

Sociaal-economisch spoor verzilting Noord-Nederland

Rapport 18/7/2011

Effecten van aan klimaatverandering gerelateerde verzilting op de
bedrijfsvoering van landbouwbedrijven in Noord-Nederland

Klimaat voor Ruimte (KvR)

18/7/2011

Rapport

Projectnummer N20110333



Documenttitel	Sociaal-economisch spoor verzilting Noord-Nederland
Status	Rapport
Datum	18/07/2011
Projectnaam	
Projectnummer	N20110424
Opdrachtgever	Klimaat voor Ruimte (KvR)
Referentie	

Auteur(s)	Everhard van Essen - Aequator Groen & Ruimte
	Bart Snellen - Alterra
	Joop Kroes - Alterra
	Lodewijk Stuyt - Alterra

Collegiale toets	Goswin van Staveren
Datum / Paraaf	

Vrijgegeven door	Arjen de Vries
Datum / Paraaf	

INHOUDSOPGAVE

1 Kader	1
2 Doel 'Sociaal Economisch Spoor'	2
2.1 Doel.....	2
2.2 Projectresultaten	2
2.2.1 Hoe is de Nederlandse landbouw tot nu toe omgegaan met verzilting?.....	3
2.2.2 Hoe gaat 'het buitenland' om met verzilting in de landbouw?.....	12
2.2.3 Welke kennis is essentieel om de optie 'weerstand bieden' te ondersteunen. Is deze kennis nu beschikbaar of moet deze nog – deels- ontwikkeld worden?	14
2.2.4 Welke kennis is beschikbaar of moet ontwikkeld worden om de keuze "meebewegen" te ondersteunen?	16
2.2.5 In hoeverre kunnen we, op grond van een gekwantificeerde onderbouwing, een verantwoorde keuze maken tussen beide opties?	18
2.2.6 Wat zijn de sociaal economische gevolgen van "weerstand bieden" en "meebewegen" ?	19
2.2.7 Kunnen we een verantwoorde keuze maken tussen 'weerstand bieden' en 'meebewegen'?	21
2.2.8 Adaptatiestrategieën of teeltmaatregelen	21
2.3 Zilte teelten en zoute aquacultuur	22
2.3.1 Perspectieven	22
2.3.2 Stand van zaken in Noord-Nederland.....	26
3 Conclusies	27
4 Samenvatting	29
5 Referenties	30

1 KADER

Een toename van verzilting op perceelsniveau (i.c. in de wortelzone) kan tot gevolg hebben dat de huidige landbouwgewassen in de toekomst niet meer rendabel geteeld kunnen worden. Als de verzilting van landbouwpercelen in Noord-Nederland zó sterk zou toenemen dat bestaande vormen van landbouw niet langer mogelijk zijn, kunnen zilte landbouw en/of diverse vormen van aquacultuur misschien een alternatief vormen voor de huidige landbouw. Dit is echter afhankelijk van de sociaaleconomische perspectieven die genoemde alternatieven kunnen bieden.

Twee kennisvragen in het project 'Klimaatverandering, toenemende verzilting en landbouw in Noord-Nederland' moeten (deels) worden beantwoord met het onderzoek binnen het sociaaleconomisch spoor. Dit zijn:

- Wat zijn de gevolgen voor de huidige landbouw. Is adaptatie nodig en rendabel?
- Wat voor mogelijkheden zijn er voor adaptieve maatregelen, zoals zilte landbouw?

In deze deelstudie willen we laten zien welke kennis er beschikbaar is voor het doen van een verantwoorde sociaal-economische analyse, gegeven klimaatgerelateerde verzilting.

Verzilting kan voor agrariërs aanleiding zijn om hun bedrijfsvoering aan te passen. Dit kunnen zij op eigen initiatief doen om kansen te benutten/bedreigingen af te weren, of omdat de lokale, provinciale, nationale of Europese overheid hen verplichtingen oplegt en/of bestaande regelingen en tarieven wijzigt. Om de toekomstige situatie te kunnen beoordelen moeten we kennis hebben over verzilting bij de huidige en toekomstige landbouwpraktijk. De bestaande kennis over de zouttolerantie van reguliere landbouwgewassen in Nederland is deels gebaseerd op studies die buiten Nederland zijn uitgevoerd. De toepasbaarheid van deze cijfers op de Nederlandse situatie staat dan ook ter discussie.

De economische perspectieven van zilte landbouw zijn afhankelijk van externe en interne factoren. Een voorbeeld van een externe factor is de markt voor (niche)producten als zeekraal. Interne factoren zijn bijvoorbeeld het vestigingsklimaat en de bereidwilligheid van actoren om te investeren in zilte landbouw en nieuwe productieprocessen. Vele externe en interne factoren die de kansrijkheid van zilte landbouw of aquacultuur bepalen zijn opgetekend in Stuyt (2009). De conclusies van deze studie zijn toepasbaar op de situatie in Noord-Nederland. Binnen dit spoor zullen deze conclusies worden getoetst voor de situatie in Noord-Nederland. Specifiek kansrijk lijkt de teelt van algen. Tenslotte worden de kansen van zoute aquacultuur in Noord-Nederland zo goed als mogelijk geanalyseerd. Kennis hieromtrent is vooralsnog schaars.

2 DOEL 'SOCIAAL ECONOMISCH SPOOR'

2.1 Doel

Het doel van het deelproject 'Sociaal Economisch Spoor' is om de effecten van verzilting in sociaal economische zin op landbouw inzichtelijk te maken voor Noord-Nederland. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in directe gevolgen voor de interne agrarische bedrijfsvoering en externe factoren. Inzicht in interne bedrijfsvoering omvat zaken als het beheersen van waterkwaliteit op perceelsniveau door waterbeheersmaatregelen. Belangrijke externe factoren zijn vestigingsklimaat, markt, regelgeving en kredietverlening.

Onder sociaal economisch verstaan we effecten op de landbouw, nieuwe kansen voor de landbouw en bijvoorbeeld kosten. Er worden geen nieuwe berekeningen uitgevoerd in deze studie, dus wordt alles zoveel als mogelijk kwalitatief weergegeven. In de hierna volgende paragrafen worden de volgende vragen behandeld:

1. *Hoe is de Nederlandse landbouw tot nu toe omgegaan met verzilting?*
2. *Hoe gaat 'het buitenland' om met verzilting in de landbouw?*
3. *Welke kennis is essentieel om de optie 'weerstand bieden' te ondersteunen? Is deze kennis nu beschikbaar of moet deze nog - deels - ontwikkeld worden?*
4. *Welke kennis is essentieel om de optie 'meebewegen' te ondersteunen? Is deze kennis nu beschikbaar, of moet deze nog - deels - ontwikkeld worden?*
5. *In hoeverre kunnen we, op grond van een gekwantificeerde onderbouwing, een verantwoorde keuze maken tussen beide opties?*
6. *Wat zijn de sociaal economische gevolgen van 'weerstand bieden' en 'meebewegen'?*
7. *Kunnen we een verantwoorde keuze maken tussen 'weerstand bieden' en 'meebewegen'? Zo ja, welke keuze zouden we dan adviseren (argumenten)?*
8. *De meest voor de handliggende manier om te adapteren op verzilting is zilte landbouw of aquacultuur. Wat is de huidige stand van zaken met betrekking tot deze vormen van landbouw en welke kansen liggen er?*

In de analyse onderscheiden we:

1. Bestaande **conventionele grondgebonden teelten** die afhankelijk zijn van zoet water, en wellicht toleranter zijn voor verzilting dan doorgaans wordt aangenomen;
2. De **zilte teelten**: gewassen als zeekraal, lamsoor, spelt, die geteeld kunnen worden op percelen waar de wortelzone structureel verzilt is;
3. De **zoute aquacultuur**: de binnen- of buitendijkse kweek van vis, schelpdieren, algen en dergelijke.

De aandacht is vooral gericht op de huidige conventionele grondgebonden teelten, omdat deze in Noord-Nederland, gegeven de economische perspectieven voor sector en regio, met voorsprong het belangrijkste worden geacht.

2.2 Projectresultaten

De doelen zijn vertaald naar een aantal beoogde projectresultaten:

- Overzicht van zouttoleranties van gangbare landbouwgewassen.
- Beschrijving van effecten van verzilting op huidige landbouwpraktijk.
- Beschrijving van het economisch rendement van zilte landbouw en aquacultuur.
- Beschrijving van hoe landbouw zou kunnen adapteren aan toenemende verzilting (teeltmaatregelen, anders doorspoelen, aanpassingen detailontwatering, e.d.).
- Beschrijving waar echte kansen liggen voor de landbouw m.b.t. verzilting.

Deze resultaten worden beschreven in deze rapportage.

