



Zouttolerantie van gewassen afhankelijk van het groeistadium?

Resultaten van een literatuuronderzoek

P.J.T. van Bakel, M. Blom-Zandstra en L.C.P.M. Stuyt

Zouttolerantie van gewassen afhankelijk van het groeistadium?

Resultaten van een literatuuronderzoek

P.J.T. van Bakel¹, M. Blom-Zandstra² en L.C.P.M. Stuyt³

1 De Bakelse Stroom

2 Wageningen Plant Research (WPR)

3 Wageningen Environmental Research (WENR)

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research, adviesbureau 'De Bakelse Stroom' en Stichting Wageningen Research (WR) in opdracht van en gefinancierd door het Deltaprogramma Zoetwater (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, juli 2018

Rapport 2897
ISSN 1566-7197


Bakel, P.J.T. van, M. Blom-Zandstra en L.C.P.M. Stuyt, 2018. *Zouttolerantie van gewassen afhankelijk van het groeistadium?; Resultaten van een literatuuronderzoek*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2897. 44 blz.; 16 fig.; 6 tab.; 46 ref.

Om de vraag in hoeverre de zouttolerantie van landbouwgewassen groeistadiumafhankelijk is te kunnen beantwoorden is een literatuurstudie uitgevoerd. Voor de reactie van de plant op zout in de wortelzone zijn verschillende mechanismen verantwoordelijk. Zij zijn samen te vatten in een osmotisch effect en een ioneffect, elk met hun eigen dynamiek. De kennis van verloop van zouttoleranties bij opeenvolgende groeistadia blijkt kwalitatief en fragmentarisch. Het ontbreken van onder Nederlandse groeiomstandigheden verzamelde gegevens betekent dat kwantificering per gewas niet mogelijk is, en toepassing in het waterbeheer problematisch is. Nieuwe experimenten zijn nodig om een vinger te krijgen achter de 'wordingsgeschiedenis' van de zoutschade.

In order to answer the question to what extent the salt tolerance of agricultural crops is growth stage dependent, a literature study has been carried out. For the plant's reaction to salt in the root zone, various mechanisms are responsible. They can be summarized in an osmotic effect and an ion effect, each with their own dynamics. The variability of salt tolerance at successive growth stages can only be addressed qualitatively. The lack of data collected under Dutch growth conditions means that cropwise quantification is not possible, and application in water management is problematic. New experiments are needed to get a finger behind the 'genesis history' of salt damage.

Trefwoorden: landbouw, zouttolerantie, groeistadium, gewasgroepen, zoutschade, ioneffect, osmotisch effect.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/454794> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

 2018 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research Rapport 2897 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Shutterstock

Inhoud

| | | |
|----------|--|-----------|
| | Woord vooraf | 5 |
| | Samenvatting | 7 |
| 1 | Inleiding | 9 |
| | 1.1 Aanleiding | 9 |
| | 1.2 Doel van deze studie | 9 |
| | 1.3 Scope van deze studie | 9 |
| | 1.4 Opbouw rapport, tevens leeswijzer | 10 |
| 2 | Enige landbouwkundige achtergronden | 11 |
| | 2.1 Inleiding | 11 |
| | 2.2 Indeling in groeistadia van (groepen van) gewassen | 11 |
| | 2.3 Enige relevante data voor Nederland | 13 |
| 3 | De respons van de plant op zout in de wortelzone; de theorie | 14 |
| | 3.1 Inleiding | 14 |
| | 3.2 Zouttolerantie bij planten, verschillende mechanismen | 14 |
| | 3.2.1 Osmotisch en ioneffect | 14 |
| | 3.2.2 Tijdseffecten | 15 |
| | 3.3 Responsmechanismen | 15 |
| | 3.4 Tolerantie voor beide stress-effecten in verschillende groeistadia | 17 |
| | 3.5 Doorwerking van zoutstress in verschillende gewasgroepen | 18 |
| 4 | Resultaten literatuuronderzoek per gewas | 22 |
| | 4.1 Inleiding | 22 |
| | 4.2 Nederlandse literatuur | 22 |
| | 4.3 Buitenlandse literatuur | 22 |
| | 4.3.1 Zouttolerantie per groeistadium | 22 |
| | 4.3.2 Overige effecten | 25 |
| | 4.4 Relatie met droogtestress | 25 |
| | 4.4.1 Literatuuronderzoek | 25 |
| | 4.4.2 Synthese | 28 |
| 5 | Conclusies | 29 |
| 6 | Toepasbaarheid voor het waterbeheer in Nederland | 30 |
| | 6.1 Buitenlandse literatuur relevant voor Nederland? | 30 |
| | 6.2 Gebruik van MH-relaties | 30 |
| | 6.3 Kennis uit Nederlandse literatuur toepasbaar? | 31 |
| | 6.4 Kennis droogteschade toepasbaar op osmotisch effect? | 31 |
| | 6.5 Aanbevelingen voor nader onderzoek | 32 |
| | Nabeschuwing | 33 |
| | Literatuur | 34 |

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Bijlage 1 | Handige conversies bij het zoutdomein | 36 |
| Bijlage 2 | Overzicht van de Nederlandse literatuur waarin wordt gerefereerd aan verschillen in zouttolerantie per groeistadium | 38 |
| Bijlage 3 | De MH-relaties en daarvan afgeleide classificatie van zouttolerantie van gewassen | 40 |
| Bijlage 4 | Relevante passages m.b.t. zouttolerantie per groeistadium in Maas and Grattan (1999) | 42 |

Woord vooraf

Zoutschade in de landbouw is een boeiend onderwerp, zowel vanuit het oogpunt van de agrariër als vanuit de waterbeheerder. Maar ook voor onderzoekers, want veel zaken zijn nog onvoldoende bekend. Bijvoorbeeld van de gevoeligheid voor zoutschade per groeistadium van een gewas. In dit rapport wordt de kennis hierover samengevat, met als conclusie dat de gevoeligheid per groeistadium sterk kan variëren maar dat wij (de auteurs Greet Blom, Lodewijk Stuyt en Jan van Bakel) de kwantificering ervan per gewas onvoldoende achten voor praktische toepassingen. Werk aan de winkel!

Namens beide andere auteurs bedank ik Neeltje Kielen, gedelegeerd opdrachtgever namens het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, en Rob Ruijtenberg (Stowa) voor hun constructieve commentaar tijdens de totstandkoming van dit rapport.

Wageningen, 1 juli 2018
Jan van Bakel

Samenvatting

Bij het kwantificeren van de gevoeligheid van een plant voor zout in de wortelzone wordt veelal geen rekening gehouden met verschillen in gevoeligheid per groeistadium. Er zijn aanwijzingen dat die verschillen groot kunnen zijn. Doel van de literatuurstudie is antwoord te krijgen op de vragen:

1. Is zoutschade (opbrengstderving) inclusief de kwaliteit van het oogstbaar product), veroorzaakt door zout in de wortelzone en zout in het irrigatiewater afhankelijk van het groeistadium?
2. Welke zijn de mechanismen die deze schade veroorzaken, en is kennis van groeifase gerelateerde zoutschade aantoonbaar relevant voor de praktijk van het Nederlandse (operationele en agrarische) waterbeheer?

Na de inleiding (Hoofdstuk 1) worden in Hoofdstuk 2 enkele landbouwkundige achtergronden behandeld. Hoofdstuk 3 beschrijft de respons van de plant op zout in de wortelzone. Deze is te onderscheiden in osmotisch effect en ioneffect. Deze effecten hebben verschillende tijdeffecten (het moment waarop de effecten van zoutstress op het gewas zichtbaar worden), omdat planten in de loop van de evolutie verschillende mechanismen hebben ontwikkeld om negatieve effecten van zout tegen te gaan. Daardoor is de tolerantie voor beide stress-effecten afhankelijk van het groeistadium maar per effect is deze afhankelijkheid verschillend. Per gewasgroep zijn deze verlopen kwalitatief te schetsen.

Het literatuuronderzoek naar verschillen in gevoeligheid voor zout per groeistadium per gewas (Hoofdstuk 4) leverde voor de Nederlandse literatuur nauwelijks nieuwe inzichten. In de buitenlandse literatuur werden wel voorbeelden gevonden waarin onderscheid werd gemaakt in groeistadiumafhankelijke zouttolerantie. Maar de kennis is als ontoereikend beoordeeld om per gewas de relatie tussen zouttoestand in de wortelzone en groeireductie per groeistadium te kwantificeren, met name omdat de overdraagbaarheid van buitenlandse proeven naar de Nederlandse praktijk beperkt is. Ook is in de literatuur gespeurd naar relaties tussen droogtestress en zoutstress, met als conclusie dat deze relatie verre van eenduidig is.

Bovenstaande bevindingen zijn samengevat in Hoofdstuk 5. Met als belangrijkste bevinding: vooral uit buitenlandse literatuur komt naar voren dat de zouttolerantie van een gewas afhangt van het groeistadium en dat deze afhankelijkheid aanzienlijk kan zijn. De groeistadium-gerelateerde zouttolerantie van gewassen hangt op complexe wijze samen met de osmotische werking van zout in de wortelzone en de toxische werking van bepaalde ionen die wel of niet effectief buiten de plant kunnen worden gehouden als de concentratie ervan in het bodemvocht boven een bepaalde drempel komt. De complexiteit komt ook voort uit de responstijden, die voor de osmotische werking veel korter is dan voor de toxische werking en het adaptatievermogen van de plant.

Hoofdstuk 6 beschrijft de toepasbaarheid van de resultaten van het literatuuronderzoek voor het waterbeheer in Nederland. Met als belangrijkste conclusie dat resultaten van veldproeven uit buitenlandse literatuur beperkt toepasbaar zijn omdat de meteorologische omstandigheden in Nederland veelal sterk afwijken van de omstandigheden waaronder de buitenlandse proeven werden gedaan. Dit betekent ook dat toepassing van de Maas-Hoffman relaties (hierna: 'MH-relaties') problematisch is. Daarnaast is de kennis over droogtetolerantie per groeistadium onder voorwaarden toepasbaar op het osmotisch effect.

De belangrijkste aanbevelingen voor nader onderzoek is: willen we rekening houden met verschillen in zouttolerantie per groeistadium, en met verschillen tussen osmotische werking en toxische werking, dan is een innovatieve opzet van gecontroleerde veldproeven, vermeerdering van praktijkkennis en een ingrijpende aanpassing van bestaande modelconcepten vereist. Ook is een aanvullende vorm van gegevensverzameling nodig, nl. ervaringen van telers verzamelen en analyseren.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Onlangs werd een literatuurstudie afgerond naar de zouttolerantie van landbouwgewassen (Stuyt et al., 2016). De resultaten waren aanleiding voor vragen als: 'Waar staan we nu?' en 'Waar zitten nog gaten in onze kennis over zoutschade aan landbouwgewassen?'

We beschikken anno 2018 over de nodige instrumenten om zoutschade aan landbouwgewassen te simuleren, maar deze zijn nog niet uitontwikkeld. Zo wordt in deze instrumenten nog niet gerekend met verschillen in tolerantie/gevoeligheid voor zoutschade, gespecificeerd tijdens opeenvolgende groeistadia. Als je beschikbare en geaccepteerde instrumenten en modeluitkomsten in de praktijk wilt valideren is het nodig kennis te hebben van de variabele zouttolerantie tijdens de groei. Deze kennis is ook vereist voor de beoogde operationele toepassingen.

1.2 Doel van deze studie

Doel van de literatuurstudie is antwoord te krijgen op de vragen:

1. Is zoutschade (opbrengstderving) inclusief de kwaliteit van het oogstbaar product), veroorzaakt door zout in de wortelzone en zout in het irrigatiewater afhankelijk van het groeistadium?
2. Welke zijn de mechanismen die deze schade veroorzaken en is kennis van groeifase gerelateerde zoutschade aantoonbaar relevant voor de praktijk van het Nederlandse (operationele en agrarische) waterbeheer?

1.3 Scope van deze studie

1. Deze literatuurstudie is gericht op het boven tafel krijgen van toepasbare kennis over de relatie tussen zout in de wortelzone en effecten op wateropname en gewasgroei per groeistadium, waarbij we ons niet beperken tot Nederlandse omstandigheden en in Nederland geteelde gewassen.
2. We richten ons op gerapporteerde osmotische en toxische effecten, omdat dit onderscheid mogelijk:
 - een verklaring biedt voor de groeistadium gerelateerde variabiliteit in de reactie van de plant op zout in de wortelzone;
 - aanknopingspunten biedt om correlaties op te sporen met groeistadiumafhankelijke toleranties voor droogteschade;
 - aanknopingspunten biedt voor pogingen om empirische relaties uit (veelal buitenlandse) literatuur om te zetten naar Nederlandse omstandigheden.
3. Zoutschade door bladverbranding, structuurbederf, verkleuring oogstbaar product e.d. nemen we mee als er iets over bekend is. Als deze effecten overheersen ten opzichte van het osmotische plus toxische effect worden deze twee laatste minder belangrijk.
4. De intentie is om de verkregen nieuwe kennis te kunnen toepassen in simulatiemodellen die worden gebruikt in het Nederlandse waterbeheer, zoals SWAP-WOFOST, maar is geen doel op zich.

1.4 Opbouw rapport, tevens leeswijzer

In Hoofdstuk 1 worden aanleiding, doel en scope van de studie beschreven.

Om zicht te krijgen op het onderzoeksveld worden in Hoofdstuk 2 enige landbouwkundige achtergronden gegeven en wordt het belang van aandacht voor zoutschade voor de grondgebonden landbouw in Nederland geduid. In Hoofdstuk 3 wordt de respons van de plant op zout in de wortelzone en in de plant beschreven, op basis van literatuuronderzoek. In Hoofdstuk 4 wordt de 'oogst' beschreven van het doorzoeken van binnen- en buitenlandse literatuur naar beschrijvingen van groeistadium gerelateerde zouttolerantie van landbouwgewassen. De resultaten van Hoofdstuk 3 en 4 hebben geleid tot onze conclusies die in Hoofdstuk 5 worden geformuleerd. Hoofdstuk 6 beschrijft de toepasbaarheid van de bevindingen van het literatuuronderzoek voor het waterbeheer in Nederland. Het rapport wordt afgesloten met een nabeschuiving.

2 Enige landbouwkundige achtergronden

2.1 Inleiding

Om iets zinvols te kunnen zeggen over zoutschade in de landbouw is het allereerst nodig de teelt van gewassen onder te verdelen in volleggrondsteelten, containerteelten en substraatteelten. Per categorie is een opdeling in open teelten en kasteelten mogelijk. In dit literatuuronderzoek richten wij ons uitsluitend op de open volleggrondsteelten.

De beschikbaarheid van zoet water is een randvoorwaarde om landbouw te kunnen uitoefenen. Gewassen in de volleggrond verdampen in Nederland gedurende het groeiseizoen zo'n 400 mm water. De verdeling van de neerslag over het groeiseizoen is zeer onregelmatig, en in droge jaren valt er minder neerslag. Hierdoor kan droogteschade optreden in de vorm van verminderde opbrengsten en/of lagere kwaliteit van het oogstbaar product.

