

Minerale meststoffen en zoutschade

Effect op gewassen, bodemleven en handelingsperspectief

Jelle Boode, Romke Postma & Wim Bussink

Samenvatting

De minerale vorm van nutriënten in meststoffen bestaat meestal uit positief en negatief geladen ionen, ofwel zouten. Hoge concentraties van zouten in de bodem kunnen de groei, opbrengst en kwaliteit van gewassen en/of de activiteit van bodemorganismen beïnvloeden. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn vlak na de toediening van minerale meststoffen, maar ook bij drijfmest, dunne fracties en/of gier, omdat die veel zouten bevatten.

De activiteit van het bodemleven, zoals het biologische mineralisatie- en nitrificatieproces, kan tijdelijk worden geremd door verhoogde zoutconcentraties als gevolg van de toediening van meststoffen (b.v. bij rijenbemesting), maar herstelt zich in het algemeen snel (binnen enkele dagen/weken). Op de lange termijn leidt de inzet van minerale meststoffen tot een verhoging van de microbiële biomassa. Het aantal regenwormen wordt niet of nauwelijks beïnvloed door het zoutgehalte in de bodem.

Gewassen verschillen in de gevoeligheid voor zout, waarbij uien, peen en bonen gevoelig zijn, aardappelen, mais en sla matig gevoelig, gras en tarwe matig tolerant en suikerbieten en gerst tolerant. Vooral bij rijenbemesting in gevoelige gewassen is aandacht voor het risico van zout-effecten nodig door het voorkomen van (te) hoge giften en te zorgen voor een nauwkeurige plaatsing ten opzichte van zaad, plant of knol. Door toepassing van de juistheden van bemesting, kunnen negatieve effecten op groei en opbrengst van gewassen worden voorkomen. Daarbij geldt het volgende:

- Juiste meststof: houd bij de meststofkeuze rekening met het effect op EC, uitgedrukt per kg van het toegediende nutriënt. De verschillen tussen meststoffen zijn relatief klein.
- Juiste gift: vermijd te hoge giften, vooral bij gevoelige gewassen. Beperk de startgift bij uien tot 30 kg N/ha, bij suikerbieten tot 120 kg N/ha en bij aardappelen tot 150-200 kg N/ha. Bij toepassing in de rij kan de N-gift bij maïs met 20% en bij suikerbieten met 15-30% worden verlaagd.
- Juiste plaats: vooral bij rijenbemesting is aandacht voor plaatsing nodig. Een toediening schuin onder het zaad of plantje of schuin onder, schuin boven of naast de poter (bij aardappelen) is van belang om zoutschade te voorkomen. Bij uien is dat 8 cm naast en 8 cm onder het zaad.
- Juiste tijdstip: vooral bij gevoelige gewassen, zoals ui, is een deling van de N-gift van belang. Na een beperkte startgift kan het resterende deel later in het seizoen worden toegediend.

Inleiding

Op verzoek van Meststoffen Nederland heeft NMI een notitie opgesteld over het risico van zoutschade bij het gebruik van meststoffen. Er wordt regelmatig gesteld dat minerale meststoffen (kunstmest) slecht zijn voor het bodemleven en dat het gebruik van meststoffen tevens tot schade aan gewassen kan leiden, maar deze beweringen worden zelden gestaafd door resultaten. Vragen die in deze notitie aan de orde komen zijn: is er een risico voor het bodemleven en de groei, opbrengst en kwaliteit van gewassen? Zijn er algemene richtlijnen voor het gebruik van meststoffen te geven om een eventueel

risico van zoutschade te minimaliseren? En welke andere factoren zijn van belang voor het risico van zoutschade bij gewassen?

Wat is zoutschade?

Alle planten hebben nutriënten, zoals stikstof (N), fosfor (P), kali (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), zwavel (S) en micronutriënten nodig voor de groei. Die nutriënten worden opgenomen uit de bodem, waar ze in uiteenlopende vormen voorkomen. Via bemesting worden nutriënten in organische en minerale verbindingen toegediend aan de bodem, zodat gewassen optimaal kunnen groeien. De minerale vorm waarin nutriënten voorkomen bestaat bijna altijd uit samengestelde stoffen gevormd door een binding van positief en negatief geladen ionen, ofwel zouten. Sinds jaar en dag zijn er bemestingsadviezen die afhankelijk van gewas, bodemtype en bodemvruchtbaarheid aangeven hoeveel nutriënten nodig zijn voor een goede groei, opbrengst en kwaliteit van gewassen. Bij de ontwikkeling van adviezen is er rekening mee gehouden dat schade aan gewassen door te hoge zoutconcentraties zoveel mogelijk moet worden voorkomen. In bepaalde gevallen, bijvoorbeeld bij rijenbemesting, wordt de adviesgift daartoe verlaagd.

