



Experiment / pilot

> Zouttolerantie van teelten

IDEA/EXPLORATION



PROOF OF CONCEPT



EXPERIMENT/PILOT



IMPLEMENTATION/IN OPERATION

INHOUD

INLEIDING
GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
STRATEGIE: VASTHOUDEN, BERGEN, AANVOEREN
SCHEMATISCHE WEERGAVE
WERKING
KOSTEN EN BATEN
RANDVOORWAARDEN EN KANSRIJKE LOCATIES
GOVERNANCE
PRAKTIJKERVARINGEN (NATIONAAL EN INTERNATIONAAL)
LOPENDE INITIATIEVEN EN ONDERZOEKEN
KENNISLEEMTEN
LITERATUUR EN LINKS
OVERZICHT LOPENDE INITIATIEVEN EN ONDERZOEKEN
DISCLAIMER

INLEIDING

Water van goede kwaliteit voor de landbouw wordt geleidelijk schaarser. Wereldwijd is sprake van toenemende verzilting, en daarom is het zinvol om gewassen te introduceren die meer zouttolerant zijn dan bestaande variëteiten. Zouttolerantere teelten bieden een mogelijkheid om voedsel te blijven produceren in een verziltende omgeving, omdat zij meer zout kunnen verdragen zonder dat dit leidt tot productie- en/of kwaliteitsverlies.

Een zout is een chemische verbinding bestaande uit positieve ionen (kationen) en negatieve ionen (anionen), ze lossen makkelijk op in water en in vaste vorm zijn in een zout de positieve en negatieve ionen in een kristalrooster gerangschikt.

In het buitenland, vooral in aride gebieden, gaat het bij verzilting om een breed scala aan verschillende soorten zouten die zich bij gebrek aan uitspoeling en/of goede drainage in de wortelzone kunnen ophopen. In Nederland en vergelijkbare delta's is de belangrijkste bron van verzilting het zeewater dat circa 24 gr natriumchloride (Na^+Cl^-) per kg zeewater bevat. Deze Deltafact beperkt zicht tot verzilting door zeewater in Nederland, dus de nadruk ligt op Na^+Cl^- , hierna 'zout' genoemd.

GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

Onderwerpen: aanvoerbehoefte zoet water, zouttolerantie, verzilting, klimaatadaptatie, meebewegen met natuurlijke processen, brakke kwel, beregenen met zout water.

Dit onderwerp is gerelateerd aan onderstaande Deltafacts:

- Brakke kwel
- Bodemvochtgestuurd beregenen

- Droogte stuurt functies
- Dynamische peilbeheer
- Effecten klimaatverandering op landbouw
- Effecten verzilting zoete aquatische ecosystemen
- Effectiviteit van waterinlaat
- Ondergrondse waterberging
- Regelbare drainage
- Robuustheid
- Waterreservoirs op bedrijfsniveau

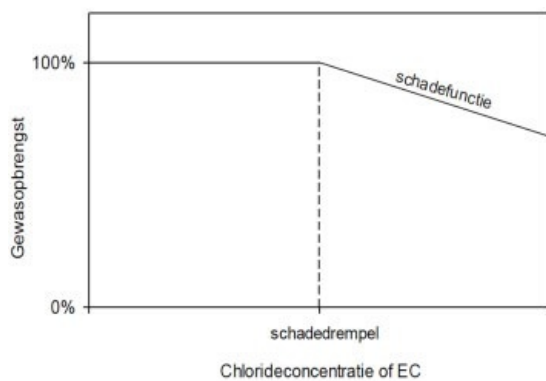
STRATEGIE: VASTHOUDEN, BERGEN, AANVOEREN

Het telen van zouttolerante gewassen is een optie voor ondernemers, die los staat van de waterstrategieën 'vasthouden, bergen en aanvoeren'. Het is een strategie waarbij het landgebruik wordt aangepast aan onvermijdelijke trends en seizoensvariaties in het zoutgehalte van het bodemvocht.

Door klimaatverandering worden de zomers warmer en nemen perioden met extreme droogte toe. Bij afnemende aanvoer zal de vraag naar zoetwater toenemen. De lage prioriteit van Landbouw in de Verdringingsreeks ([Nationaal Waterplan 2016-2021](#)) zorgt ervoor dat zoetwaterleveranties aan land- en tuinbouw door de waterbeheerder onzeker worden. Het risico op verzilting neemt toe. In dat kader kan het een strategie zijn om 'mee te bewegen' met deze toenemende verziltingsrisico's en op agrarisch bedrijfsniveau ook gewassen te overwegen die minder gevoelig zijn voor zout of de plantenveredeling van de gangbare gewassen toe te spitsen op zouttoleranter variëteiten.

SCHEMATISCHE WEERGAVE

De kennis over omgaan met zout in de landbouw is gedurende vele decennia in Nederland opgebouwd. Overstromingen van landbouwgronden met zeewater, zoals in 1953 in Zeeland, waren de aanleiding voor het opbouwen van empirische en wetenschappelijke kennis. Na de tweede wereldoorlog is ook Amerikaanse expertise gecombineerd met ervaringen van Nederlandse telers. Sinds de PAWN-studies uit het begin van de jaren '80 uit de vorige eeuw wordt de opbrengstreductie van landbouwgewassen vaak berekend volgens een, in de USA ontwikkeld, simpel concept (Abrahamse, 1982). Dit concept veronderstelt een lineaire afname van de gewasopbrengst als de zoutconcentratie in het beregeningswater of in de wortelzone een bepaalde drempelwaarde overschrijdt: de zogenoemde Maas-Hoffman schadefunctie; zie Figuur 1.



Figuur 1 Gewasopbrengst bij toenemende zoutconcentratie volgens Maas-Hoffman. Bron: Dam et al., 2007

De drempelwaarde waarbij de opbrengst begint te dalen en de snelheid van daling verschillen per gewas. Dit concept is simpel en doeltreffend, en wordt daarom internationaal veel gehanteerd.

WERKING

Hoe werkt het nu?

Vanuit de beschikbare waterbronnen bekeken kunnen zowel grondwater als oppervlaktewater zouten bevatten die zorgen voor directe of indirecte problemen bij gewassen. Grondwater kan een belangrijke bron zijn in gebieden waar lokale kwel voorkomt. De Louw (2013) toonde aan dat 50% van de zoutvrucht in polder De Noordplas afkomstig is van wellen. Dit is zoute kwel die geconcentreerd is in puntbronnen waar grondwater zeer lokaal naar boven komt op een zwakke plek in de kleilaag, bijvoorbeeld in een sloot of een plek op het perceel waar gegraven is. Daarnaast kan er diffuse kwel van zout water zijn op een landbouwperceel onder zeeniveau. Deze diffuse bron veroorzaakt minder zoutproblemen omdat water met verhoogd zoutgehalte via drainage wordt afgevoerd. Bij beregenen is het van belang een geschikte waterbron te kiezen (bassins, grond- of oppervlaktewater).