Droogteschade kan worden tegengegaan met behulp van een aanvullende watervoorziening, in de vorm van bovengrondse of ondergrondse irrigatie. Met het oog hierop is in delen van Nederland wateraanvoer gerealiseerd. Dit aangevoerde water is vooral afkomstig van de Rijn en de Maas. Bij lage afvoeren kan het zoutgehalte van het rivierwater oplopen en kunnen inlaatpunten verzilten door zoutindringing vanuit zee. In zulke gevallen wordt er geïrrigeerd met water met een verhoogd zoutgehalte dat tot schade aan gewassen kan leiden. De omvang van de schade hangt sterk af van de meteorologische condities gedurende het teeltseizoen, van de geldelijke opbrengst per ha en, *last but not least*: van de zouttolerantie van de gewassen. Deze zouttolerantie kan ook nog eens per groeistadium verschillen. Dit leidt tot de volgende vragen:

1. Is er een geaccepteerde indeling in groeistadia van landbouwgewassen?
2. Wat is de relevantie van het kennen van de verschillen in zouttolerantie per groeistadium voor het kunnen reproduceren van de resultaten van veldproeven en modelresultaten?
3. Is het seizoensgebonden karakter van de zouttolerantie van landbouwgewassen zodanig in beeld te brengen dat dit leidt tot een andere kijk op de manier waarop zoutschade anno 2018 in Nederland wordt gekwantificeerd?

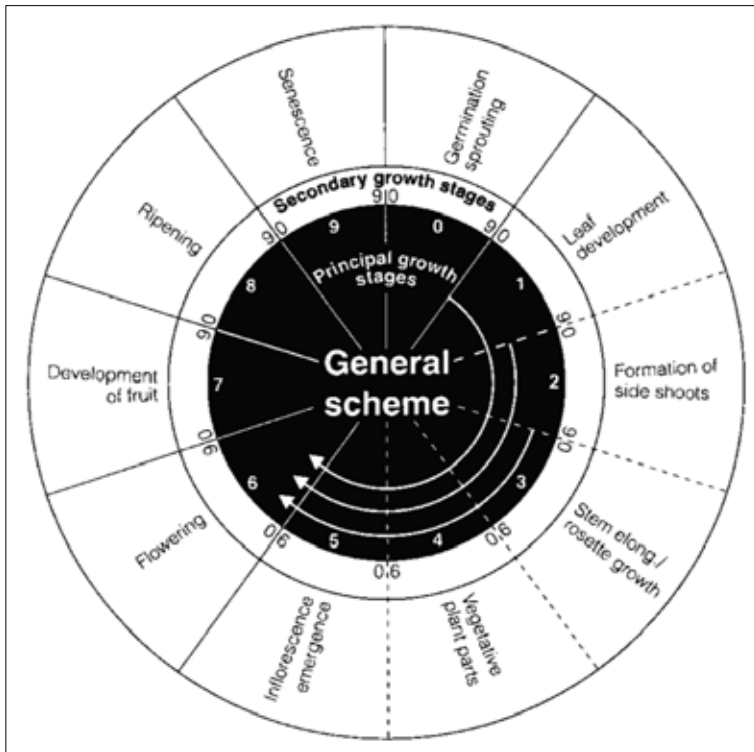
Beantwoording van de tweede en derde vraag is het eigenlijke onderwerp van dit rapport. De eerste vraag wordt in de volgende paragraaf behandeld. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met gegevens die inzicht bieden in de *sense of urgency*.

2.2 Indeling in groeistadia van (groepen van) gewassen

Groei en ontwikkeling van planten worden strak gereguleerd door het klimaat (temperatuur, licht en water) en het seizoen (daglengte). Er zijn tien stadia te onderscheiden, gestandaardiseerd volgens de zogenoemde BBCH-schaal (Hack et al., 1992; Meier, 2001). Dit zijn:

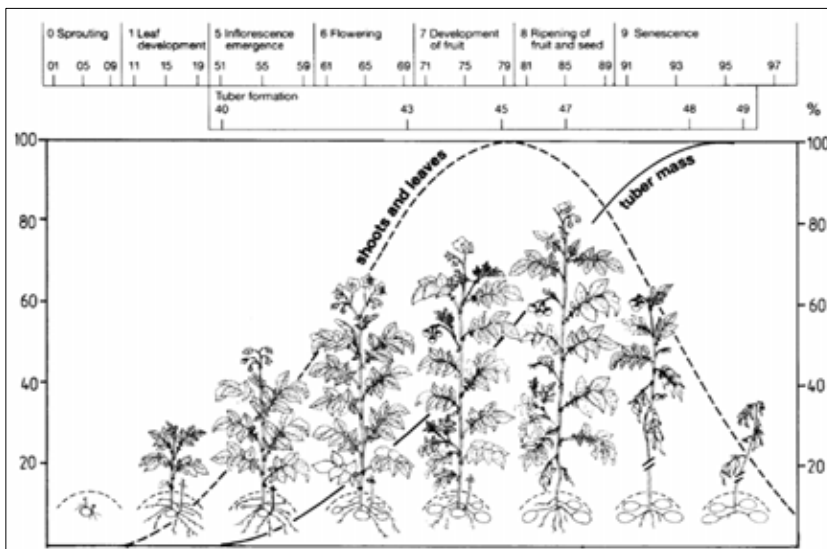
0. Kieming
1. Bladontwikkeling
2. Stengelvorming en rozetgroei
3. Vorming van zij scheuten
4. Ontwikkeling oogstbaar loof
5. Bloei-inductiefase
6. Bloeifase
7. Vruchtzetting
8. Vrucht- en zaadrijping
9. Veroudering

BBCH staat voor 'Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and CHemical industry'¹. De BBCH-schaal is een digitale code die een onderverdeling maakt in groeistadia; zie Figuur 1.



Figuur 1 Indeling in groeistadia volgens de BBCH-methodiek (Bron: Meier, 2001).

Niet alle gewassen doorlopen alle groeistadia die in de BBCH-indeling worden beschreven. Zo worden aardappelen geteeld om de knollen; hiervoor is een specifiek groeistadiumtraject gedefinieerd. De productie van bovengrondse vruchten is hierbij irrelevant en voor de aanduiding van groeistadia niet van belang; zie Figuur 2.



Figuur 2 Groeistadia van de aardappel (Bron: Meier, 2001).

¹ https://www.journal-kulturpflanzen.de/artikel.dtl/meier-et-al_OTAyMjUy.PDF

Omdat de BBCH-indeling in de teeltwereld de standaard is, gebruiken wij deze in onze analyse. In het simulatiemodel SWAP-WOFOST wordt de BBCH-indeling overigens niet gebruikt. Voor eenjarige gewassen wordt de fenologische ontwikkeling uitgedrukt in ontwikkelingsstadium, die de waarde 0 heeft bij zaaien, 1 bij het in bloei komen en 2 bij oogsten/afsterven (Kroes et al., 2017).

2.3 Enige relevante data voor Nederland

Zoutschade speelt een rol bij gewassen in de vollegrond die worden geïrrigeerd met oppervlaktewater met verhoogd zoutgehalte, of worden geteeld op percelen met zoute kwel met een zodanig hoge intensiteit dat zout tijdens (aanhoudend) droge perioden de wortelzone kan bereiken. Om de relevantie van zoutschade in de Nederlandse landbouw in beeld te brengen is onderscheid nodig in geteelde gewassen in de vollegrond. Zie Tabel 1, waarin ook is aangegeven of zoutschade een rol van betekenis speelt. De relevantie is gebaseerd op de zouttolerantie van het gewas, of het wel of niet wordt beregend en of het wordt geteeld in een regio met wateraanvoer.

Tabel 1 Enige relevante data met betrekking tot open teelten in de vollegrond in Nederland, anno 2015 (Bron: Spruyt en Van der Voort, 2015).

| | areaal (ha × 1000) | zoutschade relevant? | opmerkingen |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---|
| Grasland | 1146 ² | nee | Is zouttolerant gewas. ³ |
| Mais | 273 ⁴ | nee | Wordt vrijwel uitsluitend verbouwd in vrij afwaterend deel van NL waar zoutschade niet aan de orde is. |
| Akkerbouw | 505 | ja | Granen (150.000 ha) worden niet of nauwelijks beregend, bieten worden weinig beregend, aardappelen in grotere mate. In delen van NL verbod op beregening van aardappelen uit oppervlaktewater i.v.m. bruinrot. |
| Vollegrondsgroenten | 25 | ja | Beregening gebruikelijk voor aanslaan van gewassen maar ook voor aanvullende vochtvoorziening tijdens het groeiseizoen. Vanwege hoge saldi zijn vrijwel alle vollegrondsgroentegewassen beregenbaar. |
| Bloembollen en -knollen | 25 | ja | In polders en op de zandgronden kunnen vrijwel alle bol- en knolgewassen beregend worden. Op zandgronden wordt veelal beregend uit grondwater en is zoutschade niet aan de orde. Op geestgronden (zandgronden aan de binnenzijde van het kustgebied, ontstaan door afgraving) aanvullende watervoorziening via subinfiltratie. |

Het areaal landbouwgronden waarbij beregening met zout water aan de orde is, is weliswaar beperkt, maar het betreft hoogwaardige teelten. De jaarlijkse geldelijke opbrengst van tuinbouwbedrijven in Nederland was in 2017 ca. 7,5 miljard euro (bron: Statline van CBS). Stel dat 1/3 van het tuinbouwareaal is gesitueerd in gebieden waar beregening met zout water of verzilting via kwel aan de orde is. 1% schade door beregening met zout water levert dan een schade op van 25 miljoen euro.

² Bron: LGN7.

³ Dit geldt voor de in Nederland gebruikelijke grassoorten voor de weidebouw.

⁴ Bron: LGN7.

3 De respons van de plant op zout in de wortelzone; de theorie

3.1 Inleiding

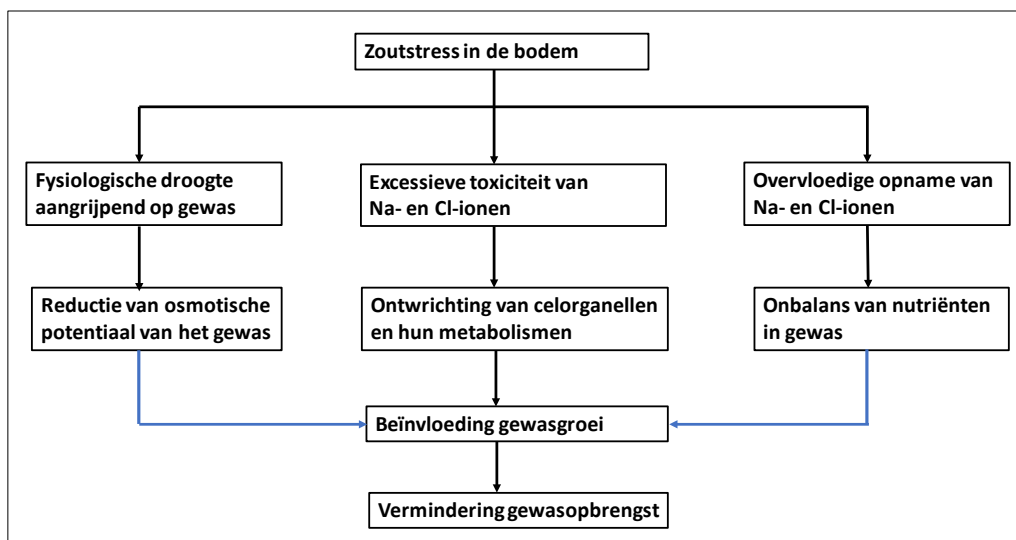
Dit hoofdstuk geeft de uitkomst van een literatuuronderzoek naar gerapporteerde resultaten van fysiologische experimenten en beschrijft hoe de plant kan reageren op zout in de wortelzone, met als doel inzicht te krijgen in de mechanismen die zorgen voor verschillen in zouttolerantie tussen planten en voor verschillen in zouttolerantie per groeistadium.

3.2 Zouttolerantie bij planten, verschillende mechanismen

3.2.1 Osmotisch en ioneffect

Hoge zoutgehalten in de bodem kunnen de plantengroei ernstig belemmeren. De mate waarin zoutstress een negatief effect heeft op de groei hangt af van externe omstandigheden als bodemtype, omgevingstemperatuur, vochtgehalte van de bodem en pH.

Voor de effecten van zoutstress op plantengroei zijn twee mechanismen verantwoordelijk. In de eerste plaats belemmert zout de wateropname door wortels wegens een hoge osmotisch potentiaal van het bodemvocht. Dit is een osmotisch effect en vergelijkbaar met dat van droogte. Het tweede effect is dat zout, vooral natrium, in de bladeren de fotosynthese en enzymactiviteiten remt. Hierdoor neemt de groeisnelheid van planten af (Greenway and Osmond, 1972; Flowers and Dalmond, 1992). Dit wordt het ioneffect van verzilting genoemd (Greenway and Munns, 1980). Afbeelding 3 geeft een overzicht van de effecten van verzilting op plantengroei.



Figuur 3 Effecten van zoutstress in de bodem op plantengroei (Bron: Evelin et al., 2009).

Behalve bovengenoemde directe effecten van zoutstress kan de opname van voedingsstoffen worden verstoord door concurrentie tussen kationen (kalium en natrium) en/of anionen (chloride en nitraat) (Bernstein et al., 1974). Bovendien kan een toename van natriumionen in de bodemoplossing leiden tot de vorming van natriumcarbonaat, waardoor de pH van de bodem stijgt (Bernstein et al., 1974; Levy and Veilleux, 2007). Hierdoor vermindert de beschikbaarheid van voedingsstoffen als fosfaat, ijzer, zink, mangaan en calcium, en kunnen in de planten gebreksziekten optreden (Kleemann, 2000; Olle and Bender, 2009).

3.2.2 Tijdseffecten

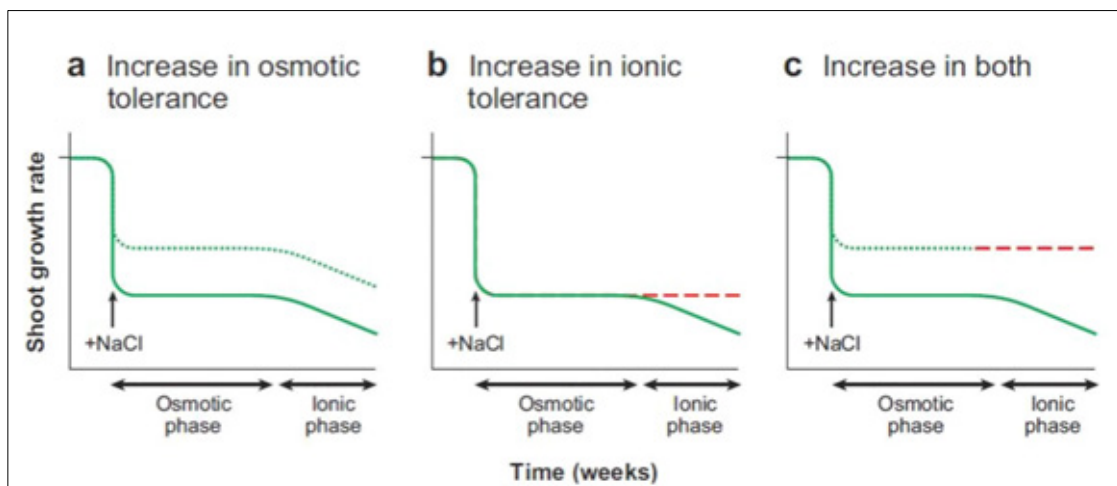
Het moment waarop de effecten van zoutstress bij een gewas uiterlijk zichtbaar worden, hangt af van de aard van de stress die de plant ervaart: osmotisch effect en/of ioneffect. Het osmotische effect beïnvloedt vooral de groei van jonge delen. Dit is een snel effect (minuten, uren). Bij het ioneffect moet eerst ophoping van natrium tot een toxisch niveau plaatsvinden. In groeiend weefsel vindt tijdens de strekkingsgroei van de cellen voortdurend verdunning met water plaats en wordt dit niveau niet snel bereikt. De accumulatie van het natrium treedt op in oude, volwassen bladeren waarin geen strekkinggroei meer plaatsvindt. Het duurt enige tijd (dagen, weken) voordat de concentratie hoog genoeg is om fotosynthese en enzymactiviteit te remmen; zie Tabel 2.

