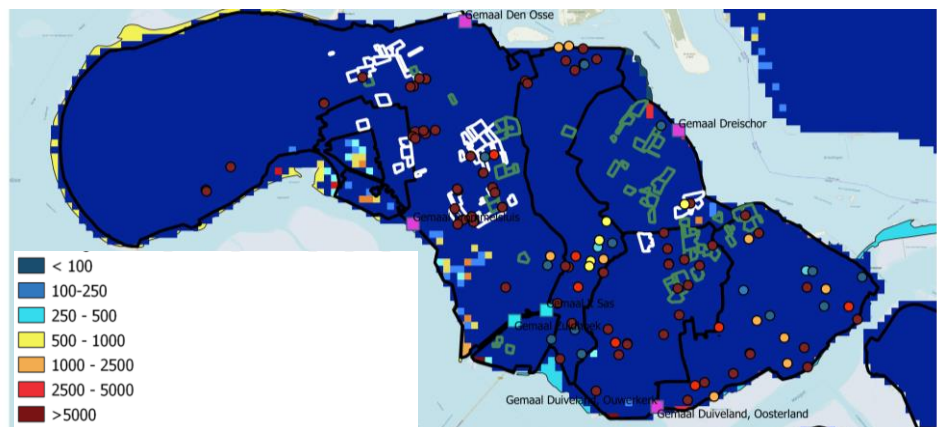
Figuur 22 Winter 2020
 Berekende gemiddelde chlorideconcentratie [mg/l] in de wortelzone in februari 2020 met daarbij de puntmetingen (chloride mg/l) in dezelfde periode en de contouren van de percelen waar verzilting optreedt (wit) en geen verzilting in de zomer (groen).



Figuur 23 Zomer 2019
 Berekende gemiddelde chlorideconcentratie [mg/l] per LSW-unit in juli 2019 met daarbij de puntmetingen (chloride mg/l) in dezelfde periode en de contouren van de percelen waar verzilting optreedt (wit) en geen verzilting in de zomer (groen).

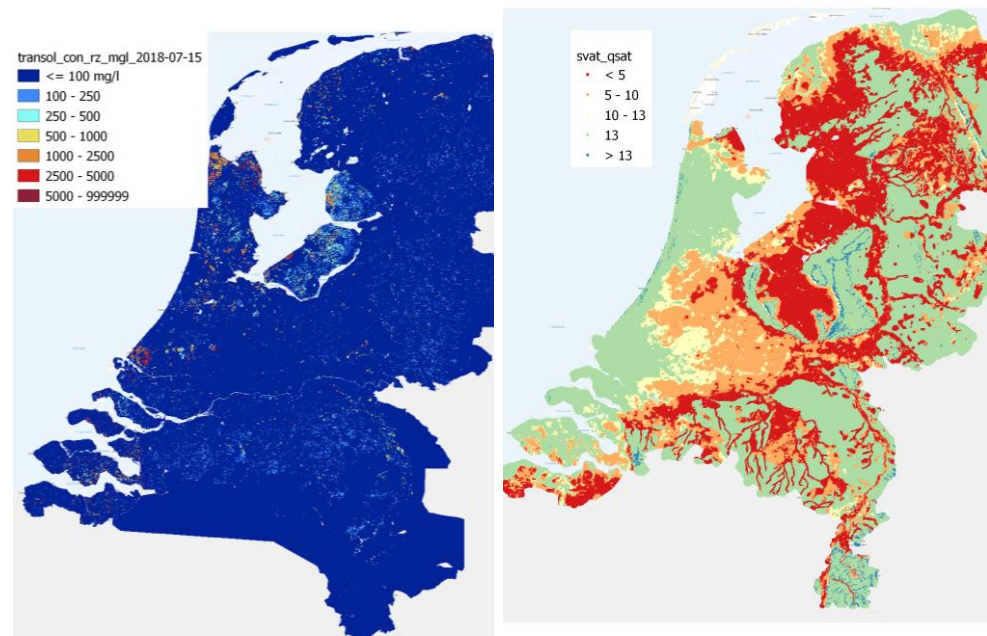


Figuur 24 Zomer 2019
 Berekende gemiddelde chlorideconcentratie [mg/l] in de wortelzone in juli 2019 met daarbij de puntmetingen (chloride mg/l) in dezelfde periode en de contouren van de percelen waar verzilting optreedt (wit) en geen verzilting in de zomer (groen).