Waaruit bestaat gewasschade door zout?

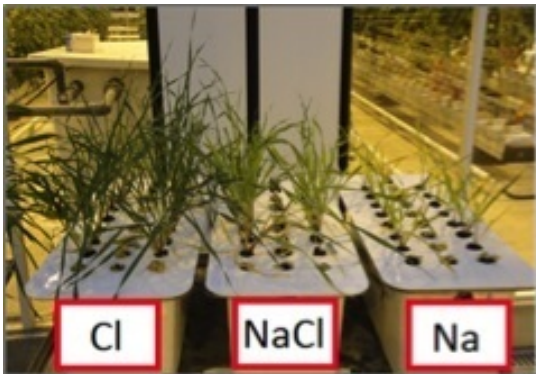
Gewassen verschillen in sterke mate in hun zouttolerantie en de mate waarin en hoe hun groei wordt aangetast. De

volgende aspecten van de gewasgroei zijn zoutgevoelig: de zouttolerantie gedurende de kieming, het behoud van wortel- en spruitdrooggewicht, het aantal spruiten, de bladgrootte, het gewasvolume, de weerstand tegen bladschade, het onderhoud van bloemen, de vrucht- en zaadzetting, de kwaliteit van oogstbare delen en de opbrengst (Stuyt et al., 2016, Blom-Zandstra et al., 2014).

Waar hangt gewasschade door zout van af?

De zouttolerantie van gewassen is afhankelijk van de gewassoort, de gewasvariëteit en de samenstelling van het bodemvocht. Hoge zoutconcentraties hebben een osmotisch en een ion effect (Stuyt et al., 2016, Blom-Zandstra et al., 2014). Wortels kunnen bodemvocht opnemen doordat ze in hun cellen met opgeloste stoffen een lage hydraulische potentiaal creëren. Daardoor stroomt bodemvocht naar de wortels toe: een proces dat bekend staat als osmose. Hoge zoutconcentraties in de wortel verlagen de hydraulische potentiaal van het bodemvocht dat de wortels omringt. Als in het bodemvocht de zoutconcentraties toenemen, wordt het hydraulische potentiaalverschil tussen bodemvocht en wortels kleiner waardoor de wortels minder water kunnen opnemen. Dit effect lijkt op verdroging. Het gaat hierbij om het **totale** zoutgehalte.

Het chloridegehalte is geen ideale indicator voor zoutschade, omdat naast osmotische effecten ook zoutschade die door hoge concentraties Na^+ wordt veroorzaakt dominant kan zijn. Dit zogenaamde 'ion effect' duidt op het toxische effect van sommige ionen bij te hoge concentraties in de plant. Figuur 2 geeft een voorbeeld voor gerst, waarbij vooral Na^+ een sterk negatieve invloed heeft op de ontwikkeling van de plant. Naast toxische effecten is ook structuurbederf van zware gronden (kleibodems) aan de orde.



Figuur 2, Momentopname van de gewasontwikkeling bij drie behandelingen met eenzelfde zoutniveau maar afwezigheid van mogelijk toxisch natrium (behandeling Cl) of chloride (behandeling Na), of als het zout bijna volledig bepaald wordt door keuzenzout (NaCl). Foto: Van der Zee, 2013; Meer informatie over het onderzoek, zie (Katerji, et al., 2006).

De bronnen van zout voor het bodemvocht zijn: 1) 'van boven', via neerslag en beregening, 2) 'van onder', via kwelwater en 3) zijdelings vanuit het oppervlaktewater. Het neerslagoverschot in ons Nederlandse klimaat en onze goed gedraineerde gronden zorgen voor voldoende doorspoeling, waardoor er nauwelijks tot geen sprake is van ophoping van zouten in de bodem. Goede drainage is daarbij essentieel. Het wordt anders als er beregend moet worden, of andere vormen van wateraanvoer worden toegepast om verdroging tegen te gaan, bijvoorbeeld infiltratie via buisdrainage, met brak water.

Voor de meeste gewassen is beregening momenteel de belangrijkste bron van zout. Voor de agrariër gaat het daarbij soms om een afweging van schade door beregenen met zout water of droogteschade.

Daarnaast kan schade ontstaan doordat zout via beregening op het bladoppervlak terecht komt. Druppels op de bladeren kunnen indrogen en als lensjes fungeren waardoor het blad verbrandt. Indirecte schade aan gewassen kan ook ontstaan door structuurbederf van de bodem (Snellen et al., 2012; Stuyt et al., 2016).

Wat zijn natuurlijke mechanismen van zouttolerantie?

Veel planten hebben verfijnde mechanismen ontwikkeld om effectief te kunnen omgaan met zoutstress. Deze mechanismen van zouttolerantie zijn in drie klassen te verdelen (Munns and Tester, 2008 in Blom-Zandstra et al., 2014):

1. Na^+ -uitsluiting, ter voorkoming van accumulatie van Na^+ tot toxische niveaus in bladeren. Deze uitsluiting kan plaatsvinden aan de wortels of door uitscheiding van Na^+ - en Cl^- -ionen naar het bladoppervlak door zoutklieren of -blazen. Het uitgescheiden zout kristalliseert en kan worden weggeblazen of weggespoeld.
2. Ophoping van Na^+ - en Cl^- -ionen in de cel of de **intercellulaire ruimte** om toxische concentraties in het **cytoplasma** te voorkomen.
3. Osmotische aanpassing. Planten kunnen de osmotische potentiaal in hun cellen verhogen door anorganische ionen als K^+ (kalium) uit het bodemvocht op te nemen of door synthese van nieuwe oplosbare organische verbindingen. In zeer zoute bodems verbruikt dit mechanisme een groot deel van de beschikbare energie van de plant, wat ten koste gaat van de groeisnelheid.

Hoe zouttolerant zijn landbouwgewassen?

Tot 2016 was de kennis met betrekking tot zoutschade aan landbouwgewassen niet goed in beeld. Er waren veel getallen in omloop, maar er was nauwelijks informatie beschikbaar over de manier waarop-, en de omstandigheden waaronder deze getallen tot stand waren gekomen. Daarom hebben Stuyt et al. (2016) de informatie over zouttolerantie van gewassen in Nederland uit de periode 1950-2015 geïnventariseerd en geanalyseerd. Het resultaat van deze bureaustudie is een specificatie van zouttolerantiedrempels (ook wel 'zoutschadedrempels' genoemd) voor 35 gewassen en gewasgroepen, gekoppeld aan het zoutgehalte van beregeningswater.

