

SWAP-WOFOST TOEPASSING OP ZILT PROEFBEDRIJF TEXEL



RAPPORT

2018

01

ZOUTTOLERANTIE AARDAPPELEN

SWAP-WOFOST TOEPASSING OP ZILT PROEFBEDRIJF TEXEL

RAPPORT

2018

01

ISBN 978.90.5773.769.5



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEUR(S)
H.M. Mulder (Wageningen Environmental Research (Alterra))
P.J.T. van Bakel (De Bakelse Stroom)
A. de Vos (Zilt Proefbedrijf)
G. van Straten (Zilt Proefbedrijf)
M. Heinen (Wageningen Environmental Research (Alterra))
J.G. Kroes (Wageningen Environmental Research (Alterra))

BEGELEIDING NAMENS DE BEGELEIDINGSCOMMISSIE WATERWIJZER LANDBOUW
Neeltje Kielen (Rijkswaterstaat)
Rob Ruijtenberg (Bureau WeL namens STOWA)

Onderzoek mede mogelijk gemaakt door
Deltaprogramma Zoetwater/ministerie I&M, Rijkswaterstaat, provincie Utrecht, AdviesCommissie
Schade Grondwater (ACSG), VEWIN, Alterra /Ministerie van EZ, De Bakelse Stroom en STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2018-01
ISBN 978.90.5773.769.5

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

ZOUTTOLERANTIE AARDAPPELEN SWAP-WOFOST TOEPASSING OP ZILT PROEFBEDRIJF TEXEL

INHOUD

TEN GELEIDE
STOWA IN HET KORT

INTRODUCTIE	1
Focus zoutschade	1
VAN BUITENLAB NAAR MODELOPZET	3
Opzet Zilt Proefbedrijf Texel ('Salt Farm Texel')	3
Van geleidbaarheid naar concentratie	3
Meteo	4
Bodemschematisering	4
Onderrand	5
Drainage	5
Gewas	5
Berekening zoutschade	6
MODELRESULTATEN MISS MIGNONNE	8
Gesimuleerde gewasopbrengsten	8
Gesimuleerde zoutconcentraties in het poriewater	9
Gesimuleerde vochtgehalten	10
Variatie in schadedrempel	11

MODELRESULTATEN ACHILLES	12
Gesimuleerde gewasopbrengsten	12
Variatie in schadedrempel	13
 VAN MODELRESULTATEN NAAR METARELATIES	 14
 CONCLUSIES	 17
 BIBLIOGRAFIE	 18
 Bijlage A	 Resultaat gevoeligheidsanalyse voor het vaststellen van de zoutgevoeligheid na de drempelwaarde 19
Bijlage B	Gesimuleerde versus geobserveerde zoutconcentraties 22
Bijlage C	Gesimuleerde versus geobserveerde vochtgehalte 26
Bijlage D	Transpiratiereductie als gevolg van stress 27

INTRODUCTIE

Een onderdeel in Waterwijzer-Landbouw (www.WaterWijzer.nl) is de opbrengstderving van landbouwgewassen door beregening met zout water (zout is in dit verband een algemene term water die aangeeft dat het water zouter is dan in de orde 50 mg Cl l^{-1}) of door aanvoer van zout via capillaire opstijging in de wortelzone zodanig 'in beeld' te brengen dat zowel de waterbeheerders als agrariërs strategische als tactische beslissingen over aan zout water te relateren waterbeheersmaatregelen reproduceerbaar kunnen onderbouwen.

Op het Zilt Proefbedrijf Texel 'SaltFarm Texel' (www.SaltFarmTexel.com) worden proeven uitgevoerd om voor verschillende landbouwgewassen de zouttolerantie te onderzoeken. Gedurende de periode 2012 tot en met 2015 zijn onder gecontroleerde veldomstandigheden de zouttolerantie van de aardappelvariëteiten Miss Mignonne en Achilles vastgesteld (De Vos et al., 2016). In dit rapport wordt beschreven in hoeverre het model SWAP-WOFOST (Kroes et al., 2009) de meetgegevens van het Zilt Proefbedrijf Texel kan simuleren. In het laatste hoofdstuk wordt beknopt beschreven hoe met deze kennis metarelaties kunnen worden afgeleid voor het bepalen van de langjarig gemiddelde opbrengstderving als gevolg van zout schade.

FOCUS ZOUTSCHADE

Zout in de wortelzone kan op verschillende manieren schade veroorzaken (Van Bakel et al., 2011):

- reductie van de wateropname door wortels. Zouten die zijn opgelost in het water in de wortelzone verhogen de osmotische potentiaal waardoor de plant er 'harder aan moet trekken' en waardoor de huidmondjes eerder sluiten, met verdampings- en opbrengst-reductie tot gevolg;
- belemmering van de beworteling, waardoor de kwaliteit (bij bijv. winterwortelen) en/of de kwantiteit (door verminderde wateropname door de wortels) van het oogstbaar product kan afnemen.
- toxische werking, doordat, vooral door de opname van natrium, de ionenbalans in de plant wordt verstoord. Daarnaast kan door verdringing van kalium door natrium bij opname vanuit de wortelzone de osmotische potentiaal in het blad worden verhoogd, met verbrandingsverschijnselen tot gevolg (bladranden);
- verstoring van de opname van voedingsstoffen door concurrentie met niet-voedingsionen.

Met SWAP-WOFOST ligt de focus op de reductie van de wateropname door wortels als gevolg van een te hoog osmotisch potentiaal of als gevolg van belemmering van de beworteling. Er wordt geen rekening gehouden met de toxische werking, verstoring van de opname van voedingsstoffen en achteruitgang in kwaliteit van het geoogst product.

Zout in beregeningswater kan bij beregenen 'over het gewas' op de plant of op de bodem terecht komen en de volgende schades veroorzaken (Van Bakel et al., 2011):

- bladverbranding, waardoor de fotosynthese en assimilatie wordt geremd;
- verbranding en verkleuring van oogstbare producten waardoor de kwaliteit minder wordt;
- structuurschade op zavel- en kleigronden.

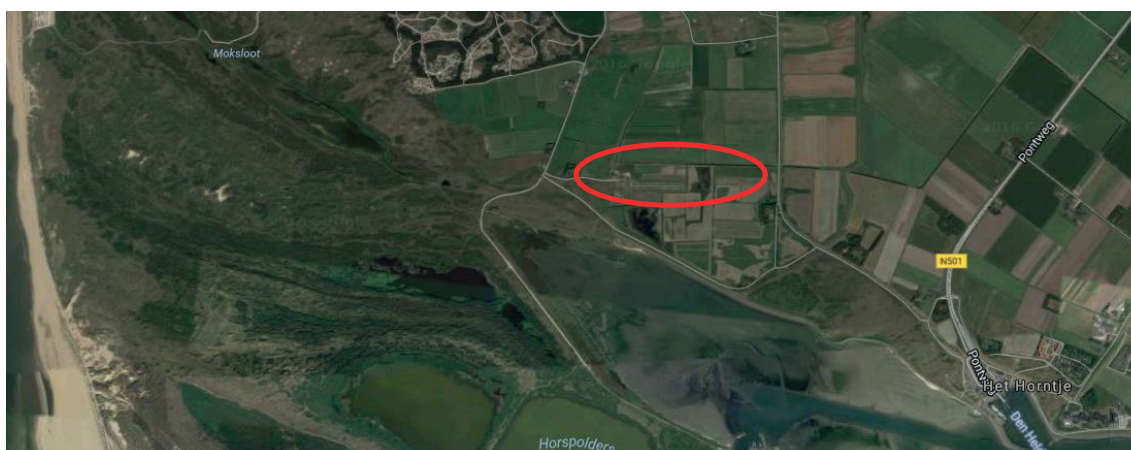
Het is echter onbekend in welke mate de bovengenoemde zoutschade doorwerken in de totale opbrengstderving. Overigens is ook bij de proefopstelling van het Zilt Proefbedrijf Texel geen sprake van zoutschade als gevolg van bladverbranding omdat met druppelirrigatie wordt beregend.

VAN BUITENLAB NAAR MODELOPZET

OPZET ZILT PROEFBEDRIJF TEXEL ('SALT FARM TEXEL')

Het buitenlaboratorium van het Zilt Proefbedrijf Texel is circa 1 hectare groot en ligt in het zuidelijk deel van Texel, zie figuur 1. Op het buitenlab, met een licht humeuze zandgrond, worden sinds 2012 experimenten uitgevoerd gericht op onderzoek naar zouttolerantie en verzilting. In totaal zijn er 56 vakken van (20 bij 8 meter) waarop verschillende aardappelvariëteiten aan verschillende zoutconcentraties in het irrigatiewater worden blootgesteld. Irrigatie vindt gedurende het groeiseizoen elke dag plaats door middel van druppelirrigatie waardoor de vochtvoorziening aan de plant nagenoeg als optimaal mag worden verondersteld. Middels een geautomatiseerd systeem zijn zeven verschillende zoutbehandelingen gerealiseerd (oplopend van 1,7, 4, 8, 12, 16, 20 en 35 dS m⁻¹). Een zoutbehandeling vindt plaats op acht verschillende vakken (8 replica's), waarbij de behandeling wordt gestart nadat de plant twee of drie bladeren heeft ontwikkeld. Doordat er elke dag geïrrigeerd wordt zal de verdunning van het zoutgehalte in de bodem als gevolg van neerslag minimaal zijn; zie tabel 1 waarin de hoeveelheid neerslag versus irrigatie gedurende het groeiseizoen is weergegeven. Elk vak is voorzien van een sensor die het bodemvochtpercentage en de bodemzoutgehalte meet.

FIGUUR 1 LOCATIE VAN HET ZILT PROEFBEDRIJF TEXEL



Voor elke zoutbehandeling is een aparte SWAP-WOFOST-simulatie gecreëerd. Uitgangspunt hierbij is dat de zoutconcentratie aan het begin van het groeiseizoen nagenoeg gelijk is in de verschillende vakken.

TABEL 1 NEERSLAG VERSUS IRRIGATIE GEDURENDE HET GROEISEIZOEN [MM]

Jaar	Neerslag	Irrigatie
2012	213	1354 – 1354
2013	153	1424 – 1508
2014	218	1050 – 1111
2015	214	765 – 851

VAN GELEIDBAARHEID NAAR CONCENTRATIE

Het Zilt Proefbedrijf Texel drukt het zoutgehalte gemeten in het irrigatiewater en het poriewater uit in geleidbaarheid. Omdat het SWAP-WOFOST model werkt met zoutconcentraties

zal er een conversie uitgevoerd moeten worden. Het Zilt Proefbedrijf Texel heeft hiervoor een vergelijking afgeleid voor het irrigatiewater:

$$\text{Conc} = 0.22106 \text{ EC}^{1.1244}$$

Waarbij:

Conc	: concentratie chloride	[g Cl l ⁻¹]
EC	: geleidbaarheid	[dS m ⁻¹]

Deze vergelijking is in dit onderzoek toegepast op zowel het beregeningswater als op het poriewater. Hierbij wordt uitgegaan dat de geleidbaarheid in de poriewater voornamelijk beïnvloed wordt door de irrigatiegiften met een bepaald zoutgehalte.

METEO

Lokaal beschikt het Zilt Proefbedrijf Texel over een eigen weerstation voor observaties van neerslag en verdamping. Vanwege ontbrekende variabelen (straling, luchtvochtigheid, temperatuur, etc) en waarden (met name in het winterseizoen) is er gekozen om de meteogegevens over te nemen van het KNMI-station 'De Kooy', omdat hiervoor volledige datasets beschikbaar zijn. De lokale meteogegevens zijn vergelijkbaar met die van 'De Kooy'.