Zoutschade treedt op wanneer de concentraties van bepaalde zouten (zie verder voor het effect van uiteenlopende zouten) in de bodem te hoog zijn voor planten of bodemorganismen. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn vlak na de toediening van minerale meststoffen, maar dit kan ook optreden bij hoge giften van organische meststoffen, vooral bij drijfmest, dunne fracties en/of gier, omdat het zoutgehalte in de bodem te hoog kan worden (De Boer, 2020). Hierdoor kan de biologische activiteit en/of gewasgroei worden geremd. Te hoge zoutconcentraties kunnen via meerdere mechanismen schadelijk zijn voor planten:

1. Ten eerste verhoogt de aanwezigheid van zouten in de bodem de osmotische potentiaal van de bodem. Plantenwortels nemen water op via osmose. Hoe hoger de osmotische potentiaal van de bodem, hoe moeilijker het is voor planten om water op te nemen. Hoge zoutconcentraties in de bodem leiden dus tot een grotere kans op droogteschade van gewassen.
2. Ten tweede zijn bepaalde ionen in zouten giftig voor planten wanneer deze in te hoge concentraties in de bodem voorkomen. Zo zorgen te hoge concentraties van natrium (Na), chloride (Cl) en borium (B) voor remming van de fotosynthese en dus ook van de gewasgroei (Cakmak, 2013).
3. Verder kan zoutschade ontstaan door ion-competitie. Dit kan ontstaan wanneer bepaalde ionen in hoge concentraties in de bodem voorkomen. Dit zorgt ervoor dat planten deze ionen meer op gaan nemen, waardoor andere ionen minder worden opgenomen. Zo kan er in de plant een tekort van een bepaald ion ontstaan. Bijvoorbeeld hoge K-, Mg- en Na-concentraties in de wortelzone kunnen leiden tot een tekort aan Ca in de plant, ondanks dat er wel voldoende Ca in de bodem aanwezig is.

Een neveneffect van een (te) hoog Na-aanbod is dat te hoge Na-concentraties in kleibodems de bodemstructuur kunnen verslechteren. De grond zwelt dan dicht, waardoor er een zuurstoftekort in de wortelzone kan ontstaan.

Daarnaast kunnen hoge zoutconcentraties ook effect hebben op het bodemleven. Een gevolg daarvan is dat hoge zoutconcentraties de afbraak van organisch materiaal en de nitrificatie (tijdelijk) kunnen vertragen, zoals is vastgesteld bij het gebruik van minerale meststoffen (Smith & Doran, 1996) en/of rundveedrijfmest (De Boer, 2020). Verder is gebleken dat door het gebruik van minerale meststoffen de hoeveelheid micro-organismen en organische stof in de bodem op de lange termijn toe kan nemen, waarschijnlijk als gevolg van een verhoogde biomassa-productie (Geisseler & Scow, 2014). Mogelijk worden de negatieve effecten van een hoger zoutgehalte op het bodemleven dus gecompenseerd door een toename aan organische stof in de bodem. Op de macro-fauna lijkt zouttoevoer weinig effect

te hebben. Een voorbeeld is een proef in de Flevopolder. Doseringen van 500 kg landbouwsout per hectare en meer hadden geen negatief effect op het aantal regenwormen in de bodem (Van Rozen & Ester, 2003).