Zouttolerantiedrempels in beregeningswater kunnen overigens nooit met absolute zekerheid worden bepaald, want onnauwkeurigheden van meetinstrumenten en verstoringen in meetopstellingen introduceren onzekerheid. De spreiding in gemeten zouttolerantiedrempels moet echter vooral worden toegeschreven aan variabele factoren als (Stuyt et al., 2016):

- i. de zoutconcentratie in de wortelzone,
- ii. de bodemkarakteristieken,
- iii. de ontwateringstoestand,
- iv. de weersomstandigheden,
- v. de duur van de blootstelling aan zout,
- vi. de plantleeftijd tijdens de blootstelling aan zout,
- vii. adaptatie van planten aan zoutstress, en
- viii. adaptatie van planten aan veranderende omgevingsfactoren.

Verskil tussen Zoutschadedrempel en zoutschadegevoeligheid

De zoutschade die een gewas(groep) kan ondervinden wordt echter niet alleen gekarakteriseerd door een zouttolerantiedrempel. Ook de zoutschadegevoeligheid, te weten de procentuele opbrengstderving die wordt veroorzaakt door zoutschade ten gevolge van zoutconcentraties boven de zouttolerantiedrempel, is van belang. Deze gevoeligheid wordt gewoonlijk weergegeven als de helling, gemarkeerd als 'schadefunctie' in Figuur 1.

De bureaustudie door Stuyt et al. (2016) heeft over zoutschadegevoeligheden geen consistente informatie opgeleverd. De in Tabel 1 gespecificeerde zoutschadegevoeligheden zijn schattingen uit eerder onderzoek (Van Bakel en Stuyt, 2011). Bij gebrek aan gegevens van veldexperimenten zijn hierbij verschillende aannames gemaakt. Een belangrijke aanname bij deze schattingen was dat de gemiddelde chlorideconcentratie in de wortelzone tweemaal zo hoog is als de chlorideconcentratie in beregeningswater. Daarop valt onder de Nederlandse groeiomstandigheden overigens wel het nodige af te dingen.

Zoutgevoeligheidsklasse	Zoutschadedrempel (mg Cl ⁻ /l)	Zoutschadegevoeligheid (% opbrengstdaling per toename van 100 mg Cl ⁻ /l)
Gevoelig	300	8
Matig gevoelig	600	4
Matig tolerant	1200	2
Tolerant	2400	1

Tabel 1 Per zoutgevoeligheidsklasse afgeleide parameters voor de zoutschadefunctie, geldig voor beregeningswater als een indikkingsfactor 2 tussen het beregeningswater en de wortelzone wordt gebruikt (Bron: Bakel en Stuyt, 2011).

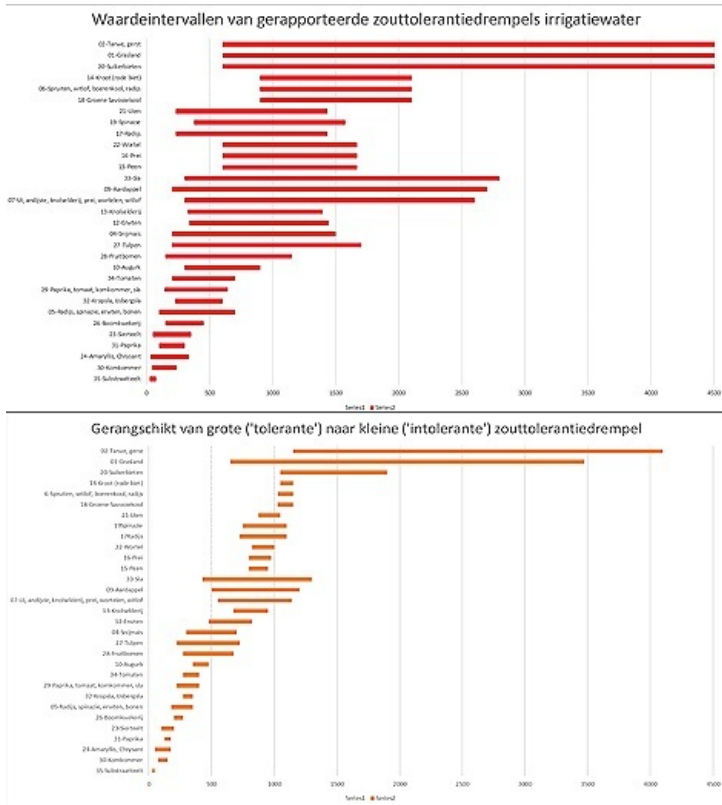
Tabel 2 (Stuyt et al. 2016) geeft voor 35 gewassen en gewasgroepen informatie over het aantal gepubliceerde zouttolerantiedrempels en het aantal keren dat een zouttolerantiedrempel in latere publicaties is geciteerd. De getalsmatige informatie bestaat uit de gemiddelde drempelwaarde (μ) en de standaardafwijking (σ) van de normale verdeling die op de gerapporteerde zouttolerantiedrempels is 'gefit'. Hierna volgen het betrouwbaarheidsinterval van 31 gewassen en gewasgroepen, een geschatte zoutschadegevoeligheid en een overzicht van de jaren waarin nieuwe drempelwaarden werden geïntroduceerd.

Met uitzondering van klaver (3), aubergine-aardbei-tuinbonen (8), broccoli (11) en 'bollentelers Noord-Holland' (25), waarvoor slechts één zouttolerantiedrempel werd gespecificeerd, zijn aan de gerapporteerde drempelwaarden van de zouttolerantie per gewas(groep) standaardnormale kansverdelingen 'gefit', om de onzekerheid van de drempelwaarden te kwantificeren. Gekozen is voor een standaardnormale- of Gaussverdeling met een gemiddelde drempelwaarde μ , ook wel de meest waarschijnlijke drempelwaarde genoemd.

Om het inzicht in de resultaten van deze inventarisatie te vergemakkelijken zijn de zouttolerantiedrempels in Figuur 3 grafisch weergegeven, in twee configuraties: als waardeninterval (boven), en met het 40% betrouwbaarheidsinterval van de standaardnormale kansverdeling van de gerapporteerde waarden (onder). Dit betrouwbaarheidsinterval is geïntroduceerd om extreme gerapporteerde drempelwaarden uit te filteren; de keuze voor 40% is arbitrair.