BODEMSCHEMATISERING

Op basis van DINO-info (www.dinoloket.nl) is besloten om de modelschematisering te vereenvoudigen tot een toplaag van 10 meter. De toplaag bestaat uit 2 horizonten: van 0 tot 30 cm sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand en van 30 – 1000 cm grof zand. De bodemfysische karakteristieken zijn beschreven volgens de Staringreeks (Wösten et al., 2001). De bodemfysische karakteristieken voor de eerste horizont zijn bepaald met behulp van de continue vertaalfuncties. In tabel 2 zijn de instellingen voor de benodigde variabelen weergegeven. Deze instellingen zijn grotendeels ontleend aan een bodemonderzoek wat heeft plaatsgevonden in 2016 ter plaatse van het proefbedrijf.

TABEL 2

INSTELLING CONTINUE VERTAALFUNCTIES VOOR DE VOORSPELLING VAN DE BODEMFYSISCHE KARAKTERISTIEKEN

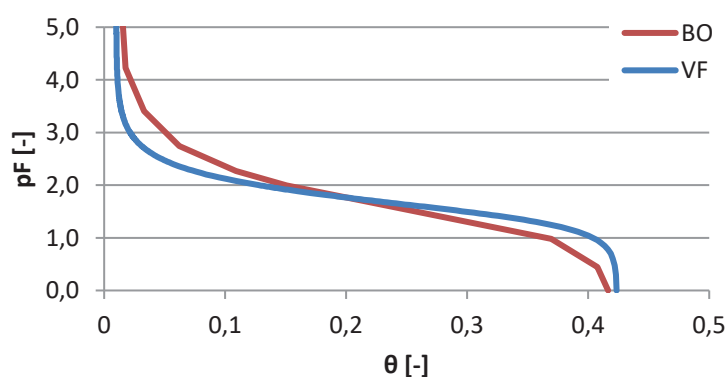
Variabele	Waarde	Eenheid
Residuaire vochtgehalte	0.01	[cm ³ cm ⁻³]
Humus	1.9	[%]
M ₅₀ *	300	[µm]
Leem	3	[%]

* geschat (Oever, 2014)

In figuur 2 zijn de waterretentiecurves weergegeven op basis van het bodemonderzoek en op basis van de continue vertaalfuncties.

FIGUUR 2

WATERRETENTIECURVES OP BASIS VAN HET BODEMONDERZOEK (BO) EN OP BASIS VAN DE CONTINUE VERTAALFUNCTIES WAARMEE HET MODEL IS GESIMULEERD (VF)



De bodemfysische karakteristieken voor de tweede horizont is gebaseerd op de bouwsteen grof zand (O5). De toplaag van 10 m is in 195 compartimenten opgedeeld, zie tabel 3.

TABEL 3

SCHEMATISERING BODEMCOMPARTIMENTEN

Range [m-mv]	Dikte [m]
0.00 – 1.00	0.01
1.00 – 1.50	0.05
1.50 – 10.00	0.10

ONDERRAND

De drukhoogte in het onderliggende watervoerend pakket wordt middels een sinuscurve opgelegd met een gemiddelde drukhoogte van 1.2 m-mv en een amplitude van 20 cm. De aqu itard heeft een weerstand van 50 d. De zoutconcentratie van het kwelwater wordt gelijk gesteld aan zeewater en heeft een concentratie van bijna $16 \text{ g Cl}^{-1} \text{ l}^{-1}$ (44 dS m^{-1}).

DRAINAGE

Er zijn twee drainagesystemen actief. Ten eerste drainagebuizen op een diepte van 0.60 m-mv, een drainageafstand van 5 m en een weerstand van 10 dagen. Ten tweede een sloot met een bodemdiepte van 1.20 m-mv, een waterstand van 0.35 m, een drainageafstand van 50 m, een drainageweerstand van 50 d en een infiltratieweerstand van 150 d. De zoutconcentratie in de sloot wordt als constant veronderstelt met een concentratie van $1 \text{ g Cl}^{-1} \text{ l}^{-1}$ (4 dS m^{-1}).

GEWAS

De parametrisering van het aardappelgewas is gebaseerd op een standaard aardappelgewas (*Solanum Tuberosum* L.), en is afgestemd voor de regio's Duitsland, Frankrijk, Luxemburg, Verenigd Koninkrijk, Ierland en Denemarken met een pootdatum van 15 april (25 april voor Verenigd Koninkrijk). In tabel 4 zijn de zaai- en oogstdatum voor de verschillende jaren weer- gegeven zoals gehanteerd op het Zilt Proefbedrijf Texel.

TABEL 4

GEHANTEERDE POOT- EN OOGSTDATUM OP HET ZILT PROEFBEDRIJF TEXEL

Jaar	Startdatum	Einddatum	Groeidagen
2012	17 april	19 juli	94
2013	1 mei	29 augustus	121
2014	29 april	12 augustus	106
2015	7 mei	18 augustus	104

Observaties van aardappeloogsten zijn gegeven in versgewicht per hectare. In overleg met het Zilt Proefbedrijf Texel wordt voor de omrekening naar droge stof per hectare 21% van het versgewicht aangehouden.

BEREKENING ZOUTSCHADE

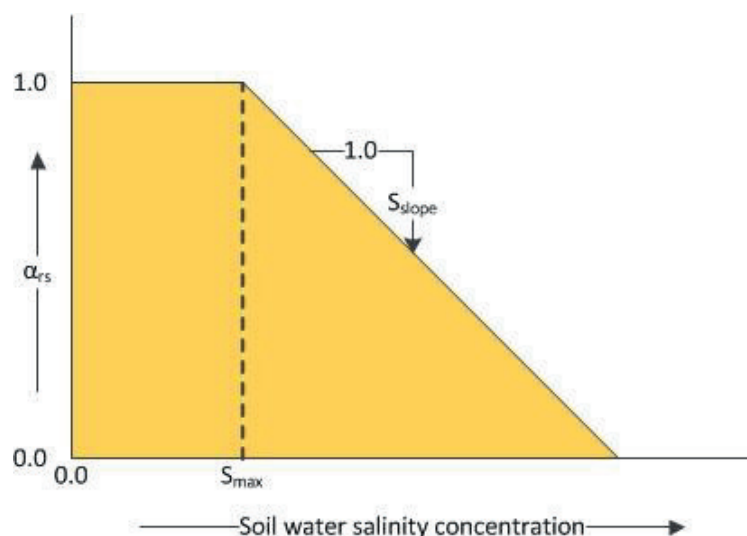
Zoutstress reduceert de wateropname en is gerelateerd aan de zoutconcentratie in het bodemvocht van de wortelzone. Voor deze modelexercitie is gekozen om de zoutschade te berekenen met een lineaire reductiefunctie (Maas et al., 1977). Wanneer de zoutconcentratie een bepaalde drempelwaarde overschrijdt zal het vermogen tot wateropname reduceren bij een toenemende zoutconcentratie (figuur 3):

$$\alpha_{rs} = 1.0 - (c - S_{\max}) S_{\text{slope}}$$

Waarbij:

α_{rs}	: Vermogen tot wateropname door wortel	[]
c	: Concentratie chloride in de wortelzone	[g Cl l ⁻¹]
$S_{\max}$	: Drempelwaarde	[g Cl l ⁻¹]
S_{slope}	: Helling/gevoeligheid zoutschade na overschrijding van de drempelwaarde	[l g ⁻¹ Cl]

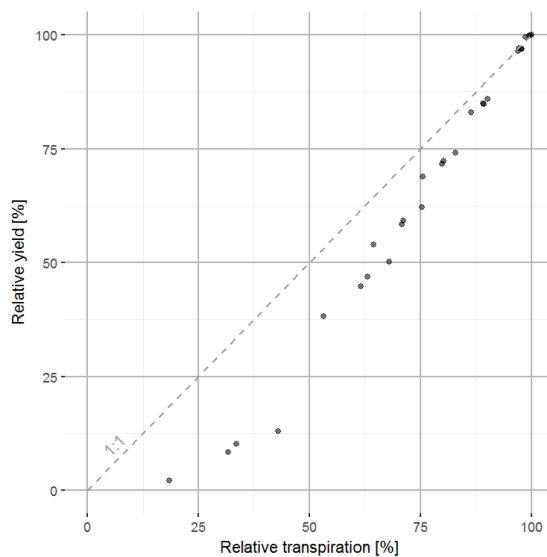
FIGUUR 3 REDUCTIE WATEROPNAME ALS GEVOLG VAN EEN TE HOGE ZOUTCONCENTRATIE (MAAS ET AL., 1977)



Op basis van resultaten van het Zilt proefbedrijf Texel is de drempelwaarde voor de aardappelvariëteit Miss Mignonne ingesteld op 1.080 g Cl l⁻¹ (4.1 dS m⁻¹ met een 95% betrouwbaarheidsinterval tussen 2.9 en 5.2 dS m⁻¹). Voor aardappelvariëteit Achilles is de drempelwaarde ingesteld op 0.732 g Cl l⁻¹ (2.9 dS m⁻¹ met een 95% betrouwbaarheidsinterval tussen 1.5 en 4.4 dS m⁻¹). De door het Zilt proefbedrijf Texel vermelde hellingen (0.066 m dS⁻¹ voor Miss Mignonne en 0.055 m dS⁻¹ voor Achilles) kunnen niet één op één worden overgenomen in het SWAP-WOFOST model. Deze hellingen zijn gebaseerd op de relatie zoutconcentratie versus reductie in gewasopbrengst terwijl SWAP-WOFOST werkt met de relatie zoutconcentratie versus transpiratiereductie. In het gedetailleerde gewasgroeimodel WOFOST is er geen sprake van een één op één relatie tussen transpiratiereductie en reductie in gewasopbrengst (zie figuur 4), dit wordt onder andere veroorzaakt doordat alleen naar het oogstbare product wordt gekeken welke later in het groeiseizoen tot ontwikkeling komt. Om de zoutgevoeligheid na de drempelwaarde te kunnen bepalen zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor Miss Mignonne en Achilles.

FIGUUR 4

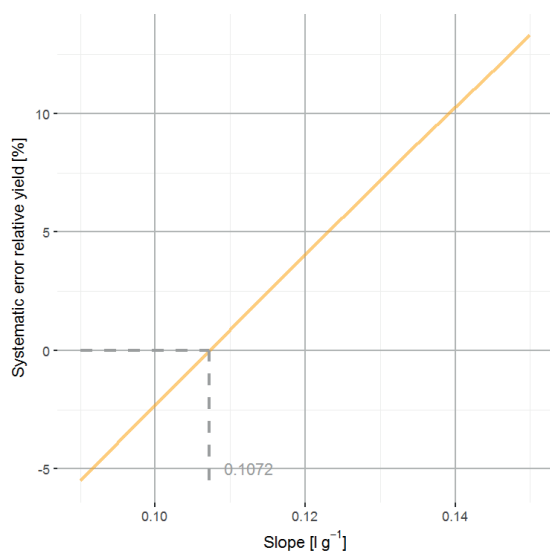
RELATIEVE TRANSPIRATIE VERSUS RELATIEVE GEWASOPBRENGST BEREKEND MET SWAP-WOFOST TEN OPZICHTE VAN DE 1:1 LIJN



Bij het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse wordt alleen de helling aangepast, de drempelwaarde wordt gelijk gehouden. Doordat de absolute gesimuleerde gewasopbrengst kan afwijken van de geobserveerde gewasopbrengst wordt er bij de gevoeligheidsanalyse gewerkt met relatieve gewasopbrengsten. Hiermee is de gemiddelde geobserveerde gewasopbrengst en de gesimuleerde gewasopbrengst van de zoutbehandeling met 1.7 dS m^{-1} allebei gelijk aan 100%, zie figuur A1 in bijlage A. Er wordt gestreefd naar een minimale systematische afwijking tussen de relatieve gewasopbrengsten voor de zoutbehandelingen van 8, 12, 16 en 20 dS m^{-1} . Resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn weergegeven in figuur 5a en 5b voor respectievelijk Miss Mignonne en Achilles. De helling voor Miss Mignonne bij een drempelwaarde van $1.080 \text{ g Cl l}^{-1}$ is ingesteld op $0.1072 \text{ l g}^{-1} \text{ Cl}$, voor Achilles is de helling ingesteld op $0.0686 \text{ l g}^{-1} \text{ Cl}$ bij een drempelwaarde van $0.732 \text{ g Cl l}^{-1}$, zie figuur A2 in bijlage A. Deze vastgestelde hellingen vallen lager uit dan de vastgestelde hellingen van het Zilt Proefbedrijf Texel (omgerekend naar $\text{l g}^{-1} \text{ Cl}$ komen de hellingen van het Zilt Proefbedrijf Texel uit op 0.197 en 0.164 voor respectievelijk Miss Mignonne en Achilles). Op basis Van figuur 4 ligt dit in lijn der verwachting.

