

## **Bijlage 2 Inschatting extra economische landbouwschade bij overstroming van zout in plaats van zoet water**

Door J.H.M. Wösten

### **Aanleiding en doel**

De hoogwaterproblematiek van de grote rivieren en de verwachte klimaatveranderingen zorgen voor een grote belangstelling voor de gevolgen van overstromingen. Voor de bepaling van de schade en het aantal slachtoffers van overstromingen zijn de volgende twee documenten van belang:

- Standaardmethode Schade en Slachtoffers en
- Concept-eindrapport: financiële onderbouwing kengetallen hoogwaterschade.

In deze documenten wordt aangegeven wat de economische landbouwschade is van een éénmalige overstroming veroorzaakt door dijkdoorbraak. De schade door een éénmalige overstroming met zoet water is hierbij gelijk gesteld aan één jaar geen productie-opbrengst van landbouwgewassen. In de documenten wordt verondersteld dat een overstroming met zout water tot eenzelfde schade leidt als een overstroming met zoet water. De aanname dat beide schades hetzelfde zijn, is echter niet onderbouwd en vormt daarmee het onderwerp van deze studie. Bovendien wordt in deze studie nagegaan wat de mogelijkheden zijn om maatregelen te treffen die deze zoutschade reduceren, en wat de kosten van deze maatregelen zijn (bijvoorbeeld door het zoutgehalte sneller te verlagen middels irrigatie of de bodemstructuur te verbeteren middels gipstoediening).

### **Achtergrond**

Als laaggelegen land aan de Noordzee heeft Nederland altijd te maken gehad met rampen veroorzaakt door overstromingen. Al in de kronieken van de abdij Bloemhof wordt vermeld dat bij overstromingen in de jaren 1221 en 1249 niet alleen mensen, vee en bezittingen verloren gingen, maar dat deze overstromingen werden gevolgd door jaren van misoogsten, hongersnood en armoede. De vele overstromingen die sindsdien zijn gevolgd en ook de gerenommeerde Zuiderzeewerken hebben veel literatuur opgeleverd over de gevolgen van overstromingen. Overzichten hiervan zijn geschreven door Rowaan (1951) en Hissink (1954). Hieruit komt naar voren dat met name twee factoren bepalend zijn voor de slechte oogsten op gronden die overspoeld worden met zeewater. De eerste factor is de hoge concentratie opgeloste zouten in het bodemvocht die direct de gewasgroei remt. Het mechanisme hierbij is dat ten gevolge van de hoge osmotische potentiaal van het zoute bodemvocht, gewassen onvoldoende water uit de bodem kunnen opnemen en daardoor verwelken en uiteindelijk verdrogen. Al spoedig was echter duidelijk dat onder Nederlandse omstandigheden met een neerslagoverschot deze zouten binnen enkele jaren uit de goed-gedraineerde gronden worden uitgespoeld (Smeding, 1921, Zuur, 1938). De overdosis zout in het bodemvocht is dus niet de enige reden voor de waargenomen

langdurige negatieve effecten van een overstroming met zout water. Als belangrijke tweede factor wordt al vroeg melding gemaakt van het structuurbederf dat optreedt in kleigronden nadat deze met zout water zijn overspoeld. In dit proces worden de  $\text{Ca}^{2+}$  kationen die normaal aan de kleimineralen zijn geadsorbeerd, vervangen door  $\text{Na}^{+}$  kationen waardoor structuurbederf van de kleigrond optreedt met als gevolg ongunstige omstandigheden (te nat, te weinig zuurstof) voor gewasgroei (Van der Molen, 1957). In het navolgende wordt allereerst verder ingegaan op de verblijftijd van zout bodemvocht en vervolgens op het veroorzaakte structuurbederf.