Tabel 2 Effecten van zoutstress op planten (Bron: Munns and Tester, 2008).

| Effect van stress | Osmotisch effect | Ioneffect (Na ⁺) |
|---|-------------------------------------|--|
| snelheid van zichtbaar worden | snel | langzaam |
| primaire locatie waar effect zichtbaar is | vermindering van groei van scheuten | toename van verouderingsproces van oudere bladeren |

Er zijn twee fasen te onderscheiden waarin verzilting de groei beïnvloedt, (zie Figuur 4):

- Fase 1: respons van de plant op het osmotisch effect;
- Fase 2: respons van de plant op het ioneffect, waarin natriumconcentratie in de cellen toxisch wordt voor het metabolisme.



Figuur 4 Effecten van verschillende vormen van zoutstress en van de reactieve, verhoogde zouttoleranties van planten op de groei van hun bovengrondse delen. Groene lijn: groeisnelheid na blootstelling aan verzilting; groene stippellijn: groeisnelheid van planten die zich snel kunnen aanpassen aan het osmotische effect; rode stippellijn: groeisnelheid van planten die zich snel kunnen aanpassen aan het ioneffect (Bron: Munns and Tester, 2008).

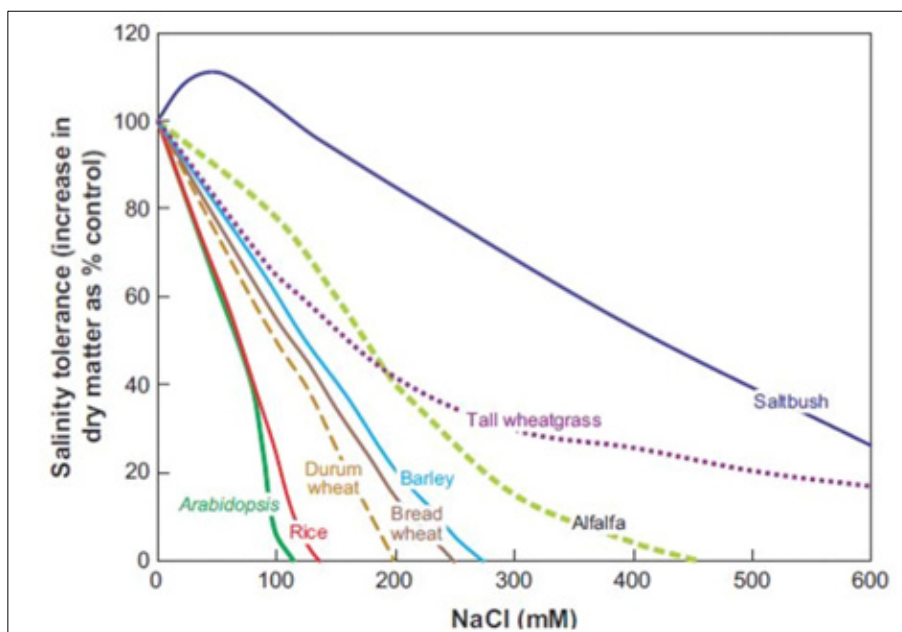
3.3 Responsmechanismen

Planten hebben verschillende mechanismen ontwikkeld om negatieve effecten van zout tegen te gaan (Munns en Tester, 2008):

1. Het buitensluiten van natrium aan het worteloppervlak, om te voorkomen dat het in de bladeren komt. Hierbij wordt het naar binnen lekkende natrium in de wortels weer naar buiten getransporteerd, een actief proces waarvoor energie nodig is. Dit kan ten koste gaan van de groei (Yeo, 1983).

- Opslag van natrium en chloride in opslagorganen (zoals vacuolen) om te voorkomen dat de ionen toxische concentraties in het cytoplasma van de bladcellen bereiken. Dit is het meest voorkomende mechanisme (Munns et al., 2006; Shirazi et al., 2011; Blom-Zandstra, 2000; Dabuxilatou and Ikeda, 2005). Bij sommige gewassen kan dit zout ook weer worden uitgespoeld. Bij paprika is in experimenten met isotopen aangetoond dat het natrium de plant weer kan uitstromen zodra de wortels een verlaging van de zoutconcentratie ervaren (Blom-Zandstra, 2000). Een regenbui kan in Nederland dus zorgen voor verlaging van de hoeveelheid natrium in de plant en daarmee het toxische effect doen verminderen.
- Aanpassing van de osmotische waarde in het cytoplasma (Ashraf et al., 2013). Planten nemen dan actief extra ionen op uit het bodemvocht, zoals kalium, en/of maken zelf organische verbindingen aan (zoals suikers, organische zuren, aminozuren, etc.). Hierdoor wordt de osmotische druk in het cytoplasma aangepast aan de situatie in de bodem. Net als het buitensluiten van natrium aan het worteloppervlak, vergt ook het aanmaken van organische metabolieten energie van de plant en ten koste gaat van de groeisnelheid (Yeo, 1983).

Bij de eerste twee mechanismen is sprake van ontgiftiging. Het derde mechanisme zorgt ervoor dat wateropname mogelijk blijft. In planten kunnen meerdere verdedigingsmechanismen naast elkaar bestaan. De mate waarin planten over bovengenoemde mechanismen beschikken varieert sterk tussen plantensoorten, evenals hun effectiviteit. Daardoor zijn er grote verschillen in zouttolerantie tussen plantensoorten (Stuyt et al., 2016); zie Figuur 5. Ook factoren als leeftijd van de plant tijdens blootstelling, duur van de blootstelling, zoutconcentratie, bodemkarakteristieken, klimatologische omstandigheden, etc. bepalen de effecten van verzilting op de plantengroei.



Figuur 5 Verschillen tussen zouttoleranties van enkele plantensoorten (Bron: Muns en Tester, 2008).

In de literatuur zijn tabellen gepubliceerd waarin de zouttolerantie per gewas is opgedeeld in vier klassen: gevoelig, matig gevoelig, matig tolerant en tolerant. De grondslag voor deze classificatie is gelegd in publicaties van Maas (1990, 1994) en Maas and Hoffman (1977). Hierin wordt de zouttolerantie gedefinieerd door twee parameters die de relatie tussen het elektrisch geleidingsvermogen van (een extract van) het bodemwater in de wortelzone en de opbrengstreductie beschrijven: de zoutschadedrempel en de zoutschadegevoeligheid. Deze parameters staan bekend als MH-parameters; zij worden door Van Bakel en Stuyt (2011) gegeven voor bovengenoemde vier tolerantieklassen. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen osmotisch effect en ioneffect, en ook niet in effecten van het groeistadium. Op basis van literatuuronderzoek is dit onderscheid echter wel te maken; in paragraaf 3.4 wordt hier nader op ingegaan. Zie Bijlage 3 (pagina 40) voor een nadere toelichting.

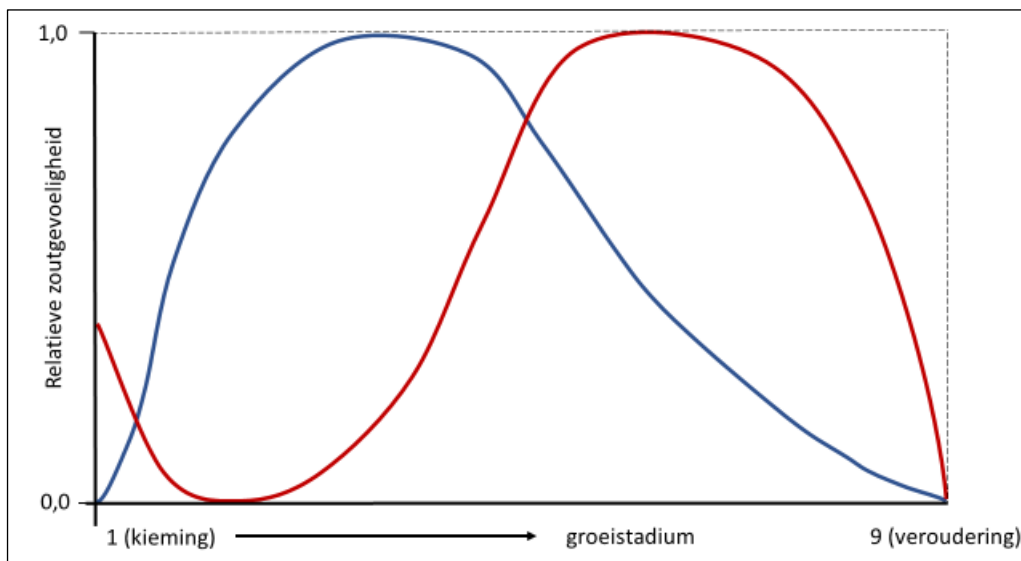
Maas and Grattan (1999), tenslotte, melden dat zouttolerantie niet goed correleert met droogtetolerantie. Dit kan worden verklaard uit het feit dat er bij droogtetolerantie alleen sprake is van het osmotisch effect, terwijl bij zouttolerantie ook het ioneffect een rol speelt.

3.4 Tolerantie voor beide stress-effecten in verschillende groeistadia

Bij de meeste plantensoorten zijn de invloed van het osmotisch effect en dat van het ioneffect goed te onderscheiden, omdat ze in verschillende groeistadia een rol spelen. In het overzichtsartikel van Munns and Tester (2008) wordt de kennis over dit onderwerp samengevat.

Het osmotisch effect speelt vooral tijdens de ontwikkeling van jonge bladeren en bij het snel sluiten van huidmondjes van volwassen bladeren. Dit betekent dat met name de stadia 2 (bladontwikkeling) en 3 (stengelgroei en rozetvorming) in de BBCH-schaal gevoelig zijn voor deze vorm van stress.

Het ioneffect veroorzaakt versnelde veroudering van volwassen bladeren, waardoor kleurverandering zichtbaar wordt. Met name tijdens de vorming van oogstbaar loof en bloei-inductie, in de stadia 4 en 5 van de BBCH-schaal, zullen planten van deze stress last ondervinden. Naar verwachting kunnen ook vruchtvorming en zaadzetting in stadium 7 en 8 (pagina 11) hiervan hinder ondervinden. Maar ook tijdens de kieming is de plant gevoelig voor zout. Tijdens de kieming wordt water vanuit de omgeving opgenomen waardoor enzymactiviteiten in gang worden gezet. Deze activiteiten zijn gevoelig voor zoutionen. De beschrijving van de gevoeligheid van gewassen voor beide stress-effecten in verschillende groeistadia is kwalitatief en schematisch weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6 Schematische weergave van het verloop van de relatieve zouttolerantie per groeistadium voor een willekeurig gewas, voor het osmotische effect (blauw) respectievelijk het ioneffect (rood). Relatief is ten opzichte van het maximumeffect op de uiteindelijke gewasopbrengst.

Op basis van het uitgevoerde literatuuronderzoek is per gewasgroep kwalitatief aan te geven hoe beide effecten per groeistadium verlopen. Het resultaat wordt beschreven in paragraaf 3.5.

3.5 Doorwerking van zoutstress in verschillende gewasgroepen

Landbouwgewassen zijn vanuit het perspectief van fysiologische groei en ontwikkeling volgens de BBCH-systematiek grofweg in te delen in de volgende gewasgroepen:

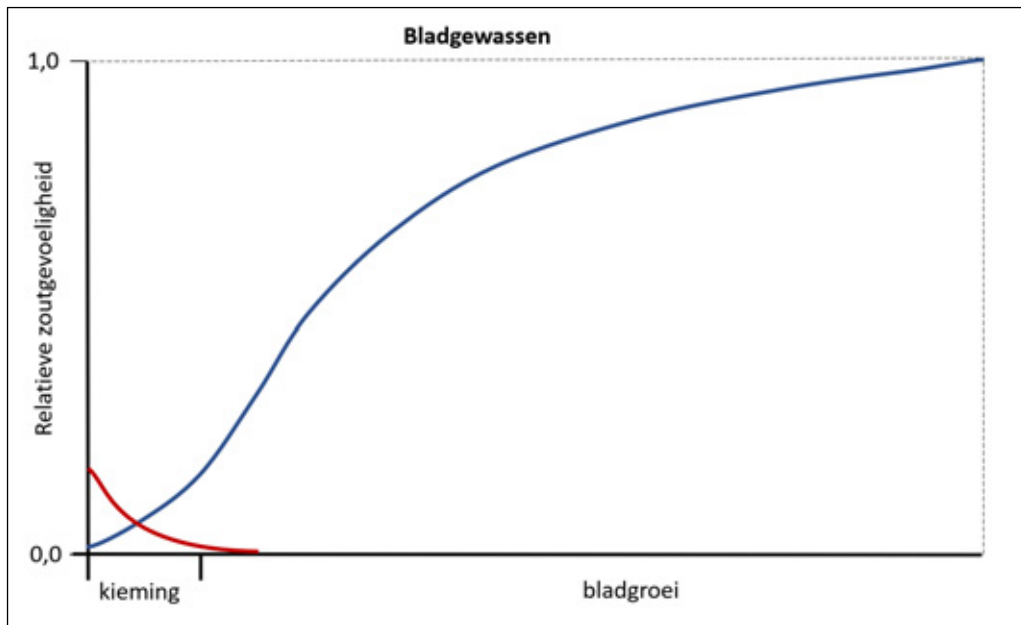
- Bladgewassen, rozetvormend (sla, spinazie, kool, etc.)
- Bolgewassen (tulp, lelie, etc.)
- Knolgewassen (aardappel, pinda, etc.)
- Wortelgewassen (peen, suikerbiet)
- Vruchtgewassen (komkommer, tomaat)
- Zaadvormende gewassen, zoals peulvruchten (erwten, bonen), maar ook granen (tarwe etc.)
- Uitstoelende gewassen zoals grassen (weidegras, rijst, etc.)
- Siergewassen (bloemen)
- Boomgewassen (heesters en fruitbomen zoals appel en kers).

Bladgewassen blijven nieuwe bladeren maken en zullen naar verwachting last hebben van het osmotisch effect. Oude bladeren kunnen door het ioneffect necrose (zwarte vlekken of indrogende bladranden) vertonen. Voor een gewas als sla kan dit kwaliteitsverlies betekenen. Ook voor grassoorten geldt dat de ontwikkelingsfase waarin uitstoelen plaatsvindt relatief gevoelig is voor het osmotisch effect, met groeiachterstand als gevolg.

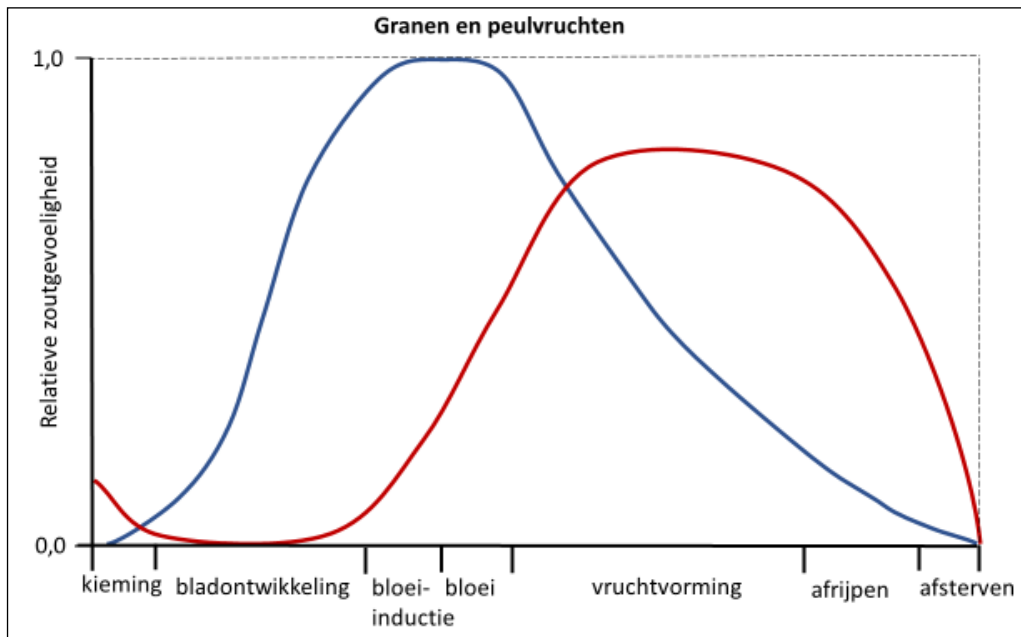
Ook bij gewasgroepen waarbij de vorming van vruchten, zaden, bollen of knollen van belang is kan het ioneffect een rol spelen. De ontwikkeling van de bollen, knollen, vruchten en zaden is afhankelijk van reallocatie van metabolieten (eiwitten, suikers, koolhydraten) vanuit de volwassen bladeren. Dit proces kan door natriumphoping worden geremd. Bij sommige vruchten kan verzilting echter ook een positief effect hebben. Als de plant zich goed aan het osmotisch effect kan aanpassen en hierbij in staat is om veel suikers aan te maken, kan dit extra zoete vruchten opleveren; een effect dat bij meloenen geregeld is gerapporteerd.