Het derde, wezenlijk andere gebied, is het Oltambt geheel in het oosten gelegen van het Noordelijk kleigebied. Dit zijn polders die zijn ingedijkt op de Eems of Dollard. Dit is als het ware een soort binnenzee, waardoor er hier een rustiger milieu heerste (minder stroming) dan elders. Hierdoor zijn vooral fijnere slibdeeltjes afgezet, wat heeft geresulteerd in matig zware en zeer zware kleigronden (>35% lutum). Dit gebied wordt vooral gekenmerkt door akkerbouwbedrijven en de vestiging van nieuwe melkveebedrijven. De akkerbouwbedrijven telen hoofdzakelijk granen. Dit is een direct gevolg van de zware gronden in dit gebied. De granen worden veelal meerdere jaren achtereenvolgend geteeld op hetzelfde perceel, en afgewisseld met de teelt van suikerbieten, koolzaad en soms aardappelen.

Het Noordelijk zeekleigebied kent een sterke agrarische structuur. De bedrijven zijn bovengemiddeld qua (schaal)grootte ten opzichte van het gemiddelde in Nederland. Door Hermans e.a. (2008) is bijvoorbeeld aangegeven dat het Noorden van Nederland een van de regio's is die qua schaalgrootte in de toekomst kan produceren voor de wereldmarkt. De regio heeft ook veel te maken met nieuwe agrarische bedrijven die ingeplaatst worden elders uit het land. Dit geldt met name voor nieuwe melkveebedrijven. Deze trend is het sterkst in het Oltambt.

Er zijn vele publicaties beschikbaar over de potentiële effecten van klimaatgerelateerde verzilting op de landbouw en hoe agrarische ondernemers hierop door middel van aanpassingen in hun bedrijfsvoering kunnen reageren (Schaap e.a., 2009, Velstra e.a., 2009). Hierbij onderscheiden we twee opties: 'meebewegen' met verzilting of 'weerstand bieden' aan verzilting. Onder meebewegen wordt verstaan dat zouter wordende omstandigheden worden geaccepteerd, terwijl weerstand bieden vraagt om inspanningen die dit voorkomen.

2.2.1 Hoe is de Nederlandse landbouw tot nu toe omgegaan met verzilting?

De kennis over effecten van verzilting op landbouw in Nederland is voornamelijk het gevolg van stormrampen en dijkdoorbraken. In de laatste duizend jaar zijn er in Nederland in elke eeuw tussen twee en vijf grote overstromingen geweest waarbij landbouwgrond door zeewater werd overspoeld. De nadelige effecten van de stormramp van 27 december 1247 op de landbouw worden beschreven door de abt Menco van het klooster Bloemhof (bij het dorp Wittewierum, tussen Groningen en Delfzijl):

"Drie dagen houdt de storm aan en elke dag opnieuw wordt het land onder water gezet. Daarna vloeit het water ook maar heel langzaam af en pas na Sint-Lugersfeest, op 26 maart kan worden geploegd. Dit lijkt eerst goed te gaan, maar tegen de tijd dat het zaaigoed moet opkomen blijkt de grond volledig verzilt. Dit wordt nog verergerd door de kracht van de zon, die het zout als het ware naar de oppervlakte trekt. De oogst mislukt en ook het vee krijgt niet te eten; het sterft voor het grootste gedeelte." (Jansen & Janse, 1991)

In 1808 schrijft Hendrik Ponse een *Verhandeling over de beste en minst kostbare middelen, om de met zoutwater overstroombt zijnde gronden tot vruchtbaarheid te herstellen.* Naar aanleiding van de overstromingen in februari 1825 publiceert hij in dat jaar een *'Handleiding voor de landbouwers, wier landerijen overstroombt zijn, om dezelve tot vorige vruchtbaarheid te herstellen, of ten minsten voor te komen geene verkeerde middelen tot herstel aan te wenden.'* Ponse doet aanbevelingen op basis van zijn eigen ondervindingen als landbouwer op gronden die waren overstroombt in 1775. Bovendien had hij als ontvanger der belastingen van Den Bommel en Stad aan 't Haringvliet een goed inzicht in de economische resultaten van de verschillende maatregelen. Ponse gaf er zich rekenschap van dat verzilting zowel een nadelige invloed had op het gewas als op de bodemstructuur. Daarom raadde hij aan in de eerste jaren na de overstroming niet te ploegen, maar klaver of gras te verbouwen om de structuur te verbeteren. Hij adviseerde gewassen als haver en paardebonen [= tuinbonen] te verbouwen en om de grond te bekalken. De relevantie van deze op empirische waarnemingen berustende adviezen werd pas in de loop van de twintigste eeuw door landbouwkundig onderzoek bevestigd en theoretisch onderbouwd.

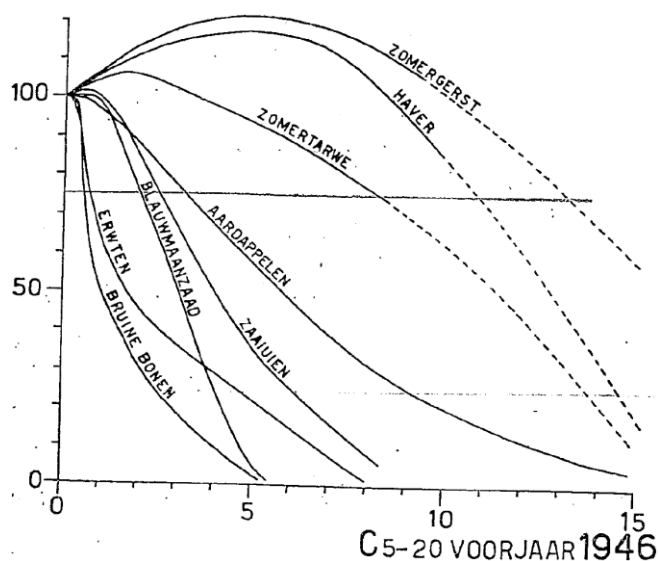
Hissink deed veldproeven naar aanleiding van de overstromingen van 1906 en 1916. Hij constateerde dat de bodemstructuur niet verbeterde door bekalking met calciumcarbonaat, maar wel wanneer het beter oplosbare gips werd gebruikt. Gips was vlak na de Eerste Wereldoorlog echter te duur voor grootschalige toepassing.

Het is opmerkelijk dat in het uitvoerige bodemonderzoek dat is uitgevoerd in het kader van de drooglegging van de Wieringermeer (1927-1934) er geen rekening lijkt te zijn gehouden met het risico van structuurbederf van de verzilte gronden (Zuur, 1936, 1938). In de praktijk bleek er ook geen structuurbederf op te treden, maar de verklaring daarvoor kon pas achteraf worden gegeven (Zuur, 1952). Die verklaring is dat bij het droogvallen van gereduceerde zeeklei er zwavelzuur wordt gevormd door oxidatie van ijzersulfiden; door reactie van dit zwavelzuur met de in de grond aanwezige calciumcarbonaten (schelpen!) worden op natuurlijke wijze grote hoeveelheden gips geproduceerd.

In een gedenkboek bij de pensionering van Dr. ir. S. Smeding - voormalig Directeur van de Wieringermeer – schrijft Hissink (1954):

“Het is thans van algemene bekendheid, dat een overstroming met zout water in twee opzichten nadelig is. In de eerste plaats heeft het zout, waarmee de bodem doordrenkt wordt, een schadelijke invloed op de plantengroei; in de tweede plaats neemt het gehalte aan uitwisselbare Na in de grond toe ten koste van het uitwisselbare Ca-gehalte. Het hogere gehalte aan uitwisselbare Na maakt, dat dergelijke gronden (Na-kleigronden geheten) in het natte seizoen in elkaar slempen en daardoor ondoorlatend worden. Er treedt diensgevolge spoedig wateroverlast op, met alle nadelen daaraan verbonden voor de grondbewerking en voor de kieming en de groei van wintergewassen. In het voorjaar drogen de ineengeslechte gronden steenhard op; het is dan vaak onmogelijk een goed kiembed voor de gewassen te maken. Voor de landbouw levert dit alles grote moeilijkheden op en bovendien is de oogst vaak kleiner dan normaal.”

Bij de z.g. ‘militaire inundaties’ in 1944-1945 kwamen aanzienlijke oppervlakten landbouwgrond onder zeewater te staan. Vanwege het tekort aan voedsel was het belangrijk om de verzoute gronden weer zo snel mogelijk in productie te nemen. Daartoe is in opdracht van de Rijksdienst voor Landbouwherstel op uitgebreide schaal onderzoek gedaan, zowel via veldwaarnemingen, proefvelden en laboratoriumonderzoek (Van den Berg, 1950).