No	Gewas(groep)	Zoutshadedrempels			Grenzen 40% betrouwbaarheidsinterval			Introductiejaar nieuwe drempelwaarde(n) (bij benadering)																
		Aantal drempels geciteerd	Documetatie	Parameters van 'gefite' normale kansverdeling		Ondergrens	Bovengrens	Bandbreedte	1845	1850	1855	1860	1865	1870	1875	1880	1885	1890	2000	2005	2010	2015		
				Gemiddelde (μ) [$\text{mg Cl}^-/\text{l}$]	Standaardafwijking (σ) [$\text{mg Cl}^-/\text{l}$]																			
1	Grasland	10	5	2055	2711	650	3475	2825	1	x														
2	Tarwe, gerst	11	6	2626	2796	1150	4100	2950	1	x			x										x	
3	Klaver (Luzerne)	1	-	10000	-	-	-	-	1	x														
4	Smijmais	6	2	498	371	275	700	400	4														x	
5	Radis, spinazie, erwten, bonen	8	7	267	166	180	350	170	8			x											x	
6	Spruiten, witlof, boerenkool, radis	4	3	1093	123	1030	1150	120	3														x	
7	Ui, andijvie, knolselderij, prei, wortelen, witlof	4	4	963	817	550	1140	590	3			x		x						x			x	
8	Aubergine, aardbei, tuinbonen	1	3	300	-	-	-	-	8									x						
9	Aardappel	15	5	838	668	500	1200	700	3				x	x								x	x	
10	Augurk	5	1	423	111	350	475	125	8													x	x	
11	Broccoli	1	-	600	-	-	-	-	4															
12	Erwten	3	-	647	327	475	825	350	4				x										x	
13	Knolselderij	6	2	799	258	675	950	275	3												x		x	
14	Kroot (rode biet)	4	2	1093	123	1050	1150	100	3														x	
15	Peen	4	2	868	169	800	950	150	3														x	
16	Prei	5	3	894	160	800	975	175	3														x	
17	Radis	5	3	920	362	725	1100	375	3													x	x	
18	Groene Savoolekool	4	2	1093	123	1025	1150	125	3														x	
19	Spinazie	4	2	919	337	750	1100	350	3													x	x	
20	Suikerbieten	9	8	1478	817	1050	1900	850	2														x	x
21	Uien	6	2	867	351	875	1050	175	6													x	x	x
22	Wortel	6	2	903	148	825	1000	175	6													x	x	x
23	Sierteeft	11	8	161	82	100	200	100	8					x	x								x	
24	Amaryllis, Chrysant	4	8	106	112	50	175	125	8													x	x	
25	Bollenstelen Noord-Holland	1	-	200	-	-	-	-	8															
26	Boomkwekerij	3	2	233	62	200	275	75	8						x								x	
27	Tulpen	4	1	475	468	225	725	500	8													x	x	x
28	Fruitbomen	6	9	465	381	275	675	400	8	x	x												x	
29	Paprika, tomaat, komkommer, sla	6	7	308	153	225	400	175	8	x													x	
30	Komkommer	5	1	113	72	75	150	75	8					x	x	x								
31	Paprika	2	1	150	50	125	175	50	8						x									
32	Kropsla, ijsbergsla	2	-	300	75	275	350	75	8													x	x	
33	Sla	5	-	848	833	425	1300	875	4				x										x	
34	Tomaten	4	2	338	119	275	400	125	8					x	x									
35	Substraatteelt	2	8	38	13	30	45	15	8													x		

Tabel 2 Overzichtstabel met het aantal gepubliceerde zouttolerantiedrempels, gemeten in beregeningswater, van 35 geïdentificeerde gewassen en gewasgroepen, het aantal keren dat een zouttolerantiedrempel in latere publicaties is geciteerd, de parameters μ (gemiddelde) en σ (standaardafwijking) van de standaardnormale verdeling die op de beschikbare gegevens is 'gefite', de onder- en bovengrens en de bandbreedte van de 40% betrouwbaarheidsintervallen en de jaren waarin nieuwe drempelwaarden voor het chloridegehalte van beregeningswater werden geïntroduceerd. Bij gewas(groep)en 3, 8, 11 en 25 was slechts sprake van één gerapporteerde drempel. De zoutshadegevoeligheid (% opbrengstdaling/100 mg Cl^-/l) is geschat op grond van een indeling van gewassen en gewasgroepen in vier zoutgevoeligheidsklassen (Bakel en Stuyt, 2011). NB Klik op de tabel voor een groter formaat.



Figuur 3 Bovenste figuur (rood): Grafische weergave, per gewas(groep), van de waardenintervallen van gerapporteerde zouttolerantierepels van irrigatiewater voor landbouwgewassen en -gewasgroepen, in neerwaartse richting gerangschikt naar afnemende gemiddelde waarde. De bovengrenzen van de bovenste drie intervallen (tarwe/gerst, grasland en suikerbieten), respectievelijk 10000, 10000 en 5000 mg Cl⁻ /liter, overschrijden de hier gebruikte horizontale schaal.

Onderste figuur (oranje): Grafische weergave van de zouttolerantierepels met het 40% betrouwbaarheidsinterval, in neerwaartse richting gerangschikt van 'groot' naar 'klein': hoe lager een gewas(groep) in deze figuur is weergegeven, des te kleiner de zouttolerantierepel volgens de bestaande, geïnventariseerde gegevens. - De gewassen klaver (3) en broccoli (11), de categorie 'bollentelers Noord-Holland' (25) en de gewasgroep aubergine-aardbei-tuinbonen (8), waarvoor slechts één zouttolerantierepel werd gespecificeerd zijn niet weergegeven. NB Klik op de tabel voor een groter formaat.

In een eerdere studie (Stuyt, van Bakel en Massop, 2011) is aan elke vorm van landbouwkundig landgebruik in Nederland, waar wordt berekend en die meer dan 5% van het totale areaal omvat, een zoutgevoeligheidsklasse toegekend zoals gepresenteerd in tabel 1 Bij concentraties hoger dan de streefwaarden kan zoutschade optreden. Met de kennis uit 2016 (de bandbreedtes) kan worden aangenomen dat dit de maximale concentratie in het beregeningswater is die in betreffende gebieden nog (net) niet tot schade leidt, gegeven de aanwezige teelten. Het gewas dat per afwateringseenheid het meest gevoelig is, is weergegeven in Figuur 4. Indien er twee of meer gewassen in een gevoeligheidsklasse voorkomen, is het gewas genomen met het grootste areaal binnen de afwateringseenheid.

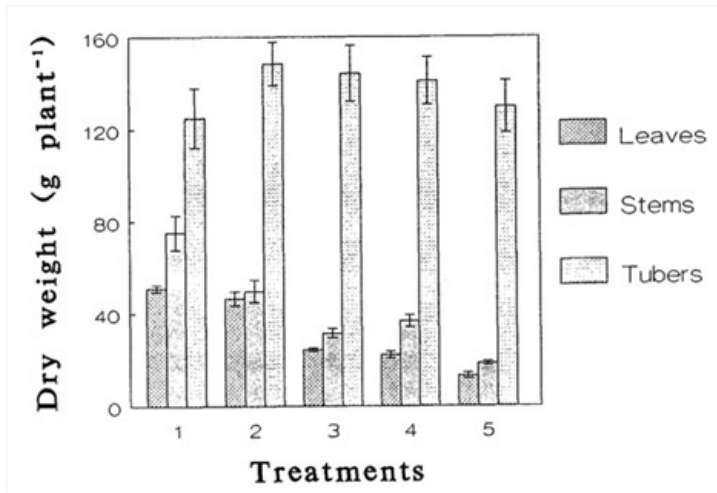


Figuur 4 Meest zoutgevoelige gewas per afwateringseenheid. Bron: [Stuyt, van Bakel & Massop \(2011\)](#)

Wat valt op?