Op basis van ons literatuuronderzoek kan per gewasgroep een beeld worden geschetst van de relatieve gevoeligheid voor osmotische- en ionstress, per groeistadium. Naast de reeds aangehaalde Muns en Tester (2008) is gebruik gemaakt van Bartha et al. (2015), Bojorquez-Quintal et al. (2014), Greenway and Muns (2010), Hajlaoui et al. (2010), Han et al. (2015), Wang et al. (2015), Yamamoto et al., (2016) en bovenal Maas and Grattan (1999). De relevante passages uit laatstgenoemde publicatie zijn in opgenomen in Bijlage 4 (pagina 42).

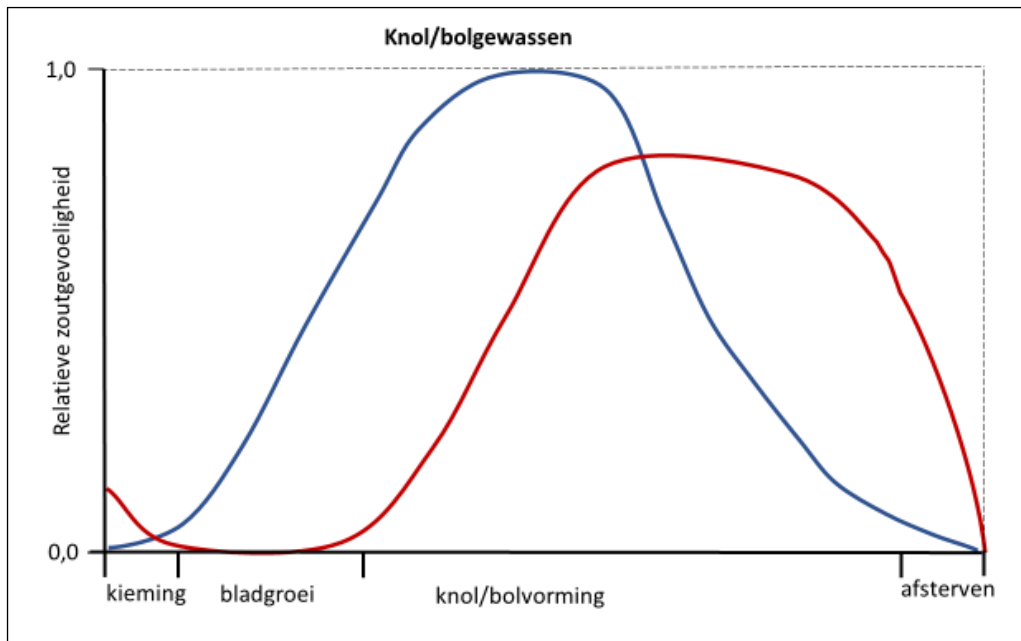
In Figuur 7 t/m Figuur 11 wordt het resultaat gepresenteerd, voor vijf gewasgroepen.



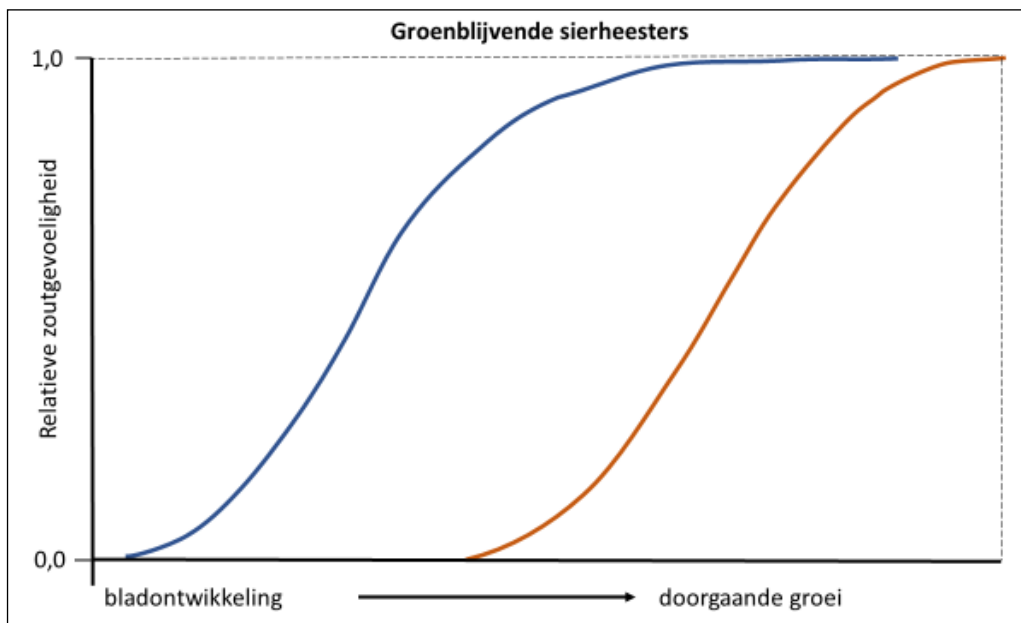
Figuur 7 Schematisch verloop van de gevoeligheid voor osmotisch en ioneffect per groeistadium, voor bladgewassen; blauw is osmotisch effect; rood is ioneffect.



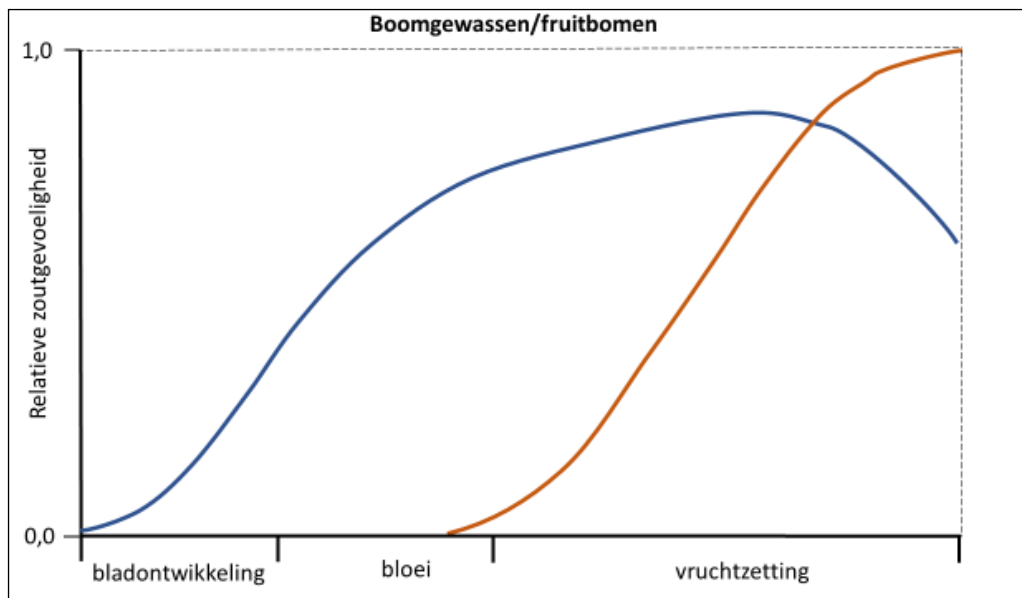
Figuur 8 Schematisch verloop van de gevoeligheid voor osmotisch en ioneffect per groeistadium, voor granen en peulvruchten; blauw is osmotisch effect; rood is ioneffect.



Figuur 9 Schematisch verloop van de gevoeligheid voor osmotisch en ioneffect per groeistadium, voor knol/bolgewassen; blauw is osmotisch effect; rood is ioneffect.



Figuur 10 Schematisch verloop van de gevoeligheid voor osmotisch en ioneffect per groeistadium, voor groenblijvende sierheesters; blauw is osmotisch effect; rood is ioneffect.



Figuur 11 Schematisch verloop van de gevoeligheid voor osmotisch en ioneffect per groeistadium, voor boomgewassen/fruitbomen; blauw is osmotisch effect; rood is ioneffect.

Merk op dat voor bladgewassen alleen een ioneffect is getekend bij de kieming omdat deze gewassen worden geoogst voordat het ioneffect weer begint op te treden. Een uitzondering hierop vormt kropsla, waar in oudere bladeren necrose wordt gemeld. Merk verder op dat er geen sprake is van onderscheid is naar bodemsoort. Een plant 'weet' immers niet in welke grond haar wortels groeien.

Met deze kennis in het achterhoofd is in de literatuur systematisch gezocht naar gewasspecifieke gegevens over de zoutgevoeligheid/zouttolerantie per groeistadium, en de eventuele opsplitsing naar osmotisch effect en ioneffect.

4 Resultaten literatuuronderzoek per gewas

4.1 Inleiding

In 2016 is een inventarisatie en analyse uitgevoerd naar de zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens (Stuyt et al., 2016). Daarbij is niet expliciet aandacht geschonken aan mogelijke associaties met het groeistadium. Daarom is de literatuur hierop opnieuw gescreend. De kennis over de zouttolerantie van landbouwgewassen afkomstig uit buitenlandse literatuur is samengevat in Van Bakel en Stuyt (2011). Daarbij is de interpretatie van de betreffende literatuur gekleurd door de wens tot invulling/actualisering van de Maas en Hoffman responsfunctie die in gewasgroeimodellen wordt gebruikt. Impliciet wordt daarbij gewerkt met de veronderstelling dat de relatie tussen zoutgehalte in de wortelzone en reductie van de gewasopbrengst niet gerelateerd is aan het groeistadium. Onze hypothese is dat dit onjuist is; zie Hoofdstuk 1 (pagina 7). We hebben daarom een literatuuronderzoek uitgevoerd waarvan de resultaten in paragraaf 4.2 en 4.3 (Nederlandse resp. buitenlandse literatuur) worden beschreven.

4.2 Nederlandse literatuur

We hebben de literatuur die tijdens de inventarisatie en analyse van de zouttolerantie van landbouwgewassen (Stuyt et al., 2016) is geraadpleegd nogmaals nauwkeurig gescreend op beschrijvingen gerelateerd aan groeistadium. In Bijlage 2 (pagina 38) worden de hierbij geraadpleegde publicaties gegeven. De oogst is mager, maar die verwachting was al voorafgaand aan deze screening gecommuniceerd⁵. De meest essentiële bevinding is dat de auteurs elkaar veelvuldig citeren en dat het in vrijwel alle gevallen 'verwachtingen' betreft die niet zijn gestoeld op onderzoek.

Er zijn citaten die gewag maken van verschillen in zouttolerantie per groeistadium. Met name over het kiemstadium wordt meer dan eens vermeld dat dit een gevoelig stadium is, maar dat dit niet betekent dat alle gewassen hierin gelijk zijn. Ook is er min of meer consensus over toenemende zouttolerantie van grondgebonden teelten naarmate het groeiseizoen vordert. Enkele auteurs wijzen op de noodzaak hiermee bij de implementatie van de kennis over zouttoleranties rekening te houden, maar dat is, op grond van het vrijblijvende en weinig concrete karakter van de rapportages, geen optie.

4.3 Buitenlandse literatuur

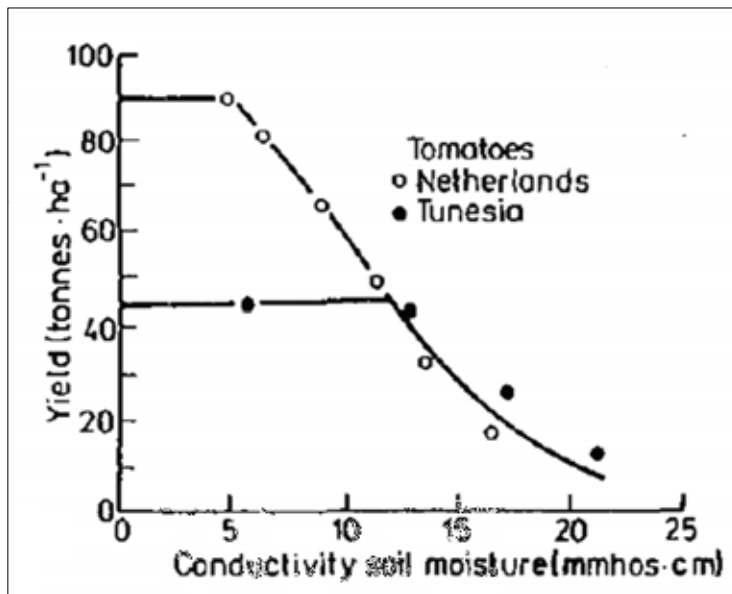
4.3.1 Zouttolerantie per groeistadium

Uit het onderzoek naar literatuur waarin wordt gerapporteerd over onderzoek dat buiten Nederland is verricht komt geregeld naar voren dat de zouttolerantie van planten voor zoutstress tussen de in Hoofdstuk 3 onderscheiden groeistadia sterk kan verschillen. Hierna volgt een overzicht van de informatie die de door ons gevonden literatuur hierover geeft.

In Maas et al. (1983) wordt de zouttolerantie van mais bij de verschillende groeistadia beschreven. Op grond van kasexperimenten wordt geconcludeerd dat mais tijdens de kieming relatief zouttolerant is; de drempelwaarde voor EC_s in het bodemvocht is gemiddeld 9,3 dS/m. De hierop volgende groei van de kiemplanten was veel gevoeliger voor zout in de wortelzone ($EC_s = 1$ dS/m). In het groeistadium van pluimvorming en graanvulling was de gevoeligheid weer veel lager ($EC_s = 9$ dS/m). De drempelwaarden voor de reductie van de kolf- en maisopbrengst is 5,8 dS/m.

⁵ L.C.P.M. Stuyt, persoonlijke mededeling.

Rijtema and Guindi (1986) benadrukken dat de zouttolerantie van gewassen sterk afhangt van de managementpraktijk. Zij illustreren dit met gegevens van tomaten waarbij de relatie tussen de EC van het water in de wortelzone is uitgezet tegen de opbrengst; zie Figuur 12.



Figuur 12 Gewasopbrengst van tomaten in afhankelijkheid van de EC van het bodemvocht, op twee verschillende locaties. Aannemende dat het vergelijkbare planten betreft verschilt de opbrengst bij laag zoutgehalte van het bodemvocht in beide landen zeer aanzienlijk. Een gevolg van managementpraktijk (Bron: Rijtema and Guindi, 1986).

Daarnaast stellen Rijtema and Guindi (1986) vast 'that a remarkable coincidence appears to exist between drought sensitivity and the salt sensitivity of a crop'.