Bijdrage van meststoffen aan het zoutgehalte

De bijdrage van meststoffen aan het zoutgehalte verschilt tussen meststoffen en kan worden weergegeven met een zoutindex (dit wordt o.a. in de VS gebruikt) of met de elektrische geleidbaarheid (EC). De zoutindex is een maat voor het verzoutende effect van een (vloeibare) meststof ten opzichte van natriumnitraat en kan worden gemeten en/of berekend (Mortvedt, 2001). De EC van meststoffen wordt bepaald door 1 gram meststof op te lossen in 1 liter water en het meten van de elektrische geleidbaarheid bij een temperatuur van 25 °C. De EC van een groot aantal minerale meststoffen is opgenomen in de Databank Meststoffen en voor enkele meststoffen is die weergegeven in tabel 1. Uit de tabel blijkt dat de EC verschilt tussen minerale meststoffen, waarbij de informatie vooral iets zegt over het relatieve verschil tussen meststoffen. De hoogte van de EC van de meststoffen heeft zelf niet zo veel betekenis voor de praktische toepassing, omdat het voor de praktijk gaat om EC's die in de bodem optreden. Die worden niet alleen bepaald door de gebruikte meststoffen en de hoogte van de gift, maar ook door andere factoren, zoals de grondsoort (o.a. het lutumgehalte) en het vochtgehalte van de bodem. De geleidbaarheid in de bodem kan in-situ worden gemeten met een EC-meter, waarbij we spreken van de EC_b (EC gemeten in bulk-grond). Meestal wordt de EC in grond echter gekarakteriseerd met een gestandaardiseerde methode, de EC_e , waarbij de geleidbaarheid wordt gemeten in een met demiwater verzadigde grond.

Tabel 1 Elektrische geleidbaarheid (EC, in mS/cm) van een aantal minerale meststoffen ¹ (bepaald door 1 gram meststof op te lossen in 1 l water), inclusief de EC uitgedrukt per gram van het nutriënt.

Meststof	Chemische formule	EC, mS/cm	EC/g N	EC/g P ₂ O ₅	EC/g K ₂ O
Ureum	CO(NH ₂) ₂	0 (tijdelijk ²)	0		
Kalksalpeter	Ca(NO ₃) ₂	1,24	8,3		
Zwavelzure ammoniak	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,90	9,0		
Monoammoniumfosfaat	NH ₄ H ₂ PO ₄	0,86	8,6	1,7	
Kalisulfaat	K ₂ SO ₄	1,54			3,1
Kalisalpeter	KNO ₃	1,35	10,0		2,9
Monokalifosfaat	KH ₂ PO ₄	0,68		1,3	2,0
Kalizout-60	KCl	1,88			3,1
Bitterzout	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0,94			

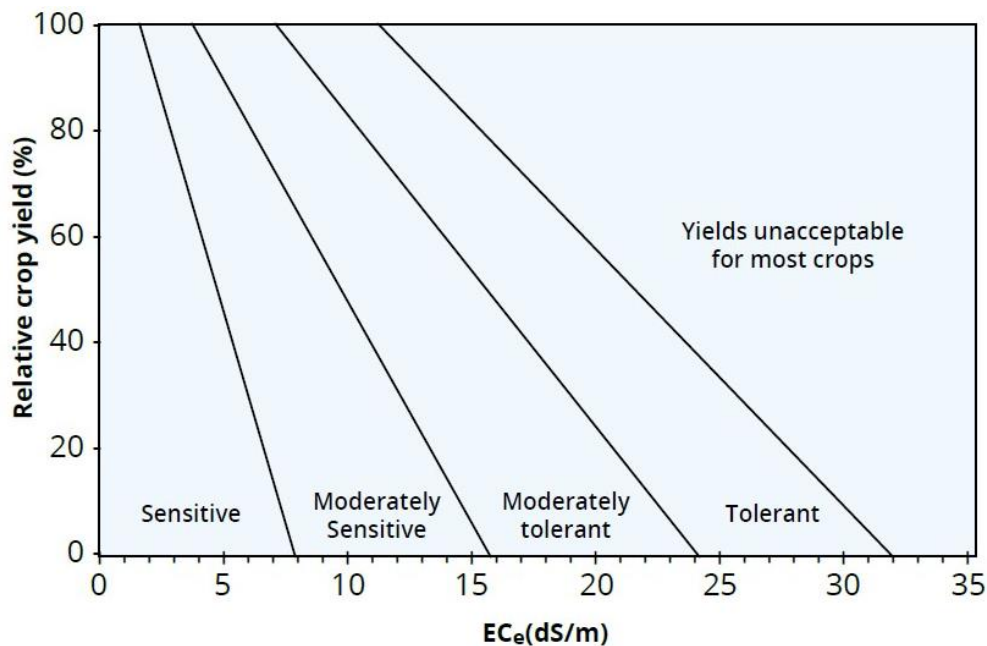
¹ Dit betreft allemaal goed oplosbare, minerale meststoffen. Andere (veelgebruikte) meststoffen, zoals kalkammonsalpeter, zijn minder goed oplosbaar, waardoor de EC (en ook zoutindex) niet beschikbaar is. Vanwege de lagere oplosbaarheid zal de resulterende EC in de bodem lager zijn dan bij gebruik van de vermelde goed oplosbare meststoffen.