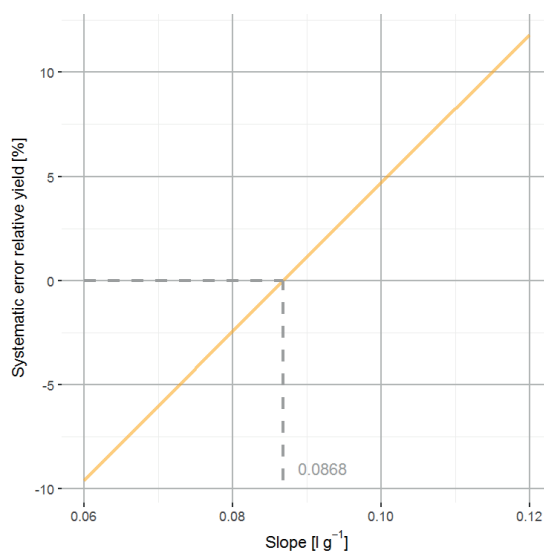
FIGUUR 5A

ZOUTGEVOELIGHEID NA DE DREMPELWAARDE VERSUS DE SYSTEMATISCHE
AFWIJKING IN RELATIEVE GEWASOPBRENGSTEN VOOR MISS MIGNONNE



FIGUUR 5B

ZOUTGEVOELIGHEID NA DE DREMPELWAARDE VERSUS DE SYSTEMATISCHE
AFWIJKING IN RELATIEVE GEWASOPBRENGSTEN VOOR ACHILLES

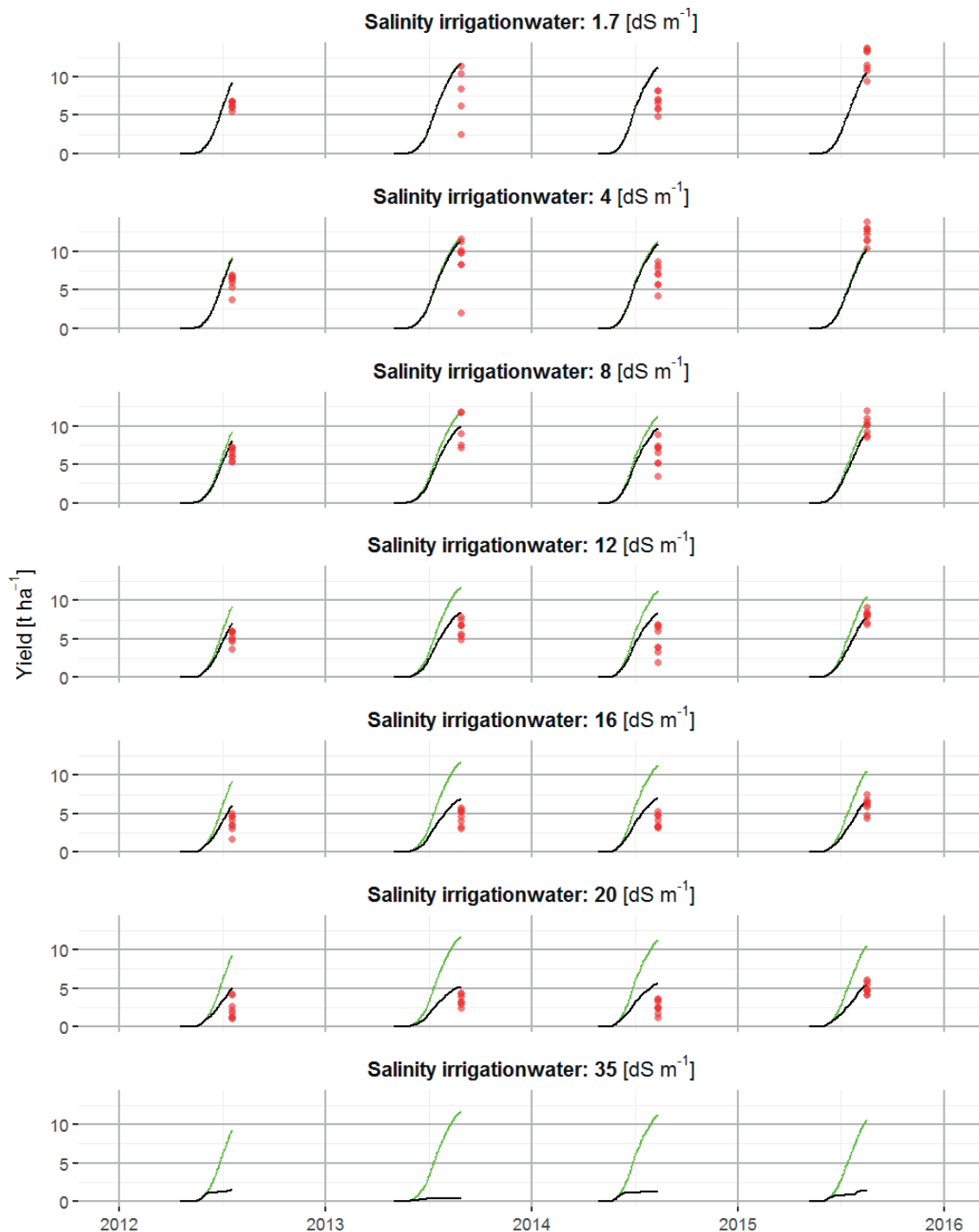


MODELRESULTATEN MISS MIGNONNE

GESIMULEERDE GEWASOPBRENGSTEN

In figuur 6 zijn de berekende potentiële en actuele gewasontwikkeling voor de periode vanaf 2012 tot en met 2015 uitgezet tegenover de geobserveerde gewasopbrengsten. Voor de behandeling met een zoutconcentratie van 35 dS m^{-1} zijn geen observaties beschikbaar.

FIGUUR 6 GEWASONTWIKKELING IN t ha^{-1} BIJ VERSCHILLENDE ZOUTBEHANDELINGEN VOOR DE PERIODE 2012 - 2015, MET IN HET GROEN DE POTENTIELE GEWASONTWIKKELING, IN HET ZWART DE ACTUELE GEWASONTWIKKELING EN IN HET ROOD DE GEOBSERVEERDE GEWASOPBRENGST



In de figuur is duidelijk te zien dat de gewasschade toeneemt in zowel de observaties als de simulaties vanaf een zoutconcentratie van 8 dS m^{-1} en hoger (de potentiële gesimuleerde gewasopbrengst is voor elke zoutbehandeling gelijk, zie groene lijn). Er is een behoorlijke spreiding in de observaties te zien, hetgeen veroorzaakt kan worden door bijvoorbeeld kwaliteit poot-aardappel, nutriëntenvoorziening, ziekte, etc. Wat opvalt is dat de gemeten gewasopbrengsten met een zoutbehandeling van 4 dS m^{-1} gemiddeld een hogere opbrengst hebben dan de gewasopbrengsten met een zoutbehandeling van 1.7 dS m^{-1} . In hoeverre dit de vastgestelde drempelwaarde en de zoutgevoeligheid na de drempelwaarde beïnvloed na normalisatie op basis van de zoutbehandeling van 1.7 dS m^{-1} is niet duidelijk (zie ook figuur A1 en A2 in bijlage A). Het jaar 2015 laat duidelijk een mindere spreiding zien in de gemeten gewasopbrengsten.

Om te beoordelen of de gesimuleerde gewasschade alleen wordt beïnvloed door een te hoge zoutconcentratie, moet de gesimuleerde zoutconcentratie in het poriewater en de gesimuleerde vochtgehalte nader worden bekeken.

GESIMULEERDE ZOUTCONCENTRATIES IN HET PORIEWATER

In bijlage B zijn de gesimuleerde en de geobserveerde zoutconcentraties in het poriewater weergegeven op twee verschillende diepten in de wortelzone, van $0.0 - 0.1 \text{ m-mv}$ en $0.2 - 0.3 \text{ m-mv}$, en net onder de wortelzone op een diepte van $0.5 - 0.6 \text{ m-mv}$. De figuren (B1, B2 en B3) laten zien dat de zoutconcentratie het niveau van de observaties goed nabootsen, maar ook dat de zoutconcentratie in de bodem op het opeenvolgende jaar weer voldoende is hersteld. Daarmee lijkt de aanname te kloppen om uit te gaan van zeven verschillende simulaties (in plaats van 56 simulaties voor elk vak).

In tabel 5 zijn de modefficiëntie voor de verschillende zoutbehandelingen op verschillende diepten gegeven. Hierbij geeft een modefficiëntie met een waarde van 1 aan dat het model de metingen perfect simuleert. Een modefficiëntie met een waarde van 0 of lager geeft aan dat het gemiddelde van de observaties een betere schatter is dan het model. Over het algemeen kan worden geconcludeerd dat de gesimuleerde zoutconcentratie de observaties goed volgt. Wat opvalt is dat de modefficiëntie voor de zoutbehandeling van 1.7 dS m^{-1} significant lager uitvalt dan de overige behandelingen. In de figuren B1, B2 en B3 is ook te zien dat voor deze zoutbehandeling de observaties een grote spreiding laten zien in zoutconcentratie voor de jaren 2012 tot en met 2014. Deze spreiding kan veroorzaakt zijn doordat een klein deel van het irrigatiewater voor de zoutbehandeling van 35 dS m^{-1} per ongeluk is terecht gekomen in de vakken met een zoutbehandeling van 1.7 dS m^{-1} . Mogelijk is dit ook één van de oorzaken van de spreiding in gewasopbrengsten (zie figuur 6). Ook is een deel van de spreiding in de observaties te wijten aan het te vroeg bemonsteren van de bodem na een irrigatiegift. Hierdoor wordt een gedeelte van het zout in het irrigatiewater meegenomen in het bodemonmonster. In 2015 zijn deze problemen verholpen wat terug is te zien aan de geringe spreiding in observaties voor dat jaar.

TABEL 5

MODEEFFICIËNTIE VOOR BEREKENING VAN ZOUTCONCENTRATIES IN HET PORIEWATER OP VERSCHILLENDE DIEPTEN [-]

Zoutbehandeling	Diepte [m-mv]		
	- 0.1	0.2 – 0.3	0.5 – 0.6
1.7 dS m^{-1}	-1.39	-2.01	-2.08
4 dS m^{-1}	-0.07	-0.20	-0.36
8 dS m^{-1}	0.41	0.58	0.33
12 dS m^{-1}	0.56	0.63	0.45
16 dS m^{-1}	0.58	0.67	0.48
20 dS m^{-1}	0.66	0.72	0.19
35 dS m^{-1}	0.64	0.84	0.50

GESIMULEERDE VOCHTGEHALTEN

In bijlage C is de gesimuleerde en de geobserveerde vochtgehalte op een diepte van 0.0 – 0.3 m-mv weergegeven. De geobserveerde vochtgehalten per zoutbehandeling en per jaar komen uit verschillende vakken (de zoutbehandeling voor een vak varieert elk jaar). Figuur C1 laat zien dat er een behoorlijke spreiding is in de geobserveerde vochtgehalten, maar ook dat de gesimuleerde vochtgehalte significant hoger ligt dan de observaties. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de gehanteerde bodemschematisering. Figuur 2 laat zien de waterretentiecurve op basis van de vertaalfuncties afwijkt van de afgeleide waterretentiecurve op basis van het bodemonderzoek. Een andere oorzaak is de simplificatie van de irrigatiegift in het model. De irrigatiegift in het model wordt uitgesmeerd over de gehele dag, terwijl in werkelijkheid de irrigatiegift in een korte periode plaatsvindt. De geobserveerde vochtgehalte wordt een bepaalde tijd na een irrigatiegift bepaald.

