

ZOUTTOLERANTIE VAN GEWASSEN

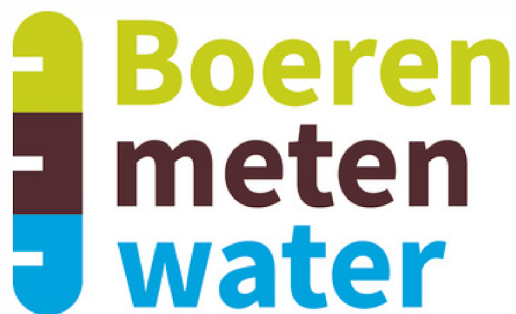


Auteurs:

Dr. A.C. de Vos

Dr. B. Bruning

Juli 2023



provincie
groningen

provinsje fryslân
provincie fryslân



Waterschap NOORDERZIJVEST



van hall
larenstein
university of applied sciences



ACACIAWATER



WETTERSKIP
FRYSLÂN



Europees Landbouwfonds voor
Plattelandontwikkeling: Europa
investeert in zijn platteland

Dit document is tot stand gekomen in samenwerking met
The Salt Doctors





Introductie

Sinds de gevolgen van klimaatverandering ook in Nederland steeds meer voelbaar worden, is er ook steeds meer behoefte aan kennis over hoe om te gaan met de gevolgen. Deze gevolgen zijn in Nederlands de toename van weerextremen, wat zich vertaalt in een toename in droogte en verzilting tijdens de lente en zomer.

Nu verzilting een meer frequent probleem wordt, en er ook steeds meer aandacht voor is, is er ook behoefte aan kennis over de effecten van verzilting op de grond, op het water (zowel grondwater als oppervlaktewater en de effecten op gewassen. Dit laatste deel, de zouttolerantie van gewassen, zal hier worden besproken. Er zal blijken dat er zeker al relevante kennis beschikbaar is, maar dat er ook nog belangrijke kennislacunes zijn. Deze zullen de komende jaren moeten worden opgelost.

Huidige kennis over zouttolerante gewassen

Er bestaan verschillende modellen om de zouttolerantie van een gewas te beschrijven, maar het Maas-Hoffman model is het meeste in gebruik (drempel-helling model). Dit model gaat uit van een maximale zoutconcentratie waarbij nog geen effect optreedt (de drempelwaarde), en een maat voor hoe snel de opbrengst afneemt bij zoutconcentraties die hoger zijn dan de drempelwaarde (de helling). De twee parameters die de zouttolerantie beschrijven staan online gebundeld in een publicatie van de FAO (Annex 1. Crop salt tolerance data) en deze lijst dient vaak als standaard referentie en ook in Nederland wordt deze lijst tot nu toe meestal standaard gebruikt. Deze lijst is echter veelal gebaseerd op hele oude studies. Zo is de informatie over de tolerantie van een aardappel (EC drempelwaarde 1,7 en helling van -12%) gebaseerd op een publicatie uit 1951. Sinds die tijd zijn er verschillende studies die aantonen dat de tolerantie van in ieder geval sommige aardappelrassen flink hoger liggen, bijvoorbeeld in Van Straten *et al.*, 2021 en De Vos *et al.*, 2016.

In tabel 1 hebben we de huidige kennis voor wat betreft zouttolerantie van een aantal gewassen bij elkaar gezet. Hierbij ligt de focus op de maximale zoutconcentratie waarbij er nog geen zoutschade optreedt (data Stuyt *et al.*, 2016 en FAO) of de maximale waarden waarbij 10% opbrengst verlies optreedt (data van Van Straten *et al.*, 2021 en De Vos *et al.*, 2016). De getallen komen dus hoofdzakelijk uit drie publicaties waarbij onder Nederlandse situaties de zouttolerantie is getest: Stuyt *et al.*, (2016), De Vos *et al.*, (2016) en Van Straten *et al.*, (2021). Een belangrijk onderscheid in onderstaande tabel is, naast de opsplitsing in maximale zoutconcentraties voor bodem en irrigatiewater, dat de betrouwbaarheidsintervallen verschillen tussen Van Straten *et al.*, 2021 en De Vos *et al.*, 2016 enerzijds en Stuyt *et al.*, 2016 anderzijds. In het geval van de publicatie van Stuyt *et al.*, 2016 gaat men uit van een 40% betrouwbaarheidsinterval (dus maar 4 op de 10 gevallen zullen echt binnen de genoemde spreiding vallen), waardoor de vaak relatief kleine interval dus een vertekend beeld kan geven. De andere twee Nederlandse bronnen gaan uit van een 95% betrouwbaarheidsinterval, wat dus betekent dat nagenoeg alle gevallen van zoutschade binnen de genoemde spreiding zullen liggen.