In Maas and Grattan (1999) worden voor 81 kruidachtige gewassen (herbaceous crops) en 47 houtige gewassen (woody crops) de MH-parameters gegeven, met een classificatie in vier klassen (Sensitive (S), Moderately Sensitive (MS), Moderately Tolerant (MT) en Tolerant (T)). Per gewas wordt vermeld waarop de zouttolerantie betrekking heeft (knolopbrengst, zaadopbrengst, droge stofopbrengst in vegetatieve delen, fruitopbrengst, scheutopbrengst, schade aan bladeren), maar niet welk groeistadium hierop het meest van invloed is. In de publicatie wordt gesteld dat de meeste gewassen tijdens de kieming zouttolerant zijn en dat jonge kiemplanten tijdens opkomst en eerste groei gevoelig zijn. Eenmaal tot groei gekomen worden planten steeds zouttoleranter ('The earlier plants are stressed, the greater the reduction in vegetative growth'). Voor graangewassen als tarwe geldt dat ze het meest gevoelig zijn tijdens het vegetatieve en vroege reproductiestadium, minder gevoelig tijdens de bloei en het minst gevoelig tijdens het afrijpen. In tegenstelling tot Rijtema en Guindi (1986) wordt gemeld dat de zouttolerantie niet goed correleert met de tolerantieparameters voor droogtetolerantie.

Kotuby-Amacher et al. (2000) kwamen op basis van experimenten tot de slotsom dat planten zoutgevoeliger zijn tijdens het kiemen, onmiddellijk na het poten, en vooral als andere stressfactoren in het spel zijn zoals droogtestress. Er is dus een relatie met klimaat en watervoorziening.

Hoffman (2010) geeft een overzicht van de zouttolerantie van gewassen in de buurt van Sacramento (Californië, USA), waarbij de zouttolerantie tijdens de verschillende groeistadia wordt opgesomd. Tabel 3 is een uitsnede uit deze publicatie. Deze laat zien dat de MH-drempelwaarde (de drempelwaarde voor de EC_e in de relatie tussen EC_e en opbrengstreductie gedurende de onderscheiden groeistadia aanzienlijk kan variëren; zie ook Bijlage 3 op pagina 40. Vermeldenswaardig daarbij is de constatering dat zouttolerantie tijdens kieming gebaseerd is op overleven en dat dit bij de meeste planten een relatief ongevoelig stadium is, terwijl in de daaropvolgende vegetatieve groeistadia de groeireductie bepalend is voor de eindopbrengst. Merk ook op dat de verschillen tussen variëteiten van één gewas aanzienlijk kunnen zijn. In de literatuur wordt daarom regelmatig vermeld op welke variëteit experimenten betrekking hebben.

Tabel 3 Effecten van zout op gewassen bij verschillende groeistadia (Bron: Hoffman, 2010).

| Gewas | Zouttolerantiedrempelwaarde, EC _e (dS/m) | | | | Referentie |
|---------------------|---|------------------|---------------|---------------|----------------------|
| Asperge | Kieming | Begin groei | Sporenvorming | Scheutvorming | François, 1987 |
| | 4,7 | 0,8 | 1,6 | 4,1 | |
| Zoete mais | Kieming | Opkomst | Zaadvorming | Oogst | Maas et al., 1983 |
| | 5,0 | 4,6 | 0,5 | 2,9 | |
| Mais, veld | Geen effect op dichtheid tot EC _e = 8 dS/m | | | | Hoffman et al., 1983 |
| Mais (16 cultivars) | Kieming | Zaadvorming | | | Maas et al., 1983 |
| | 3,1 - 10 | 0,2 - 1,2 | | | |
| Kouseband | Vegetatieve groei | Bloei | Zaadvulling | | Maas and Poss, 1989 |
| | 0,8 | 0,8 | 3,3 | | |
| Sorghum NK 265 DTX | Vegetatieve groei | Reproductie | Afrijpen | | Maas et al., 1986 |
| | 3,3 | 10 | 10 | | |
| | 3,3 | 7,8 | 10 | | |
| Tarwe | Vegetatieve groei | Reproductie | Afrijpen | | Maas and Poss, 1989 |
| | 6,7 | 12 | 12 | | |
| Harde tarwe | Vegetatieve groei | Reproductie | Afrijpen | | Maas and Poss, 1989 |
| | 3,6 | 5,0 | 22 | | |

Tanji and Kielen (2002) geven een samenvatting van de MH-parameters voor zouttolerantie. Zij maken slechts één opmerking over de relatie zouttolerantie en groeistadium: gerst is tijdens het kiemplantstadium minder tolerant.

Tanji (2012) geeft een uitgebreid overzicht van de kennis over zout en landbouw, zowel procesmatig als op basis van veldexperimenten. Hierin worden ook opmerkingen gemaakt over verschillen in zouttolerantie per groeistadium: de kieming is betrekkelijk ongevoelig, het kiemplantstadium (opkomst en eerste groei van de kiemplant) is het meest gevoelig en het afrijpingsstadium het minst. Voor diverse gewassen specificeert Tanji (2012) MH-parameterwaarden. Voor enkele gewassen wordt een relatie gelegd met het groeistadium: gerst is tijdens het kiemplantstadium minder gevoelig; suikerbiet en rode biet zijn tijdens kieming en opkomst juist gevoelig.

In de geraadpleegde buitenlandse literatuur zijn ook aanwijzingen gevonden van osmotische aanpassing, bijvoorbeeld in Katerji et al. (2003), die een samenvatting geven van publicaties over experimenten met lysimeters in Bari (Italië). Uit deze experimenten blijkt dat gewassen in staat zijn tot osmotische aanpassing die per groeistadium verschillend is. Dit betekent dat de relatie tussen zoutgehalte in de wortelzone en effect op verdamping en gewasgroei mede afhangt van de voorgeschiedenis en dus niet eenduidig is: een belangrijke observatie.

In de literatuur zijn diverse aanwijzingen gevonden dat de zouttolerantie van afzonderlijke gewassen, uitgedrukt als effect op de uiteindelijke opbrengst van het gewas, per groeistadium sterk kan variëren. Bij MH-drempelwaarden is een factor 10 geen uitzondering; zie Tabel 3. Naast deze aanzienlijke spreiding zijn de proefomstandigheden te afwijkend van de Nederlandse omstandigheden, en zijn de beschrijvingen niet specifiek genoeg om een tabel op te stellen waarin per gewas de relatieve zouttolerantie concreet is gespecificeerd, laat staan opgesplitst in osmotisch-, en ioneffect.

Samenvattend: uit de literatuur waarin wordt gerapporteerd over buiten Nederland uitgevoerd onderzoek komt naar voren dat de onzekerheid rond de groeistadiumafhankelijke zouttolerantie van landbouwgewassen aanzienlijk is. Deze onzekerheid moet zowel worden toegeschreven aan de tijdgebonden combinaties van variabele externe stressfactoren waaraan het landbouwgewas wordt blootgesteld, in combinatie met de (fysiologische) mechanismen die het bedreigde systeem ontwikkelt om zich hiertegen te verdedigen. Een permanente maar continu variërende - dynamische - interactie, met een hele waslijst aan vrijheidsgraden die vooralsnog maar moeilijk tot (te beïnvloeden) deelprocessen kan worden uiteengehaald.

4.3.2 Overige effecten

De oogst van het literatuuronderzoek met betrekking tot overige effecten is vrij mager en heeft geen nieuwe bevindingen opgeleverd. In Ayers and Westcot (1994) wordt vermeld dat a) bij beregening met water met een natrium- of chloridegehalte van meer dan 3 mg/L bij extreem droge condities ernstige schade aan kan optreden en b) bicarbonaat in beregeningswater witte depositie op vruchten en bladeren kan veroorzaken. In Tanji (2012) wordt expliciet aandacht geschonken aan de tolerantie van gewassen voor zout beregeningswater. De schade hangt sterk af van de meteorologische condities zodat geen praktische waarden zijn te geven. Diverse maatregelen kunnen worden genomen om de schade te beperken, zoals kortdurend beregenen of niet beregenen bij sterk drogende condities. In diverse publicatie (o.a. Tanji, 2012) wordt geschreven over structuurbederf van de bodem, door gebruik van irrigatiewater met een relatief hoog natriumgehalte.

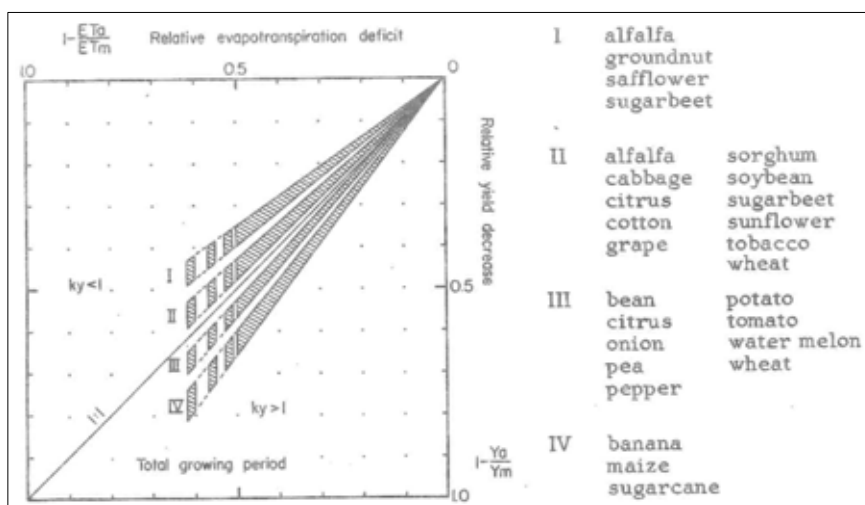
4.4 Relatie met droogtestress

Vanuit de hypothese dat er parallellen zijn te trekken tussen de verminderde wateropname door plantenwortels bij toenemende drukhoogte en bij toenemende osmotische potentiaal, is bescheiden literatuuronderzoek uitgevoerd naar het effect van drukhoogte, waarna is vergeleken met het osmotisch effect.

4.4.1 Literatuuronderzoek

Taylor and Ashcroft (1972) vatten de (inmiddels sterk verouderde) kennis samen. In een tabel, die ook in een gebruikershandleiding van simulatiemodel SWAP is opgenomen (Kroes et al., 2017) staan voor een groot aantal gewassen kritieke drukhoogtes vermeld voor reductie van de wateropname door wortels, opgesplitst naar vegetatieve gewassen, wortelgewassen en fruitgewassen. Van enkele gewassen (uien, broccoli, mais, korte granen, alfalfa, sla) wordt de droogtetolerantie gekoppeld aan het groeistadium.

Doorenbos en Kassam (1979) specificeren voor een aantal gewassen de perioden waarin gewassen droogtegevoelig zijn. Deze gevoeligheid is gedefinieerd als de relatie tussen de zogenoemde opbrengstresponsfactor (*Yield response factor*, ky) en het groeistadium. De *Yield response factor*, ky (=verhouding tussen de relatieve opbrengstreductie $(1-Y_a/Y_m)$ en het relatieve verdampingstekort $(1-ET_a/ET_m)$) varieert sterk, zowel tussen gewassen als met het groeistadium; zie Figuur 13 en Figuur 14. Een ky -waarde > 1 betekent dat een relatieve verdampingsreductie meer dan evenredig doorwerkt in een relatieve opbrengstreductie; bij een ky -waarde < 1 is de doorwerking minder dan evenredig.



Figuur 13 Relatie tussen relatieve verdampingsreductie en relatieve opbrengstreductie per gewasgroep (Bron: Doorenbos and Kassam, 1979).

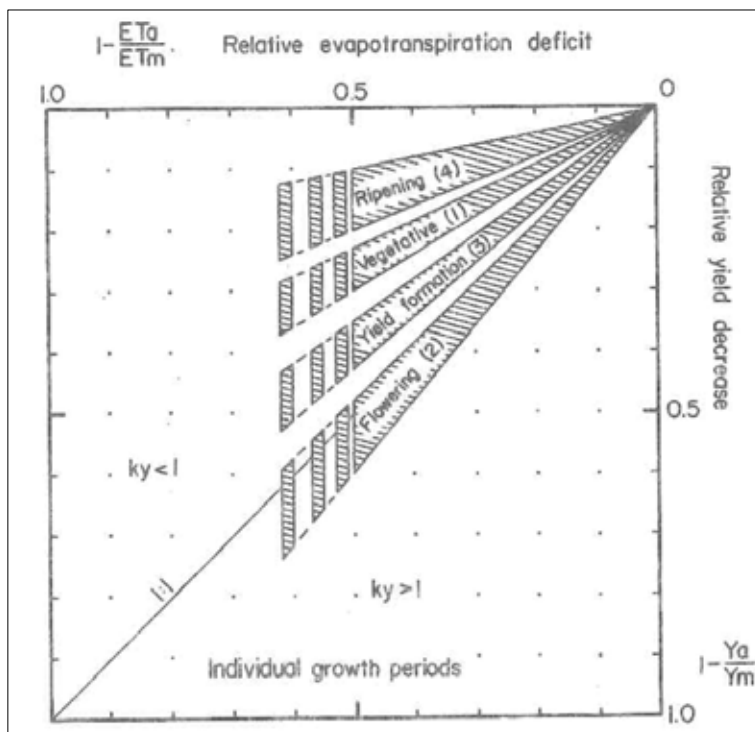
Vergelijking van de in Figuur 13 gegeven indeling van gewassen naar droogtetolerantie met de indeling naar zouttolerantie (Bijlage 3 op pagina 40), laat veel verschillen zien. Voor in Nederland veel geteelde gewassen valt de vergelijking uit zoals gegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Vergelijking van de classificatie van de door FAO gehanteerde indeling in zouttolerantie van gewassen (links; classificatie in vier klassen (Sensitive (S), Moderately Sensitive (MS), Moderately Tolerant (MT) en Tolerant (T); zie van Bakel en Stuyt (2011)) en de indeling in droogtetolerantie van gewassen (rechts) volgens Doorenbos and Kassam (1979); classificatie in vier klassen: I is droogtetolerant, II is matig droogtetolerant, III is matig droogtegevoelig en IV is droogtegevoelig.

| Gewas | Classificatie zouttolerantie | Classificatie droogtetolerantie |
|------------|------------------------------|---------------------------------|
| Suikerbiet | T | I en II |
| Kool | MT | II |
| Tarwe | MT | II |
| Zonnebloem | T | II |
| Uien | S | III |
| Aardappel | MS | III |
| Mais | MS | IV |

In sommige opzichten komen de verschillen in droogtetolerantie per groeistadium overeen met die in zouttolerantie: tijdens de bloei en vruchtzetting is de gevoeligheid voor verdampingsreductie op de gewasopbrengst het hoogst zoals dat ook het geval is voor het osmotisch effect bij granen en peilvruchten en bol- en knolgewassen. De overeenkomst geldt zeker niet voor het ioneffect: de gevoeligheid hiervoor neemt bij de meeste gewasgroepen in de latere groeistadia toe.

In dezelfde publicatie wordt ook onderscheid gemaakt in droogtetolerantie per groeistadium. Zie Figuur 14.



Figuur 14 Relatie tussen relatieve verdampingsreductie en relatieve opbrengstreductie per groeistadium, opgedeeld in vier stadia (Bron: Doorenbos en Kassam, 1979).