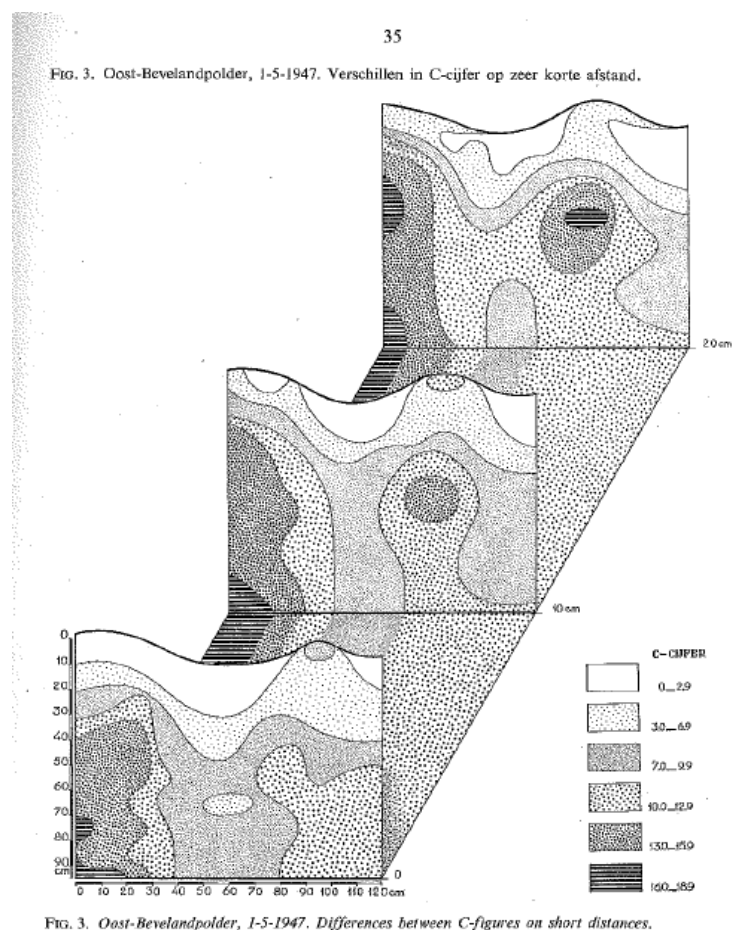
Figuur 4.1.1 Gewasopbrengsten als functie van de gemeten zoutconcentratie (gram NaCl per liter) van het bodemvocht in de laag 5 – 20 cm, gemeten voor het inzaaien. (Van den Berg, 1950).

Hoewel dit onderzoek tot doel had om boeren praktisch advies te kunnen geven over welke gewassen ze konden verbouwen (zie figuur 4.1.1) gaf het ook aanleiding voor een aantal onderzoekers zich wetenschappelijk verder te verdiepen in het verziltingsvraagstuk. Dit heeft o.a. geleid tot drie Wageningse proefschriften die gezamenlijk een aanzienlijke vooruitgang in de kennis over verzilting laten zien t.o.v. 1938.

1938	A.J. Zuur	Over de ontzilting van den bodem in de Wieringermeer
1952	C. van den Berg	De invloed van opgenomen zouten op de groei en productie van landbouwgewassen op zoute gronden
1953	B. Verhoeven	Over de zout- en vochthuishouding van geïnundeerde gronden
1958	W.H. van der Molen	<i>The exchangeable cations in soils flooded with seawater</i>

Van den Berg (1952) heeft zich verdiept in de fysiologische oorzaken van zoutschade bij gewasgroei. Hij vond meervoudige oorzaken (1. Osmotisch effect, 2. Zoutophoping in de plant, 3. a. Ongunstige ionen verhoudingen in de plant, b. Overmaat of tekort van een bepaald ion in de plant) en gaf per gewas de mate van belangrijkheid aan.

Verhoeven (1953) wijst op de grote variabiliteit van vochtgehalte, zoutgehalte en samenstelling van de zoutoplossing in de bodem. Zelfs bij het nemen van een groot aantal monsters is het daardoor niet altijd mogelijk een representatief beeld te krijgen van de zouttoestand in de wortelzone van het gewas. (Figuur 4.1.2).



Figuur 4.1.2. Verschillen in de gemeten zoutconcentraties in het bodemvocht in het bodemprofiel, op korte afstand (Verhoeven, 1952).

Van der Molen (1958) geeft de theoretische onderbouwing en verklaring van eigenschappen van geïnundeerde gronden die al eeuwen eerder zijn waargenomen, maar slechts gedeeltelijk of niet werden begrepen.

In 1953 werd nog gesteld dat het onmogelijk was om overstromingen door zeewater te voorkomen (van Beekom e.a., 1953). Daarna zijn er echter geen overstromingen met zeewater meer geweest. Daarmee was er ook geen directe vraag meer in Nederland naar specifieke kennis over verzilting.

Die vraag was er wel in het buitenland. Wereldwijd is irrigatie een belangrijker oorzaak van verzouting van landbouwgronden dan overstroming met zeewater. Kennis over omgaan met verzoute gronden werd een Nederlands export product. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de oprichting in 1955 van het *International Institute for Land Reclamation and Improvement* (ILRI, Wageningen). Het ILRI richtte zich vooral op verzoutingsproblematiek in geïrrigeerde gebieden. Een ander voorbeeld is de hiervoor reeds genoemde Dr. Ir. C. van den Berg. In zijn functie als directeur van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW, Wageningen) raakte hij betrokken bij projecten in o.a. Nigeria, Tunesië, Jordanië en Libanon. Ook speelde hij een hoofdrol bij het schrijven van het FAO/UNESCO handboek *Irrigation, Drainage and Salinity* (1973).

In Nederland speelde irrigatie in de jaren '50 alleen een rol op de zandgronden in het zuidoostelijke deel van het land. In 1956 was het totaal beregende oppervlakte daar 2400 hectare (Baars e.a., 1956). Tien jaar later meldt dezelfde auteur:

'In de zeekleigebieden wordt vrij veel beregend bij de teelt van aardappelen. In het algemeen wordt in deze gebieden beregend met water uit kavelsloten, dat soms zouthoudend is, vooral in droge zomers. Uit onderzoek is gebleken, dat bij een Cl-gehalte van het sproeiwater van 0,5 en 1,0 g per liter de schade niet groot is, mits men het water in kleine giften per keer toedient en de grond niet sterk laat uitdrogen. Bij een Cl-gehalte van 2-4 g per liter is de schade, ook bij toediening in kleine giften per keer, reeds groot. de berekening levert bij een dergelijk hoog zoutgehalte weinig voordeel meer op. Uit onderzoek is namelijk gebleken, dat de opbrengstverhoging die met zoet water wordt verkregen, ongeveer 100 kg aardappelen per ha per mm water bedraagt. Bij gebruik van water met 2 g Cl per liter is deze opbrengstverhoging slechts 35 kg per ha per mm water en bij 4 g Cl per liter is de opbrengstverhoging nihil.' (Baars, 1968)

Ook dit onderzoek was erop gericht de agrariërs te kunnen adviseren hoe zij in hun bedrijfsvoering rekening kunnen houden met het zout.

Verziltingsonderzoek n.a.v. droge zomer van 1956

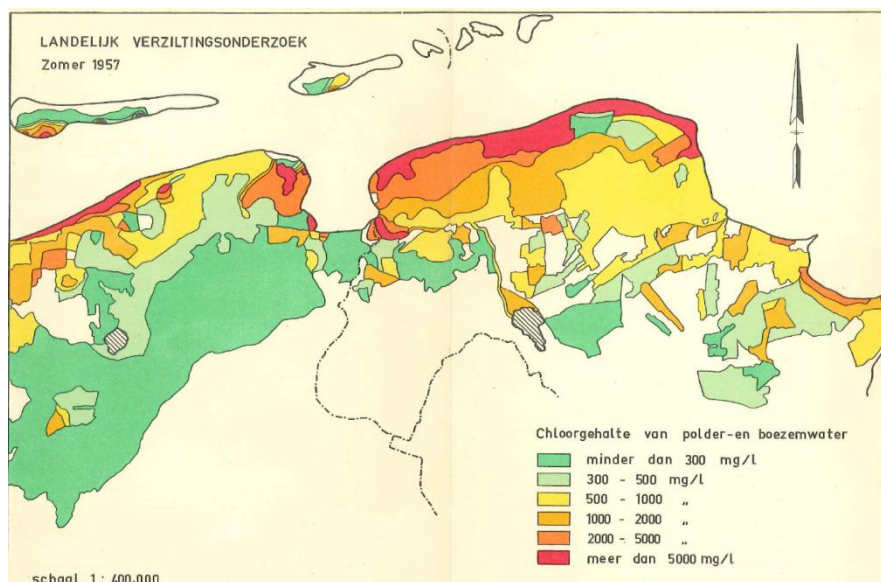
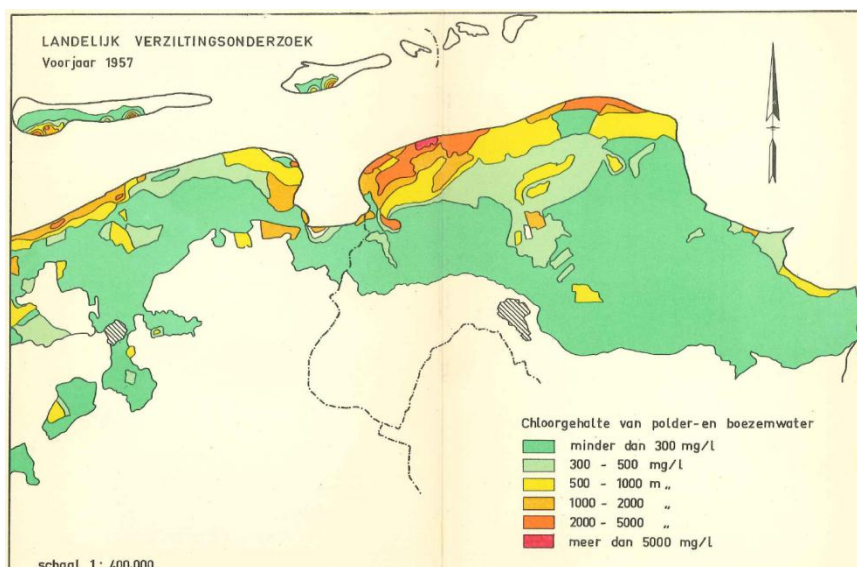
Snijders (1960) legt uit dat hoewel er in Nederland wel degelijk sprake is van verzilting van betekenis, de landbouw er tot betrekkelijk kort geleden weinig last van had omdat er voldoende uitwijkmogelijkheden waren bij de keuze van landbouwgronden. Door de snelle bevolkingsgroei en uitbreiding van steden, industrie en weggennet is er ondanks de landaanwinning een netto verlies aan landbouwareaal. Dit dwingt tot intensivering door mechanisatie, verbeterde afvoer en aanvoer van water en tot cultures onder glas. Hierdoor neemt de afhankelijkheid van voldoende hoeveelheden zoet water van een goede kwaliteit steeds toe. Daardoor wordt de verzilting van het Nederlandse polder- en boezemwater een probleem, vooral in tuinbouw.