De afweging van zoutschade versus droogteschade is voor de praktijk lastig. Uit veldproeven, waaronder proeven die zijn uitgevoerd door het [Zilt Proefbedrijf](#) op Texel is gebleken dat zouttoleranties van variëteiten sterk kunnen verschillen ([Vos et al, 2016](#)). Zoutgevoeligheid blijkt bij deze proeven veelal een combinatie van hittestress en zoutstress, hetgeen in overeenstemming is met buitenlandse literatuur ([Bustan et al., 2004](#); [Daliakopoulos et al., 2016](#)).

Uit literatuur blijkt tevens dat 'zout' verschillende effecten heeft op de verschillende onderdelen van een landbouwgewas. Zo blijkt bij aardappel de knolopbrengst bij toenemende zoutconcentraties vrijwel gelijk te blijven terwijl de drogestofproductie in andere delen afneemt; zie Figuur 5. Wel nemen in het algemeen de stengelgroei en de hoeveelheid extra grote knollen af ([Blom-Zandstra et al., 2014](#)). Figuur 5 laat ook zien dat zoutstress en droogte vergelijkbare effecten kunnen hebben; vergelijk behandelingen 3 en 4.



Figuur 5 Het effect van toenemende zoutconcentraties en afnemende watergiften op de drogestofgehalten in aardappels. Bron: [Heuer & Nadler, 1995](#).

Behandeling	Zoutgehalte (dS m ⁻¹)	Watergift (mm)
1	1,5 (niet zout)	480
2	3,0 (zout)	480
3	6,0 (zout)	480
4	1,5 (niet zout)	288
5	1,5 (niet zout)	442*

*) geen watergift tussen dag 57 en dag 74 na het planten

Zilte teelten

Bij zoutminnende gewassen, 'halofyten', stijgt de opbrengst bij toenemende zoutconcentraties ([Rozema & Flowers, 2008](#)). Zilte teelten, zoals sommige koolsoorten, bieden ook kansen ([Vos; 2011](#)). Sinds enkele jaren wordt de teelt van zeekraal bestudeerd en op kleine schaal commercieel toegepast ([Blom en De Visser, 2013](#)). Deze teelten vormen vooraan slechts een nichemarkt. De ontwikkeling van zouttolerante variëteiten van conventionele grondgebonden teelten zijn, in economische termen, echter van veel groter belang ([Stuyt et al., 2014](#)).

KOSTEN EN BATEN

Voor de regionale waterbeheerder:

Wanneer agrarische ondernemers in hun bedrijfsopzet (teeltkeuze, bouwplan) kiezen voor meer zouttolerante teelten zullen hun opbrengsten minder afhankelijk zijn van schommelingen en trends in het zoutgehalte van het bodemvocht en het beregeningswater. De waterbeheerder kan daarmee binnen ruimere bandbreedtes - en daarmee kostenbesparend en flexibel - sturen op het gewenste zoutgehalte in het oppervlaktewater dat gebruikt wordt voor beregening. Baten van flexibeler sturen op zout liggen op het raakvlak van de verschillende functies die het watersysteem vervult voor verschillende gebruikers (landbouw, industrie, drinkwater) en inspanningsverplichtingen die de waterbeheerder heeft op het gebied van natuur en waterkwaliteit.

Een instrument dat kan helpen om inzicht te krijgen in kosten en baten van flexibel(er) sturen op zout is beslissingsondersteunend systeem [Eureyeopener](#) van Alterra ([link1](#), [link2](#)) en [Deltares](#). Dit 'Rekeninstrument Handelingsruimte Zoetwaterbeheer' biedt voor een regio of (deel)stroomgebied snel en interactief inzicht in de bestaande zoetwatervoorziening. Hierdoor kan de handelingsruimte worden verkend om in tijden van waterschaarste anders om te gaan met de zoetwaterverdeling, vraag en aanbod.

RANDVOORWAARDEN EN KANSRIJKE LOCATIES

Er kan gestreefd worden om de gewasopbrengst van bestaande teelten te optimaliseren door de grenzen te verkennen van de betreffende gewassen voor wat betreft hun zouttolerantie en eventueel deze te verleggen met gewasveredeling. Dit is interessant voor kustzone gebieden onder zeeniveau, met name in gebieden waarin niet altijd voldoende zoetwater

vanuit de rivieren beschikbaar kan zijn. In Nederland is dan te denken aan bijvoorbeeld de neerslagafhankelijke landbouw in Zeeland of in verziltingsgevoelige gebieden langs de kust.

Wanneer gedacht wordt aan de introductie van zilte teelten dan is het een belangrijke voorwaarde dat er voldoende afzet is voor de producten van de zilte teelten. De afzet is vaak nog beperkt, daarom zoekt men ook naar mogelijkheden om de producten als 'streekproduct' op de markt te brengen. In de Zuidwestelijke delta zijn initiatieven voor het ontwikkelen van een landschap dat aantrekkelijk is voor de veeleisende toerist (zie bijvoorbeeld [Terug naar de Kust](#): Nieuwe marktallianties voor toeristische gebiedsontwikkeling in de Delta). De (grootschalige) teelt van halofyten heeft wellicht een toekomst, maar daarvoor is wel een transitie nodig (Stuyt et al., 2006; De Vos et al., 2011).

GOVERNANCE

Veranderingen in gewaskeuze worden op dit moment niet gestimuleerd binnen de huidige compensatieregeling voor schade aan gewasopbrengsten (AdviesCommissie Schade Grondwater, 2014). Blom-Zandstra et al. (2014) pleiten voor het toepassen van de 'De Gouden Driehoek' Overheid - Onderzoek - Bedrijfsleven bij het ontwikkelen van zouttolerante gewassen. Elke partner van de Driehoek kan bijdragen vanuit zijn eigen mandaat:

1. De **Overheid** kan legale en institutionele obstakels en handelsbarrières wegnemen. Zij kan subsidies en startkapitaal verstrekken om gewenste ontwikkelingen te stimuleren en belasting opleggen om ongewenste ontwikkelingen te ontmoedigen.
2. Het **Onderzoek** moet de gewenste kennis ontwikkelen om innovaties te realiseren. Dat omvat naast landbouwkundig onderzoek ook het vinden van locatie specifieke oplossingen.
3. Het **Bedrijfsleven** heeft de kracht en daarom de cruciale rol om onderzoeksresultaten in te brengen en te implementeren in de landbouwpraktijk. Ook kan het durfkapitaal ontsluiten en kapitaalverstrekkers aantrekken.