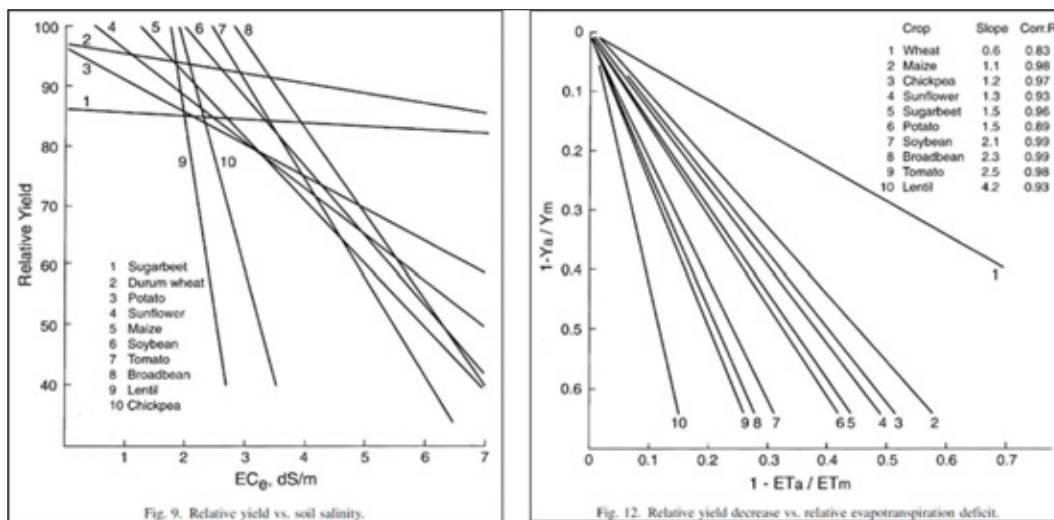
Als er overeenkomsten zijn is de kennis over verschillen in droogtetolerantie per groeistadium wellicht bruikbaar voor de zoutschademodellering. In Doorenbos en Kassam (1979) wordt de Yield response factor ky opgesplitst naar gewassen. De voor Nederland relevante gewassen die in de vollegrond worden geteeld zijn eruit gelicht en weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Variatie, per groeistadium, van de yield response factor ky , te weten de ratio van de relatieve opbrengstreductie en het relatieve verdampingstekort. Een ky -waarde > 1 betekent dat een relatieve verdampingsreductie meer dan evenredig doorwerkt in een relatieve opbrengstreductie; bij een ky -waarde < 1 is de doorwerking minder dan evenredig. De ky -waarden zijn gespecificeerd per groeistadium, maar gedefinieerd als bijdrage aan het cumulatieve 'reductie-effect' op de gewasopbrengst, aan het eind van de totale groeiperiode (Bron: Doorenbos and Kassam, 1979).

| Gewas | Vegetatieve periode | | | Bloeiperiode | Vruchtvorming | Afrijpen | Totale groeiperiode |
|-------------|---------------------|------|--------|--------------|---------------|----------|---------------------|
| | vroeg | laat | totaal | | | | |
| Bonen | | | 0,2 | 1,1 | 0,75 | 0,2 | 1,15 |
| Kool | 0,2 | | | | 0,45 | 0,6 | 0,95 |
| Mais | | | 0,4 | 1,5 | 0,5 | 0,2 | 0,7 |
| Erwt | 0,2 | | | 0,9 | 0,7 | 0,2 | 1,15 |
| Aardappel | 0,45 | 0,8 | | | 0,7 | 0,2 | 1,1 |
| Suikerbiet | | | | | | | 0,6-1,0 |
| Wintertarwe | | | 0,2 | 0,65 | 0,55 | | 1,15 |

Een yield response factor (ky), geregistreerd tijdens een bepaald groeistadium, is meestal kleiner dan de ky van de totale groeiperiode. De reden is dat de remming van de gewasgroei ten gevolge van de verdampingsreductie in dit stadium niet volledig doorwerkt in de opbrengstreductie aan het eind van de totale groeiperiode. Dit kan als volgt worden begrepen. Als bij bonen alleen tijdens de bloeiperiode een bepaalde mate van droogtestress optreedt is de eindopbrengst hoger (en de ky navenant lager) dan deze zou zijn als dezelfde mate van droogtestress de totale groeiperiode zou aanhouden. Wegens de doorwerking van eenmaal opgelopen droogteschade tijdens de bloeiperiode, gecombineerd met de reducties tijdens andere groeistadia is de som van de ky 's van de zes groeistadia uiteindelijk groter dan de uiteindelijke ky met waarde 1,15 (bonen).

Katerji et al. (2003) besteden uitgebreid aandacht aan verschillen in tolerantie voor zout en droogte. Een opvallend resultaat is weergegeven in Figuur 15, met als conclusie: 'Apparently the evapotranspiration deficit does not give a satisfactory classification for salt tolerance'.



Figuur 15 Relatieve opbrengst van tien gewassen als functie van de EC_e (links) en relatieve reductie van de opbrengst als functie van de relatieve verdampingsreductie (rechts) (Bron: Katerji et al., 2003).

4.4.2 Synthese

Bij vergelijking tussen de reactie van de plant op de zouttoestand in de wortelzone respectievelijk op de vochttoestand in de wortelzone vallen de volgende zaken op:

- Bij de reactie op de vochttoestand wordt in veel modellen nadrukkelijk rekening gehouden met de verdampingsvraag: hoe hoger die is, hoe eerder (bij hogere waarden van de matrixpotentiaal in de wortelzone) er reductie van de wateropname door de wortels optreedt. In SWAP is dat ook zo gemodelleerd (Kroes et al., 2017). Hierbij wordt echter geen rekening gehouden met de mogelijke reactie van de plant om extra osmotica aan te maken waardoor het wateropnemend vermogen van de plant verandert, onafhankelijk van de veranderende omgevingsfactoren (T, relatieve luchtvochtigheid). De MH-parameters voor de reactie van de gewasopbrengst op de zouttoestand in de wortelzone daarentegen zijn niet afhankelijk gesteld van de verdampingsvraag;
- de tolerantie van landbouwgewassen lijkt voor zoutstress veel sterker te variëren dan voor droogtestress;
- kennis over de verschillen in droogtetolerantie per groeistadium is beperkt toepasbaar op het in model brengen van verschillen in zouttolerantie per groeistadium;
- als zoutschade vooral wordt veroorzaakt door osmotische effecten kan de osmotische potentiaal in de wortelzone worden opgeteld bij de matrixpotentiaal en kan de reductie van de wateropname door de wortels worden gekoppeld aan de opgetelde potentieel. Dit betekent ook dat de reductie van de wateropname door de wortels wegens zout in de wortelzone afhankelijk is van de uitdrogingsgraad;
- op basis van de literatuur is het **niet** mogelijk het verloop van het osmotisch effect en het ioneffect, zoals per gewasgroep kwalitatief geschetst in de figuren aan het eind van het vorige hoofdstuk, per gewas te kwantificeren. Het fysiologisch onderzoek is over het algemeen gericht op het verwerven van inzicht in generieke mechanismen zoals beschreven in het vorige hoofdstuk maar dat levert geen getallen op. De tabel van Hoffman (1980) (Tabel 3 in dit rapport, op pagina 24) is daarvoor ook niet geschikt omdat deze alleen betrekking heeft op de drempelwaarde in de MH-relatie. De gewassen die erin vermeld worden zijn bovendien voor Nederland minder relevant met betrekking tot zoutschade.

5 Conclusies

De belangrijkste bevinding is: vooral uit buitenlandse literatuur komt naar voren dat de zouttolerantie van een gewas afhangt van het groeistadium en dat deze afhankelijkheid aanzienlijk kan zijn. De groeistadium-gerelateerde zouttolerantie van gewassen hangt op complexe wijze samen met de osmotische werking van zout in de wortelzone en de toxische werking van bepaalde ionen in de plant die wel of niet effectief buiten de plant kunnen worden gehouden als de concentratie ervan in het bodemvocht boven een bepaalde drempel komt. Ook kunnen er andere mechanismen in werking treden zoals het verhogen van de osmotische potentiaal in de plant. De complexiteit komt ook voort uit de responstijden, die voor de osmotische werking veel korter is dan voor de toxische werking en het adaptatievermogen van de plant.

Het beeld dat hier oprijst is dat we te maken hebben met een complex systeem waarvan de relevante mechanismen en relaties vooral kwalitatief zijn beschreven, op basis van empirie. Daarom is het niet eenvoudig een kwantitatieve relatie te leggen tussen bijvoorbeeld de zoutconcentratie in de wortelzone gedurende een bepaald groeistadium en het effect op de uiteindelijke opbrengst. Het begrijpen van de plantenfysiologische responsmechanismen is echter wel een noodzakelijke stap om verder te komen in de kwantificering van de zouttolerantie van gewassen. Op basis van de geraadpleegde literatuur kan per gewasgroep wel een beeld worden geschetst van het verloop van de zouttolerantie per groeistadium.

Nadere detaillering van de verschillen in zouttolerantie per gewas leverde naast anekdotische informatie vooral kwantificering van verschillen per groeistadium, uitgedrukt in zoutdrempelwaarden. Zoals al in eerdere publicaties is vastgesteld, is de overdraagbaarheid van deze relaties naar de Nederlandse praktijk echter beperkt. Een nadere detaillering van zouttoleranties per groeistadium per gewas is daarom vooralsnog als een brug te ver beoordeeld.

Uit de vergelijking tussen de reacties van de plant op zoutstress resp. droogtestress blijken ook de overeenkomsten voor de meeste gewassen beperkt zijn, zodat dat het vertalen van zout in de wortelzone naar osmotische potentiaal en deze optellen bij de matrixpotentiaal te simplistisch is.

In de literatuur is weinig nieuwe informatie gevonden over indirecte zoutschade zoals bladverbranding en structuurschade.

De vraag is wat de waarde is van deze bevindingen in relatie tot overige onzekerheden en de toepasbaarheid voor het waterbeheer in Nederland. Het is ongewenst dat we niet kunnen kwantificeren hoe groot de systematische over-, of onderschatting van de zoutschade is als we geen rekening houden met de verschillen in zouttolerantie per groeistadium en verschillen in osmotisch effect en ioneffect. Dit ondanks het feit dat onze kennis over bijvoorbeeld verschillen in droogtetolerantie per groeistadium ook beperkt is. Wat betreft de toepasbaarheid voor het waterbeheer in Nederland: deze vraag vereist een nadere detaillering die in Hoofdstuk 6 wordt gegeven.

6 Toepasbaarheid voor het waterbeheer in Nederland

6.1 Buitenlandse literatuur relevant voor Nederland?

Het belangrijkste verschil tussen de Nederlandse situatie en die in de geïrrigeerde landbouw is het klimaat, waardoor in Nederland de zoutgehalten in de wortelzone gedurende het teeltseizoen sterk variëren. Maar ook het zoutgehalte van Nederlands irrigatiewater varieert als gevolg van wisselingen in de afvoer van de Rijn en Maas, en daarmee samenhangende indringing van zout zeewater. Dit maakt de noodzaak voor de opsplitsing van de zouttolerantie naar groeistadium noodzakelijk. Het literatuuronderzoek biedt aanknopingspunten om per gewasgroep groeistadia te onderscheiden en per groeistadium kwalitatief aan te geven wat het ioneffect en het osmotisch effect van zout in de wortelzone op de gewasgroei is. Met het waterbeheer is hiermee rekening te houden, bijvoorbeeld door in gebieden met veel bollen die in het voorjaar bloeien het serviceniveau van het zoutgehalte in het oppervlaktewater na de bloeitijd te verlagen.

De vraag is ook wat dit betekent voor het gebruik van de MH-relaties. In modellen zoals SWAP-WOFOST zijn de parameters die de relatie tussen het zoutgehalte in de wortelzone en reductie van de wateropname door de wortels bepalen gebaseerd op de MH-parameters.

6.2 Gebruik van MH-relaties

De MH-relaties (i.c. per gewas/teelt twee parameters die de relatie tussen EC_e en opbrengstreductie specificeren, zie Bijlage 3 op pagina 40) zijn niet afhankelijk van het groeistadium. Daarom - maar ook om andere redenen - is het gebruik ervan problematisch.

1. Het feit dat zowel het osmotisch als het toxisch effect groeistadiumafhankelijk is betekent dat de MH-parameters toegepast op situaties waarin het zoutgehalte in de wortelzone varieert (en dat is in Nederland de meest gangbare praktijk voor teelten in de open lucht), leidt tot een niet-reproduceerbare over- of onderschatting van de opbrengstreductie.
2. Het toxisch effect wordt gekenmerkt door een aanzienlijke responstijd: het kost tijd om de door de wortels opgenomen toxische ionen te laten indikken in het blad voordat de bladeren er schade van ondervinden. Bovendien kunnen sommige plantensoorten zich weer ontdoen van de opgenomen natrium zodra de concentratie ervan in de wortelzone afneemt door verdunning tijdens een regenbui. Dit betekent dat de duur van blootstelling aan zout in de wortelzone, de hoeveelheid regen tijdens de teelt en de opeenvolging in de tijd van wisselingen in zoutgehalte ertoe doen. Genoemde effecten zijn in de MH-proeven geen onderwerp van studie geweest, en/of niet reproduceerbaar.
3. Een plant reageert niet op de geleidingsvermogen van het bodemwaterextract, EC_e , maar op het geleidingsvermogen van het bodemwater, EC_s . De conversie van EC_e naar EC_s is afhankelijk van de bodemeigenschappen en de uitdrogingsgraad. In situaties waarin het bodemgehalte (sterk) varieert levert dat problemen op.
4. De MH-relaties zijn gebaseerd op uitsluitend buitenlandse proeven met ander type irrigatiewater, wellicht andere irrigatiepraktijken. Op dit punt is al in 2008 op de workshop in Wageningen uitvoerig gewezen, en geconcludeerd dat conversie van gevonden relaties naar Nederlandse omstandigheden ongeoorloofd is.
5. Uit de literatuur komt duidelijk naar voren dat de reactie van de plant op zout in de wortelzone afhangt van de verdampingsvraag. De meteorologische omstandigheden in Nederland wijken structureel af van het semi-aride klimaat.
6. Bloembol- en bloemknolgewassen komen nauwelijks aan bod in de buitenlandse literatuur over zouttolerantie, althans niet in de geraadpleegde literatuur.
7. De vermeldingen in de literatuur t.a.v. zoutgevoeligheid tijdens het kiemen zijn voor de Nederlandse praktijk van minder belang omdat meestal in het voorjaar wordt gezaaid en er dan voldoende vocht in de bouwvoor aanwezig is of er wordt gewacht met zaaien tot het voldoende heeft geregend.

Ondanks deze kritische kanttekeningen bij het gebruik van de MH-relaties is er vooralsnog geen goed alternatief. Een conclusie is wel dat de resultaten van simulaties, zeker bij wisselende zoutgehaltes in de wortelzone gedurende het groeiseizoen, moeten worden beoordeeld op realiteitsgehalte.

6.3 Kennis uit Nederlandse literatuur toepasbaar?

In de inventarisatie en de analyse van de zouttolerantie van landbouwgewassen (Stuyt et al., 2016) is de zouttolerantiedrempel gekoppeld aan het chloridegehalte in het irrigatiewater en aangenomen dat dit correspondeert met het natriumgehalte. Als de proeven zijn uitgevoerd in de open lucht is de relatie tussen chloridegehalte in het irrigatiewater en het chloridegehalte in de wortelzone zeer variabel. De bij het begin van een irrigatiebeurt aanwezige vochtvoorraad zorgt voor verdunning, natuurlijke neerslag na een irrigatiebeurt zorgt eveneens voor verdunning maar wateropname door de wortels zorgt voor indikking van het zout in de wortelzone. Dit zorgt voor een grote spreiding in de afgeleide drempelwaarden.

De resultaten van de proeven van het Zilt proefbedrijf op Texel zijn geschikt om de parameters voor de relatie tussen het elektrisch geleidingsvermogen in de wortelzone c.q. zoutgehalte in de wortelzone en opbrengstreductie af te leiden, mits het zoutgehalte gedurende het groeiseizoen binnen nauwe grenzen kan worden gehandhaafd. Dit is namelijk zoals de proeven zijn ingericht.