Snijders noemt als belangrijkste oorzaak van verzilting:

1. Het binnendringen van zeewater in het westen en noorden, via rivieren en sluizen;
2. Het doorbreken van de zoutkerende lagen in de ondergrond;
3. Natuurlijke zoute kwel.

Bij de eerste oorzaak wordt o.a. besproken het opdringen van de zouttong in de Nieuwe Waterweg, als gevolg van het uitdiepen en verbreden van de haven. Ook worden voorbeelden gegeven van de zoutbelasting via zeesluizen. Over Groningen zegt Snijders:

“Op zijn minst merkwaardig doet het aan, dat soms, met name in Noord-Groningen, doelbewust zeewater wordt ingelaten. Dit heeft tot doel het water in sloten en vaarten zoveel op te zetten, dat tijdens de bietencampagne een onbelemmerd vervoer per schuit gewaarborgd is. In deze provincie heeft men het zoutbezwaar door allerlei omstandigheden steeds licht geteld. Maar in de loop van 1959 blijkt de verzilting hier een zodanige omvang en intensiteit te hebben aangenomen, dat de toestand alarmerend genoemd moet worden. Bij elke maatregel die door de Provinciale Waterstaat van Groningen wordt genomen, prevaleren de belangen van scheepvaart boven die van de landbouw. Denkt men aan de noodzakelijke ontwikkeling in de richting van de tuinbouw, zoals nog zeer onlangs voor het noordelijk deel der provincie aan de orde is gesteld, dan doet de signaleerde gesteldheid wat onwezenlijk aan.”



Figuur 4.1.3 Chloorgehalte van polder- en boezemwater, gemeten in voorjaar (boven) en najaar (onder) 1957 (Snijders, 1959).

Als voorbeelden van de tweede oorzaak worden genoemd het uitgraven van funderingssleuven en werkputten in de bouw en wegeaanleg en de zandwinning. Ook genoemd worden de vele z.g. Nortonputten die geslagen zijn voor veedrenking, spoelen van melkmateriaal, gaswinning en oliebooring. Ook wanneer deze putten in onbruik raken, worden ze zelden gedicht. Als voorbeelden van 'zoutinfectie' door de industrie worden genoemd:

"De aardappelmeelfabrieken, die in het najaar, en de strokartonfabrieken, die in de zomer produceren, zijn er de oorzaak van dat in Groningen het Winschoterdiep gedurende een groot gedeelte van het jaar sterk verontreinigd is. Het Oldambt is voor het doorspoelen op dit kanaal aangewezen, maar prefereert bromzout water, dat helder is, boven het stinkende zwarte water uit het diep."

"Een voorbeeld van een zuivelfabriek als brakwaterbron vinden wij in Bedum, waar per etmaal 1000m³ water met 12000mg Cl/l op de polder wordt geloosd. Dat betekent 20 000 kg zout per dag. Men streeft er naar deze hoeveelheden verder te verminderen. Enige jaren geleden was er nl. nog sprake van het dubbele."

Bij de derde oorzaak wordt onderscheid gemaakt tussen zoute dijkkwel en de fossiele brakke kwel. Tenslotte wordt genoemd de zoutaanvoer door het regenwater, die wellicht de fruitteelt parten kan spelen; op 2 km van de kust kan deze bij westenwind nog 15 mg Cl per liter bedragen. Op 20 km afstand is dit nog slechts 5 mg.

Op basis van 2500 watermonsters werd gevonden dat in Nederland rond 530 000 ha is met polder- en boezemwater met een zoutgehalte van meer dan 300 mg Cl/liter.* Dit areaal is in de zomer groter dan in het voorjaar, de toename is afhankelijk van het weer en de lokatie (Tabel 1.1)

	voorjaar 1957	zomer 1957
Nederland	450 000 ha	600 000 ha
Groningen	43 000 ha	88 000 ha
Friesland	42 000 ha	73 000 ha

Tabel 1.1: Areaal met polder- en boezemwater met een zoutgehalte van meer dan 300 mg Cl/l. *) Bij dit gehalte is het water niet meer voor elk gebruik in de tuinbouw geschikt.

Bij bemonstering in brakke gebieden vond men in sommige sloten water dat door de sterke verdamping zouter was geworden dan zeewater. Snijders wijst op het belang van aanvoer van voldoende zoet water voor de doorspoeling. Daarbij wordt zorg uitgesproken over de toename van het zoutgehalte *"als gevolg van ongelimiteerd lozen van afvalproducten van de mijnen, soda- en andere industrieën langs de Rijn in Duitsland en langs de Moezel in Frankrijk."* In het najaar van 1959 naderde het zoutgehalte in de Lek bij Vreeswijk de kritische grens van 300 mg Cl/l.

Onder het kopje 'De verzilting en de landbouw' zegt Snijders:

"We hebben de bespreking van de landbouwkundige betekenis van de verzilting tot het laatst bewaard, niet omdat deze van ondergeschikt belang zou zijn, maar omdat wij er eigenlijk nog zo weinig van afweten. De grenzen tussen de schadeklassen zijn moeilijk te trekken. De vraag bijvoorbeeld hoeveel zout het vee kan verdragen is niet zonder meer te beantwoorden. Zeker is, dat bij langzame gewenning zelfs bij schijnbaar absurd hoge gehalten geen nadelige gevolgen lijken op te treden, maar plotselinge variaties kunnen funest zijn. Het gaat hier om een gecompliceerd vraagstuk, waarin alleen door middel van breed opgezet biochemisch onderzoek nader inzicht kan worden verkregen."

"Vermoedelijk nog complexer dan bij dieren is het vraagstuk met betrekking tot de gewassen. Beschadiging en groeivermindering van gewassen in een zout milieu zijn het gevolg van een gecompliceerd samenspel van factoren:

- De invloed van watertekort tengevolge van een verhoogde osmotische druk in de grond;
- Zoutaccumulatie in de plant (waardoor vertraging in de groei optreedt;
- een gestoorde ionen-huishouding in grond en gewas.”

“Dat zoutbeschadigingen en groeiremmingen tot oogstderving leiden ligt voor de hand, doch een schade van 10%, die in economisch opzicht toch al bijzonder belangrijk kan zijn, is aan het te velde staande gewas niet waarneembaar. Vergelijkend onderzoek, waarbij de invloed van andere factoren dan het zout geëlimineerd worden, is noodzakelijk.”

“Een naar verhouding hoge zoutconcentratie in het substraat hoeft overigens niet altijd tot opbrengstdepressies te leiden. Bij sommige zouttolerante gewassen kan onder omstandigheden van voldoende neerslag en gunstig klimaat soms sprake zijn van een opbrengstvermeerdering.”

“Naast schade door beschadiging kennen wij ook de schade van gemiste kansen, die een indirect karakter heeft. In de droge zomer van 1959 konden de pootaardappelen in de Noordelijke Bouwstreek in Groningen en op de Friese landbouwgronden, hoewel men hier en daar de installaties reeds had aangeschaft, niet berekend worden omdat het beschikbare water te zout bleek.”

“Over het specifieke verziltingsonderzoek is maar weinig gezegd. Hier ligt nog een uitgestrekt gebied braak. Wellicht kunnen de resultaten van dit onderzoek in een later stadium de stof voor aanvullende beschouwingen leveren.”

OPMERKING: Hierna heeft Snijders, noch het ICW in brede zin gerapporteerd over vorderingen van het verziltingsonderzoek.