PRAKTIJKERVARINGEN (NATIONAAL EN INTERNATIONAAL)

Internationale ervaring op gebied van omgaan met zout water in de landbouw is voornamelijk opgedaan in de irrigatiepraktijk in droge landen. Ongeveer 20-25% van het totale wereldwijd geïrrigeerde areaal is aangetast door te zoute omstandigheden in de geïrrigeerde landbouw, wegens te weinig aandacht voor goede drainagesystemen. Mede door de ruime kennis over de zoutproblematiek die destijds in Nederland voorhanden was zijn Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen veelvuldig ingeschakeld bij het realiseren van oplossingen.

LOPENDE INITIATIEVEN EN ONDERZOEKEN

Onderzoek op het raakvlak van waterbeheer en zouttolerantie

Mede op initiatief van de STOWA wordt een nieuwe methode ontwikkeld om de indirecte en directe landbouwschade in relatie tot droogte, natte omstandigheden en zoutconcentraties te bepalen. Dit gebeurt binnen het project [Waterwijzer Landbouw](#). Daarmee worden methodes als AGRICOM, HELP en TCGB vervangen (Bartholomeus et al., 2013). De nieuwe methode moet geschikt worden voor de effecten van scenario's voor waterbeheer, klimaat en verzilting. Daarnaast wordt op verschillende locaties in Nederland onderzoek uitgevoerd naar de toepasbaarheid van zilte teelten.

Onderzoek op het raakvlak van gewas en zouttolerantie

In Noord-Nederland vindt onderzoek plaats naar diverse zilte teelten onder de vlag van 'Zilt Perspectief' en de 'Zilte Kennis Kring'. Als bekend is op grond van welke genetische factoren een halofyt zouttolerant is, kan met deze kennis ook worden geprobeerd de zouttolerantie van andere gewassen te verhogen. Vanuit dit perspectief is in [Kennis voor Klimaat](#) onderzocht door naar de genexpressie te kijken welke mechanismen de zouttolerantie van zeekraal, spinazie, biet en quinoa verklaren (Rosema e.a., 2014). Naast universiteiten en kennisinstellingen zijn ook telersbedrijven op dit terrein van onderzoek actief; in Zeeland heeft bijvoorbeeld de firma [Potato Meijer B.V.](#) samen met ZLTO en de provincie Zeeland besloten een proefopzet te maken om gericht onderzoek te doen naar zouttolerantie van aardappellassen met proeflocaties bij Kerkwerpe ([Tijdingen](#) pag. 3), Zierikzee en Rilland. In het kader van het Deltaprogramma is er in Zeeland ook de [proeftuin 'Zoetwater'](#) waarin verschillende van bovengenoemde initiatieven zijn ingebed.

Onderzoek aanpassingsmogelijkheden in de zoetwatervoorziening in relatie tot verzilting

In projecten zoals [SPAARWATER](#) en [GO-FRESH](#) wordt onderzocht of tijdelijke opslag van, neerslagoverschot in de winter interessant is om verziltingsrisico's op perceelsniveau te verkleinen. In het project Spaarwater gaat het om verschillende pilots in de kustzone langs de Waddenzee en Noord-Holland, soortgelijke pilots worden in Zeeland uitgevoerd binnen GO-FRESH. In het project Spaarwater wordt tevens gekeken naar zogeheten [ondergrondse druppelirrigatie](#).

Het voorhanden hebben van voldoende kwalitatief goed (grond)water is niet alleen voor de landbouw, maar ook een steeds groter issue voor industrie in deltagebieden omdat het brakke en zoute water het zoete water verdringt. In het onlangs gestarte onderzoeksprogramma [Water Nexus](#) wordt onderzoek gedaan naar methoden om efficiënt en effectief om te gaan met zoet, brak en zout (grond)water. Daarbij wordt gekeken naar monitoring en distributie, de inzet van zout water in de industrie en naar het (chemisch-biologisch) behandelen van zout water zodat dit anders ingezet kan worden. In het kader van het Deltaprogramma is er in Zeeland ook de [proeftuin 'Zoetwater'](#) waarin verschillende van bovengenoemde initiatieven zijn ingebed.

KENNISLEEMTEN

Het betrouwbaarheidsinterval van een zouttolerantiedrempel wordt gekenmerkt door een waardeninterval ('bandbreedte'). Het is nodig om de effecten van de zoutconcentratie in de wortelzone, de bodemkarakteristieken, de ontwateringstoestand, de weersomstandigheden, de duur van de blootstelling aan zout, de plantleeftijd tijdens de blootstelling aan zout, adaptatie van planten aan zoutstress, en adaptatie van planten aan veranderende omgevingsfactoren getalsmatig en eenduidig aan dit waardeninterval te koppelen. Welke factoren werken drempelverlagend (i.c. grotere zouttolerantie), welke drempelverhogend (i.c. kleinere zouttolerantie) en in welke mate? Hoe implementeren we deze nieuwe informatie in het operationele zoetwaterbeheer?

In Nederland is de zoutbelasting van landbouwgewassen in de vollegrond (op landbouwpercelen) tot nu toe nauwelijks gemeten. Op zich begrijpelijk omdat de maatschappelijke urgentie ontbrak. We weten echter nog steeds niet aan welke stress plantenwortels in tijden van droogte en/of bij aanvoer van brak beregeningswater daadwerkelijk worden blootgesteld.

Boeren meten in de praktijk vaak de EC van het slotwater als maat voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. Dit geeft slechts indirect informatie over de mate van zoutstress die het gewas in de wortelzone ervaart. Ten behoeve van de bruikbaarheid van maatregelen is het nodig om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen de EC in het slotwater en het optreden van zoutschade. Deze informatie moet bij voorkeur worden verstrekt door de boeren zelf.

Wat zijn de toxische effecten van 'zout' op landbouwgewassen? Heeft dit direct gevolgen voor de opbrengst?