² Na toediening aan de bodem, wordt ureum gehydrolyseerd en loopt de EC snel op door vorming van ammonium.

Naast minerale meststoffen, zorgen organische meststoffen ook voor een toename van de EC en kan de EC van rundveedrijfmest worden gebruikt om de bemestende waarde in te schatten (De Boer & Bloem, 2010). Uit de studie van de Boer & Bloem (2010) bleek dat bij covergiste mest de EC van de mest een goede voorspeller was voor de N-opname in de eerste snede van grasland (verklaarde variantie 71%).

Effect van het zoutgehalte op gewasgroei en biologische bodemprocessen

Voor eventueel optredende schade aan gewas en/of bodemorganismen is de EC in de bodem na toediening van meststoffen van belang. Zoals hiervoor is aangegeven wordt daarbij doorgaans gewerkt met de gestandaardiseerde EC_e , waarbij de geleidbaarheid wordt gemeten in een met demiwater verzadigde grond. De gevoeligheid van gewassen voor optredende zoutgehalten in de bodem, verschilt tussen gewassen, maar ook tussen rassen (Van Dam et al., 2007; Stuyt et al., 2014). Daartoe worden gewassen vaak ingedeeld in categorieën die worden aangeduid als 'gevoelig' (sensitive), 'matig gevoelig' (moderately sensitive), 'matig tolerant' (moderately tolerant) of 'tolerant' (Maas & Hoffman, 1977; figuur 1).



Figuur 1. Classificatieschema voor de tolerantie van gewassen voor zout op basis van de EC_e , die wordt bepaald door het meten van de elektrische geleidbaarheid in met demi-water verzadigde grond (Maas & Hoffman, 1977).

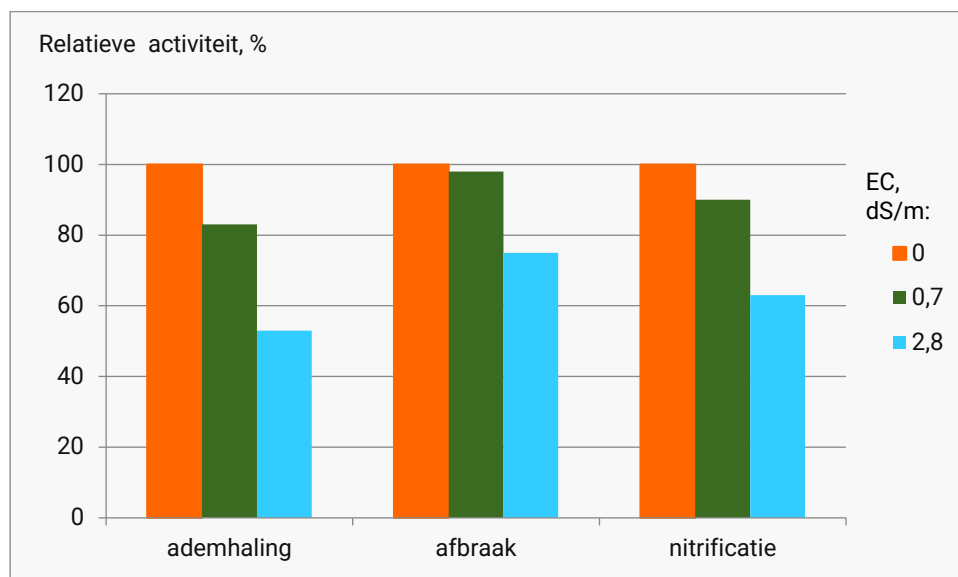
Gewassen zoals ui, peen, bonen en andere tuinbouwgewassen worden in het algemeen aangemerkt als gevoelig, en aardappelen (poot-, consumptie- en zetmeelaardappel) als matig gevoelig (Van Dam et al., 2007; Blom-Zandstra, 2014). Daarbij worden **drempelwaarden** voor de EC van zo'n 1,5 -2,5 mS/cm gehanteerd, waarbij (met de **helling**) tevens is aangegeven welke opbrengstreductie plaatsheeft boven deze EC's. Gewassen als bieten, gerst, tarwe en gras hebben een (veel) hogere zouttolerantie en worden dus aangeduid als matig tolerant of tolerant (Tabel 2). Bij deze gewassen zou de drempelwaarde waarboven gewasschade optreedt rond de 15 mS/cm liggen (Van Dam et al., 2007 en STOWA, 2018). Voor een gewas als mais geldt een waarde van ongeveer 5 mS/cm. In veel gevallen zijn de vermelde drempelwaarden gebaseerd op oud onderzoek in het buitenland. Dit is bijvoorbeeld het geval voor aardappelen, waarbij de drempelwaarde is gebaseerd op een proef uit 1951 die is uitgevoerd met het ras White Rose in Californië, VS (Stuyt et al., 2014). Het betreft maar één ras en de weersomstandigheden zijn in Californië sterk verschillend van die in Nederland, waardoor er vraagtekens gezet kunnen worden bij de geldigheid van die gegevens hier.