Om te analyseren hoeveel effect dit heeft op de gesimuleerde gewasopbrengsten kan gekeken worden naar de gesimuleerde transpiratiereductie als gevolg van te zoute en te natte omstandigheden, zie bijlage D. In figuur D1 is de transpiratiereductie als gevolg van te zoute omstandigheden weergegeven. Zoals verwacht neemt de transpiratiereductie toe bij een toenemende zoutconcentratie in het irrigatiewater vanaf 4 dS m⁻¹. In figuur D2 is de transpiratiereductie als gevolg van te natte omstandigheden weergegeven. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er weliswaar natschade optreedt, maar dat dit gezien de verhouding tot de opgetreden zoutschade een gering effect zal hebben op de gesimuleerde gewasopbrengst (zie tabel 6 waarin de gemiddelde transpiratiereductie is weergegeven).

TABEL 6

GEMIDDELTE TRANSPIRATIEREDUCTIE ALS GEVOLG VAN TE ZOUTE EN TE NATTE OMSTANDIGHEDEN VOOR DE PERIODE 2012 – 2015 [MM JR⁻¹]

Zoutbehandeling	Gem. transpiratiereductie [mm jr ⁻¹]	
	Zout	Nat
1.7 dS m ⁻¹	0.0	0.9
4 dS m ⁻¹	0.3	0.9
8 dS m ⁻¹	20.0	0.9
12 dS m ⁻¹	41.9	1.1
16 dS m ⁻¹	63.7	1.1
20 dS m ⁻¹	83.6	1.1
35 dS m ⁻¹	131.6	1.2

Omdat alle vakken vergelijkbare irrigatiegiftten ontvangen ligt het eerder in lijn der verwachting dat de verschillende zoutbehandelingen vergelijkbare transpiratiereducties als gevolg van te natte omstandigheden moeten laten zien. Mogelijke verklaring voor de toenemende natschade bij hogere zoutconcentraties is de negatieve terugkoppeling als gevolg van zoutstress. Doordat de plant zoutstress ondervindt zal de transpiratie reduceren, met als gevolg dat de wortelzone natter wordt, de simulatie van de gemiddelde zoutconcentratie en transpiratie versus het vochtgehalte in de wortelzone (0.0 – 0.5 m-mv) lijkt dit te bevestigen (zie tabel 7).

TABEL 7

GEMIDDELDE ZOUTCONCENTRATIE [$\text{g Cl}^- \text{L}^{-1}$], TRANSPIRATIE [mm] EN VOCHTGEHALTE [-] GEDURENDE HET GROEISEIZOEN OVER DE PERIODE 2012 – 2015

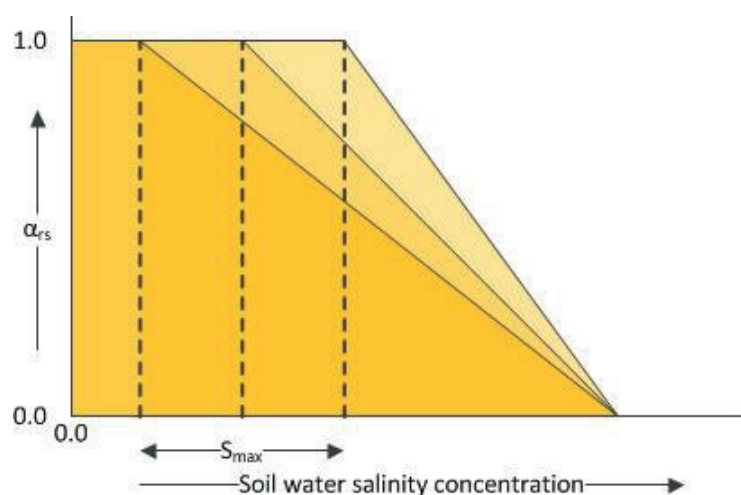
Zoutbehandeling	Zoutconcentratie [$\text{g Cl}^- \text{L}^{-1}$]	Transpiratie [mm]	Vochtgehalte [-]
1.7 dS m^{-1}	0.37	214.0	0.255
4 dS m^{-1}	0.77	213.7	0.253
8 dS m^{-1}	1.50	193.8	0.255
12 dS m^{-1}	2.27	171.1	0.256
16 dS m^{-1}	3.04	147.8	0.257
20 dS m^{-1}	3.78	124.0	0.257
35 dS m^{-1}	6.65	56.5	0.259

VARIATIE IN SCHADEDREMPEL

Om de impact van de onzekerheid in de drempelwaarde op de gewasopbrengst te analyseren, zijn er twee extra simulaties uitgevoerd met een drempelwaarde van $0.732 \text{ g Cl}^- \text{L}^{-1}$ (2.9 dS m^{-1}) en $1.411 \text{ g Cl}^- \text{L}^{-1}$ (5.2 dS m^{-1}) op basis van het 95% betrouwbaarheidsinterval. Een bijbehorende helling is opnieuw met een gevoeligheidsanalyse vastgesteld (respectievelijk op 0.0958 m dS $^{-1}$ en 0.1208 m dS $^{-1}$). De zoutgevoeligheid na de drempelwaarde neemt toe naarmate de drempelwaarde hoger is (zie figuur 7 ter illustratie).

FIGUUR 7

UITWERKING 95% BETROUWBAARHEIDINTERVAL SCHADEDREMPEL MET BIJBEHORENDE GEVOELIGHEID.



In tabel 8 is de variatie van de gesimuleerde derving weergegeven als gevolg van de onzekerheid in de drempelwaarde. Voor de zoutbehandelingen van 1.7, 4 en 35 dS m^{-1} is er bijna geen variatie te hetgeen ook te verwachten is. Bij een zoutconcentratie onder de drempelwaarde is er geen sprake van transpiratiereductie en bij een zoutconcentratie hoger is dan ca. $10 \text{ g Cl}^- \text{L}^{-1}$ (30 dS m^{-1}) is de transpiratiereductie maximaal. De variatie in de gesimuleerde derving kan oplopen tot circa 6%.

TABEL 8

VARIATIE IN GESIMULEERDE DERIVING ALS GEVOLG VAN ONZEKERHEID IN DE DREMPELWAARDE [%]

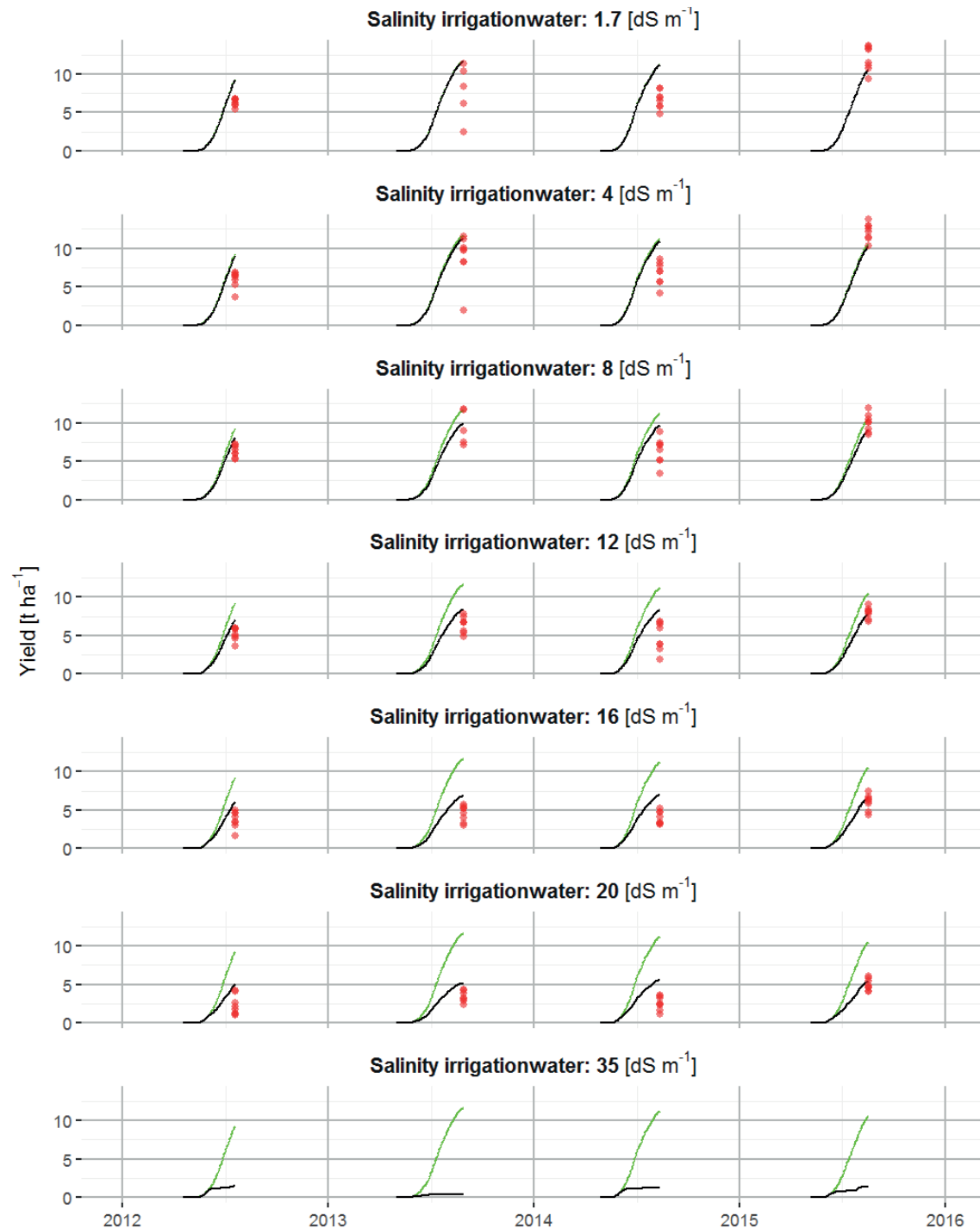
Zoutbehandeling	2012			2013			2014			2015		
1.7 dS m^{-1}	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00
4 dS m^{-1}	0.00	-	2.36	0.00	-	3.50	0.00	-	2.88	0.00	-	3.06
8 dS m^{-1}	8.66	-	13.63	11.95	-	16.86	10.07	-	15.02	10.36	-	15.14
12 dS m^{-1}	23.47	-	25.43	29.70	-	31.04	26.42	-	28.18	25.96	-	27.74
16 dS m^{-1}	37.45	-	38.56	45.88	-	48.29	41.45	-	43.04	40.80	-	42.25
20 dS m^{-1}	49.54	-	53.71	61.73	-	68.09	55.10	-	60.08	53.05	-	57.50
35 dS m^{-1}	86.97	-	88.45	97.91	-	98.40	91.60	-	92.58	89.87	-	91.75

MODELRESULTATEN ACHILLES

GESIMULEERDE GEWASOPBRENGSTEN

In figuur 8 zijn de berekende potentiële en actuele gewasontwikkeling voor de periode vanaf 2012 tot en met 2015 uitgezet tegenover de geobserveerde gewasopbrengsten voor Achilles.