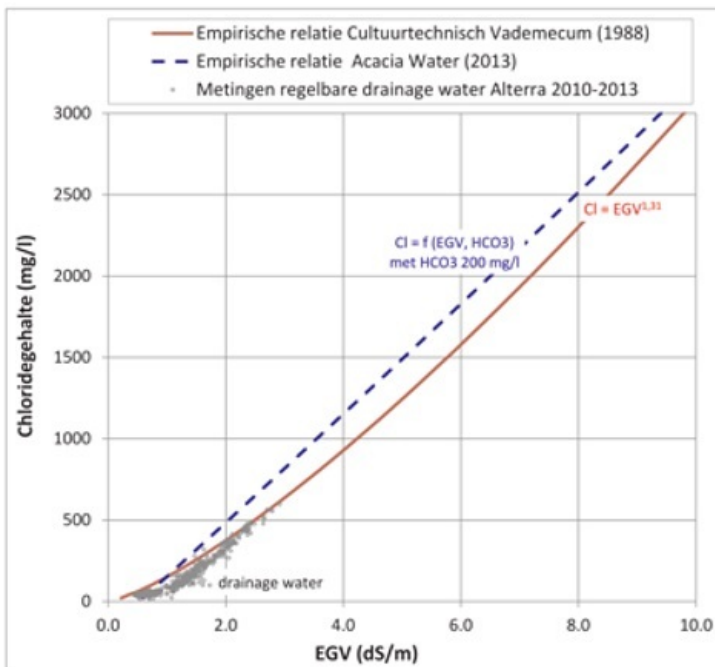
Hoe ontwikkelt de zouttolerantie van landbouwgewassen zich gedurende het groeiseizoen? Kunnen gewassen schade herstellen en zo ja, ten koste waarvan?

In het veld wordt geregeld opgemerkt dat zoutschade te verkiezen is boven droogteschade. Er is echter nog weinig bekend over hoe droogte- en zoutschade vergeleken en afgewogen moeten worden en wat de gevolgen zijn voor opbrengst en kwaliteit.

Wat zijn de effecten van 'zout' op de kwaliteit en/of smaak van geteelde producten?

Het gedeelte van een gewasareaal (ha) dat tijdens een teelt daadwerkelijk wordt berekend is in veel gevallen beperkt; vaak minder dan 10% (Gegevens gebaseerd op informatie, afkomstig uit Noord- en Zuid-Holland, voor het jaar 2010). Het is dus de vraag hoe groot het risico op zoutschade ten gevolge van berekening van een bepaald gewas in werkelijkheid is. Informatie hierover is helaas schaars, maar wel essentieel voor het optimaliseren van het voorzieningsniveau rond het operationele zoetwaterbeheer in verziltingsgevoelige gebieden.

In Nederland is de gewoonte om een zoutgehalte uit te drukken in het chloridegehalte (milligram chloride per liter) volledig ingeburgerd. Het verdient echter aanbeveling om over te schakelen op het Elektrisch Geleidingsvermogen (EGV), oftewel EC (=Electric Conductivity), een variabele die buiten Nederland gemeengoed is. De omrekeningsfactor van EC naar chlorideconcentratie is echter niet eenduidig, want is afhankelijk van de ionensamenstelling, de totale zoutconcentratie en de watertemperatuur; zie Figuur 6.



Figuur 6 Relatie tussen EC (dS/m en chloridegehalte (mg/l). Bron: Stuyt et al. (2013)

Het chloridegehalte is bovendien geen ideale indicator voor zoutschade, omdat naast osmotische effecten ook zoutschade die specifiek door hoge concentraties van Na^+ wordt veroorzaakt, bepalend kan zijn, te weten toxische effecten op gewassen en structuurbederf van bepaalde kleigronden. Hoewel er een sterke relatie is tussen natrium- en chlorideconcentratie in het zeewater, geldt dat niet voor het bodemvocht.

Zouttolerantienormen moeten verder en beter worden onderbouwd met veldexperimenten in Nederland voor meer

gewassen, variëteiten en verschillende zoutgehalten en de dynamiek daarvan. Stuyt et al. (2015) stellen de huidige zouttolerantiënormen ter discussie. Volgens hen is de 'normstelling' niet eenduidig en is de bestaande zoetwatervoorziening van Nederlandse verziltingsgevoelige gebieden aan de veilige kant en regiogebonden. Zij betogen dat de effecten van zout op gewassen structureel te pessimistisch worden ingeschat. Want al decennia komen steeds meer aanwijzingen dat een aantal vollegrondsteelten als aardappelen, gerst, tarwe en suikerbieten (veel) beter tegen zilt water kunnen dan waterbeheerders aannemen. Scherpere normen kunnen waterbeheerders flexibiliteit bieden en kosten besparen. Dit is gunstig in een veranderend klimaat, bij veranderende economische belangen en gezien de toenemende verzilting in laag Nederland. Stuyt et al. (2015) concluderen dat voor het vinden van oplossingen instrumenten en methoden nodig zijn die leiden tot gedeeld begrip en commitment. Daarnaast zullen alle betrokkenen concessies moeten doen aan hun belangen en/of waarden. Een 'Kennistafel Zoet-Zout' kan hieraan een bijdrage leveren.

De opname van zouten door het gewas dient bepaald te worden om sluitende zoutbalansen op te kunnen stellen.