PAWN studie (1976-1982)

De eerstvolgende landsdekkende studie naar verzilting vond plaats in het kader van de PAWN studie (*Policy Analysis of Water Management for the Netherlands*). Aanleiding voor deze studie was de uitzonderlijk lange droge zomer van 1976, waardoor de droogteproblematiek (weer) op de landelijke beleidsagenda kwam (Boogerd, 2005). Er werden o.a. plannen geopperd om een zoetwaterleiding aan te leggen vanuit het IJsselmeer naar de Zuidwestelijke Delta. Daarop gaf het Ministerie van Verkeer en Waterstaat opdracht aan de Amerikaanse RAND Corporation om de zoetwaterbehoefte voor Nederland in kaart te brengen en een schatting te maken van de mogelijke droogteschade en zoutschade.

De opzet en resultaten van de modelstudie voor de berekening van de droogte- en zoutschade zijn gerapporteerd in Abrahamse e.a. (1983). Dit rapport geeft aan dat de water en zoutbeweging in Nederland het gevolg is van gecompliceerde interacties. De uitkomsten van het verdelingsmodel zijn vergeleken met gemeten waarden in de zomer van 1976. De overeenkomsten waren (net) voldoende voor een ‘*overall picture*’, waarbij wordt opgemerkt dat deze bevindingen berusten op grove indicaties (“*these findings are based on rough indications rather than solid comparisons*”, p. 215).

Het rapport toont dezelfde openhartigheid over de wijze waarop de gewasschade is berekend:

“It is not possible to make any direct comparisons between computed and observed crop damage. We compared our model to the ‘real world’ by considering more global information.”

“It was never our aim to have models that accurately predict absolute yields. Instead, we wanted a flexible instrument to estimate agricultural damages caused by changes in the quality and/or quantity of the available water. Such damages are computed by comparing yields in different situations. Hence it can be expected that systematic errors cancel when numbers that reflect two different situations are subtracted.” (p. 216)

De zoutschade is berekend op basis van de veronderstelling dat zoutschade optreedt nadat de zoutconcentratie in het bodemvocht een bepaalde drempelwaarde heeft overschreden. Daarna neemt de zoutschade lineair toe met de toename van de concentratie. Zowel de drempelwaarde als de hellingshoek van de zoutschadefunctie zijn gewasafhankelijk.

Deze methodiek is begin jaren '70 ontwikkeld door onderzoekers Maas en Hoffman van het *US Salinity Laboratory* (Riverside, California). Zij hebben voor een groot aantal gewassen de betreffende waarden vastgesteld, op basis van proefnemingen en literatuuronderzoek. Het merendeel van deze informatie is echter afkomstig uit warme aride en semi-aride streken. Daarom moesten de waarden 'vertaald' worden naar Nederlandse omstandigheden, waarbij assistentie is verleend door onderzoekers van het Ministerie van Landbouw en Visserij. Er was een vergelijkbare 'vertaling' nodig van de in het buitenland gangbare methode om zoutgehalte te meten (door bepaling van het elektrisch geleidingsvermogen) en de Nederlandse methode die gebaseerd is op het Cl-gehalte.

De methode Maas & Hoffman houdt alleen rekening met het osmotische effect van het zout op de gewasgroei. Er wordt dus geen rekening gehouden met de verstoring van de ionenbalans en toxiciteit van specifieke ionen, die door van den Berg (1952) en Snijders (1960) werden aangemerkt als - mede - oorzaak van verminderde productie.

Bovengenoemde opmerkingen over de bezwaren en beperkingen van de in de PAWN-studie gevolgde methoden voor het bepalen van de zoutschade lijken misschien weinig relevant omdat deze studie concludeerde dat zoutschade in de Nederlandse landbouw (akkerbouw) nauwelijks een rol van betekenis speelt.¹ Daarvoor worden twee oorzaken genoemd:

- de meeste 'open-lucht' gewassen zijn niet erg gevoelig voor zout;
- zout dat in de wortelzone wordt gebracht door beregening (de voornaamste zoutbron) wordt verdund en uitgespoeld door regen (p. 220).

Op basis van deze overweging had men de hele PAWN-studie voor de akkerbouw achterwege kunnen laten! De beschouwingen over de juistheid van de gevolgde methodiek zijn dus niet zozeer relevant voor de PAWN-studie zelf, maar vanwege het feit dat dezelfde benadering later is toegepast voor het berekenen van zoutschade op bedrijfsniveau. Een mogelijke reden hiervoor is het respect dat de PAWN-studie kreeg als eerste met computermodellen ondersteunde beleidsanalyse voor het Nederlandse waterbeheer.² De PAWN-studie kan dus worden opgevat als een (waterscheiding) tussen de opvattingen van Nederlandse onderzoekers over de oorzaak van zoutschade:

- voor PAWN: meervoudige oorzaken (1. Osmotisch effect, 2. Zoutophoping in de plant, 3. a. Ongunstige ionen verhoudingen in de plant, b. Overmaat of tekort van een bepaald ion in de plant);
- na PAWN: Osmotische druk als enige oorzaak.

Alle bekende Nederlandse studies over zoutschade aan gewassen die verschenen zijn na de PAWN-studie (Roest e.a. 2003, van Dam e.a. 2007, Bakel e.a. 2009a) zijn gebaseerd op de Amerikaanse opvatting. Opvallend is dat in geen van deze studies - in tegenstelling tot de buitenlandse literatuur - aandacht wordt besteed aan het effect van Na op de bodemstructuur.

Zoutstudie noord Friesland (1991-1995)

In opdracht van de Provincie Friesland is er gedurende drie jaar onderzoek gedaan naar verzilting in noord Friesland. In de inleiding van het rapport dat de eerste fase van dit onderzoek afsloot (Swart 1991) wordt gesteld:

"Het voorkomen van zout in het oppervlaktewater wordt vanuit de agrarische sector reeds lang als een probleem ervaren.

¹Wel voorspelt het model dat ongeveer 10 % van de glastuinbouwgewassen zoutschade ondervindt in een normaal of matig droog jaar, en 15-20% in een extreem droog jaar zoals 1976. (p. 220)

²De PAWN-studie (125 manjaren!) kreeg in 1984 de *Management Science Achievement Award* van *The Institute of Management Sciences* (TIMS)

Zout maakt het water ongeschikt voor bijvoorbeeld beregening en in extreme gevallen voor veedrenking. De meest toegepaste manier om te hoge zoutgehalten in het oppervlaktewater was – en is – het doorspoelen van het zoute oppervlaktewater met zoet water. Met name in de zomer als er meer water nodig is dan er aan neerslag valt, wordt daartoe van elders water aangevoerd. We spreken dan tegenwoordig over aanvoer van gebiedsvreemd water. In de Friese situatie gaat het dan veelal om water afkomstig uit het IJsselmeer.

Het Waterhuishoudingsplan van de provincie Friesland spreekt zich, in navolging van de derde nota waterhuishouding, uit voor het vasthouden van het “gebiedseigen water”. Het doorspoelen strookt niet met een dergelijk voornemen. In het plan wordt aangekondigd dat zal worden nagegaan of er alternatieven zijn om de hoge zoutlasten in het oppervlaktewater (zowel waterschapswateren als boezemwateren) te bestrijden.

Uit gesprekken met de waterschappen is voorts gebleken dat, ondanks dat er vanuit het oogpunt van het provinciaal beleid (nog) geen belemmeringen zijn opgelegd aan het doorspoelen, niet in alle gebieden de momenteel door de landbouw gewenste lage zoutgehalten in de oppervlaktewateren kunnen worden gehaald. Dit betekent in concreto dat bepaalde ontwikkelingsrichtingen in de landbouw worden beperkt. Ook vanuit de waterbeheerder is daarom de wens geuit de zoutproblematiek onder de loep te nemen.”

Het eindrapport (Swart 1995) bestaat uit vier hoofdstukken:

1. Hydrologisch onderzoek, waarmee meer inzicht is verkregen in het verschijnsel van zoute kwel. In vier geomorfologisch verschillende gebieden is meer gedetailleerd onderzoek gedaan;
2. Mogelijkheden van zoetwateraanvoer naar zilte gebieden;
3. Mogelijkheden verbetering verziltingsbestrijding van de boezemwateren door middel van doorspoeling;
4. Verbouw van zout minnende groenten.