FIGUUR 8 GEWASONTWIKKELING IN t ha^{-1} BIJ VERSCHILLENDE ZOUTBEHANDELINGEN VOOR DE PERIODE 2012 - 2015, MET IN HET GROEN DE POTENTIELE GEWASONTWIKKELING, IN HET ZWART DE ACTUELE GEWASONTWIKKELING EN IN HET ROOD DE GEOBSERVEERDE GEWASOPBRENGST



Net als bij de geobserveerde gewasopbrengsten van Miss Mignonne is ook hier een behoorlijke spreiding in de observaties te zien. Wat opvalt in vergelijking met de gewasopbrengsten van Miss Mignonne is dat het jaar 2015 voor Miss Mignonne een relatief slecht jaar was (zie figuur 6), terwijl 2015 voor Achilles juist een relatief goed jaar was.

De gesimuleerde zoutconcentraties en vochtgehalten zijn vergelijkbaar met Miss Mignonne. Ook hier kan geconcludeerd worden dat de opgetreden schade voornamelijk door te zoute omstandigheden wordt beïnvloed.

VARIATIE IN SCHADEDREMPEL

Het 95% betrouwbaarheidsinterval van de drempelwaarde ligt tussen 0.257 g Cl⁻ l⁻¹ (1.5 dS m⁻¹) en 1.052 g Cl⁻ l⁻¹ (4.4 dS m⁻¹). Met een gevoeligheidsanalyse is de bijbehorende helling vastgesteld op respectievelijk 0.0777 l g⁻¹ Cl⁻ en 0.0962 l g⁻¹ Cl⁻. In tabel 9 is de variatie van de gesimuleerde derving weergegeven als gevolg van de onzekerheid in de drempelwaarde. De variatie in de gesimuleerde derving kan oplopen tot bijna 7%.

TABEL 9 VARIATIE IN GESIMULEERDE DERIVING ALS GEVOLG VAN ONZEKERHEID IN DE DREMPELWAARDE [%]

Zoutbehandeling	2012				2013				2014			
1.7 dS m ⁻¹	0.00	-	1.04	0.00	-	1.26	0.00	-	1.78	0.00	-	0.68
4 dS m ⁻¹	0.10	-	5.86	0.41	-	7.00	0.27	-	6.37	0.41	-	6.40
8 dS m ⁻¹	10.47	-	15.04	13.44	-	17.87	11.68	-	16.23	11.89	-	16.34
12 dS m ⁻¹	22.34	-	24.64	27.66	-	29.43	24.84	-	26.94	24.54	-	26.62
16 dS m ⁻¹	34.01	-	34.44	41.49	-	42.46	37.48	-	38.09	37.10	-	37.67
20 dS m ⁻¹	44.30	-	46.60	54.32	-	58.18	48.79	-	51.73	47.37	-	50.00
35 dS m ⁻¹	80.41	-	86.00	94.98	-	97.58	86.48	-	90.14	83.49	-	88.91

VAN MODELRESULTATEN NAAR METARELATIES

Voor de aardappelvariëteiten Miss Mignonne en Achilles zijn door het Zilt Proefbedrijf Texel de drempelwaarden en bijbehorende zoutgevoeligheden vastgesteld. Het betreffen aardappelvariëteiten die relatief zout tolerant zijn. Voor meer gangbare aardappelgewassen en overige landbouwgewassen zal daarom ten behoeve van Waterwijzer Landbouw in eerste instantie literatuur geraadpleegd worden. Door Stuyt et al. (2016) is voor een groot aantal gewassen de kennis over schadedrempels geïnventariseerd en geïnterpreteerd, een selectie hiervan is weer gegeven in tabel 10. Hierbij dient opmerkt te worden dat Stuyt et al. (2016) aangeven dat de spreiding in schadedrempels per gewas en tussen de gewassen aanzienlijk is. Tevens geven zij aan dat ten behoeve van een nauwkeurige kwantificering van zoutschade aanbevolen wordt om de mate van zouttolerantie voor verschillende landbouwgewassen en rassen onder gecontroleerde omstandigheden vast te stellen.

TABEL 10 DREMPEL- EN HELLINGWAARDEN VOOR VERSCHILLENDE GEWASSEN¹

Gewas	Drempel [g Cl ⁻ l ⁻¹]	Helling [l g ⁻¹ Cl ⁻]
Grasland	2.055	0.1
Snijmais	0.498	0.4
Tarwe, gerst	2.626	0.1
Aardappel	0.838	0.3
Suikerbiet	1.478	0.2
Ui	0.867	0.6
Aardbeien	0.300	0.8
Spruitkool	1.093	0.3
Prei	0.894	0.3
Sla	0.848	0.4
Tulpen	0.475	0.8

¹ Hellingwaarden zijn gerelateerd aan opbrengstreductie

Voor het afleiden van metarelaties om zoutschade te kunnen kwantificeren kunnen de in tabel 10 genoemde drempelwaarden voor gangbare landbouwgewassen worden overgenomen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het gaat om drempelwaarden in het beregeningswater en niet in het bodemwater in de wortelzone waarmee SWAP-WOFOST rekent. Voor de mate van zoutgevoeligheid na de drempelwaarde is nog wel een vertaling nodig omdat de waarden zijn gebaseerd op relatie zoutconcentratie versus reductie in gewasopbrengst, terwijl SWAP-WOFOST werkt met de relatie zoutconcentratie versus transpiratiereductie. Middels een gevoeligheidsanalyses kan deze vertaalslag worden gemaakt. De helling gebaseerd op de relatie zoutconcentratie versus reductie in gewasopbrengst kan hierbij desnoods als zogenaamde observatie worden beschouwd.

Belangrijk voor het bepalen van een langjarig gemiddelde opbrengstderving als gevolg van zoutschade is naast het zoutgehalte in de wortelzone ook de duur van de blootstelling belangrijk om in acht te nemen. Het goed simuleren van het zoutgehalte gedurende het groeiseizoen is daarom van essentieel belang. Zout kan op drie manieren de bodemkolom binnendringen:

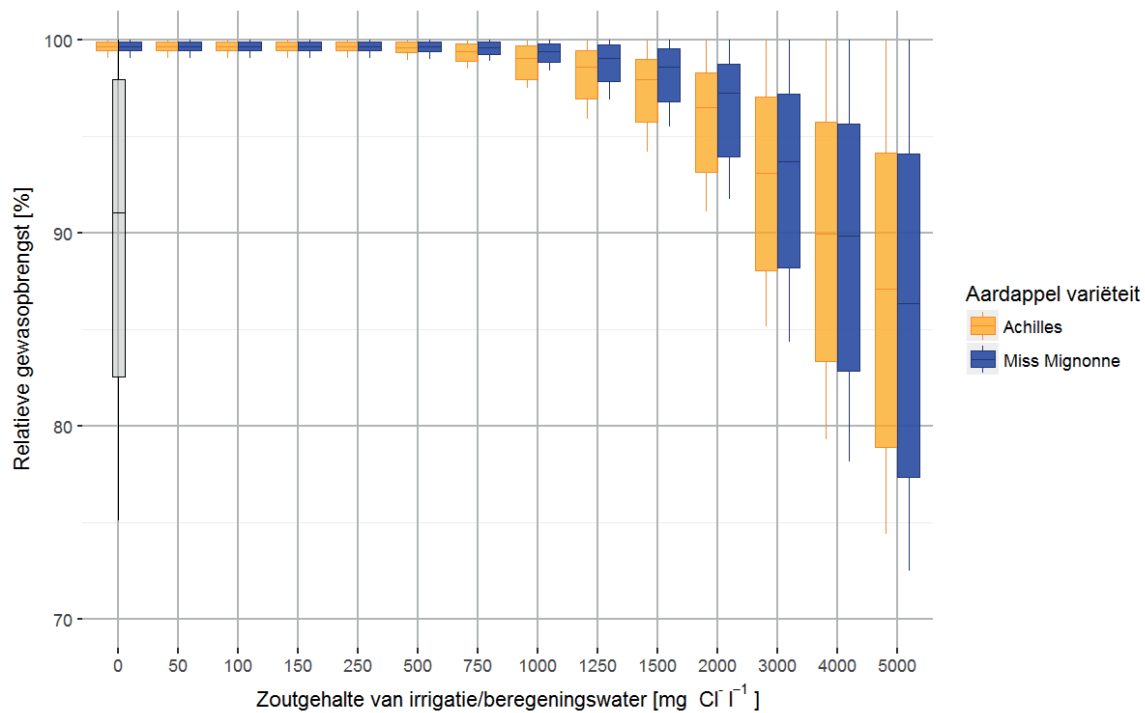
- Berekening/irrigatie
- Infiltratie via sloten/drains
- Kwel

Transport van zout in bodemkolom kan resulteren in zoutaanvoer naar de wortelzone. In principe kan in SWAP-WOFOST al deze processen in beschouwing worden genomen. Echter, de inrichting van modelsimulaties ten behoeve van de metarelaties in Waterwijzer Landbouw op nationale schaal zijn nog niet geschikt om de deelprocessen van infiltratie en kwel van zout op te nemen in het afleiden van metarelaties voor zoutschade.

Bij het afleiden van metarelaties voor droogte- en natschade wordt in SWAP-WOFOST gebruik gemaakt van een zogenaamde $q_b(h)$ -relatie als onderrandvoorwaarde (Knotters et al., 2017). Om metarelaties af te leiden voor zoutschade zal aan de kwelflux over de onder-rand een zoutconcentratie toegekend moeten worden. Voor infiltratie vanuit sloten en drains is ook een aanpassing van de randvoorwaarden nodig. Dergelijke aanpassing van de randvoorwaarde is in de deelstudie onderwaterdrains in Waterwijzer Landbouw (Knotters et al., 2017) reeds toegepast, echter zonder gebruik te maken van zout. Naast het opleggen van zoutconcentraties aan de (onder)randvoorwaarde is het ook belangrijk om een goede inschatting te maken van de initiële zoutconcentraties in de bodemkolom. Bij berekening is de initiële conditie in mindere mate van belang omdat het daar een zoutaanvoer direct op de wortelzone betreft.

Voor de bron berekening is het, met de huidige schematisering voor het afleiden van metarelaties in Waterwijzer Landbouw, wel mogelijk om metarelaties op te stellen voor zoutschade. Vanaf een bepaalde drukhoogte (droogtestress) kan worden gestart met berekening. Voor deze berekening wordt dan een vaste zoutconcentratie verondersteld gedurende de simulatie periode. In figuur 9 is een voorbeeld uitgewerkt voor de periode 1985 tot en met 2010 waarbij een boxplot de spreiding gedurende 30 jaar in relatieve gewasopbrengst weergeeft. De berekening wordt gestart bij een pF-waarde van 2.5. In de figuur is te zien dat de gewaserving toeneemt vanaf een zoutconcentratie van $750 \text{ mg Cl}^- \text{ l}^{-1}$ in het beregeningswater. In de figuur is tevens de droogteschade toegevoegd indien er geen sprake is van beregening.

FIGUUR 9 **RELATIEVE GEWASOPBRENGST BIJ TOENEMENDE ZOUTGEHALTE VAN HET IRRIGATIE/BEREGENINGSWATER, MET IN HET ORANJE EN BLAUW RESPECTIEVELIJK DE AARDAPPELVARIËTEITEN ACHILLES EN MISS MIGNONNE EN IN HET GRIJS DE RELATIEVE GEWASOPBRENGST INDIEN ER GEEN SPRAKE IS VAN BEREGENING**



CONCLUSIES

Simulatie van opbrengstderving als gevolg van zoutschade heeft in SWAP-WOFOST, betreft de zouttolerantie van het gewas, een tweetal parameters: de drempelwaarde waarboven het gewas schade ondervindt als gevolg van te zoute omstandigheden en de zoutgevoeligheid na de drempelwaarde. De gehanteerde proefopstelling van het Zilt Proefbedrijf Texel laat zien dat er een inschatting kan worden gemaakt van zowel de drempelwaarde als de zoutgevoeligheid na de drempelwaarde. De zoutgevoeligheid na de drempelwaarde heeft nog wel een vertaling naar zoutgevoeligheid zoals gehanteerd in SWAP-WOFOST.