In overleg met de WUR (Paul van Walsum) is geconstateerd dat de doorstroomde diepte (dqsat), diep (13 m) is in de invoergegevens van het TRANSOLmodel in een groot deel van Zeeland. Dit betekent dat het zout vanaf grote diepte kan uitstromen naar drainagemiddelen. Wellicht dat dat (mede) van invloed is op het toestromen van zout naar de wortelzone. Figuur 25 geeft de zoutconcentratie in de wortelzone weer voor 15 juli in 2018 en een kaart van dqsat. Het voorkomen van een hoge waarde in dqsat lijkt te maken te hebben met het voorkomen van het bodemtype zeeleiggrond en treedt dus op meerdere plekken in Nederland op. Het lijkt logischer om de doorstroomde diepte bij deze gronden aan te passen naar de diepte van de overgang tussen gerijpte en ongerijpte klei. Maar mogelijk spelen ook andere oorzaken een rol. Het toestromen van zout water richting de wortelzone, berekend met TRANSOL, dient daarom nader onderzocht te worden.

Het zoutgehalte in de wortelzone wordt gebruikt in de postprocessingtool AGRICOM (mededeling Joachim Hunink), dat de zoutschade voorspelt.



Figuur 25 Links: kaart van de zoutconcentratie in de wortelzone op 15 juli 2018 en rechts: kaart van de invoerparameter doorstroomde diepte (dqsat)

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Het LHM 4.1 is in drie gebieden getoetst op het aspect van interne verzilting. Dit is een uitgebreidere toetsing dan die in 2013 is uitgevoerd. De conclusie is voor alle drie de gebieden dat het LHM 4.1 niet voldoet aan de gestelde toetsingscriteria, zie Tabel 8.

Tabel 8 Samenvatting toetsonderdelen LHM 4.1 t.b.v. interne verzilting

Regio	Toetsing	Percentage dat voldoet*
West-Nederland	80 % van de diepe polders voldoen voor de zoutbalans	38 %
Noord-Nederland	80 % van de polders voor de zoutbalans	0 %
Noord-Nederland	Bij 80 % van de locaties voldoet de fluxrichting	63 %
Schouwen-Duiveland	80 % van de polders voldoen voor de zoutbalans	33 %

*rood: voldoet niet aan criterium, groen voldoet wel aan criterium

De eerdere validaties (2011, 2013 en 2020) zijn alleen uitgevoerd voor de diepe polders in West-Nederland. Het resultaat van deze validatie (2021) komt ongeveer overeen met het toetsingsresultaat in 2011 en 2020. Voor de toetsing in 2013 zijn juist bij de diepe polders aanpassingen gedaan aan de chlorideconcentratie, waardoor het toetsingsresultaat toen hoger was (87,5 %) en wel voldeed. In 2020 is gestart met een nieuwe chlorideverdeling in het LHM.

Voor de toetsing in West-Nederland wordt voor de meeste polders een toegestane afwijking van een factor 3 aangehouden, dit is mede zo bepaald vanwege de beschikbare brondata. Het is de vraag of het model inderdaad beter is geworden (om de juiste redenen) als de afwijking van een factor 3.5 (validatie voldoet niet) naar een factor 2.5 (validatie voldoet wel) kan worden bijgesteld. Om uitspraken te kunnen doen of het LHM 4.1 inderdaad geschikt is voor de beoogde doelen op het gebied van verzilting is het wenselijk om deze factor naar beneden bij te stellen. Hiervoor zijn wel betere brondata noodzakelijk (zie aanbevelingen).

In deze validatie zijn voor 4 gebieden tijdsafhankelijke water- en zoutbalansen getoetst. Voor deze balansen is een afwijking van een factor 0.5 toegestaan. Daarnaast geven tijdsafhankelijke balansvergelijkingen ook inzicht of het model de dynamiek in het jaar goed kan modelleren. De chlorideconcentratie in het oppervlaktewater varieert meestal sterk tussen de zomer en winter en vormt juist een probleem in de droge zomermaanden. Om voorspellingen te kunnen doen is het daarom van belang dat niet alleen de gemiddelde balans goed kan worden gesimuleerd maar ook juist de excessen in de droge perioden. Daarnaast geeft een vergelijking voor de waterbalans in combinatie met de zoutbalans meer duiding voor de eventuele benodigde aanpassingen/kalibratie van het model.