Tabel 2. Overzicht van de gevoeligheid / tolerantie van een aantal landbouwgewassen voor zout conform de classificatie uit figuur 1 (Blom-Zandstra, 2014).

Gevoelig	Matig gevoelig	Matig tolerant	Tolerant
Ui	Aardappelen	Broccoli	Suikerbieten
Peen	Mais	Engels raaigras	Gerst
Bonen	Sla	Tarwe	
Aardbeien	Spinazie		

Uit Nederlands onderzoek uitgevoerd in de periode 2012-2015 op het zilt proefbedrijf op Texel, blijkt dat de drempelwaarden in veel gevallen op een (veel) hoger niveau liggen, maar soms ook op een lager niveau en dat er grote verschillen tussen rassen zijn (Stuyt et al., 2014; De Vos et al., 2016). Zo ligt de drempelwaarde voor peen en ui volgens de FAO (Tanji & Kielen, 2002) op 1,0-1,2, terwijl uit het onderzoek in Nederland waarden tussen 2,1 en 5,9 naar voren kwamen. Voor aardappelen lag de drempelwaarde tussen 1,9 en 4,1 in plaats van de FAO-referentie van 1,7. Voor gerst lag de drempelwaarde echter op een lager niveau (0-7,3) dan volgens de FAO-referentie (8,0).

Daarnaast is vastgesteld dat hogere EC's leiden tot een lagere microbiële activiteit, wat tot uiting komt in de respiratie, de afbraak van organische stof en de nitrificatie (Smith & Doran, 1996; figuur 2). Het remmende effect van een toenemend zoutgehalte op de mineralisatiesnelheid van koolstof (C) in landbouwgrond werd bevestigd door De Boer (2020), die dat zowel in grond afkomstig van een maisperceel als van een graslandperceel op zandgrond vaststelde. Daarbij leidde toediening van 10% zoutoplossing (NaCl) tot een C-mineralisatie die 25-36% lager was dan bij 0% zoutoplossing.



Figuur 2. Effect van EC op de relatieve activiteit van de biologische processen ademhaling, C-afbraak en nitrificatie (naar: Smith & Doran, 1996).

Aangezien de verhoogde zoutconcentraties als gevolg van de toediening van meststoffen in het algemeen heel lokaal en tijdelijk zijn en de activiteit van micro-organismen sterk kan fluctueren in de tijd, zal ook het effect van meststof-toediening op de biologische activiteit beperkt zijn tot de directe omgeving van de meststoffen en tot de eerste dagen/weken na de meststof-toediening.