De vraag is relevant of de resultaten van het Zilt proefbedrijf kunnen worden gebruikt voor situaties met wisselende zoutgehaltes in de wortelzone gedurende het groeiseizoen. Deze vraag is vooralsnog moeilijk te beantwoorden. Door planten vanaf opkomst bloot te stellen aan een constant zoutgehalte in de wortelzone kan de plant zich maximaal adapteren, wat bij wisselende zoutgehaltes niet het geval is.

De proeven van het Zilt proefbedrijf op Texel zijn daarom minder geschikt om uitkomsten te valideren van berekeningen waarin het zoutgehalte per groeistadium wordt gevarieerd. Wel zijn ze geschikt om, in situaties met min of meer constant zoutgehalte in de wortelzone (in plaats en tijd) de (voor de koppeling gewasverdamping-gewasgroei gecorrigeerde) MH-parameters te berekenen. Ten behoeve van project 'Waterwijzer Landbouw' is deze aanpak daadwerkelijk gevolgd (Mulder et al., 2017).

Ten opzichte van het gebruiken van resultaten van buitenlandse proeven levert het gebruik van Texel-data een belangrijke verbetering: de conversie van EC_s naar EC_e is niet nodig omdat de EC van het bodemvocht zo goed als mogelijk per behandeling constant wordt gehouden en goed wordt bemeten. Een ander bezwaar valt ook weg: de proeven liggen in Nederland dus de dynamiek van de verdampingsvraag is min of meer conform die van het Nederlandse klimaat.

6.4 Kennis droogteschade toepasbaar op osmotisch effect?

Hoewel niet uitputtend onderzocht valt op dat de droogtetolerantie van landbouwgewassen veel minder sterk varieert dan de zouttolerantie. De oorzaak kan zijn dat bij droogte het osmotisch effect overheerst en bij zout zowel het toxisch als osmotisch effect een rol spelen, maar het kan ook zijn dat de kennis over droogtetolerantie niet uitputtend is gebruikt. Dat bij het gebruik van de zogenoemde Feddes-parameters in model SWAP gebruik wordt gemaakt van een tabel uit 1972 (Appendix 8 in Kroes et al., 2017) is in dit verband illustratief. Ook wordt er geen opdeling gemaakt in groeistadia en wordt geen rekening gehouden met adaptatie van de plant, noch met het overschrijden van irreversibele processen na overschrijden van drempelwaarden. En dus is de vraag: kan een zouttolerantiemodel gebruik maken van de kennis over droogtetolerantie? Als het osmotisch effect het toxisch effect overheerst kan de kennis over droogtetolerantieverschillen per groeistadium worden gebruikt bij de zouttolerantiemodellering. Hierbij moet wel worden beseft dat optellen of vermenigvuldigen van de afzonderlijke reducties te simpel is. De Jong et al. (2008) leiden dit af dat uit een modelonderzoek.

6.5 Aanbevelingen voor nader onderzoek

Als we in simulatiemodellen zoals SWAP-WOFOST rekening willen houden met verschillen in zouttolerantie per groeistadium, en met verschillen tussen osmotische werking en toxische werking vereist dat een innovatieve opzet van gecontroleerde veldproeven, vermeerdering van praktijkkennis en een ingrijpende aanpassing van bestaande modelconcepten. Uit de literatuur en gecontroleerde veldproeven afgeleide relaties tussen zout in irrigatiewater, en/of de wortelzone enerzijds, en de opbrengstreductie anderzijds kunnen daarbij dienen als kalibratie- of validatieset, mits de meteorologische omstandigheden, de wijze van irrigeren en de bodem- en gewaseigenschappen bij benadering kunnen worden gereproduceerd.

Naast het gebruik van kennis uit de literatuur en van gecontroleerde veldproeven pleiten wij voor een aanvullende vorm van gegevensverzameling, nl. ervaringen van telers verzamelen en analyseren.

Ook stellen wij voor om met enkele gidsgewassen (aardappelen en tulpen) met een aangepast SWAP-WOFOST-model experimenten te doen, met als doel inzicht te krijgen in het effect van a) wisselende zoutgehaltes gedurende het groeiseizoen b) wisselende zouttoleranties per groeistadium. Hoe die aanpassing vorm kan krijgen moet in overleg tussen gewasfysiologen, hydrologen en bodemkundigen worden vastgesteld.

Nabeschouwing

Een pleidooi

Als dit onderzoek ons (de auteurs) één ding duidelijk heeft gemaakt, is het dat kennisvermeerdering van de plantenfysiologische effecten van zout in de wortelzone essentieel is om uiteindelijk te kunnen komen tot een verbeterde kwantificering van zoutschade. Om dit te bereiken is continue registratie van een serie fysiologische parameters bij het uitvoeren van tijdgerelateerde, geconditioneerde zouttolerantieproeven onvermijdelijk.

Dit soort experimenten is immers nodig om een vinger te krijgen achter de 'wordingsgeschiedenis' en daarmee de geleidelijke totstandkoming van de kwaliteit en het gewicht van het oogstbare product. En over die totstandkoming moeten we meer te weten komen, willen we zicht krijgen op de kritieke perioden van de 'levensloop' van gewassen, in termen van zout. We willen de black box, die een plant in dit dossier nog steeds heeft, nu eindelijk openen, al is het maar op een kier. Dit zou een innovatieve stap zijn, maar de gewenste kennisvermeerdering vereist uitgebreide, langjarige experimenten.

We willen de zouttolerantie van gangbare grondgebonden gewassen en gewasgroepen specificeren als (analoge) functie van de tijd. De volgende stap is een dynamische risicokaart van een regio die varieert van 1 april tot 1 oktober. Zo'n kaart is gebaseerd op informatie over de teeltplannen, structurele zoutbelasting van de wortelzone etc. Dynamische parameters die dit zoutgehalte beïnvloeden (vooral geassocieerd met 'meteo', waterbeschikbaarheid, berging in het profiel e.d.) beïnvloeden deze kaart, van week tot week. Op grond van de dan beschikbare informatie moeten het strategisch waterbeheer, in casu de tijd- en plaatsgerelateerde waterbeschikbaarheid, en (locatie)keuze van grondgebonden teelten zo goed mogelijk '€ureyeopener-achtig' op elkaar worden afgestemd. Het operationele waterbeheer moet worden bijgestuurd op factoren die het zoutgehalte in de wortelzone beïnvloeden (weersverwachting, beschikbaarheid/EC aanvoerwater en dergelijke).

Literatuur

- Ashraf, M.A., M. Rasoo and Q. Ali (2013) Salt-induced perturbation in growth, physiological attributes, activities of antioxidant enzymes and organic solutes in mung bean (*Vigna radiata* L) cultivars differing in salinity tolerance. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59: 1695-1712.
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot (1994) *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage paper No. 29 Rev 1.
- 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.
- Bartha, C., L. Fodorpataki, M. del Carmen Martinez-Ballesta, O. Popescu and M. Cravajal (2015) Sodium accumulation contributes to salt stress in lettuce cultivars. *J. of Applied Botany and Food Quality* 88: 42-48.
- Berg, C. van den (1952) De invloed van opgenomen zouten op de groei en productie van landbouwgewassen op zoute gronden. Thesis Landbouwhogeschool Wageningen.
- Bernstein, L., E. Francois and R.A. Clark (1974) Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. *Agronomy Journal* 66 (3): 412-421.
- Blom-Zandstra, M. (2000) Sodium transport and distribution in sweet pepper during and after salt stress. *Acta Horticulturae* 511: 205-212.
- Bojorquez-Quintal, E., A. Velarde-Buendia, A. Ku-Gonzalez, M. Carillo-Pech, D. Ortega-Camacho, I. Echevarra-Machado, I. Potossin and M. Martinez-Estevéz (2014) Mechanisms of salt tolerance in habanero pepper plant (*Capsicum Chinense* Jacq.): Proline accumulation, ions dynamics and sodium root-shoot partition and compartmentation. *Frontiers in Plant Science* 5: 1-14.
- Dabuxilat, I.M. (2005) Distribution of K, Na and Cl in root and leaf cells of soybean and cucumber plants grown under salinity conditions. *Soil Science and Plant Nutrition* 51: 1053-1057.
- Doorenbos, J. and A.H. Kassam (1979) *Yield response to water*. FAO Irrigation and Drainage paper no. 33.
- Evelin, H., R. Kapoor and B. Giri (2009) Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of Botany* 104 (7): 1263-1280.
- Flowers, T.J. and D. Dalmond (1992) Protein-synthesis in halophytes - The influence of potassium, sodium and magnesium in vitro. *Plant and Soil* 146 (1-2): 153-161.
- Greenway, H. and C.B. Osmond (1972) Salt responses of enzymes from species differing in salt tolerance. *Plant Physiology* 49 (2): 256-259.
- Greenway, H. and R. Munns (1980) Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 31: 149-190.
- Han, L.P., W. Hui Wang, A. Egrinya Eneji and J. Liu (2015) Phytoremediating coastal saline soils with oats: accumulation and distribution of sodium, potassium, and chloride ions in plant organs. *J. of Cleaner Production* 90: 73-81.
- Hack, H., H. Bleiholder, L. Buhr, U. Meier, U. Schnock-Fricke, E. Weber, A. Witzemberger (1992) Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen-Erweiterte BBCH-Skala, *Allgemein Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 44, pp. 265-270.
- Hajlaoui, H., N. El Ayeb, J.P. Garrec and M. Denden (2010) Differential effects of salt stress on osmotic adjustments and solutes allocation on the basis of root and leaf tissue senescence of two silage maize (*Zea Mays* L.) varieties. *Industrial Crops and Products* 31: 122-130.
- Hoffman, G.J. (2010) *Salt Tolerance of Crops in the Southern Sacramento-San Joaquin Delta*. Final report.
- Jong van Lier, Q. de, J.C. van Dam en K. Metselaar (2008) Root Water Extraction under Combined Water and Osmotic Stress. *Soil Physics* 73(3): 862-875.
- Katerji, N., J.W. van Hoorn, A. Hamdy and M. Mastrorilli (2003) Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agr. Water Management* 62: 37-66.

-
- Kleemann, M. (2000) Factors affecting calcium deficiency related disorders in vegetables. Transactions of the Estonian Agricultural University, Agronomy 209: 67-69.
- Kotuby-Amacher, J. R. Kenig and B. Kitchen (2000) Salinity and Plant Tolerance.
- Kroes J.G., J.C. van Dam, R.P Bartholomeus, P. Groenendijk, M. Heinen, R.F.A. Hendriks, M.M. Mulder, I. Supit and P.E.V van Walsum (2017) SWAP version 4. Theory description and user manual. Alterra-rapport 2780.
- Levy, D. and R. Veilleux (2007) Adaptation of potato to high temperatures and salinity-a review. American Journal of Potato Research 84 (6): 487-506.
- Maas, E.V. and G.J. Hoffman (1977) Crop salt tolerance. ASCE.
- Maas, E.V., G.J. Hoffman, G.D. Chaba, J.A. Poss and M.C. Shannon (1983) Salt Sensitivity of Corn at Various Growth Stages. Irrigation Science (1983)4: 45-57.
- Maas, E.V. (1984) Crop salt tolerance. In: The Handbook of Plant sciences in Agriculture. B.R. Christie (ed).
- Maas, E.V. (1990) Crop Salt Tolerance. American Society of Civil Engineers, Manuals and Reports on Engineering Practice no. 102: 262-304.
- Maas, E.V. and S.R. Grattan (1999) Crop Yields as affected by salinity. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA. Agricultural Drainage, Agronomy Monograph no. 38: 55 – 108.
- Meier, U. (ed.) (2001) Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. 2nd Edition. BBCH-monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- Munns, R., R.A. James and A. Lauchl (2006) Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany 57: 1025-1043.
- Munns, R. and M. Tester (2008) Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.
- Mulder, M.M., P.J.T. van Bakel, M. Heinen, J.G. Kroes, L.C.P.M. Stuyt, A. de Vos en G. van Straten (2017) Zouttolerantie aardappelen. SWAP-WOFOST toepassing op Zilt proefbedrijf Texel.
- Olle, M. and I. Bender (2009) Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: a review. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 84 (6): 577-584.
- Rijtema, P.E. and S. El Guindi (1986) Reuse of drainage water project. Some aspects of crop salt tolerance and water management. ICW-nota 1724.
- Scheffer, M. (2000) Critical Transitions in Nature and Society. Princeton University Press.
- Schipper, P.N.M., G.M.C.M. Janssen, N.B.P. Polman, V.G.M. Linderhof, P.J.T. van Bakel, H.Th.L. Massop, R.A.L. Kselik, G.H.P. Oude Essink en L.C.P.M. Stuyt (2014) €ureyeopener 2.1: Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta en Rijnmond-Drechtsteden. Alterra-rapport 2510.
- Shirazi, M.U., M.T. Rajput, M.A Khan, M. Ali, S.M. Mujtaba, A., Shereen, S. Mumtaz and M. Ali (2011) Growth and ions (Na, K and Cl) accumulating pattern of some Brassica genotypes under saline-sodic field conditions. Pakistan Journal of Botany 43: 2661-2664.
- Smith, M. and P. Steduto (2012) Yield response to water: the original FAO water production function.
- Spruijt, J. en M. van der Voort (2015) KWIN-AGV 2015. Kwantitatieve Informatie voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2015. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Publicatienr. 643, Lelystad, inclusief achterliggende KWIN-AGV database.
- 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. Alterra-rapport 2739.
- Tanji, K.K. and N.C. Kielen (2002) Agricultural drainage and water management in arid and semi-arid areas. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 61.
- Tanji, K.K. (ed.) (2012) Agricultural salinity Assessment and Management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71.
- Wang, X., S. Geng, Y. Ma, D. Shi, C. Yang and H. Wang (2015) Growth, Photosynthesis, Solute Accumulation, and Ion Balance of Tomato Plants under Sodium- or Potassium-Salt Stress and Alkali Stress. Agronomy J. 107 (2): 651-661.
- Yamamoto, A., M. Hashiguchi, R. Akune, T. Masumoto, M. Muguerza, Y. Saeki and R. Akashi (2016) The relationship between salt gland density and sodium accumulation/secretion in a wide selection from three Zoysia species. Australian J. of Biology 64: 277-284.
- Yeo, A.R. (1983) Salinity resistance - physiologies and prices. Physiologia Plantarum 58 (2): 214-222.