In Noord-Nederland berekent het model over het algemeen een te geringe kwelflux, wat resulteert in een onderschatting van een eventueel verziltingsrisico. Daarnaast is vastgesteld dat waar het model hoge kwel berekent dit niet blijkt uit metingen die een kwelneutrale of een infiltratie situatie laten zien. In de Noord Nederlandse situatie is het stijghoogteverschil over de deklaag klein, vaak enkele decimeters. Dit maakt dat de invoer van de juiste hoogte van drainagemiddelen bepalend kunnen zijn voor berekende kwel/infiltratie fluxen. Een decimeter verschil in bijvoorbeeld drainageniveau kan in het model ertoe leiden dat de ondiepe fluxrichting omslaat (kwel vs infiltratie en omgekeerd). Verziltingsrisico vanuit het grondwater treedt op in de kwelgebieden met zout/brak grondwater. Uit de toetsing blijkt dat in het model 1) de drainage in de kustzone te diep ligt en 2) dat de drainageweerstand erg hoog is, in relatie tot de omgeving. Daarnaast zijn de poldereenheden (met gelijke peilen) groot. De verwachting is dat binnen deze poldereenheden andere praktijkpeilen worden gehanteerd, dan hoe het geregistreerd staat.

Op Schouwen-Duiveland komt de berekende concentratie in de wortelzone niet goed overeen met ervaringswaarden van boeren in enkele kwelgebieden. De boeren geven aan dat het water in de drainagebuizen zeer zout is en dat de teelt is aangepast voor zouttolerantere gewassen, terwijl het LHM 4.1 aangeeft dat het water in de wortelzone zoet is (ook in juli 2018). In overleg met WUR is vastgesteld dat het model inputbestand 'dqsat' geen logische waarden bevat op Schouwen-Duiveland (namelijk 13 m) en dat initiële chlorideconcentraties mogelijk langer kunnen doorwerken in TRANSOL dan de nu aangehouden 2 jaar. Maar ook is geconstateerd dat nu niet duidelijk is of dit mogelijke oorzaken zijn waardoor TRANSOL het zouttransport richting de wortelzone in deze zone niet goed kan simuleren. Dit dient in een vervolg beter uitgezocht te worden. De zoutconcentratie in de wortelzone is namelijk input voor AGRICOM, welke de zoutschade berekent. Nu zal het LHM zoutschade vanuit het grondwater onderschatten.

Een rapport met nadere onderbouwing en beschrijving ontbreekt. Het is daarom niet goed te achterhalen hoe de in- en output van de diverse modelonderdelen zijn verwerkt en hoe de modelonderdelen precies aan elkaar gekoppeld zijn van het LHM. Er zijn wel diverse manuals van

softwareonderdelen aangeleverd voor TRANSOL, maar daarin bleken de namen van outputfiles niet altijd exact overeen te komen. Een nadere uitwerking en onderbouwing in een technisch achtergrondrapport is nodig om het modelproces nader te kunnen onderzoeken, de modelresultaten te toetsen en verbeteringen mogelijk te maken.

6.2 Aanbevelingen

Uit de conclusies volgen de volgende aanbevelingen:

1. Nagaan modellering van zouttransport naar wortelzone in TRANSOL en aanpassen van de inputfile 'dqsat';
2. Verbetering oppervlaktewater- en drainagesystemen in de kustzone van Noord-Nederland;
3. Het beschikbaar maken van een betere validatieset, namelijk tijdsafhankelijke water- en zoutbalansen om het LHM en regionale modellen te toetsen.

Drainage en oppervlaktewatersysteem Noord-Nederland

Acacia Water kan zijn dataset (enquête over drainageafstand en drainagediepte onder boeren in deze regio) beschikbaar stellen om de drainage in het LHM te verbeteren. Dit is echter, i.v.m. privacy, op postcodeniveau uitgevoerd.

Informatie over het oppervlaktewatersysteem kan worden verbeterd door een informatieronde met gebiedsbeheerders uit te voeren. Voor drainage wordt voorgesteld om binnen de gebieden gericht boeren, drainagebedrijven en/of drainageadviseurs te benaderen. Daarbij kan worden aangesloten bij andere initiatieven zoals Boeren Meten Water.

Als de modelinput is aangepast, is het aannemelijk dat een nieuwe kalibratie nodig is voor een aantal andere bodemparameters, waaronder de weerstand van de deklaag en drainageweerstand.

Methodiek ontwikkeling toetsen interne verzilting

In deze validatie zijn nieuwe toetsingscriteria voorgesteld om water- en zoutbalansen te toetsen, namelijk niet alleen op gemiddelde zoutvrachten maar ook op zoutvrachten in de winter en zomer. Nu is de toetsing gedaan voor 2 polders op Schouwen-Duiveland, die betrekkelijk eenvoudig zijn (geen inlaatcomponent), en 2 polders waarvoor Acacia Water in het verleden al eens een water- en zoutbalans heeft opgesteld.

Om te kunnen toetsen of het LHM inderdaad geschikt is voor de gedefinieerde opgaven met betrekking tot verzilting, is een betere en grotere validatieset van water- en stoffenbalansen noodzakelijk.