Tabel 1. Zouttolerantie van verschillende landbouwgewassen, op basis van de maximale zoutconcentratie (EC max, in dS/m) waarbij een minimaal effect optreedt (maximaal 10% mindere opbrengst) en de bandbreedte (spreiding) waarbinnen dit effect mogelijk optreedt. Ook is de FAO referentiewaarde (spreiding niet gerapporteerd) toegevoegd wanneer beschikbaar (van alle gewassen behalve van de tulp).

gewas	ras	Gemiddelde max. zoutconc. bodem (ECe, in dS/m)	Spreiding van de zoutconcentratie (ECe) waarbij eerste effect kan optreden	bron	
aardappel	Nicola	4,1	2,2 – 6,5	Van Straten <i>et al.</i> , 2021	
	Caruso	4,2	1,7 – 8,0		
	Focus	5,2	0,1 – 9,7		
	Miss Mignonne	5,8	2,3 – 9,1		
	Elgar	7,8	5,0 – 9,8		
	Rivola	7,8	5,7 – 9,5		
	aardappel	Miss Mignonne	4,1	2,9 - 5,2	De Vos <i>et al.</i> , 2016
		Achilles	2,9	1,5 - 4,4	
		Focus	2,1	0,3 - 3,8	
		Metro	1,9	0,2 - 3,7	
927		3,4	1,8 - 5,1		
FAO Referentie		1,7			
ui		Alonso	2,4	0,0 – 7,6	
	Red	5,9	2,7 – 9,2		
	San	3,2	0,0 – 7,2		
	Hyb	3,4	0,0 – 8,0		
	FAO Referentie	1,2			
sluitkool	Wit, vroeg	4,6	2,9 – 6,2		
	FAO Referentie	1,8			
peen	Cascade	4,5	1,8 – 7,3		
	Nerac	3,6	0,5 – 6,6		
	FAO Referentie	1			
		Gemiddelde max. zoutconc. irrigatiewater (EC, in dS/m)	*		
aardappel	?	3,7	2,3 – 5,4	Stuyt <i>et al.</i> , 2016***	
ui	?	3,8	3,8 – 4,8		
grasland	?	7,3	2,9 – 15,7		
tarwe, gerst**	?	8,9	5,2 - 18,6		
rode biet	?	4,5	4,5 - 5,2		
FAO Referentie		4,0			
suikerbiet	?	5,7	4,8 - 8,6		
FAO Referentie		7,0			
peen	?	3,9	3,7 - 4,5		
tulp	?	2,4	1,0 - 3,3		



* in Stuyt et al., (2016) wordt met name gekeken naar de EC van het irrigatiewater, maar in de praktijk zal de uiteindelijke EC van bodem en daarmee het effect op het gewas nog door diverse factoren worden beïnvloed. Voor berekening van de EC is uitgegaan $EC = \text{chloride (in mg/L)} / 221$ (De Vos et al., (2016)).

** in Stuyt et al., (2016) worden tarwe en gerst samen vermeld, maar het is algemeen bekend dat gerst meer tolerant is dan tarwe.

*** De betrouwbaarheidsintervallen in Stuyt et al., (2016) reflecteren een betrouwbaarheid van 40% dat de zoutschade binnen de genoemde intervallen ligt, niet een betrouwbaarheid van 95% zoals in de andere twee publicaties. Ook is het belangrijk te realiseren, - zoals hierboven beschreven - dat deze betrouwbaarheidsintervallen anders tot stand zijn gekomen: in de Vos et al., (2016) en van Straten et al., (2019) reflecteren de betrouwbaarheidsintervallen de onzekerheden rond een gemiddelde op basis van replica's aan hetzelfde ras en experimenten gedurende meerdere jaren, terwijl de betrouwbaarheidsintervallen uit Stuyt et al., (2016) een spreiding reflecteren rond een schatting van de gemiddelde tolerantie gebaseerd op verschillende gepubliceerde waarden.

Conclusies: wat weten we al, en wat weten we nog niet?