Het remmende effect van hoge zoutgehalten op de omzetting van ammonium in nitraat via het nitrificatieproces (vooral door bacteriën van de geslachten *Nitrosomonas* en *Nitrobacter*) wordt bij sommige bemestingsstrategieën bewust gebruikt. Dit is het duidelijkst bij de CULTAN-methode

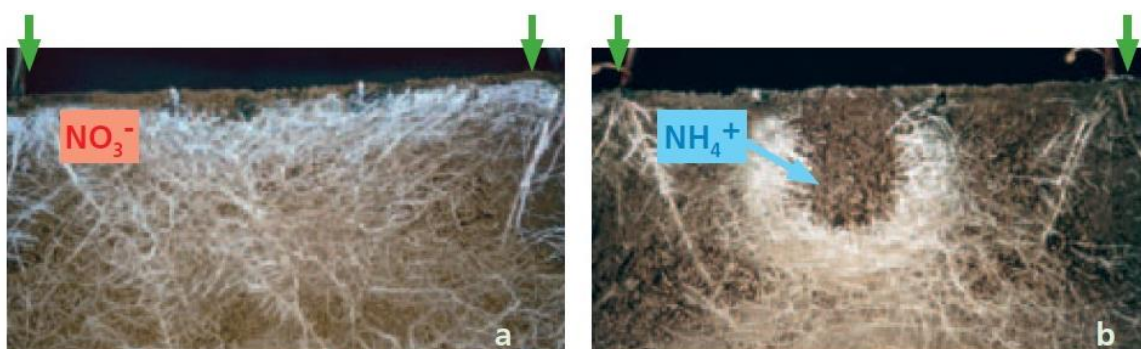
(Sommer, 2005), waarbij een depot bestaande uit een mengsel van ureum en ammoniumsulfaat geconcentreerd in de bodem wordt aangebracht. De lokaal (zeer) hoge ammonium- (en dus zout-)concentratie remt het nitrificatieproces tijdelijk, waardoor de omzetting van ammonium naar nitraat wordt geremd, wat tot minder stikstofuitspoeling leidt. De effectiviteit van deze methode lijkt onder Nederlandse omstandigheden beperkt te zijn, aangezien de nitrificatie zich relatief snel (binnen enkele weken) herstelt (Steenhuizen et al., 2008).

Geisseler & Scow (2014) hebben in een review-artikel (op basis van een meta-analyse met >100 datasets) vastgesteld dat de inzet van minerale (N-houdende) meststoffen op de lange termijn leidt tot een 15% grotere hoeveelheid microbiële biomassa dan het achterwege laten van minerale meststoffen, waarbij dit effect vooral optrad bij hogere pH's. Ook was de hoeveelheid organische stof in de bodem bij gebruik van minerale meststoffen hoger. Waarschijnlijk is dit het gevolg van de grotere hoeveelheid biomassa die wordt geproduceerd als gevolg van het meststoffengebruik.

Wijze van toediening

Naast de *hoeveelheid* zout die wordt toegediend in de vorm van minerale meststoffen en de gekozen *meststof*, is ook de *wijze van toediening* bepalend voor het risico op zoutschade bij gewassen. Wanneer een meststof in de rij wordt toegediend ontstaat er lokaal een hoge zoutconcentratie. Op deze manier kan bij een lagere meststofgift al zoutschade bij gewassen ontstaan dan wanneer een meststof breedwerpig wordt toegediend. Maar ook bij breedwerpige toediening ontstaan er dicht bij de meststofkorrel hogere zoutconcentraties dan verder van de korrel af. Deze lokale, hoge concentraties zijn tijdelijk en nemen af naarmate de meststof zich door de bodem verspreidt. De snelheid hiervan is afhankelijk van transportprocessen in de bodem die samenhangen met grondsoort en vochtgehalte. De laagste zoutconcentraties komen voor wanneer vloeibare meststoffen of bladmeststoffen worden gebruikt. Al kan bij bladmeststoffen zoutschade optreden in de vorm van verbranding van het blad. Om dat risico te beperken dienen bladmeststoffen te worden toegediend bij bewolkt weer met lichte wind en niet te veel zon.

Bij toepassing van de CULTAN-methode is gebleken dat plantenwortels van mais niet doordringen in het depot met de (extreem) hoge ammoniumgehalten, maar dat ze zich wel (sterk) vertakken rond dit depot waar de gehalten geleidelijk lager worden door diffusie in de omliggende bodem (figuur 3).



Figuur 3. Effect van een breedwerpige toediening van nitraat (links) en lokale, geconcentreerde toediening van ureum en ammonium volgens de CULTAN-methode (rechts) op de beworteling van mais. Bron: Sommer, 2005.