## Verblijftijd

Bij een dijkdoorbraak wordt het land met zout water overstroomd. Na een dergelijke doorbraak kan worden berekend hoelang het duurt voordat het zoute water is uitgespoeld uit de onverzadigde zone van de bodem. In dit verband is de verblijftijd de tijd die aangeeft hoe lang het duurt voordat een opgeloste stof vanaf het maaiveld het grondwater bereikt, mits deze stof niet wordt geabsorbeerd, niet wordt afgebroken en geen chemische reacties aangaat. Het is dus in feite de reistijd van water in de onverzadigde zone van het bodemprofiel. Deze verblijftijd kan worden berekend volgens:

$$T = \frac{D \cdot ?}{I}$$

waarin:

- T = gemiddelde verblijftijd (dagen)
- D = dikte van de onverzadigde zone (m)
- ? = gemiddeld vochtgehalte over de gehele diepte van de onverzadigde zone ( $\text{m}^3$  water /  $\text{m}^3$  grond)
- I = gemiddelde neerwaartse infiltratiesnelheid (m/dag)

De gemiddelde neerwaartse infiltratiesnelheid (I) voor Nederland is af te leiden uit de gemiddelde neerslag (775 mm) verminderd met de gemiddelde potentiële verdamping van gras ( $0,8 \times E_0 = 525$  mm, hierin is  $E_0$  de verdamping van een open water oppervlak en 0,8 de gewasfactor voor gras). Hieruit volgt dat het gemiddeld neerslagoverschot voor Nederland 250 mm per jaar bedraagt. Dit betekent 250 mm in 360 dagen oftewel een gemiddelde neerwaartse infiltratiesnelheid (I) van  $7 \times 10^{-4}$  m/dag. Aan de hand van de bodemfysische karakteristieken waterretentie ( $?$ -h relatie, dit is de relatie tussen het vochtgehalte  $?$  en de drukhoogte h) en verzadigde en onverzadigde doorlatendheid (K-h relatie, dit is de relatie tussen de doorlatendheid K en de drukhoogte h) en de gemiddelde infiltratiesnelheid (I) is het mogelijk het gemiddeld vochtgehalte ( $?$ ) over de gehele diepte van de onverzadigde zone te berekenen. De gemiddelde dikte van de onverzadigde zone (D) is af te leiden uit bestaande kaarten die de gemiddelde grondwaterstand weergeven. Aan de hand van deze basisgegevens kan de gemiddelde verblijftijd (T) worden berekend. Boumans et al. (1987) hebben volgens deze systematiek verblijftijden voor Nederland berekend en zij hebben hun resultaten weergegeven op landsdekkende kaarten. Deze kaarten

laten zien dat in West Nederland in die gebieden die na dijkdoorbraak onder zout water komen te staan, de verblijftijden variëren van 1 tot maximaal 4 jaar. De kortste verblijftijden worden berekend voor de kustzones bestaande uit duinen waar de grondwaterstand weliswaar diep is, maar waar tegelijkertijd het gemiddeld vochtgehalte laag is. De langste verblijftijden worden berekend voor laaggelegen klei- en veengebieden waar de grondwaterstand weliswaar ondiep is, maar waar tegelijkertijd het gemiddeld vochtgehalte hoog is. Deze resultaten komen overeen met de bevindingen van Van der Molen (1957) als hij concludeert dat “zout in de bodem weliswaar één van redenen is voor een slechte landbouwkundige productie van gronden die met zout water zijn overspoeld, maar dat op goed gedraineerde Nederlandse gronden dit effect beperkt is tot 1 tot 2 jaar na de overstroming”. Concluderend kan worden gesteld dat onder Nederlandse omstandigheden het neerslagoverschot ervoor zorgt dat al na een relatief korte periode (1 tot 4 jaar, afhankelijk van grondsoort en dikte van de onverzadigde zone) het zout uit het bodemprofiel is uitgespoeld en dus geen remmende werking meer heeft op de gewasgroei.

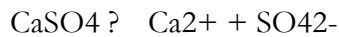
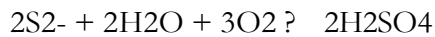
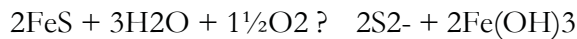
## Structuurbederf