De validatieset moet bestaan uit:

- polders / poldergebieden in de verschillende delen van Nederland omdat het verschilt welke processen (wel/geen inlaat, uitmalen of inmalen van water, etc.) sturend zijn voor de zoutvracht in de polder;
- polders waar maaldebieten en EC-waarden continu gemonitord worden zodat niet alleen op gemiddelde balanstermen getoetst kan worden maar juist op de winter en zomerbalansen. Dit is belangrijk omdat de zoutconcentratie in de winter en in de zomer meestal door andere processen bepaald worden.
- Polders die juist veel risico hebben te verzilten of die om andere redenen als belangrijk worden gezien om op juiste wijze door het LHM gesimuleerd te worden.

Door de kennis van poldersystemen en monitoring die reeds wordt uitgevoerd (of op de planning staat) te combineren met de wensen voor de validatieset kan een voorstel gedaan worden voor een **strategisch meetnet verzilting**.

Door de juiste parameters in het veld te monitoren is het mogelijk om waterbalansen per polder/ poldergebieden op te stellen en de deelstromen nader te specificeren (aandeel kwel, aandeel neerslag/ afvoer, aandeel inlaat gedurende het jaar). Indien deze informatie beschikbaar is kan ook de toetsingsmethodiek verder uitgewerkt worden.

Het meetnet van water- en stoffenbalansen kan dus gebruikt worden om (regionale) modellen te valideren. Wanneer naast grondwaterstanden en stijghoogten het model ook getoetst kan worden aan fluxen en zoutvrachten, neemt de bandbreedte van parameterwaarden binnen een grondwatermodel sterk af. Het model is dan "right for the right reasons". Ondanks dat niet alle polders gemonitord worden, geeft het meetnet daardoor dus ook informatie om regionale verbeteringen door te voeren in het model. Daarnaast zal het meetnet ook veel inzicht geven in het lokale poldersysteem voor de beheerder en wellicht handvatten geven voor besparing, slimmere sturing mede met het oog op klimaatverandering en de toenemende verzilting.

Naast het toetsen op water en zoutbalansen zijn nu andere datasets gebruikt om het model te toetsen, zoals interviews met boeren op Schouwen-Duiveland en ERT-metingen in Noord-Nederland. Beide datasets zijn niet eenvoudig te vangen in harde toetsingscriteria voor het LHM, maar de vergelijking van de data met het LHM levert wel meerwaarde en gerichte verbeterpunten op. Deze methoden kunnen goed ingezet worden op locaties waar onduidelijkheden zijn of waar de uitkomsten met het model niet goed te begrijpen zijn. Geconcludeerd wordt daarom om bij validatiestudies niet alleen uit te gaan van harde meetdata, maar "zachtere data" ook te gebruiken. En kan nagedacht worden hoe dit vertaald kan worden in een geobjectiverde kalibratie dan wel validatiemethodiek.

7

Literatuur

- Acacia Water, 2011. Klimaatverandering, toenemende verzilting en landbouw in Noord-Nederland;
- Acacia Water, 2019. Spaarwater 2 – Spaarwater in de polder, technische rapportage;
- Acacia Water, 2019. Versterken zoetwaterlens: anti verziltingsdrainage. Onderdeel van Spaarwater;
- De Louw, P.G.B., 2013. Zoute kwel in delta's. Preferente kwel via wellen en interacties tussen dunne regenwaterlenzen en zoute kwel. Academisch proefschrift, Vrije Universiteit Amsterdam, ISBN/EAN 9789461085429;
- Deltares, 2013. Toetsingsrapportage NHI 3.0;
- Deltares, 2014. Integrale analyse Zout NHI 3.01 en aanbevelingen voor NHI 3.02 en verder. 1206107-000;
- Deltares & Arcadis, 2020. Actualisatie zout in het NHI Toolbox NHI zoet-zout modellering en landelijk model;
- J.G.Kroesand & P.E.Rijtema, 1996. TRANSOL, a dynamic simulation model for transport and transformation of solutes in soils Wageningen (The Netherlands), DLO Winand Staring Centre;
- Van Walsum, P.E.V., 2020. SIMGRO V8.0.0.7 Input and output reference manual. ISSN 1566-7197;

Bijlagen

A Zoutvrachtbalans West-Nederland

Deze bijlage geeft een overzicht van de zoutbalansen per polder. De eerdere resultaten en literatuurverwijzingen zijn overgenomen uit de eerdere toetsingsrapportages (Deltares & Arcadis, 2020 en Deltares, 2013).

Legenda: Groen voldoet wel aan criterium, rood voldoet niet.