Andere factoren van invloed op zoutschade

Wereldwijd is er veel aandacht voor zoutschade van gewassen, aangezien dit een groot knelpunt is in droge gebieden, waar zouten zich ophopen in de bovengrond door een combinatie van capillaire

opstijging, de aanvoer van zouten met irrigatiewater en/of de concentratie van zouten door verdamping van bodemvocht. Door klimaatverandering kan het risico hierop in Nederland de komende tijd toenemen, maar zolang er sprake is van een neerslagoverschot zullen de risico's beperkt zijn.

In Nederland is de laatste decennia ook vrij veel aandacht voor de aanvoer van zout water door infiltratie en kwel van zout zeewater in kustgebieden. In dat kader is veel van het eerdergenoemde onderzoek naar de gevoeligheid / tolerantie van gewassen en rassen voor zout uitgevoerd (o.a. Van Dam et al., 2007; Blom-Zandstra, 2014; Stuyt et al., 2014; De Vos et al., 2016 & STOWA, 2018). Daarbij gaat het om hoge EC's veroorzaakt door de aanwezigheid van natriumchloride (NaCl). Dit is dus een andere bron dan die van minerale meststoffen, maar omdat er in beide gevallen sprake is van een effect op de osmotische potentiaal (zie hiervoor) zijn de bevindingen van het NaCl-onderzoek ook (grotendeels) van toepassing voor het gebruik van minerale meststoffen.

Richtlijn/adviezen voor de praktijk

Bij normaal landbouwkundig gebruik van meststoffen is er weinig risico van zoutschade. Dit risico is de afgelopen decennia bovendien gedaald, aangezien de bemestingsniveaus nu op een lager niveau liggen dan 30-40 jaar geleden (zie o.a. WSER, 2025 voor het verloop van kunstmestgebruik tussen 1978 en 2023). Bij het gebruik van meststoffen is het van belang om de vier juistheden van bemesting toe te passen: de juiste meststof, in de juiste hoeveelheid, op de juiste plaats en op het juiste moment.

Juiste meststof: Houd rekening met verschillen in de mate waarin meststoffen bijdragen aan het verhogen van de EC en maak daarbij gebruik van beschikbare tabellen. Daarbij gaat het vooral om de EC per kg van het toegediende nutriënt. De verschillen tussen meststoffen zijn relatief klein.

Juiste hoeveelheid: Houd bij de hoogte van de gift rekening met de opmerkingen in het bemestingsadvies om zoutschade te voorkomen. Daarbij is extra aandacht nodig voor gevoelige gewassen, zoals uien. Zo wordt bij zaaiuien geadviseerd de adviesgift van 175 kg N/ha over meerdere giften te verdelen, waarbij de startgift niet hoger is dan 30 kg N/ha. Bij suikerbieten dient voor zaaien niet meer dan 120 kg N/ha gegeven te worden en bij aardappelen voor het poten niet meer dan 150-200 kg N/ha.

Aangezien er met rijenbemesting bij een aantal gewassen een hogere benutting van toegediende nutriënten kan worden gerealiseerd, kan er worden volstaan met een lagere gift. Zo kan de N-gift bij mais met minimaal 20% worden verlaagd ten opzichte van het normale bemestingsadvies en bij suikerbieten met 15-30% (Handboekbodemen-bemesting.nl).

Juiste plaats: In het algemeen zijn adviezen erop gericht om zoutschade te vermijden, in situaties waar dat speelt. Zo dienen meststoffen bij rijenbemesting schuin onder het zaad of plantje of schuin onder, schuin boven of naast de poter (bij aardappelen) te worden aangebracht. Van belang is dat de meststof zodanig wordt geplaatst dat deze enerzijds dicht bij de wortels van de planten komt te liggen en de jonge planten er al snel over kunnen beschikken, maar dat anderzijds geen zoutschade optreedt (Handboekbodemenbemesting.nl).

Voor uien is geen advies voor rijenbemesting ontwikkeld, maar is uit onderzoek gebleken dat zoutschade op kan treden. Als rijenbemesting wordt toegepast bij uien wordt daarom aangeraden voldoende afstand van de meststof tot het zaad aan te houden (8 cm naast en 8 cm onder zaad; vaak wordt 5 cm naast en 5 cm onder zaad aangehouden) en de startgift te beperken (<30 kg N/ha) (Van Geel, 2015).