In plaats van een samenvatting te geven beperken wij ons hier tot een aantal opmerkingen en citaten:

- Gezien de titels van de hoofdstukken 2 en 3 lijkt het bezwaar tegen aanvoer van gebiedsvreemd water anno 1995 minder zwaar te wegen dan in 1991 (zie citaat hierboven uit inleiding van Swart 1991);
- De waarnemingen en de verklaringen van de waargenomen zoute kwel in de vier gebieden waar gedetailleerd onderzoek is gedaan lopen sterk uiteen. Wat de verklaringen wel gemeen hebben is dat er steeds aannames worden gedaan die niet of alleen door aanvullend onderzoek kunnen worden geverifieerd;
- “In drie beschreven gebieden wordt een oprukkend zoutfront in het grondwater verondersteld. Bij ongewijzigd beheer mag worden verwacht dat dit proces zich ook in de toekomst doorzet. Dit betekent dat, indien deze gebieden representatief zijn voor alle zilte gebieden, in de toekomst met een toenemende zoutbelasting in het oppervlaktewater rekening moet worden gehouden. Met welke snelheid dit proces verloopt kan slechts met voortgaande monitoring worden vastgesteld. De zeespiegelstijging zal dit proces verder versnellen³.” (p.18-19)
- “In het onderzoek is enige aandacht besteed aan het economisch rendement van de aanvoer van zoet water. Er zijn echter te veel onduidelijkheden om tot een verantwoorde kosten-baten analyse te komen. Veel is afhankelijk van de teelten in een bepaald gebied en het chloridegehalte in het aangevoerde water.” (p.25);
- “Door de beide inliggende waterschappen worden in hun beheersplannen relatief hoge chloridegehalten als streefwaarden genoemd; deze moeten worden geïnterpreteerd als de momenteel door hen haalbaar geachte normen” (p. 29). Opmerkingen: (1) De genoemde streefwaarde van 800 mg Cl/l ligt inderdaad aanzienlijk boven de 300 mg Cl/l die door Snijders (1960) werd aangeduid als bovengrens voor de tuinbouw. Van den Berg (1967) stelde: “De zoutgrens voor teelten onder glas dient verlaagd te worden van 300 naar 200 mg Cl/liter.” (2) Swart (1961) geeft aan dat bij het onderzoek chloridgehalten zijn bepaald door meting van het elektrisch geleidingsvermogen.

³ Niet onderstreept in oorspronkelijke tekst

Voor de omrekening is een formule gebruikt die is opgesteld door studenten van de NHL Leeuwarden. Deze formule geeft uitkomsten die tot 50% afwijken van de formule (I) vermeld in het Cultuurtechnisch Vademecum 2000 (p.288);

- "Gelet op de schaal van de markt zal de teelt van zilte groente over het algemeen geen oplossing kunnen bieden voor landbouwers in zilte gebieden." (p.33).

De titels van de onderzoekverslagen zijn resp.:

- Zout en Verzilting; van (on)oplosbaar probleem naar hanteerbaar verschijnsel (Swart 1991);
- Verzilting in noord Friesland, een hanteerbaar verschijnsel! (Swart 1995).

Op grond van bovenstaande citaten en opmerkingen lijkt de conclusie zich op te dringen dat er nog veel onderzoek nodig is om de verziltingsproblematiek in Noord- Nederland hanteerbaar te maken. Het wekt daarom verwondering, dat er aan verzilting nauwelijks aandacht wordt besteed in de studie Klimaat en Landbouw Noord-Nederland (http://www.themaklimaat.wur.nl/NL/Projecten/KL02_hotspot/)

Ook opvallend: er wordt nauwelijks of geen aandacht besteed aan het effect van kwaliteit van beregeningswater op *bodemstructuur*. In de Nederlandse literatuur over verzilting en verzouting wordt steeds het *chloride*-gehalte genoemd als bepalende factor. Terwijl in elk buitenlands handboek over irrigatie ook kritische waarden worden gegeven voor de toelaatbare concentraties *natrium*. Daarbij gaat het in eerste instantie niet over ongewenste reacties van de plant, maar van de bodem. Als een kleihoudende grond wordt bevoeid met water met een relatief hoog gehalte aan natrium worden tweewaardige calcium en magnesium ionen die gebonden zijn aan het kleicomplex vervangen door eenwaardige natrium ionen. Na een regenbui – of beregening met water met een lagere concentratie natrium – vermindert de Na concentratie in het bodemvocht. Om dit verschil in concentratie te verminderen gaan de aan het complex gebonden Na ionen water aantrekken. Hierdoor raken de kleideeltjes los van elkaar (peptisatie) en wordt de grond slompgevoelig en gaat zwel- en krimpverschijnselen vertonen.

De diepe kleigronden in noord Nederland hebben een groot vochtbergend vermogen. Daardoor kunnen ze geruime tijd voldoende water blijven leveren aan het gewas. Als deze periode wordt overschreden is de irrigatiebehoefte op deze gronden niet anders dan bv op zandgronden. Eerder hoger, omdat zware gronden gaan scheuren waardoor het irrigatiewater wegloopt. Er is dan juist veel meer water nodig om grond weer op een voldoende vochtgehalte te brengen. En dat op een tijdstip dat er – op nationaal niveau – een grote vraag is naar water van voldoende kwaliteit.

2.2.2 Hoe gaat 'het buitenland' om met verzilting in de landbouw?

In de buitenlandse literatuur wordt het zoutgehalte meestal aangegeven door het elektrisch geleidingsvermogen (EC), in plaats van het chloridegehalte dat doorgaans in Nederland gebruikt wordt.

FAO (1976) geeft de volgende indeling voor de kwaliteit van het irrigatiewater:

geen probleem	$EC_w < 0.75 \text{ dS/m}$
toenemend probleem	$0.75 - 3.0 \text{ dS/m}$
ernstig probleem	$> 3.0 \text{ dS/m}$

Het geleidingsvermogen waarbij er problemen kunnen ontstaan door teveel zout in het irrigatiewater ($EC > 0.75 \text{ dS/m}$) komt ruwweg overeen met een chloridegehalte van 300 mg Cl/l ; de concentratie die door Snijders (1960) werd gebruikt als grenswaarde voor de tuinbouw.

De internationale literatuur geeft talrijke voorbeelden van gebieden waar men met veel zouter water al tientallen jaren economisch succesvol wordt geïrrigeerd.

Onderstaande voorbeelden zijn uit FAO (1992):

	EC _w (dS/m)
USA	gemiddeld 4.0, oplopend tot 8.6
Israel	1.8 – 8.0
Tunesië	3.1 – 9.0
India	7.0 , als maximale waarde voor lange termijn gebruik
Egypte	Overheid streeft ernaar irrigatiewater aan te bieden met een EC rond 1.0 dS/m; in pilot studies blijkt 2.0 – 2.5 veilig op lange termijn; bij hergebruik van drainagewater (EC van 6.0) wordt gemengd of afwisselend geïrrigeerd met water van betere kwaliteit

Daarbij komt dat genoemde landen veel hogere temperaturen en een hogere verdampingsvraag hebben dan Nederland, zodat gewassen eerder en meer te lijden hebben van hoge zoutconcentraties.

De titel van genoemde FAO publicatie (1992) geeft al gedeeltelijk antwoord op de vraag hoe er internationaal met verzilting in de landbouw wordt omgegaan: *'The use of saline waters for crop production'*. Dit geeft aan dat men de beschikbare waterkwaliteit als een gegeven beschouwt; vervolgens geeft men richtlijnen hoe er ondanks de mindere waterkwaliteit toch duurzaam geproduceerd kan worden.

Een belangrijke maatregel daarbij is het voorkomen van accumulatie van zout in de wortelzone, door systematisch meer irrigatiewater toe te dienen dan de verdampingsvraag. Deze maatregel vraagt om zorgvuldige monitoring van de actuele verdamping en de grootte van de irrigatiegiften. Bovendien is het vaak nodig om een drainagesysteem aan te leggen om het zoute percolatiewater veilig af te voeren. Voor dit doel zijn in landen als Egypte, India en Pakistan op grote schaal drainageprojecten aangelegd, veelal met aanwijzingen van Nederlandse deskundigen. Het ILRI heeft vanaf 1961 jaarlijks een internationale drainagecursus georganiseerd, waarin meer dan 1000 buitenlandse ingenieurs zijn opgeleid. In 1972 werd het lesmateriaal voor deze cursus in boekvorm uitgegeven als *Drainage Principles and Applications*, waarin ook hoofdstukken van Verhoeven en van der Molen. In 1994 verscheen een herziene uitgave (Ritzema 1994).

Ook zijn in de genoemde landen onderzoeksinstituten opgericht die zich specifiek richten op van verzouting (en het voorkómen ervan).

Dezelfde basishouding spreekt uit de titel van een internationale zoutconferentie over verzouting, gehouden in Texas in 1976: *Managing Saline Water for Irrigation* (Dregne, 1977). Op deze conferentie werden o.a. de resultaten gepresenteerd van een driejarig onderzoek van vier Amerikaanse universiteiten: *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil* (Stewart e.a., 1977).

Doel van dit onderzoek was productiefuncties voor gewassen bij verschillende vocht- en zoutcondities. De conclusie van dit onderzoek luidt:

"It appears that much more needs to be known before prediction of the effect of given salinity conditions on evapotranspiration or soil water availability can be made."

Vermelding van deze conclusie loopt vooruit op de vraag welke kennis nodig is om met het probleem van verzouting om te gaan.

Voor de beantwoording van de nu voorliggende vraag is genoemd onderzoek waard om genoemd te worden omdat het wederom een uiting is van het voornemen om optimaal gebruik te maken van de *beschikbare* waterkwaliteit. Genoemde productiefuncties worden ontwikkeld zodat boeren er gebruik van kunnen maken bij het selecteren van de gewassen die ze – gegeven de beschikbare waterkwaliteit – met succes kunnen verbouwen. En niet om de daarmee de geleden schade vast te stellen.