Het tweede belangrijke aspect van overstroming met zout water is het structuurbederf van de grond. Om dit te begrijpen wordt kort ingegaan op de belangrijkste processen die hierbij een rol spelen (Locher en de Bakker, 1990). De lutumfractie (fractie  $< 2 \mu\text{m}$ ) in kleigronden bestaat hoofdzakelijk uit plaatvormige minerale deeltjes de zogenaamde kleimineralen. Deze deeltjes bezitten van nature vaak een positieve elektrische lading aan de randen van de platen en een negatieve lading aan de plaatszijde. Losse kleideeltjes in een grondsuspensie worden door zogenaamde London- van der Waalskrachten naar elkaar toegetrokken. De overwegend negatieve ladingen drijven de deeltjes echter uit elkaar. De positieve randlading toont neiging contact te maken met de negatieve valenties van de platen. Wanneer de negatieve ladingen voldoende geneutraliseerd worden door kationen, dan kunnen ook de platen elkaar dicht naderen. Opgeloste zouten in de bodemoplossing hebben de neiging te ioniseren, dwz te splitsen in positieve en negatieve ionen, respectievelijk kationen en anionen. Voor keukenzout kan dit proces als volgt voorgesteld worden:



De mate van uiteenvallen in ionen, dissociatie- of ionisatiegraad genoemd, is voor verschillende zouten verschillend. Natriumzouten ioniseren sterk, calciumzouten zoals koolzure kalk en calciumsulfaat of gips, zwak. Per eenheid van lading bezit het positieve natriumion een dikkere watermantel dan de tweewaardige calcium- en magnesiumionen. De positieve kationen worden aangetrokken door de overwegend negatief geladen kleideeltjes van het adsorptiecomplex en vormen daarmee de zogenaamde elektrische dubbellaag (van kationen met hun water- of hydratatiemantel). Hoe dikker de dubbellaag des te minder de aantrekking tussen de kleideeltjes. Bij een dikke dubbellaag zweven de kleideeltjes los van elkaar (peptisatie);

bij een dunne dubbellaag worden vlokken of aggregaten gevormd (coagulatie). Een hoge zoutconcentratie in het bodemvocht en een hoge waardigheid van de kationen in de dubbellaag hebben een relatief dunne dubbellaag tot gevolg. Een lage zoutconcentratie in de bodemoplossing daarentegen en een lage waardigheid van de kationen geven een dikke dubbellaag (peptisatie). In een kleigrond die na overstroming met zout water droogvalt, zijn de  $\text{Ca}^{2+}$  ionen aan het adsorptiecomplex voornamelijk vervangen door  $\text{Na}^{+}$  -ionen. Wanneer nu door regenval de zoutconcentratie in het bodemvocht daalt, dan zal peptisatie en zwelling (uitzetting van de dubbellaag) optreden. De grond zal slempgevoelig zijn en zwel- en krimpverschijnselen vertonen. Indien zwavel-ijzerverbindingen ( $\text{FeS}$ ) en koolzure kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) aanwezig zijn dan zal bij droogvallen gips ( $\text{CaSO}_4$ ) worden gevormd. De volgende chemische reacties zijn hierbij van belang:



Door de uitwisseling van geadsorbeerde  $\text{Na}^{+}$  tegen  $\text{Ca}^{2+}$  vormt zich  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , welk zout uitspoelt. Dankzij deze ‘natuurlijke begipsing’ treedt geen structuurverval op. Deze situatie doet zich voor in nieuw ontgonnen zoute, kalkhoudende gronden in Nederlanden (IJsselmeerpolders) en hier treedt dus geen structuurbederf op.

In gebieden waar genoemde stoffen ( $\text{FeS}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ) niet of onvoldoende aanwezig zijn, zal wel structuurverval optreden met als gevolg verslemping, zwel en krimp. Deze toestand wordt in ons land in pikklei- of knikkleigronden aangetroffen. Bij aanwezigheid van  $\text{FeS}$ , maar ontbreken van  $\text{CaCO}_3$  vormt zich vrij zwavelzuur, waardoor de pH bij oxidatie aan de lucht sterk daalt en zogenaamde katteklei (zeer zure klei) ontstaat. In katteklei treft men gele vlekken aan van jarosiet,  $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ , die kenmerkend zijn voor dit soort gronden. Men treft ze overwegend in droogmakerijen in het westen van het land aan.