Haarlemmermeerpolder, gemiddelde zoutvracht (2012 t/m 2018) in ton/jaar

Studie	Methode	Zoutvracht ontwatering	Zoutvracht wellen	Zoutvracht totaal
LHM 4.1	model	23 334	26 217	49 515
LHM zoet-zout v2, 2020	Model	32 641	26 106	58 747
NHI 3.0, 2013	Model			34 593
NHI 2.2, 2011	Model			113 886
Reg. Studie ICW nr. 9, Midden West-NL, 1974	Waterbalans			75 781
Cult. Dienst. N. Holland	Waterbalans			34 250
Couwenhoven en Toussaint, 1960 – 1967	Waterbalans			47 876
De Gruyter, 1950 – 1954	Waterbalans			44 258
Bijl, 1925 – 1930	Waterbalans			36 072

Noordplas, gemiddelde zoutvracht (2012 t/m 2018) in ton/jaar

Studie	Methode	Zoutvracht ontwatering	Zoutvracht wellen	Zoutvracht totaal
LHM 4.1	Model	885	1 349	2 234
LHM zoet-zout v2, 2020	Model	1 577	1 294	2 871
NHI 3.0, 2013	Model			5 079
NHI 2.2, 2011	Model			7 194
de Louw et al., 2010	Waterbalans			11 600

Peilvak 9 in de Haarlemmermeer, gemiddelde zoutvracht (2012 t/m 2018) in ton/jaar

Studie	Methode	Zoutvracht ontwatering	Zoutvracht wellen	Zoutvracht totaal
LHM 4.1				Geen LSW
LHM zoet-zout v2, 2020	Model	557	707	1 263
NHI 3.0, 2013	Model			15 850
NHI 2.2, 2011	Model			69 164
Delsman et al., 2013	Waterbalans	360	6 321	6 681
Delsman, 2012	waterbalans			5 475

Schermerboezem, gemiddelde zoutvracht (2012 t/m 2018) in ton/jaar

Studie	Methode	Zoutvracht ontwatering	Zoutvracht wellen	Zoutvracht totaal
LHM 4.1	Model	85 725	11 410	97 135
LHM zoet-zout v2,2020	Model			x
NHI 3.0, 2013	Model			
NHI 2.2, 2011	Model			317 948
Wit et al., 1981	Waterbalans			45 959

Wieringermeerpolder, gemiddelde zoutvracht (2012 t/m 2018) in ton/jaar

Studie	Methode	Zoutvracht ontwatering	Zoutvracht wellen	Zoutvracht totaal
LHM 4.1		222 913	0	222 913
LHM zoet-zout v2,2020	Model	265 509	0	265 509
NHI 3.0, 2013	Model			123 032
NHI 2.2, 2011	Model			345 040
Wit et al., 1981	Waterbalans			369 127

Polder K in de Schermer, gemiddelde zoutvracht (2012 t/m 2018) in ton/jaar

Studie	Methode	Zoutvracht ontwatering	Zoutvracht wellen	Zoutvracht totaal
LHM 4.1		33 556	4 724	38 281
LHM zoet-zout v2,2020*	Model	27 471	3 669	31 140
NHI 3.0, 2013	Model			1 814
NHI 2.2, 2011	Model			5 734
Huis in 't Veld et al 1993	Waterbalans			911

*uit een nadere analyse blijkt dat deze balans (Deltares & Arcadis 2020) niet voor de Schermerboezem maar voor polder K in de Schermer is uitgerekend, vandaar dat deze verplaatst is in deze tabellen.

Polder Waterland en Oostzaan, gemiddelde zoutvracht (2012 t/m 2018) in ton/jaar

Studie	Methode	Zoutvracht ontwatering	Zoutvracht wellen	Zoutvracht totaal
LHM 4.1		7 026	1 893	8 902
LHM zoet-zout v2,2020	Model	x	x	x
NHI 3.0, 2013	Model			8 616
NHI 2.2, 2011	Model			12 134
Wit et al, 1981	Waterbalans			1 793

Polder Wieringen, gemiddelde zoutvracht (2012 t/m 2018) in ton/jaar

Studie	Methode	Zoutvracht- ontwatering	Zoutvracht wellen	Zoutvracht totaal
LHM 4.1				279
LHM zoet-zout v2,2020	Model	x	x	x
NHI 3.0, 2013	Model			2 693
NHI 2.2, 2011	Model			4 046
Wit et al, 1981	Waterbalans			1 255



Hoofdkantoor

HKV lijn in water BV
Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Nevenvestiging

Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

0320 29 42 42

info@hkv.nl

www.hkv.nl