Gedurende de eerste jaren van de proefopstelling is er een behoorlijke spreiding te zien in de gemeten gewasopbrengsten en gemeten zoutgehalten bij zoutbehandeling met 1.7 dS m^{-1} . In 2015 is deze spreiding duidelijk afgenomen. Het blijft echter de vraag in hoeverre de spreiding in voorgaande jaren effect hebben gehad op vastgestelde drempelwaarde en bijbehorende zoutgevoeligheid na de drempelwaarde. Het is daarom aan te bevelen om de gehanteerde proefopstelling voor een langere periode te handhaven.

Dit onderzoek laat zien dat het model SWAP-WOFOST goed in staat is om de gemeten zoutconcentraties te simuleren. Ook het gesimuleerde effect van te zoute omstandigheden op de gewasopbrengst komt met de observaties overeen. Daarom zal deze methodiek in het kader van Waterwijzer Landbouw ingezet worden voor het afleiden van metarelaties voor het bepalen opbrengstdervingen als gevolg van te zoute omstandigheden. Aan de hand van deze metarelaties kunnen langjarig gemiddelde opbrengstdervingen als wel opbrengstdervingen voor afzonderlijke jaren worden bepaald.

Met de huidige inrichting van modelsimulaties ten behoeve van de metarelaties in Waterwijzer Landbouw is het mogelijk om zoutschade als gevolg van berekening te simuleren. Voor simulatie van de deelprocessen infiltratie en kwel dient bij de inrichting van de modelsimulaties gebruik te worden gemaakt van andere (onder)randvoorwaarden.

De aardappelvariëteiten Miss Mignonne en Achilles zijn beide relatief zout tolerante aardappelgewassen. De vastgestelde drempelwaarden en bijbehorende zoutgevoeligheden gelden daarmee voor minder gangbare aardappelgewassen. Voor meer gangbare aardappelgewassen en overige landbouwgewassen zal daarom ten behoeve van Waterwijzer Landbouw in eerste instantie literatuur geraadpleegd worden. Door Stuyt et al. (2016) is voor een groot aantal gewassen de kennis over shadedrempels geïnventariseerd en geïnterpreteerd. Deze geïnventariseerde waarden voor zouttolerantie zullen in het kader van Waterwijzer Landbouw worden gebruikt voor het afleiden van metarelaties voor de meest voorkomende akkerbouwgewassen, groenten en bloembollen. Bij de inventarisatie van Stuyt is een aanzienlijke spreiding in de shadedrempels per gewas en tussen de gewassen geconstateerd. Ten behoeve van een nauwkeurige kwantificering van zoutschade wordt door Stuyt et al. (2016) aanbevolen om de mate van zouttolerantie voor verschillende landbouwgewassen en rassen onder gecontroleerde omstandigheden vast te stellen zoals bijvoorbeeld gedaan wordt bij het Zilt Proefbedrijf Texel.

Zodra de metarelaties voor opbrengstdervingen als gevolg van te zoute omstandigheden beschikbaar zijn is het aan te bevelen om deze te toetsen in een pilot in laag Nederland.

BIBLIOGRAFIE

Bakel, P.J.T. van en L.C.P.M. Stuyt, 2011. *Actualisering van de kennis van zouttolerantie van landbouwgewassen. Op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaring*. Alterra/De Bakelse Stroom. Alterra-rapport 2201.

Knotters, M., R. Bartholomeus, M. Hack-ten Broeke, R. Hendriks, G. Holshof, I. Hoving, J. Kroes, M. Mulder, D. Walvoort, 2017. *Waterwijzer Landbouw fase 3; naar een operationeel systeem voor gras en mais*. Stowa, Stowa rapport 2017-07. Amersfoort.

Kroes, J. G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R. F. A. Hendriks and C. M. J. Jacobs, (2009). *SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Update 02: August 2009*. Available on www.swap.alterra.nl

Maas, E.V. and G.J. Hoffman, 1977. *Crop salt tolerance-current assessment*. Journal of the Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers 103: 115-134.

Oever, A. van den, 2014. *A theoretical evaluation and practical analysis of soil salinities with brackish agriculture*. Master Thesis Hydrogeology. Amsterdam.

Stuyt, L.C.P.M., M. Blom-Zandstra en R.A.L. Kselik, 2016. *Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2739. 158 blz.; 20 fig.; 7 tab.; 125 ref.

Vos, A. de, B. Bruning, G. van Straten, R. Oosterbaan, J. Rozema and P. van Bodegom, (2016). *Crop salt tolerance under controlled field conditions in The Netherlands, based on trials conducted at Salt Farm Texel*. SaltFarm Texel. Texel.

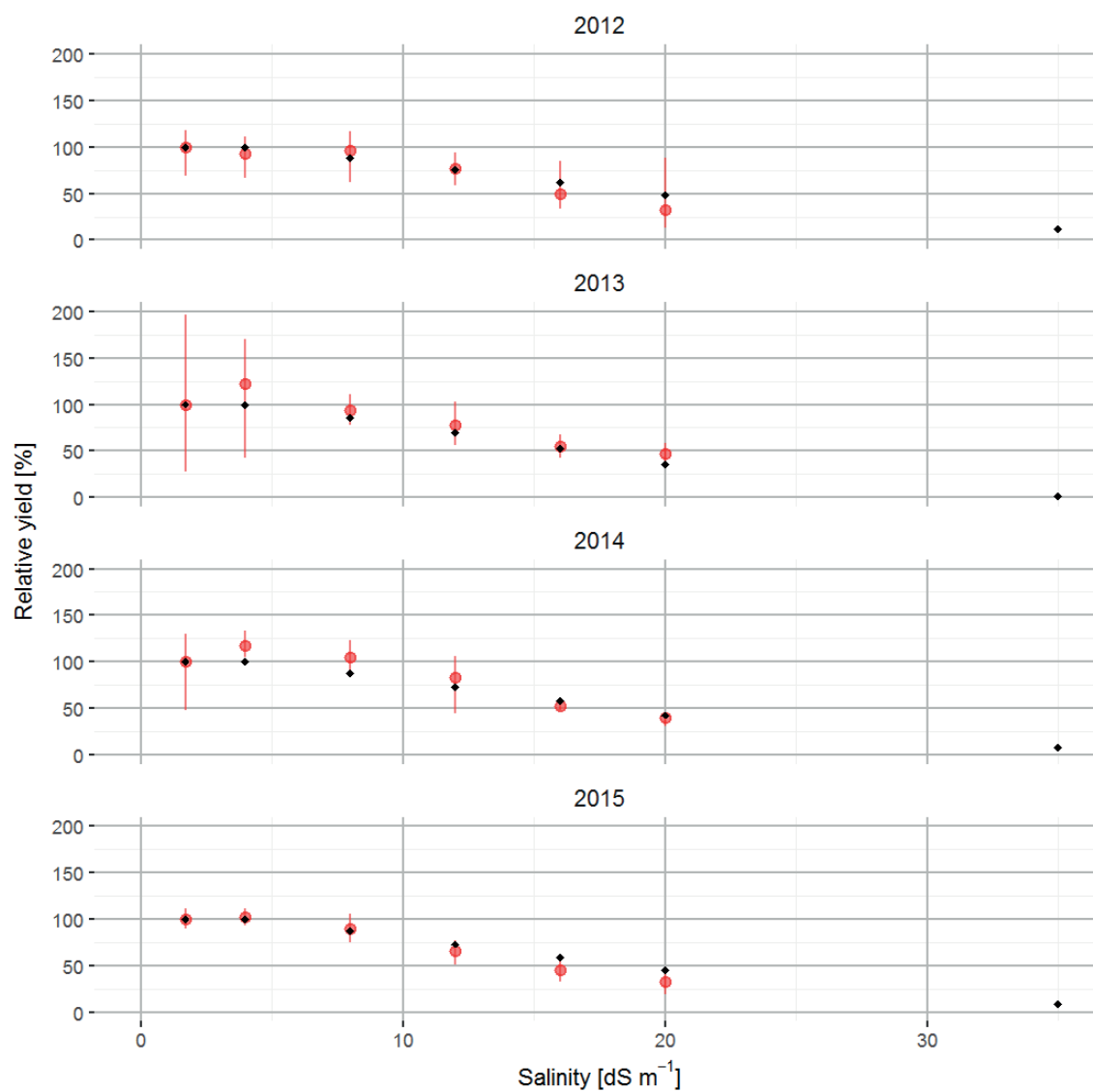
Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte. 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave 2001. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 153. 86 blz. 3 fig.; 10 tab.; 20 ref

BIJLAGE A

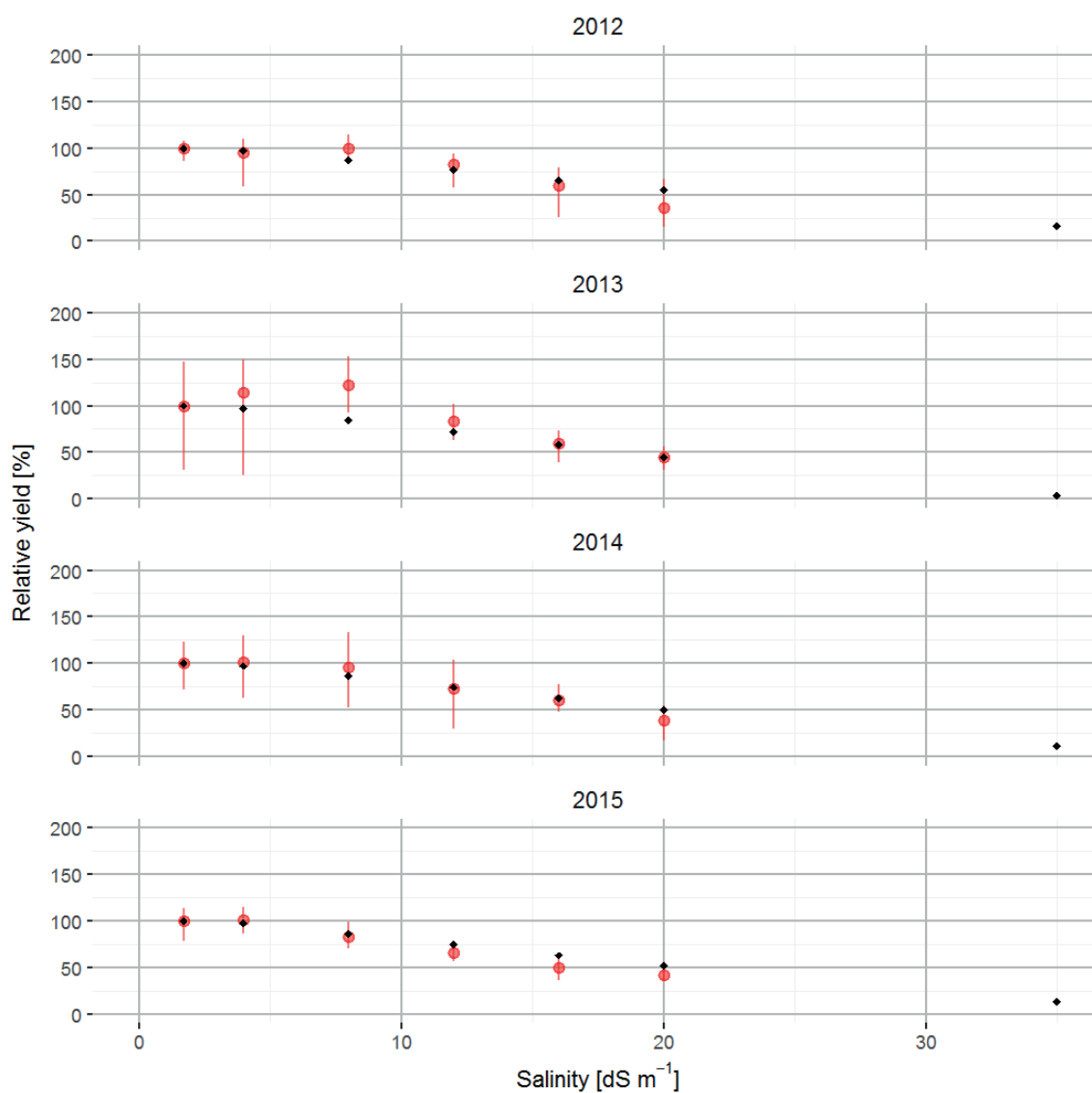
RESULTAAT GEVOELIGHEIDSANALYSE VOOR HET VASTSTELLEN VAN DE ZOUTGEVOELIGHEID NA DE DREMPELWAARDE

Middels een gevoeligheidsanalyse is de zoutgevoeligheid na de drempelwaarde vastgesteld op 0.053 m dS^{-1} voor Miss Mignonne en 0.045 m dS^{-1} voor Achilles. In de figuren A1 en A2 zijn voor respectievelijk Miss Mignonne en Achilles de gesimuleerde en de geobserveerde relatieve gewasopbrengsten weergegeven.