Er vallen een aantal dingen op in Tabel 1. Zo is het bijvoorbeeld meestal zo dat de FAO referentiewaarden meestal *onder* de laagste schatting van de betrouwbaarheidsintervallen liggen in alle drie de aangehaalde publicaties. Bij de aardappelen bijvoorbeeld (twaalf gerapporteerde waarden van minimaal negen rassen; de rassen van de waarde gerapporteerd in Stuyt et al., 2016 zijn onbekend) ligt de ondergrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval *boven* de 1,7 dS/m.

In een aantal gevallen komen de schattingen van Stuyt et al., (2016) wel mooi overeen met de door de FAO gepubliceerde waarden. Zo liggen de waarden van de zouttolerantie van de suikerbiet en rode biet dichtbij elkaar in beide publicaties, en is er ook overeenstemming dat suikerbiet meer tolerant is dan rode biet.

Een ander belangrijk punt is natuurlijk die grote spreiding, die zelfs onder gecontroleerde omstandigheden nog zal optreden. In de FAO publicatie wordt erop gewezen dat de genoemde waarden meer als richtlijn dienen. Of er daadwerkelijke effecten optreden, hangt af van het (lokale) klimaat, bodemcondities en de gebruikte teeltmethodes (FAO). Ook zullen er altijd onzekerheden zijn in de resultaten van de zoutmetingen zelf (met name met grondmonsters), en treden er variaties op in de bodemvochtigheid en verschilt de zouttolerantie ook per groeistadium van het gewas. Kortom, de genoemde spreiding zal altijd optreden. Door langdurig, goed opgezet onderzoek onder gecontroleerde veldomstandigheden en het verzamelen van meetgegevens (zoutconcentratie water, bodem en gewasgroei) op landbouwpercelen kan de spreiding in de data verder worden verkleint en toekomstig onderzoek dient zich hier op te richten.

Meer over modellen om zout effecten op gewassen te beschrijven

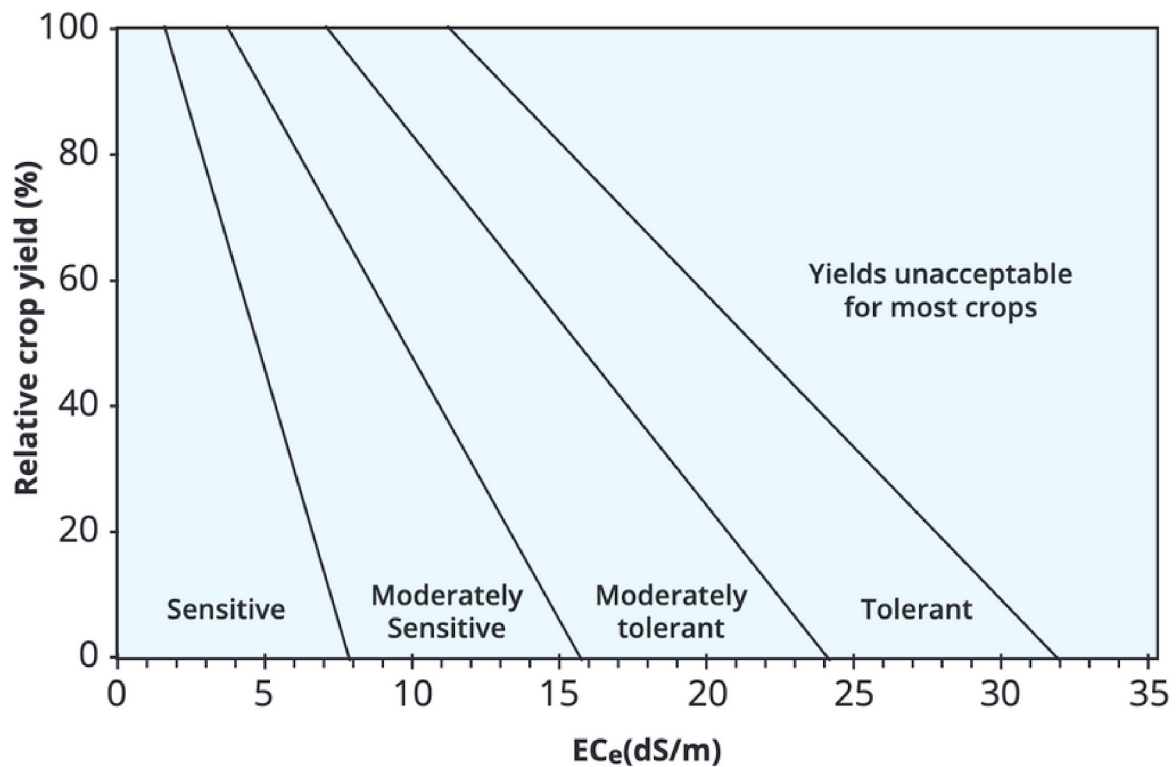
Zout in de bodem wordt op verschillende manieren beschreven: in Nederland wordt het chloridegehalte in water vaak gebruikt, de hoeveelheid Na (in gram/liter) wordt ook vaak gebruikt en tenslotte is wellicht de meest gebruikte parameter de EC; de elektrische geleidbaarheid. Wanneer de EC van grond wordt genoemd, moet er aan de EC een toevoegsel worden gehangen welke de