Juiste tijdstip: Aangezien jonge gewassen extra gevoelig zijn voor zoutschade, zijn in het bemestingsadvies richtlijnen aangehouden voor het beperken van de startgift voor N. Dit geldt vooral bij uien (<30 kg N/ha), suikerbieten (<120 kg N/ha) en aardappelen (max. 150-200 kg N/ha). Het resterende deel van de adviesgift dient dan later in het groeiseizoen te worden toegediend.

In (kust)gebieden met zout grond- en/of oppervlaktewater, dient men terughoudend te zijn met beregening. Hier kan worden gekozen voor rassen met een hogere zouttolerantie.

Literatuur

- Blom-Zandstra M, Wolters W, Heinen M, Roest CWJ, Smit RW & Smit AL** (2014). Perspectives for the growth of salt tolerant cash crops; a case study with potato. Plant Research International, Report 572r, Wageningen, 36 p.
- Cakmak I** (2013). Magnesium in crop production, food quality and human health. *Plant and soil*, 368(1), 1-4.
- De Boer H** (2020). Afbreeksnelheid van organische stof uit runderdrijfmest: effecten van dosering, zoutgehalte en herkomst mest en grond (No. 1231). Wageningen Livestock Research.
- De Boer H & Bloem J** (2010). Voorspelling van de bemestende waarde (N) van drijfmest. Wageningen Livestock Research, Rapport 359, 21 p.
- De Vos A, Bruning B, Van Straten G, Oosterbaan R, Rozema J & Van Bodegom P** (2016). Crop salt tolerance under controlled field conditions in the Netherlands, based on trials conducted at Salt Farm Texel. Den Burg, Texel, 39 p.
- Geisseler D & Scow KM** (2014). Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms—A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 54-63.
- Maas EV & Hoffman GJ** (1977). Crop Salt Tolerance – Current Assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 103, 115-134.
- Mortvedt DJ** (2001). Calculating Salt index. Fluid Journal, 3 p.
- Nedjimi B** (2024). Selenium as a powerful trace element for mitigation of plant salt stress: A review. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 100123.
- Smith JL & Doran JW** (1996) Measurement and Use of pH and Electrical Conductivity for Soil Quality Analysis. In: Doran, J.W. and Jones A.J. Eds., Methods for Assessing Soil Quality, SSSA Special Publication No 49, Madison, 169-185.
- Sommer K** (2005). CULTAN-fertilization. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen, 218. (In German)
- Steenhuizen JW, Meurs EJJ & Ten Berge HFM** (2008). Cultan in winterprei: onderzoek naar de beschikbaarheid van stikstof tijdens en na de winterperiode; verslag van een veldproef te Roggel (2006-2007). Plant Research International, Rapport 181, 21 p + bijlagen.
- STOWA** (2018). Zouttolerantie van teelten. STOWA Deltafacts, 23 p.
- Stuyt LCPM, Schuiling C, van Bakel PJT, Massop HTL, Oude Essink GHP, Sanchez MF, & Velstra J** (2014).. Mogelijke effecten van actualisatie van zoutschadefuncties van grondgebonden, beregende landbouwgewassen.
- Tanji KK & Kielen NC** (2002). Agricultural drainage water management in Arid and Semi-arid Areas; FAO irrigation and drainage paper, FAO, Rome, 190 p.
- Van Dam AM, Clevering OA, Voogt W, Aendekerk TG & Van der Maas MP** (2007). Zouttolerantie van landbouwgewassen: deelrapport Leven met zout water (No. 3234019400). Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.
- Van Geel W** (2015). Advisering rijenbemesting bij aardappel en zaaiui; Notitie voor het Handboek Bodem en Bemesting. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving / Plant Research International, Wageningen UR (University & Research centre), PPO-rapport 667, 24 p.
- Van Rozen K & Ester A** (2003). Structuurproblemen in relatie tot regenwormen in de Flevopolder: Eindrapport onderzoek 1998-2001. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.
- WSER** (2025) Verbruik van kalk- en kunstmeststoffen in de landbouw.
<https://agrimatie.nl/KunstMest/Default.aspx?menu=none&Lang=0&ID=-1>