FIGUUR A1 RELATIEVE GEWASOPBRENGST VAN MISS MIGNONNE BIJ VERSCHILLENDE ZOUTBEHANDELINGEN, MET IN HET ZWART DE GESIMULEERDE GEWASOPBRENGST EN IN HET ROOD DE GEOBSERVEERDE GEWASOPBRENGST WAARBIJ DE VERTICALE LIJN DE SPREIDING IN DE OBSERVATIES WEEERGEeft EN DE STIP HET GEMIDDELDE VAN DE OBSERVATIES



FIGUUR A2 RELATIEVE GEWASOPBRENGST VAN ACHILLES BIJ VERSCHILLENDE ZOUTBEHANDELINGEN, MET IN HET ZWART DE GESIMULEERDE GEWASOPBRENGST EN IN HET ROOD DE GEOBSERVEERDE GEWASOPBRENGST WAARBIJ DE VERTICALE LIJN DE SPREIDING IN DE OBSERVATIES WEERGEeft EN DE STIP HET GEMIDDELDE VAN DE OBSERVATIES



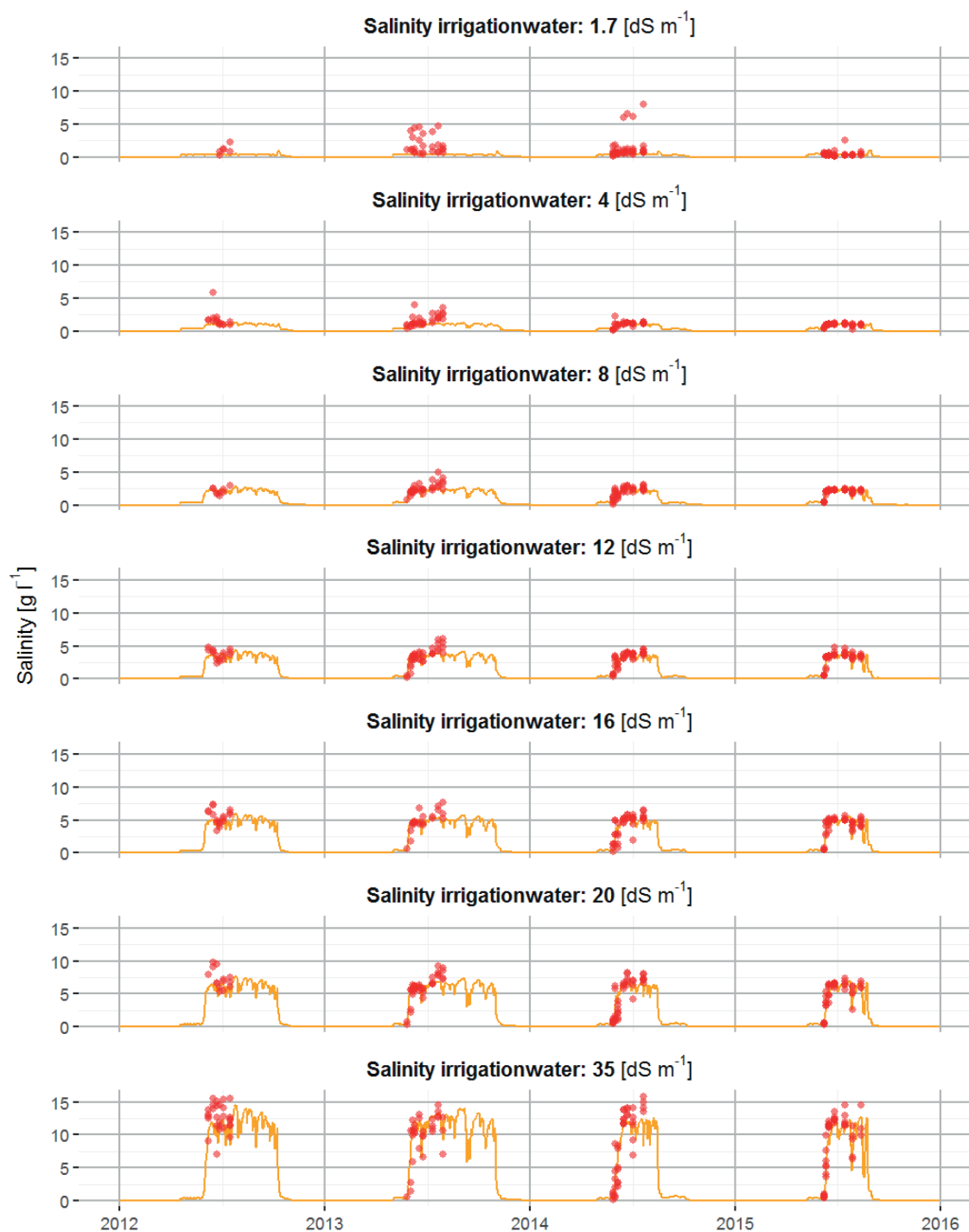
BIJLAGE B

GESIMULEERDE VERSUS GEOBSERVEERDE ZOUTCONCENTRATIES

Per vak zijn zoutconcentraties gemeten op 0.0 – 0.1 m-mv, 0.2 – 0.3 m-mv en 0.5 – 0.6 m-mv. De gesimuleerde en de geobserveerde zoutconcentraties zijn weergegeven in de figuren B1, B2 en B3.

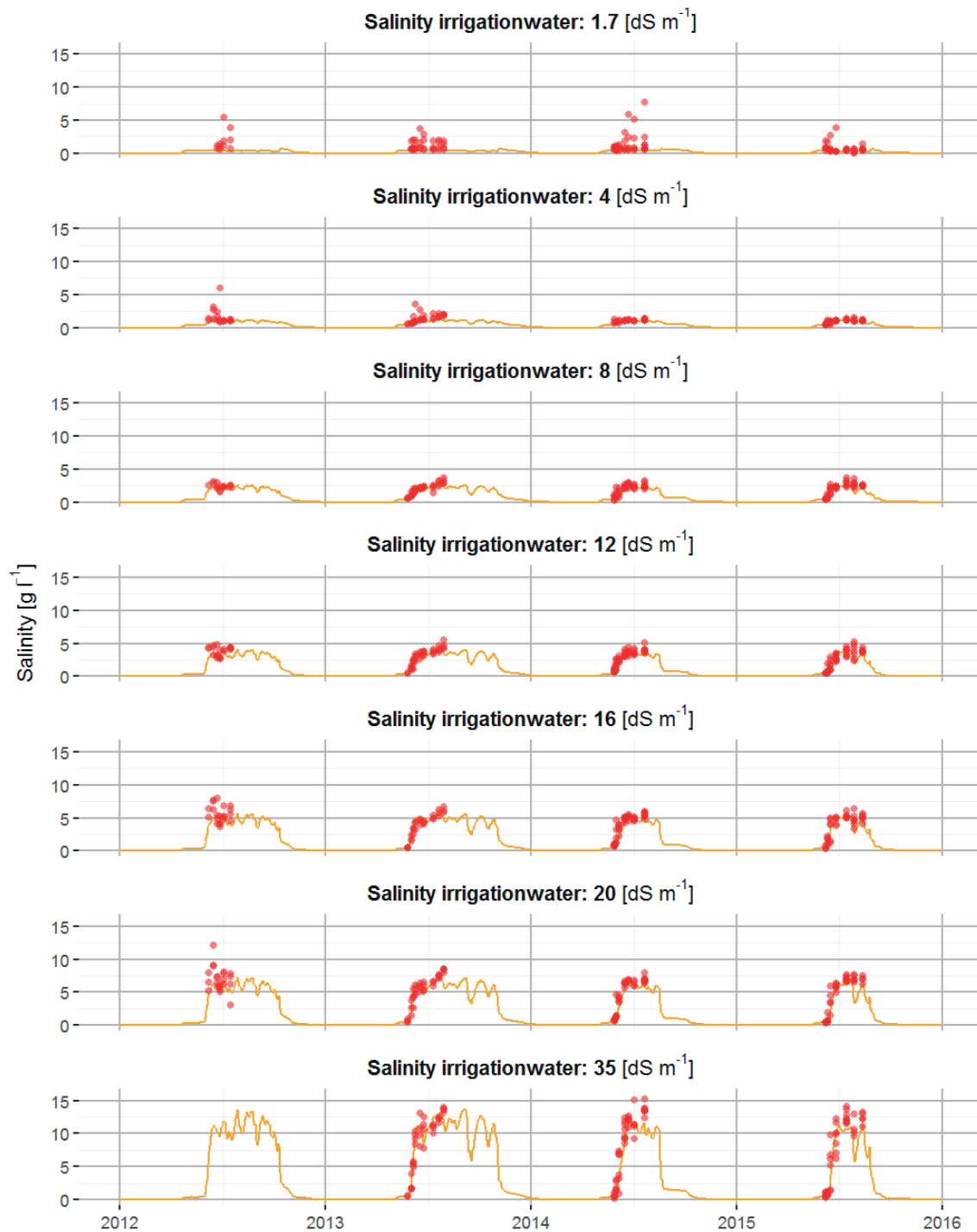
FIGUUR B1

ZOUTCONCENTRATIE VAN HET PORIEWATER IN DS M⁻¹ OP 0.0 – 0.1 M-MV VOOR DE PERIODE 2012 – 2015, MET IN HET ORANJE DE BEREKENDE ZOUTCONCENTRATIE EN IN HET ROOD DE GEOBSERVEERDE ZOUTCONCENTRATIE