methode beschrijft. Het meest gebruikelijke is dat de EC van een grond wordt uitgedrukt in de ECe, de elektrische geleidbaarheid van een grond extract. Dit wordt verkregen door een grondmonster te drogen, vervolgens te zeven en er gedemineraliseerd water aan toe te voegen totdat er een soort pasta ontstaat die aan verschillende eigenschappen moet voldoen. Uit deze pasta wordt dan de waterfractie geëxtraheerd en daarvan wordt de geleidbaarheid bepaald, en zo verkrijgt je de ECe.

Voordat we een aantal verschillende modellen voor het beschrijven van de effecten van zout op gewassen bespreken is het belangrijk om te benadrukken dat alle modellen gebaseerd zijn op schattingen van gemiddelde zouttoleranties, waar een bepaalde onzekerheid omheen zit. Wanneer een gewas blootgesteld wordt aan verschillende zoutgehaltenes met een x-aantal replica's, (en liefst ook nog gedurende verschillende jaren/groeiseizoenen, zoals in De Vos *et al.*, (2016) en Van Straten *et al.*, (2019)) dan kan er een gemiddelde zouttolerantie worden geschat met daaromheen een onzekerheidsinterval. Vaak wordt deze onzekerheid aangegeven met een standaarddeviatie of een 95% betrouwbaarheidsinterval: dit getal geeft aan dat op basis van de gegevens van het specifieke experiment de echte waarde met 95% zekerheid binnen het interval ligt. Dit is het geval bij de gerapporteerde betrouwbaarheidsintervallen van de Vos *et al.*, (2016) en Van Straten *et al.*, (2019). Wanneer dezelfde parameters (in dit geval een maat voor zouttolerantie van een gewas: de drempelwaarde) komend uit verschillende studies met elkaar worden vergeleken kan er ook zo'n onzekerheidsinterval worden berekend. Dat is het geval met de betrouwbaarheidsintervallen in Tabel 1 van Stuyt *et al.*, (2016). Echter, dit zijn betrouwbaarheidsintervallen van 40%, wat betekent dat de echte waarde van de zouttolerantie van dat specifieke gewas met 40% zekerheid binnen het gerapporteerde interval ligt. Het is dus belangrijk om te onthouden dat het niet dezelfde schattingen zijn en dat de getallen gerapporteerd door Stuyt *et al.*, (2016) in theorie dus lager zouden moeten liggen dan de getallen gerapporteerd in de andere twee publicaties.

Het effect van zout op een gewas wordt traditioneel beschreven aan de hand van twee parameters: de drempelwaarde en de helling. De drempelwaarde is het zoutgehalte in de bodem (de ECe) vanaf waar je een afname in de opbrengst of gewasgroei gaat zien. De helling beschrijft de afname in procenten per EC eenheid na deze drempelwaarde. Verder is de aanname dat een lage drempelwaarde gepaard gaat met een steile negatieve helling, en dat een hoge drempelwaarde (en dus een hoge zouttolerantie van het gewas) gepaard gaat met een minder steile helling. Dit model is oorspronkelijk geïntroduceerd door Maas en Hoffman in 1977 en is internationaal het meest gebruikte model. Figuur 1 is een grafische weergave van het model, waarin ook te zien is dat er op basis van dit model vier groepen geïdentificeerd worden op basis van hun respons op zout: gevoelige gewassen, matig gevoelige gewassen, matig tolerante gewassen en tolerante gewassen.



Figuur 1. Classificatie van de zouttolerantie (Maas en Hoffman, 1977).