In oudere, goed ontzilte kleigronden zullen, althans in de goed geaëreerde bouwvoor geen gereduceerde zwavel-ijzerverbindingen meer voorkomen. Wanneer een dergelijke grond wordt overspoeld met zeewater ontstaat een natriumklei. Structuurverval kan dan slechts vermeden en hersteld worden door een kunstmatige toediening van gips zoals na de overstromingsramp in 1953 op grote schaal is gebeurd. De slechte bodemstructuur die vooral optreedt nadat het meeste zout is uitgespoeld door de neerslag, kan tot meer dan 8 jaar een negatief effect hebben op de landbouwproductie door peptisatie van de kleideeltjes (Van der Molen, 1957). Koolzure kalk ( $\text{CaCO}_3$ ), wat vaak in Nederlandse polders aanwezig is, is vanwege de geringe oplosbaarheid slecht instaat tot een snelle uitwisseling van natrium door calcium. Alleen toepassing van beter oplosbare calcium verbindingen zoals gips kan de bodemstructuur verbeteren.

In de periode 1939-1953 zijn grote gebieden in het zuidwesten van Nederland met zout water overspoeld. Ten dele kwam dit door militaire inundaties gedurende de Tweede Wereldoorlog en ten dele door natuurlijke oorzaken (dijkvallen, stormvloed van 1 februari 1953). In deze gebieden is veel onderzoek verricht naar zoutuitspoeling en naar structuurbederf. Concluderen kan worden gezegd dat het

zout weliswaar na ongeveer 1 tot 4 jaar is uitgespoeld, maar dat het structuurherstel in de oudere, kalkloze kleigronden vervolgens meer dan 8 jaar in beslag kan nemen. In de praktijk blijkt dat dit herstel sterk wordt bespoedigd door toediening van gips hetgeen op grote schaal is gebeurd. Hierbij wordt aanbevolen ongeveer 7 ton gips per ha per jaar toe te dienen. Een dergelijke toediening kost ongeveer € 500 per ha (Kwantitatieve Informatie Veehouderij 1996-1997) en is daarmee een investering die zichzelf snel terugverdient. Toepassing van extra irrigatie om het zoute bodemvocht versneld uit te spoelen, is praktisch onmogelijk omdat in een met zout water overstroomd gebied zoet water schaars zal zijn. Bovendien is uitspoeling van zout water niet het grootste probleem. Indien toch aan extra irrigatie wordt gedacht dan zal dit onder deze omstandigheden uiterst kostbaar en daarmee economisch niet verantwoord zijn.

### Zoutgevoeligheid van gewassen

In het kader van de ontziltingsproblematiek heeft Van den Berg (1950) uitgebreid onderzoek verricht naar de reactie van verschillende landbouwgewassen op het zoutgehalte in de bodem. Hieruit komt naar voren dat verschillende gewassen een verschillende zoutgevoeligheid kennen. De belangrijkste resultaten uit een groot aantal gewasproefvelden zijn in de volgende tabel samengevat.

Zomergerst Bieten Koolzaad	Goed zoutresistent
Tarwe Haver	Behoorlijk zoutresistent
Aardappelen Peulvruchten	Matig zoutresistent

### Conclusies

Op grond van deze literatuurstudie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Overstroming met zout water leidt tot een grotere economische landbouwschade dan een overstroming met zoet water.
- Bij een overstroming met zout water is het nuttig een onderscheid te maken tussen het negatieve effect op de gewasgroei ten gevolge van hoge zoutconcentraties in het bodemvocht enerzijds en het optredend structuurbederf anderzijds.
- Onder Nederlandse omstandigheden zal ten gevolge van het neerslagoverschot na ongeveer 1 tot 4 jaar (afhankelijk van grondsoort en dikte van de onverzadigde zone) het zoute bodemvocht uit de grond zijn uitgespoeld.