Bijlage 1 Handige conversies bij het zoutdomein

Van EC naar zoutconcentratie:

$$c \text{ (mg/L)} = 400 \text{ EC (dS/m)}$$

Van EC naar chlorideconcentratie:

$$c \text{ (mg/L)} = 235 \text{ EC (dS/m)}$$

Van zoutconcentratie naar EC:

$$\text{EC} = 1/400 c \text{ (mg/L)}$$

Van zoutconcentratie naar chlorideconcentratie (Na is 23; Cl is 35):

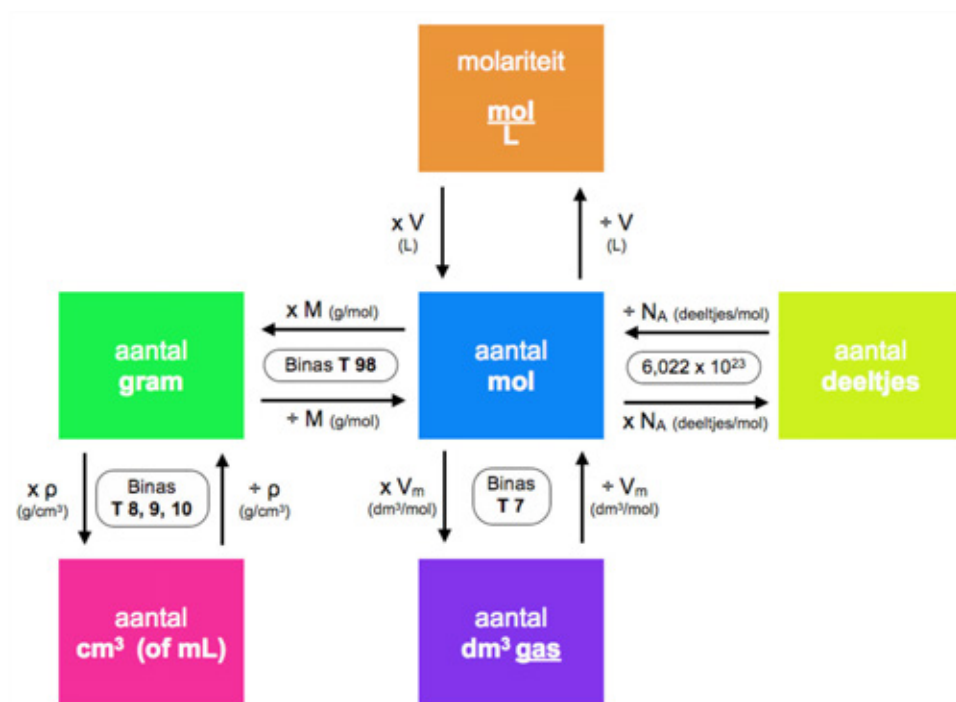
$$[\text{Cl}^-] \text{ (mg/L)} = 35/58 * [\text{NaCl}] \text{ (mg/L)}$$

Van zoutconcentratie naar natriumconcentratie:

$$[\text{Na}^+] \text{ (mg/L)} = 23/58 * (\text{NaCl}) \text{ (mg/L)}$$

Rekenen met mol

mol/L is M



Afbeelding B1.1 Uitsnede uit wikipedia.

Van M naar concentratie:

$$c \text{ (mg/L)} = M * \text{atoomgewicht}$$

Van concentratie naar M:

$$M \text{ (mol/L)} = 1/\text{atoomgewicht} * c \text{ (mg/L)}$$

Van EQ (val) naar mol:

- Bij eenwaardige ionen is 1 val = 1 mol
- Bij tweewaardige ionen is 1 val = 0,5 mol
- Bij driewaardige ionen is 1 val = 0,333 mol

Van M naar osmotische potentiaal:

De osmotische druk Π is voor verdunde oplossingen:

$$\Pi = iMRT$$

Hierbij is:

Π de osmotische druk in Pascal

i de van 't Hoff-factor

M de concentratie van de oplossing (of het concentratieverschil), gegeven in $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$.

R de gasconstante (ca. $8,3144 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

T de absolute temperatuur in K

Afbeelding B1.2 *Uitsnede uit wikipedia.*

Voor NaCl opgelost in water en 0,03 M (1050 mg Cl/L) is de van 't Hoff-factor 1,91.

De osmotische potentiaal hiervan bij 20^o C is 929.000 Pa (ca. 1 MPa is ca. 100 m waterkolom. Omdat de van 't Hoff-factor weinig varieert met de concentratie blijft de verhouding ook ongeveer gelijk.

Bijlage 2 Overzicht van de Nederlandse literatuur waarin wordt gerefereerd aan verschillen in zouttolerantie per groeistadium

De betreffende literatuurverwijzingen die zijn ontleend aan de literatuurlijst uit Stuyt et al. (2016)

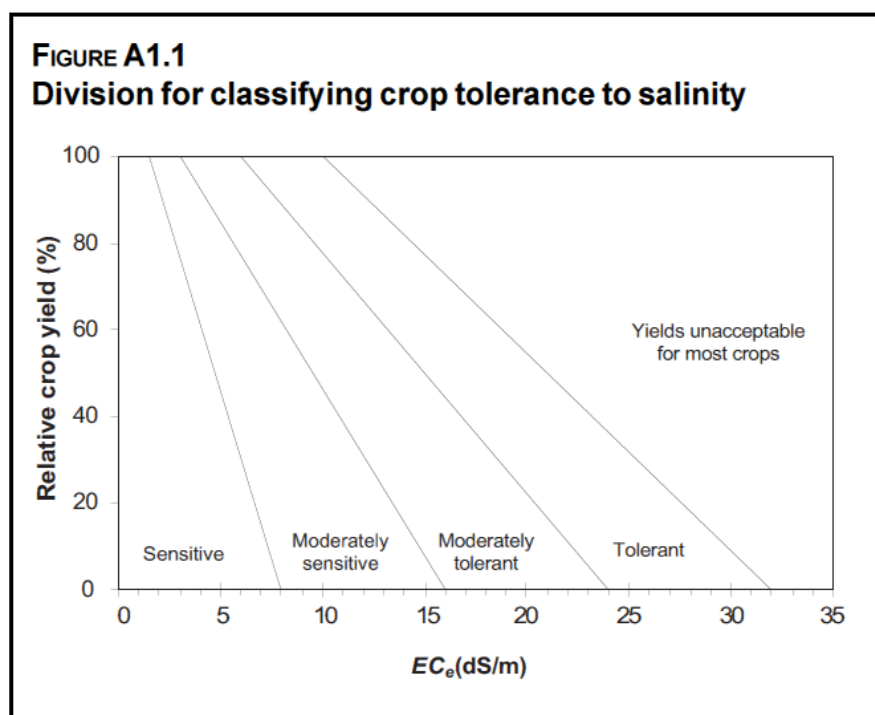
- Bakel, P.J.T. van, R.A.L. Kselik, C.W.J. Roest en A.A.M.F.R. Smit (2009) Review of crop salt tolerance in the Netherlands. Rapport 1926, Alterra, Wageningen.
- Bakel, P.J.T. van en L.C.P.M. Stuyt (2011) Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen, op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen. Wageningen, Alterra-rapport 2201.
- Berg, C. van den (1952) De invloed van opgenomen zouten op de groei en productie van landbouwgewassen op zoute gronden. De inundaties gedurende 1944–1945 en hun gevolgen voor de landbouw. Deel XII. In: Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 58.5 - Doctoral thesis Landbouwhogeschool, Wageningen. Staatsdrukkerij Uitgeversbedrijf, 's-Gravenhage, 118 pp. <http://edepot.wur.nl/176815>
- Blom-Zandstra, M., W. Wolters, M. Heinen, C.W.J. Roest, A.A.M.F.R. Smit en A.L. Smit (2014) Perspectives for the growth of salt tolerant cash crops. A case study with potato. Plant Research International, Part of Wageningen UR, Report no. 572. 36 p.
- Blom-Zandstra, M. (2016) Informatie variabiliteit zouttolerantiewaarden. Overzicht van een aantal artikelen. Ongepubliceerde Memo, 2 p.
- Bruning, B., Katschnig, D., A.C. de Vos, M. van Rijsselberghe, R.A. Broekman en J. Rozema (2011) Resultaten gewasteelt onder verschillende zoutbehandelingen op proefveld de Petten. Texel, Zilte teelt De Petten. Zilt Perspectief. 8 p.
- Couwenhoven, T. (1971) De verzilting en het gebruik van sproeiwater in de akkerbouw. Bedrijfsontwikkeling 2, editie Akkerbouw. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen, p 53-63.
- Dam, A.M. van, O.A. Clevering, W. Voogt, Th.G.L. Aendekerk en M.P. van der Maas (2007) Leven met Zout Water. Deelrapport Zouttolerantie van landbouwgewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV (PPO) 32 340194 00, p 36.
- Grieve, C.M., S.R. Grattan & E.V. Maas (2012) Plant salt tolerance. In: W.W. Wallender and K.K. Tanji. ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 71. Agricultural Salinity Assessment and Management (2nd Edition), ASCE, Reston, VA, Chapter 13. p 405-459.
- ICW (1962) Jaarverslag van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Mededeling ICW 48, Wageningen, p 11.
- ICW (1971) Jaarverslag van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW). Wageningen.
- Molen, W.H. van der, J.M. Beltran & W.J. Ochs (2007) Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems. FAO Irr. and Drain. paper 62. FAO Rome, p 230.
- Roest, C.W.J., P.J.T. van Bakel en A.A.M.F.R. Smit (2003) Actualisering van de zouttolerantie van land- en tuinbouwgewassen ten behoeve van de berekening van de zoutschade in Nederland met het RIZA-instrumentarium. Memorandum Alterra, Wageningen.
- Shaterian, J., D. Waterer, H. De Jong en K.K. Tanino (2005) Differential stress responses to NaCl salt application in early- and late maturing diploid potato (*Solanum sp.*) clones. Environ. Exp. Bot, 54:202-212.
- Shannon, M.C. & C.M. Grieve (1999) Tolerance of vegetable crops to salinity. Scientia Horticulturae 78:5-38.
- Stuyt, L.C.P.M. (2009) Power point presentation 'Crop Salt Tolerance Workshop'. Wageningen. June 22, 2009. Alterra, Wageningen.

-
- Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel en H.T.L. Massop (2011) Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout. Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland. Rapport 2200, Alterra, Wageningen.
- Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel, J. Delsman, H.T.L. Massop, R.A.L. Kselik, M.P.C.P. Paulissen, G.H.P. Oude Essink, M. Hoogvliet en P.N.M. Schipper (2013) Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland. Onderzoek met hulp van Eureyeopener 1.0. Rapport 2439, Alterra, Wageningen.

Bijlage 3 De MH-relaties en daarvan afgeleide classificatie van zouttolerantie van gewassen

De gegevens over zouttolerantie in de buitenlandse literatuur zijn voor een belangrijk deel terug te voeren op de publicaties van Maas en Hoffman^{6, 7, 8} en samengevat in FAO-rapport 63⁹. Hierin wordt een relatie gelegd tussen de EC van de zogenoemde 'pasta' van een bodemmonster uit de wortelzone (EC_e) en de opbrengstreductie van het gewas. De 'pasta' wordt verkregen door een bodemmonster van de wortelzone te nemen en aan dit monster (onder voortdurende menging) net zo lang water toe te voegen tot de grond als een 'pasta' van een spatel loopt. Belangrijk is op te merken dat hierbij een (aanzienlijke) verdunning optreedt. Hoe droger de wortelzone in het experiment, des te sterker de verdunning. Maar gebruikelijk is uit te gaan van vochtgehaltes in de wortelzone om en nabij veldcapaciteit waardoor per bodemsoort de verhouding tussen de EC van het water in de wortelzone, EC_s , en EC_e kan variëren tussen 1,5 en 2,5.

In navolging van Maas en Hoffman deelt de FAO gewassen in vier tolerantieklassen; zie Figuur 16. Hieruit zijn, per klasse, schadedrempels voor de EC_e af te leiden waarboven schade begint op te treden.



Figuur 16 Classificatie van zouttolerantie van landbouwgewassen.

In Tabel 6 is voor een groot aantal gewassen de zouttolerantie gegeven.

⁶ Maas, E.V., 1990. Crop salt tolerance.

⁷ Maas, E.V. and G.J. Hoffman, 1977. Crop salt tolerance. ASCE.

⁸ Maas, E.V., 1984. Salt tolerance of crops. In: The handbook of Plant Sciences in Agriculture.

⁹ Tanji, K.K. and N.C. Kielen, 2002. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO Irrigation and Drainage Paper 61.

Tabel 6 De meest gangbare tabel voor classificatie van de zouttolerantie van gewassen.

| Gevoelig | Matig gevoelig | Matig tolerant | Tolerant |
|--------------|----------------|----------------|------------|
| Aardbei | Aardappel | Anjer | Asperge |
| Abrikoos | Aubergine | Andijvie | Courgette |
| Amandel | Bloemkool | Broccoli | Geranium |
| Amaryllis | Druiven | Chrysan | Grasland |
| Appel | Gladiool | Croton | Lavendel |
| Augurk | Klaver | Knolselderij | Oleander |
| Avocado | Koolrabi | Mosterd | Petunia |
| Bollen | Komkommer | Prei | Quinoa |
| Boomkwekerij | Kool | Raaigras | Statice |
| Boon | Lucerne | Radijs | Strandbiet |
| Fruitbomen | Mais | Sorghum | Suikerbiet |
| Paprika | Pepers | Sojaboon | Zonnebloem |
| Perzik | Sla | Spruiten | |
| Pruimen | Spinazie | Tarwe | |
| Uien | Watermeloen | Tomaat | |
| Wortel | | Witlof | |

Bijlage 4 Relevante passages m.b.t. zouttolerantie per groeistadium in Maas and Grattan (1999)

Since saline soils in the field generally consist of a mixture of different salts, specific ion effects are minimal and osmotic effects predominate, particularly on annual crops or perennials grown as annuals (e.g., cotton). Woody fruit and nut crops, on the other hand, can accumulate Cl^- and/or Na^+ to toxic levels which cause leaf burn, necrosis, and defoliation.

Some herbaceous crops, e.g., soybean, also are susceptible to ion toxicities, but most do not exhibit leaf injury symptoms even though some accumulate levels of Cl^- or Na^+ that cause injury in woody species.

When specific ion toxicities occur, the effects on yield are generally additive with the growth suppressive effects of osmotic stress; yet the growth-reducing contributions of each are difficult to quantify. The additive effect can be attributed to leaf damage and defoliation which further reduces the photosynthesizing area of a salt-stunted plant canopy. In some woody species, like grape, toxic effects may be dominant (Ehlig, 1960); in others, such as stone fruits, yield losses caused by toxicity may be comparable to those caused by osmotic stress (Bernstein et al., 1956).

Although corroborating data are limited, it is generally agreed that most plants become increasingly tolerant as they grow older. The earlier plants are stressed, the greater the reduction in vegetative growth (Kaddah & Ghowail, 1964; Lunin et al., 1961, 1963). For determinate plants, the proportion of biomass that is subject to growth reduction becomes less the later they are stressed. Of course, the duration of stress also would be shorter. In an experiment where salinity treatments were of equal duration, it was found that the later cowpea, an indeterminate crop, was stressed, the less vegetative growth was reduced (Maas & Poss, 1989b).

Increased tolerance with age also has been observed in asparagus, a perennial that was much more tolerant after the 1st year's growth (Francois, 1987).

In sand culture experiments designed to test the relative effects of salt stress at different stages of growth on grain production, sorghum (Maas et al., 1986), wheat (Maas & Poss, 1989a), and cowpea (Maas & Poss, 1989b) were most sensitive during the vegetative and early reproductive stages, less sensitive during flowering, and least sensitive during the grain-filling stage. Salt stress during spike or panicle differentiation hastened spikelet development and markedly reduced the number of spikelets in wheat (Maas & Grieve, 1990). The reduction in grain-bearing spikelets, however, was partially offset by an increase in the number of seeds per spikelet (Grieve et al., 1992). Heeman et al. (1988) found that the reduction in panicle yield of rice was highly correlated with the reduction in the number of florets per panicle.

The salt tolerance of trees, vines, and other woody crops is complicated because of additional detrimental effects caused by specific ion toxicities. Many perennial woody species are susceptible to foliar injury caused by the toxic accumulation of Cl^- and/or Na^+ in the leaves.

In the absence of specific-ion effects, the tolerance of woody crops, like that of herbaceous crops, can be expressed as a function of the concentration of total soluble salts or osmotic potential of the soil solution. One could expect this condition to obtain for those cultivars and rootstocks that restrict the uptake of Cl and Na^* . The salt tolerance data given in Table 3_2 for woody crops are believed to be reasonably accurate in the absence of specific-ion toxicities.

Direct effects are caused by the accumulation of toxic levels of Na^+ and are generally limited to woody species. The Na^+ injury on avocado, citrus, and stone-fruit trees is rather widespread and can occur at Na^+ concentrations as low as 5 mol m^{-3} in soil water. The symptoms may not appear immediately after exposure to saline water, however. Initially, Na^+ is retained in the roots and lower trunk, but after 3 or 4 years the conversion of sapwood to heartwood apparently releases the accumulated Na^+ which is transported to the leaves causing leaf burn (Bernstein et al., 1956).

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 2897
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 2897
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