LITERATUUR EN LINKS

- Abrahamse, A.H., et al., 1982. *Policy Analysis of Water Management for the Netherlands. Vol. XII, Model for Regional Hydrology, Agricultural Water Demands and Damages from Drought and Salinity*. RAND Corporation, Santa Monica, California.
- AdviesCommissie Schade Grondwater (2014) **PROTOCOL- Beschrijving behandeling - verzoeken om onderzoek naar schade.**, 12p., ACSG, Utrecht. www.grondwaterschade.nl
- Bakel, P.J.T. van, en L.C.P.M. Stuyt. 2011. *Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen. Op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen. Alterra rapport 2201*
- Bartholomeus, R., Kroes, J., Bakel, J. van, Hack-tenBroeke, M., Walvoort, D., & Witte, F. (2013). Actualisatie schadefuncties landbouw; fase1. **STOWA rapport 2013-22.**
- Blom, G., & Visser, W. De. (2013). Mogelijkheden voor de teelt van zeekraal in de volle grond. **Rapport 511. PRI**, Wageningen.
- Blom-Zandstra, M., W. Wolters, M. Heinen, C.W.J. Roest, R.W. Smit & A.L. Smit (2014). Perspectives for the growth of salt tolerant cash crops. A case study with potato. **Report 572. PRI**, Wageningen.
- Bustan, A., Sagi, M., Malach, Y. De, & Pasternak, D. (2004). Effects of saline irrigation water and heat waves on potato production in an arid environment. *Field Crops Research*, 90(2-3), 275–285. doi:10.1016/j.fcr.2004.03.007.
- Daliakopoulos IN, Tسانيس IK, Koutroulis A, Kourgialas NN, Varouchakis AE, Karatzas GP, Ritsema CJ (2016) The threat of soil salinity: A European scale review. *Sci Total Environ* 573:727-739. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>
- Dam, A. M. van, Clevering, O. A., Voogt, W., Aendekerk, T. G. L., & Maas, M. P. van der. (2007). *Leven met Zout Water. Deelrapport: Zouttolerantie van landbouwgewassen. PPO publicatie nr 32 34019400. Wageningen.*
- Heuer, B., & Nadler, A. (1995). Growth and Development of Potatoes under Salinity and Water Deficit. *Aust. J. Agric. Res.*, (46), 1477–86.
- Jaarsma, R., de Vries, R. S. M., & de Boer, A. H. (2013). Effect of salt stress on growth, Na⁺ accumulation and proline metabolism in potato (*Solanum tuberosum*) cultivars. *PLoS one*, 8(3), e60183. <http://connection.ebscohost.com/c/articles/87681883/effect-salt-stress-growth-na-accumulation-proline-metabolism-potato-solanum-tuberosum-cultivars>
- Jeuken, A., M. Hoogvliet, E. Van Beek, E. Van Baaren, R. Van Duinen, A. Van der Veen, A. Te Linde, J. Delsman, P. Pauw, G.H.P. Oude Essink, S.E.A.T.M. Van der Zee, S. Stofberg, W. Appelman, R. Cruesen, M. Paalman, D. Katschnig, J. Rozema, M. Mens, J. Kwakkel, and J.A. Veraart, 2012, Opties voor een klimaatbestendige zoetwatervoorziening in Laag-Nederland. Kennis voor Klimaat: Utrecht **KvK rapportnummer 55/2012** (Midterm Assessment).
- Katerji N, van Hoorn JW, Hamdy A, Mastrorilli M, Fares C, Ceccarelli S, Grando S, Oweis T (2006) Classification and salt tolerance analysis of barley varieties. *Agricultural Water Management* 85 (1–2):184-192. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2006.04.006>
- Levy, D., Coleman, W. K., & Veilleux, R. E. (2013). Adaptation of Potato to Water Shortage: Irrigation Management and Enhancement of Tolerance to Drought and Salinity. *American Journal of Potato Research*, 90(2), 186–206. doi:10.1007/s12230-012-9291-y.
- Louw, P. de (2013). *Saline seepage in deltaic areas. PhD thesis. Vrije Universiteit Amsterdam.*
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual review of plant biology*, 59, 651–81. doi:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.
- Rozema, J., & Schat, H. (2013). Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 83–95. doi:10.1016/j.envexpbot.2012.08.004
- Rozema J, Broekman R, Ji B, Bruning B, Katschnig D (2014) Saving fresh water by crop cultivation on salinizing soils, a survey. Kennis voor Klimaat/Vrije Universiteit Amsterdam, **KfC rapport 146/2014**
- Schipper, P.N.M., G.M.C.M. Janssen, N.B.P. Polman, V.G.M. Linderhof, P.J.T. van Bakel, H.M. Massop, R.A.L. Kselik en L.C.P.M. Stuyt (2014). Effect zout Volkerak-Zoommeer op de zoetwatervoorziening van de landbouw. Berekening droogte en zoutschade met €ureyeopener 2.1 voor Tholen, St. Philipsland, Oostflakkee, Reigersbergsche en PAN-polders. **Alterra rapport 2439**. Wageningen.
- Snellen, B., Van Essen, E., Kroes, J., & Stuyt, L. (2012). Sociaal-economisch spoor verzilting Noord-Nederland. **Rapport 18/7/2011. Acacia Water.**
- Stuyt, L. C. P. M., Bakel, P. J. T. Van, Kroes, J. G., Bos, E. J., Elst, M. Van Der, Pronk, B., Rijk, P.J., Clevering, O.A., Dekking, A.J.G., Voort, M.P.J. Van Der, Wolf, M. De, Brandenburg, W. A. (2006). *Transitie en toekomst van Deltalandbouw; Indicatoren voor de ontwikkeling van de land- en tuinbouw in de Zuidwestelijke Delta van Nederland. Alterra rapport 1132*. Wageningen.
- Stuyt, L. C. P. M., Bakel, P. J. T. van, & Massop, H. T. L. (2011). *Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout. Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland. Alterra-rapport 2200*. Wageningen.
- Stuyt, L. C. P. M., Bakel, P. J. T. van, Delsman, J., Massop, H. T. L., Kselik, R. A. L., Paulissen, M. P. C. P., Oude Essink, G.H.P., Hoogvliet, M. Schipper, P. N. M. (2013). Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland:

- onderzoek met hulp van €ureyeopener 1.0. [Alterra rapport 2439](#). Wageningen.
- Stuyt L.C.P.M., C. Schuiling, P.J.T. van Bakel, H.T.L. Massop, G.H.P. Oude Essink, M. Faneca Sanchez, J. Velstra, N.B.P. Polman en A.C. de Vos, (2014). *Mogelijke effecten van actualisatie van zoutchadefuncties van grondgebonden, beregende landbouwgewassen*. [KvK rapport 116/2014](#).
 - Stuyt, L.C.P.M., N. Kielen en R. Ruijtenberg (2015). Is de Nederlandse landbouw echt zo gevoelig voor zout water? [H₂O-online, maart 2015: 39-42](#).
 - Stuyt, L.C.P.M., Blom-Zandstra en R.A.L. Kselik (2016). Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens. Wageningen University & Research, ESG-rapport 2739. Wageningen.
 - Vos, A.C. de (2011). Sustainable exploitation of saline resources; ecology, ecophysiology and cultivation of potential halophyte crops. [PhD Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam](#).
 - Vos, A. de, Bruning, B.; Straten, G. van; Oosterbaan, R.; Rozema, J.; Bodegom, P. van, 2016. [Crop salt tolerance under controlled field conditions in The Netherlands, based on trials conducted at Salt Farm Texel](#). Den Burg : Salt Farm Texel - 39 p.
 - Zee, S.E.A.T.M. Van der (2013). [Wageningen University Environmental Sciences](#), Subdivision Soil Physics and Land Management.

Deze factsheet is opgesteld door Wageningen Environmental Research (Alterra), augustus 2011 en voor het laatst geactualiseerd in januari 2018.

OVERZICHT LOPENDE INITIATIEVEN EN ONDERZOEKEN

Project (incl hyperlink)	Betrokken partijen	Contactpersoon	Onderzoeks locatie
Zeekool	VU Amsterdam, Wageningen UR, HH Hollands Noorderkwartier, Provincie Noord- Holland	Arjen de Vos	Texel
ZiltPerspectief	Stichting Zilt Perspectief, Vrije Universiteit Amsterdam, Wageningen UR – PRI, Louis Bolk Instituut	Marc van Rijsselberghe	Texel
WaterWijzer Landbouw	STOWA, KWR, Wageningen UR, Bakelse Stroom	Mirjam Hack-ten Broeke	NL
GoFresh	Zie website	Gualbert Oude Essink	Zeeland
KvK- projecten	Zie website	Zie website	NL
Project SPAAR WATER	Zie Website	Jouke Velstra	Noord- Nederland
Water Nexus	Zie Website	Huib Rijnaarts	NL

DISCLAIMER

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.