- Structuurbederf door peptisatie van kleideeltjes kan op oudere, kalkloze kleigronden gedurende een periode van 8 jaar leiden tot reducties in de gewasgroei. Echter in andere gebieden met kalkhoudende gronden zoals bijvoorbeeld de IJsselmeerpolders zal zich weinig extra schade voordoen.
- Met als referentie dat de schade door een éénmalige overstroming met zoet water gelijk gesteld wordt aan één jaar geen productie-opbrengst van landbouwgewassen, wordt de schade veroorzaakt door een combinatie van verblijftijd en structuurbederf, van een éénmalige overstroming met zout water gelijk gesteld aan twee jaar geen productie-opbrengst van landbouwgewassen. In vergelijking tot een overstroming met zoet water, geeft een overstroming met zout water dus een verdubbeling van de economische landbouwschade.
- Uitsplitsing van de bovenstaande conclusie naar de kalkhoudendheid van de bodem is mogelijk. Er geldt dan dat de schade voor kalkhoudende gronden 1 jaar en voor kalkloze gronden 3 jaar geen productie-opbrengst van landbouwgewassen bedraagt.
- Herstel van de structuur wordt sterk bevorderd door toediening van gips. Globaal kan worden gesteld dat het herstel van een kalkloze grond die normaal 3 jaar vergt, door gipstoediening wordt bekort tot een herstelperiode van 2 jaar.
- De kosten van gipstoediening zijn klein (ongeveer € 500 per ha) in vergelijking tot de winst die wordt geboekt in de vorm van een halvering van de herstelperiode van de bodem.
- Extra irrigatie om het zoute bodemvocht versneld uit te spoelen is niet aan te bevelen omdat dit niet het grootste probleem is en omdat het omslachtig en kostbaar is.
- Verschillende gewassen hebben een verschillende zoutresistentie en hiervan kan gebruik gemaakt worden bij het weer in gebruik nemen van overstroomde gebieden.

Omdat de praktijk vaak de beste leermeester is, laat ik tenslotte een boer aan het woord die de inundatie van Walcheren in 1944 heeft meegemaakt. Hij vertelde het volgende:

“Zodra het water weg was (naar ik meen binnen een jaar) werd met de wederopbouw begonnen. Ook werd indien mogelijk het land bewerkt en ingezaaid met gerst. Dit kon alleen op de hogere delen omdat het in de laagtes langer drassig bleef en daar bovendien op veel plaatsen een laag slib was afgezet die eerst moest rijpen. Na de gerstooft werd het land bedekt met een laag gips. Het volgende jaar werd alweer begonnen met de teelt van de reguliere gewassen: tarwe, bieten, zelfs erwten en bruinen bonen. De opbrengsten vielen niet tegen. Met 2 à 3 jaar was de situatie reeds weer genormaliseerd. De gebieden waar een laag slib was afgezet gingen er zelfs op vooruit. Eerst was het slecht grasland met een vilten en ziltige toplaag, daarna behoorden ze tot de betere akkers”.

## Referenties

- Berg, C. van den. 1950. De inundaties gedurende 1944-1945 en hun gevolgen voor de landbouw. Deel VI: de reactie van landbouwgewassen op het zoutgehalte van de bodem. Versl. Landbouwk. Onderz. No. 56.16.
- Boumans, L., A. Breeuwsma, W. van Duijvenbooden, D.J. Groot Obbink, S. Jelgersma, H. van Straten, J.H.M. Wösten. 1987. Kwetsbaarheid van het grondwater: kartering van kenmerken van de Nederlandse bodem in relatie tot de kwetsbaarheid van het grondwater voor verontreiniging. RIVM rapport 840387003.
- Hissink, D.J. 1954. De voorgeschiedenis van de verbetering van door zeewater bedorven gronden door een bemesting met gips (zwavelzure kalk). Langs gewonnen velden, 53-64.
- Kronieken van de Abdy Bloemhof te Wittewierum, uit het Latijn vertaald door W. Zuidema en J. Douma.
- Locher, W.P. en H. de Bakker. 1990. Bodemkunde van Nederland. Deel 1, Algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch.
- Molen, W.H. van der. 1957. De inundaties gedurende 1944-1945 en hun gevolgen voor de landbouw. Deel IX: the exchangeable cations in soils flooded with sea water. Versl. Landbouwk. Onderz. No. 63.17.
- Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR). 1996. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 1996-1997.
- Rowaan, P.A. 1951. De inundaties gedurende 1944-1945 en hun gevolgen voor de landbouw. Deel III: Overzicht van inundatie-onderzoek in Nederland tot 1944. Versl. Landbouwk. Onderz. No. 57.3.
- Smeding, S. 1921. De overstrooming van den Anna-Paulownapolder in Januari 1916 en haar gevolgen voor den landbouw. Versl. en Meded. Dir. v.d. Landbouw. 1: 52-139.
- Zuur, A.J. 1938. Trans. Second Comm. And Alkali-Subcomm. Int. Congr. Of Soil Sci. Helsinki, B 66-67.