Tenslotte willen wij erop wijzen dat er in de buitenlandse literatuur steeds aandacht wordt gegeven aan het effect van waterkwaliteit op de bodemstructuur.

2.2.3 Welke kennis is essentieel om de optie 'weerstand bieden' te ondersteunen. Is deze kennis nu beschikbaar of moet deze nog – deels- ontwikkeld worden?

De optie 'weerstand bieden' wordt hier opgevat als voortzetting van de bestaande praktijk, waarbij de overheid:

- ernaar streeft agrariërs van voldoende water met voldoende kwaliteit te voorzien;
- agrariërs compenseert voor geleden schade als gevolg van levering van onvoldoende water van onvoldoende kwaliteit.

Deze werkwijze vereist:

- vaststelling van werkbare normen;
- mechanisme om te controleren dat water overeenkomstig de vastgestelde norm (serviceniveau) wordt geleverd;
- mechanisme voor melden en afhandelen schade.

Inventarisatie benodigde kennis

1. Is er altijd voldoende water beschikbaar van voldoende kwaliteit?

De benodigde hoeveelheid water op bedrijfsniveau is afhankelijk van het gewassenpatroon, vocht karakteristiek van de betreffende grondsoort, weersomstandigheden, beregeningsmethode en daarbij optredende verliezen. Voor deze berekeningen zijn allerlei programma's beschikbaar. Hierin kunnen effecten van klimaatsverandering betrekkelijk eenvoudig worden verdisconteerd.

Optelling van de vraag voor alle bedrijven levert de totale netto vraag. Voor omrekening naar de bruto vraag is een schatting nodig van optredende verliezen in het distributienet. Voor de Nederlandse omstandigheden zit hier een complicatie; het watersysteem is ontworpen voor peilbeheer en ontwatering; niet voor wateraanvoer. In dit opzicht lijkt Nederland achter te lopen op menig irrigatiesysteem in ontwikkelingslanden. Voor een schatting van de optredende verliezen tussen punt van inname (IJsselmeer) en de aftappingen op bedrijfsniveau is men dus aangewezen op ervaringscijfers. Omdat het aanvoersysteem voor een groot deel bestaat uit brede en ondiepe leidingen met zeer geringe stroomsnelheid ligt het voor de hand dat leidingverliezen bij klimaatsverandering (opwarming) zullen toenemen.

Het staat nu al vast dat er niet altijd voldoende water is om agrariërs van voldoende water te voorzien. Dat blijkt o.a. uit het periodiek instellen van een beregeningsverbod.

Het staat eveneens vast dat er – landelijk gezien – niet altijd voldoende doorspoelwater beschikbaar is om het oppervlaktewater geschikt te houden voor landbouwkundig gebruik. Dit blijkt o.a. uit de plaats die landbouw inneemt in de nationale verdringingsreeks, die de landelijke verdeling bepaalt van het beschikbare Rijkswater in tijden van watertekort (zie figuur 4.3.1). Voor noord Nederland geldt dit in (veel) mindere mate, omdat water uit het IJsselmeer kan worden ingelaten.



Figuur 4.3.1 De nationale verdringsreeks (V&W, VROM & LNV 2009)

2. Hoeveel water is nodig voor doorspoeling?

Om deze vraag te beantwoorden is kennis nodig van:

- Lokatiespecifieke bronnen van aanvoer van zout kwel water;
- Effecten van peilbeheer op aanvoer van zout kwel water;
- Te verwachten kwaliteit van doorspoelwater bij innamepunt;
- Efficiëntie van doorspoeling voor diverse leidingtypen bij verschillende zoutgradiënten en de invloed van peilbeheer op deze efficiëntie.

Het is bekend dat de efficiëntie van het doorspoelproces bijzonder laag is. Maas (2007) inventariseert de mogelijkheden en doet voorstellen voor maatregelen om deze efficiëntie te verbeteren. Maas formuleert voor deze analyse een aantal hypothesen die nog niet aan de praktijk zijn getoetst. Hetzelfde geldt voor maatregelen die zijn voorgesteld ter voorkoming/vermindering van verzilting in noord Friesland (Swart 1991, 1995).

Zodra gesproken wordt over aanvoer van water ter bestrijding van verzilting is het ook nodig aandacht te schenken aan de wijze waarop de fractie van het aangevoerde water die niet verdampt wordt afgevoerd. Op dit punt kan lering worden getrokken uit de internationale ervaring met irrigatie: wereldwijd is naar schatting 20 tot 50% van het geïrrigeerde areaal verzout. De schade hiervan wordt voorzichtig geschat op US\$ 11.4 miljard per jaar (Ghassemi et al, 1995). Kennis hoe deze schade kan worden voorkomen is o.a. beschikbaar in Ritzema (1994).

3. Kennis i.v.m. compensatie zoutschade

Van Bakel e.a. (2009b) geeft een berekeningsmethode voor het vaststellen van de gewasschade door beregening met water van onvoldoende kwaliteit. Deze methode houdt alleen rekening met het effect van zout op het osmotische potentiaal.

Van den Berg (1952) constateerde dat behalve het osmotisch effect, er ook andere fysiologische effecten op kunnen treden bij hogere concentraties zout in het bodemvocht. Onderstaande tabel geeft aan dat de mate van belangrijkheid van deze effecten per gewas kan verschillen. Van den Berg constateerde ook dat er gewassen zijn die in staat zijn potentieel toxische kationen die in overmaat aanwezig zijn in het bodemvocht gedurende geruime tijd buiten te sluiten (zie onderstaande tabel en figuur, uit van den Berg, 1952).

TABEL 28. Mate van belangrijkheid van enkele fysiologische gevolgen van zoute substraten voor de groeivermindering van verschillende gewassen

Gewas	Watergebrek v.d. plant t.g.v. osm. druk	Zoutaccumul. in de plant	Gestoorde (kat-) ionenverhouding in de plant	Tekort aan bepaald ion in de plant	Crop
Zomergerst	× × ×	—	—	× (K)	Spring barley
Suikerbieten	× × ×	—	×	× (Ca)	Sugar beets
Haver	× × ×	×	—	—	Oats
Zomertarwe	× ×	×	×	× × (Ca)	Spring wheat
Vlas	× ×	×	×	× × (Ca)	Flax
Aardappelen	× ×	× ×	×	—	Potatoes
Wierbonen	×	× ×	×	× × (K)	Horse beans
Erwten	×	× × ×	× ×	× × (K)	Peas
Bruine bonen	×	× ×	× × ×	×	Red kidney beans
	Water-deficiency of plant as a result of osmotic pressure	Accumulation of salt in plant	Disturbed proportion of (cat-) ions in plant	Deficiency of certain ion in plant	
— geen invloed no influence × geringe invloed slight influence × × matige invloed moderate influence × × × sterke invloed strong influence					

TABLE 28. Degree of importance of some physiological consequences of salty substrates to reduction of growth of several crops

FIG. 19. Relatieve kationen-som, opgenomen door verschillende gewassen

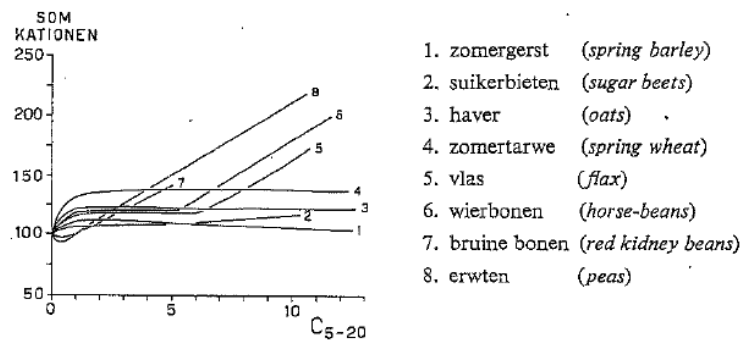


FIG. 19. Relative sum of cations, absorbed by different crops

Figuur 4.1.4 (Van den Berg, 1952)

Van den Berg veronderstelde dat het al of niet afsterven van het blad werd bepaald door accumulatie van Na ionen in het blad. Deze hypothese is betrekkelijk recent bevestigd door Australisch onderzoek (Munns, 2002). Doel van dit Australisch onderzoek was niet om zoutschade vast te stellen, maar om nieuwe zouttolerante gewassen te ontwikkelen.

Deze herontdekking en bevestiging van de hypothesen van Van den Berg geven aanleiding om te stellen dat de nu gangbare methodiek om zoutschade vast te bepalen aanpassing behoeft.

2.2.4 Welke kennis is beschikbaar of moet ontwikkeld worden om de keuze “meebewegen” te ondersteunen?

Bij de keuze “meebewegen” wordt de inspanningsverplichting van de waterbeheerders om ten alle tijden voldoende water van een voldoende kwaliteit te leveren losgelaten. Het is dan aan de agrariërs zelf om hun bedrijfsvoering af te stemmen op de onzekerheid van de watervoorziening.