Er bestaan een aantal problemen met dit model. Zo is het niet aannemelijk op basis van plantenfysiologie dat er een scherp moment valt aan te wijzen zoals de drempelwaarde suggereert. Waar deze drempelwaarde precies ligt hangt samen met andere factoren die van jaar tot jaar en van ras tot ras kunnen verschillen. Verder is er ook weinig bewijs voor de relatie tussen drempelwaarde en helling: een hoge drempelwaarde kan best gepaard gaan met een steile helling, en andersom ook. Tot slot is het ook nog belangrijk je te realiseren dat de schatting van de opbrengst onder de controle omstandigheden (dus zonder zoutstress) ook een onzekerheid met zich meebrengt en dat deze schatting van invloed is op de schatting van de drempelwaarde. Als je de controle opbrengst erg laag inschat zal de drempelwaarde hoger worden en andersom. Deze realisatie kan een deel van de variatie in gepubliceerde zouttolerantie waarden verklaren maar wordt vaak over het hoofd gezien.

Er zijn sinds het Maas-Hoffman model meerdere pogingen gedaan om tot betere modellen te komen. De meeste recente wetenschappelijke publicaties hierover introduceren een nieuwe parameter om de zouttolerantie van een gewas te beschrijven: de EC₉₀. Dit is de EC_e waarde waarbij de opbrengst van het gewas 90% is van de opbrengst onder niet-zoute omstandigheden. Van Straten et al., (2019) laten zien dat deze waarde een 30% kleiner betrouwbaarheidsinterval heeft dan de drempelwaarde van Maas en Hoffman. Doordat het mogelijk is deze EC₉₀ met een grotere precisie te schatten is het mogelijk - en makkelijker - om significante verschillen tussen rassen en gewassen aan te tonen. Dezelfde auteurs laten zien in een latere publicatie (Van Straten et al., (2021)) dat dit inderdaad mogelijk is voor verschillende aardappelrassen die meerdere jaren onder veldomstandigheden op hun zouttolerantie zijn getest.

Een van de redenen waarom de modellen van Van Straten et al. (2019 en 2021) tot een meer robuuste schatting van de zouttolerantie van een ras leiden en dus ook tot de mogelijkheid om



verschillen in zouttolerantie tussen rassen aan te tonen, is omdat de auteurs een onbekende variabele in hun model hebben opgenomen. Door deze onbekende variabele mee te laten variëren met de schattingen van de EC_{90} wordt de onzekerheid rond de schatting kleiner. Dit is lastig om simpel uit te leggen en het onderliggende mechanisme is ook onbekend maar het is niet onaannemelijk dat zulke factoren echt bestaan. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan effecten van het klimaat in een bepaald groeiseizoen (temperatuur gedurende het groeiseizoen, luchtvochtigheid, hoeveelheid zonuren etc.). Er zijn aanwijzingen dat dit soort factoren van invloed zijn op de knolvorming in aardappelen (en dus op de uiteindelijke opbrengst), en dat die invloed kan verschillen van ras tot ras. Het is dus niet per se zo dat, bijvoorbeeld, een koude lente bij alle aardappelrassen tot meer (of juist minder) knolvorming zal leiden; het kan heel goed dat het ene ras reageert met meer knolvorming, en het andere juist met minder knolvorming. In ieder geval is het zo dat met de introductie van zo'n onzekerheidsfactor de schatting van de zouttolerantie van verschillende aardappelrassen (veel) nauwkeuriger wordt.



Referenties

- De Vos, A., Bruning, B., van Straten, G., Oosterbaan, R., Rozema, J., van Bodegom, P. 2016. Crop salt tolerance under controlled field conditions in The Netherlands, based on field trials conducted by Salt Farm Texel.
- Maas, E.V., Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance, current assessment. ASCE J. Irrig. Drain. Div. 103, 115-134.
- Stuyt, L. C. P. M., Blom-Zandstra, M., en Kselik, R. A. L. 2016. Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens. Wageningen Environmental Research, report 2739.
- Van Straten, G., De Vos, A. C., Rozema, J., Bruning, B., van Bodegom, P. M. 2019. An improved methodology to evaluate crop salt tolerance from field trials. Agricultural Water Management 375-387.
- Van Straten, G., Bruning, B., De Vos, A.C., Parra Gonzales, A., Rozema, J., van Bodegom, P.M. 2021. Estimating cultivar-specific salt tolerance model parameters from multi-annual field tests for identification of salt tolerant potato cultivars. Agricultural Water Management 252, 106902.