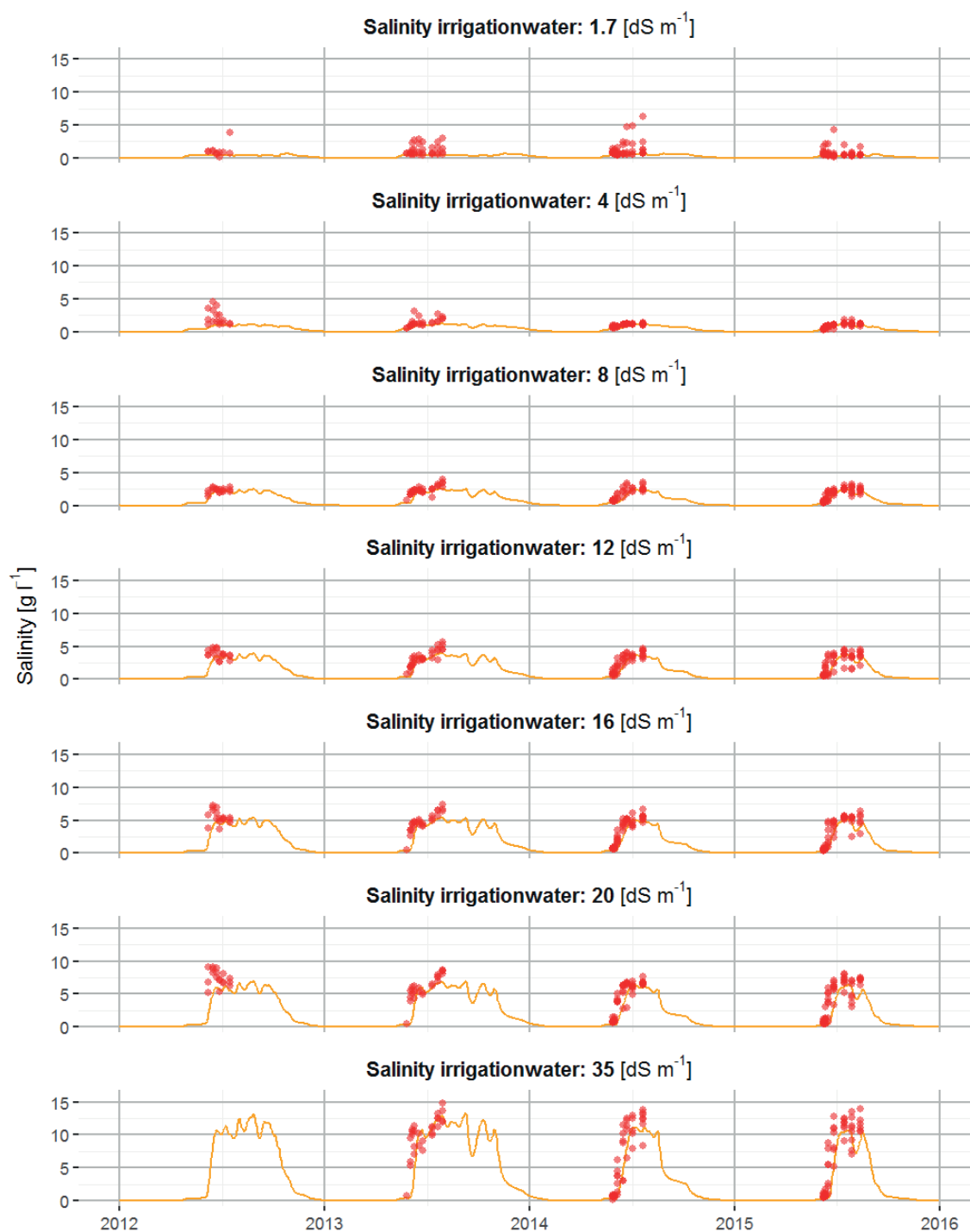
FIGUUR B2

ZOUTCONCENTRATIE VAN HET PORIEWATER IN DS M⁻¹ OP 0.2 – 0.3 M-MV VOOR DE PERIODE 2012 – 2015, MET IN HET ORANJE DE BEREKENDE ZOUTCONCENTRATIE EN IN HET ROOD DE GEOBSERVEERDE ZOUTCONCENTRATIE



FIGUUR B3

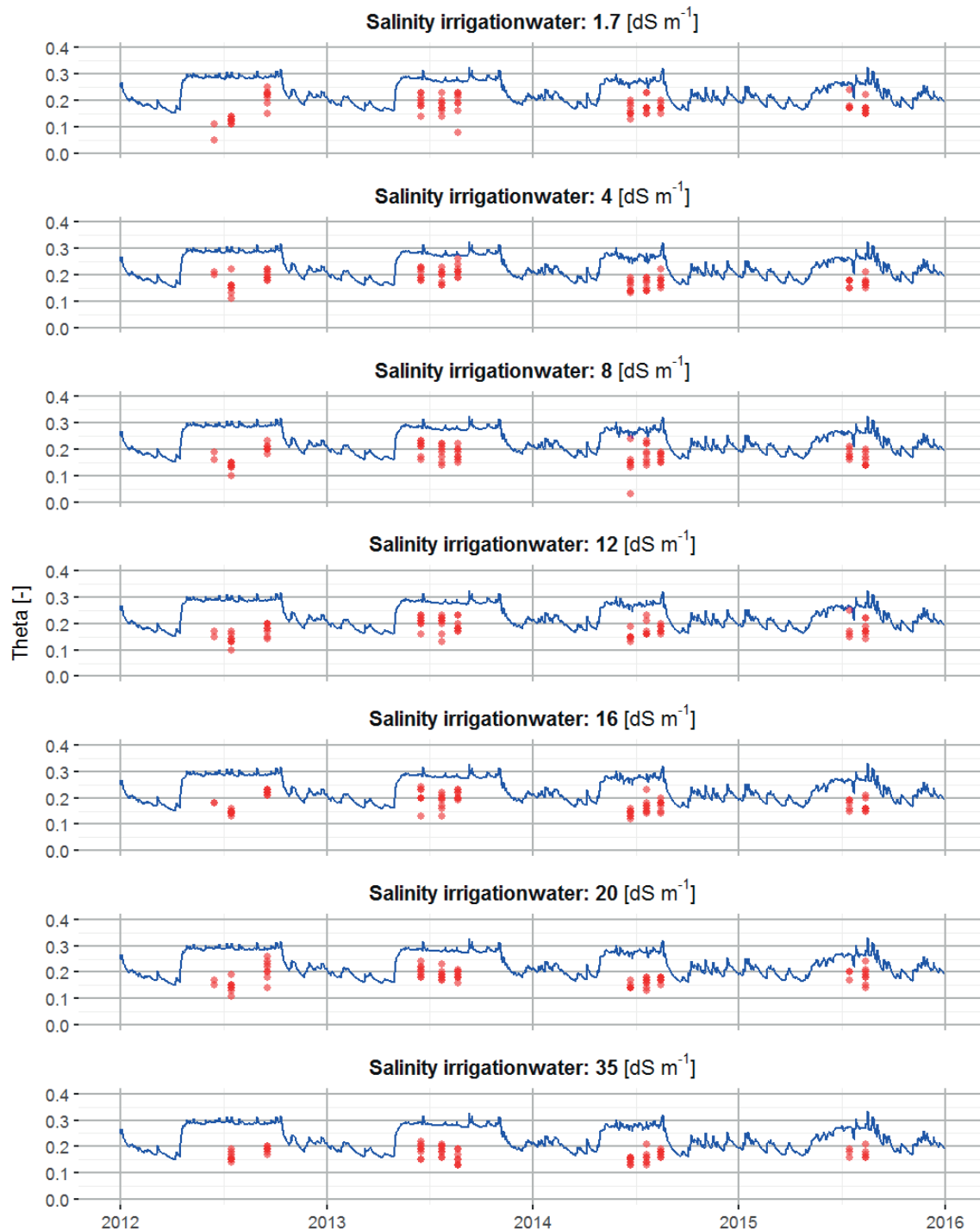
ZOUTCONCENTRATIE VAN HET PORIEWATER IN DS m^{-1} OP 0.5 – 0.6 M-MV VOOR DE PERIODE 2012 – 2015, MET IN HET ORANJE DE BEREKENDE ZOUTCONCENTRATIE EN IN HET ROOD DE GEOBSERVEERDE ZOUTCONCENTRATIE



BIJLAGE C

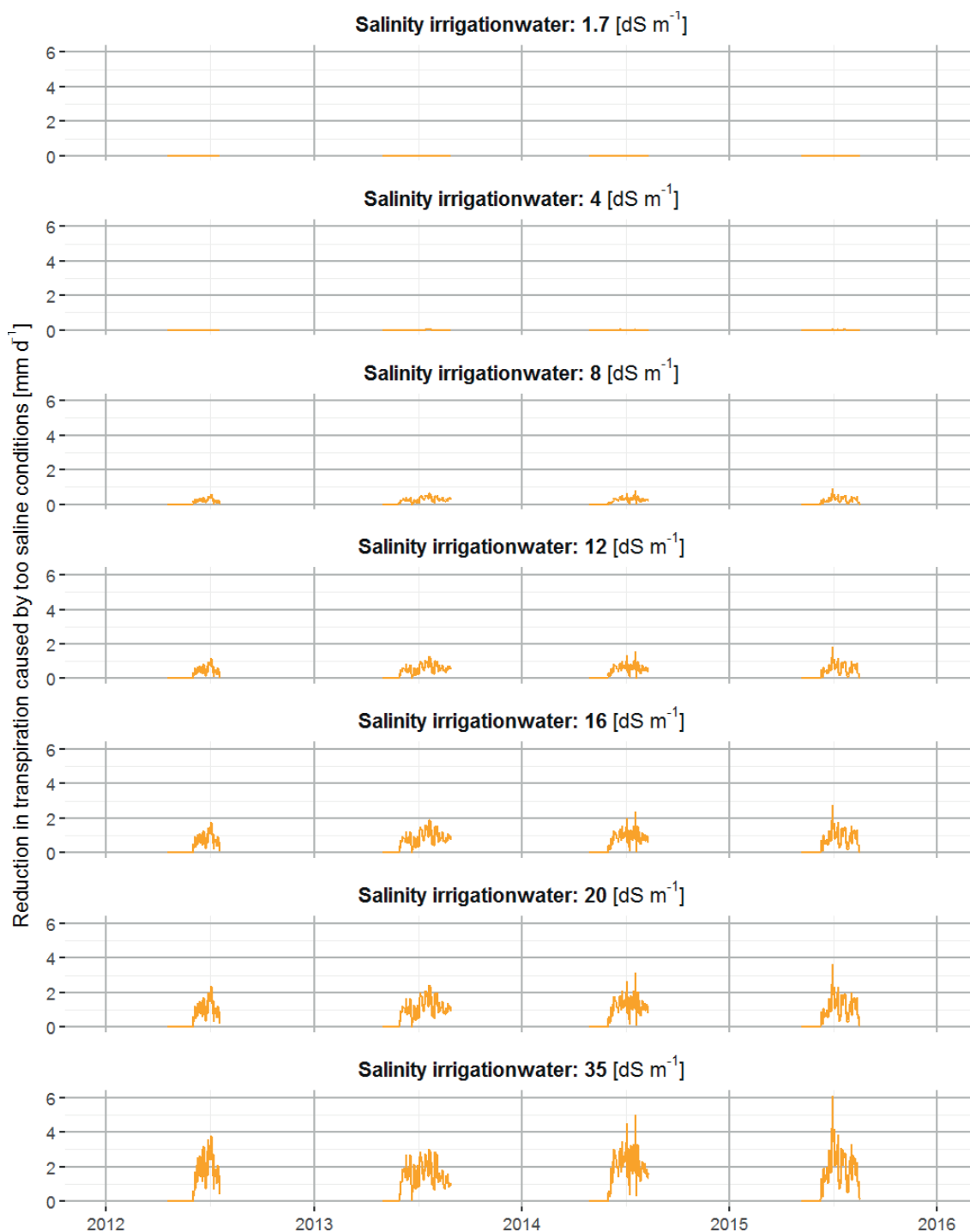
GESIMULEERDE VERSUS GEOBSERVEERDE VOCHTGEHALTE

FIGUUR C1 VOCHTGEHALTE [-] OP 0.0 – 0.3 M-MV VOOR DE PERIODE 2012 – 2015, MET IN HET BLAUW DE BEREKENDE VOCHTGEHALTE EN IN HET ROOD DE GEOBSERVEERDE VOCHTGEHALTE



BIJLAGE D

TRANSPIRATIEREDUCTIE ALS GEVOLG VAN STRESS

FIGUUR D1 BEREKENDE TRANSPIRATIEREDUCTIE VEROOorzaakt DOOR TE ZOETE OMSTANDIGHEDEN IN MM D⁻¹ VOOR DE PERIODE 2012 - 2015

FIGUUR D2

BEREKENDE TRANSPIRATIEREDUCTIE VEROORZAAKT DOOR TE NATTE OMSTANDIGHEDEN IN MM D⁻¹ VOOR DE PERIODE 2012 - 2015