Hiervoor zijn een ruim aantal opties beschikbaar; elk met hun eigen kennisbehoefte.

1. Keuze van gewassen afstemmen op onzekerheid van de waterleveranties

Waterbeschikbaarheid en kwaliteit variëren zowel per locatie als in de tijd. Agrariërs moeten een inschatting maken van de mate waarin waterleveranties aan hun bedrijf kunnen afwijken van de gewasbehoefte. Zij kunnen hierin door de waterbeheerder worden ondersteund door het uitbrengen van een zo gedetailleerd mogelijke prognose voorafgaande aan het groeiseizoen.

2. Irrigatieregime afstemmen op de actuele situatie

Dit betreft de maatregelen die genomen kunnen worden om gegeven de actuele beperkingen van de waterleveranties de schade van het te velde staande gewas zoveel mogelijk te beperken. Dit vereist kennis van de actuele situatie (zout- en vochttoestand in de bodem, waterkwaliteit) en kennis van het te verwachten effect van diverse maatregelen op het gewas. De waterbeheerder kan de agrariërs hierin ondersteunen door het frequent en gedetailleerd meten van de actuele situatie t.a.v. de waterkwaliteit. Dit gebeurt b.v. al in Rijnland, waar meetgegevens on-line beschikbaar zijn via www.rijnland.net.

3. Afhankelijkheid van waterleveranties drastisch verminderen

Deze handelswijze wordt in de intensieve tuinbouw onder glas al op ruime schaal toegepast. De waterbehoefte wordt grotendeels gedekt door opvang en opslag van regenwater. Deze mogelijkheid is ontstaan door een spectaculaire verbetering van de waterproductiviteit in de afgelopen decennia (van Kooten e.a. 2008)

	Water productiviteit (liter/kg)
open veld - berekening	100 – 300
open veld - drip	60
glas - berekening	22
glas – hergebruik drainage water	15
glas – hergebruik condensatiewater	4
theoretisch maximum	1.25

Tabel 4.1 Toename waterproductiviteit in de tuinbouw. Bron: van Kooten (2008)

Productiviteit van 15 liter/kg wordt op praktijkschaal gehaald; hergebruik van condensatiewater is nog in ontwikkelingsfase. Bij voortgaande ontwikkeling kan intensieve tuinbouw onder glas qua watervoorziening vrijwel autonoom worden. Dat zou betekenen dat er voor de oproep die Van den Berg in 1967 deed om de chloridenorm in het oppervlaktewater in tuinbouwgebieden te verlagen van 300 naar 200 mg Cl/liter geen grond meer is.

4. Differentiatie en diversificatie

De optie “meebewegen” vereist het vermogen van de producent om in te spelen op lokale en temporele variabiliteit. Dat is zo ongeveer het tegenovergestelde van de landbouw politiek die na de Tweede Wereldoorlog door Mansholt is ingezet: standaardiseren van productieomstandigheden en producten. Die ontwikkeling is door de overheid gestimuleerd en ondersteund, o.a. door subsidies voor mechanisatie, ruilverkavelingen, prijsgaranties, landbouwonderwijs, voorlichting en onderzoek. Hoewel deze politiek al geruime tijd is verlaten werkt deze nog steeds door, o.a. in de (kennis)infrastructuur. Het huidige landbouwkundige onderzoek maakt veelvuldig gebruik van modellen die een homogeniteit veronderstellen die er in werkelijkheid niet is. In de rede bij zijn afscheid van de Landbouwuniversiteit in 1987 zegt Professor W.H. van der Molen hierover:

“Het is dan ook in het veld en bij het overbrengen van de eigenschappen van het veld naar de modellen dat er moeilijkheden optreden. Het veld is

niet netjes, niet regelmatig, vol onverwachte verscheidenheid. Voor berekeningen over de hoeveelheden water die een gebied in- of uitstromen kan men nog wel met globale waarden volstaan, maar zodra men op kleinere schaal gaat werken en vooral als ook de kwaliteit van het water in het geding is wordt dit anders en zal de ruimtelijke spreiding van de bodemeigenschappen een belangrijke invloed gaan uitoefenen.”

“De invloed van onregelmatigheden is al lang bekend en dus ook herhaaldelijk weer vergeten. Na de inundaties in Zeeland, uitgevoerd onder de oorlogsomstandigheden van de jaren 1940-1945, werd een uitgebreid onderzoek ingesteld naar de verzilting van de onder water gezette gronden en naar de ontzilting, die na het droogvallen door de neerslag werd teweeg gebracht. Al spoedig stuitte men daarbij op onbegrijpelijke uitkomsten, die veroorzaakt bleken te worden door uiterst geringe verschillen in de bodem of in de hoogte van het terrein.” Hij verwijst daarbij naar Verhoeven, zie figuur 4.1.2.

Het met wetenschappelijke kennis ondersteunen van de optie ‘meebewegen’ op veldniveau vereist daarom vrij drastische aanpassing van de ‘standaard’ modellen. Vervolgens moeten de lokatie-specifieke ‘veldmodellen voor bodem en water’ worden gekoppeld aan nieuwe lokatie-specifieke gewasmodellen. Ontwikkeling en toetsing van dit nieuwe modelinstrumentarium heeft - ook in letterlijke zin - nogal wat voeten in de aarde.

2.2.5 In hoeverre kunnen we, op grond van een gekwantificeerde onderbouwing, een verantwoorde keuze maken tussen beide opties?

Nieuwe inzichten op het vlak van zouttoleranties van gewassen zijn op verschillende manieren verkregen, zoals:

1. Van Bakel et al. (2009b) hebben zoutschade-functies geëvalueerd voor een 4-tal gewassen die in het zuid-westen van Nederland worden verbouwd: aardappelen, grasland, suikerbieten en tulpen. Modelberekeningen met relatief eenvoudige benaderingen voor gewasgroei en zoutschade (Maas-Hoffman, 1977) heeft geresulteerd in verbeterde zoutschade-functies. Daarmee zijn de oude waarden van Roest et al. (2003) vervangen en de inzichten in de osmotische effecten zijn vergroot.
2. Onderzoek door De Jong van Lier et al. (2009) heeft nieuwe mogelijkheden gegeven om het osmotische effect beter te kwantificeren. Dit wordt momenteel nader onderbouwd met veldwerk in Brazilië.
3. Kroes en Supit (in prep) hebben onlangs een studie uitgevoerd naar de effecten van toekomstig klimaat (zeespiegelstijging) op zoutgehaltes en mogelijke schade bij grasland in Nederland. Eén van de conclusie daarbij is dat droogteschade van groter belang is dan zoutschade. Er is een vervolgstudie gepland om deze effecten ook voor andere gewassen in beeld te brengen inclusief de onzekerheden die hierbij een rol spelen. Deze studie zal worden uitgevoerd met de modellen SWAP-WOFOST waarin recente verbeteringen rondom zoutstress zijn geïmplementeerd (Kroes et al, 2009).
4. Een volgende uitdaging is het modelmatig combineren van de osmotische effecten en de ionen-effecten, zoals geconstateerd door van den Berg (1952) en bevestigd door o.m. Munn (2008).

Voor landelijke verkenningen aangaande zoetwatervoorziening is het effectmodel Agricom beschikbaar. Het concept van AGRICOM (AGRIcultural COst Model) dateert van begin jaren tachtig. Het is een agro-economisch model dat op basis van de resultaten van een hydrologisch model kosten en baten voor de landbouwsector in Nederland berekent. Het is geschikt voor de effecten van te droge omstandigheden, maar gebrekkig voor te natte of te zoute omstandigheden. In 2009 is een initiatief genomen voor actualisatie en verbeteringen van het AGRICOM concept (Bakel et al., 2009a).

Er wordt voorgesteld om aan te sluiten bij het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (www.nhi.nu) en agrohydrologische berekeningen in Agricom met een gewasgroeimodel (WOFOST) uit te voeren. Dit is een lijn die ook in het Nationaal Modellen- en Datacentrum (NMDC) nader wordt onderzocht.

In Nederland zijn modelberekeningen tot nu toe vooral gericht geweest op het berekenen van zoutschade en dus feitelijk op 'weerstand bieden'. Dezelfde modellen kunnen ook worden ingezet voor de selectie van gewassen en de keuze van maatregelen en daarmee voor de optie 'meebewegen'.

2.2.6 Wat zijn de sociaal economische gevolgen van “weerstand bieden” en “meebewegen” ?

Een antwoord op deze vraag zou verwacht kunnen worden van het onderzoeksproject *Klimaat en Landbouw Noord-Nederland*. Daarin zijn in de opeenvolgende projectfasen (1) de belangrijkste klimaatfactoren geïdentificeerd, (2) de invloeden van deze factoren op de gewasopbrengst en de kosten van mogelijke adaptatiemaatregelen gekwantificeerd, (3) adaptatiepakketten per bedrijfssysteem en per regio opgesteld volgens twee richtingen: handhaven van bestaande teelten en introductie van nieuwe gewassen; maatschappelijke kosten en baten van de verschillende adaptatiepakketten bepaald (Schaap e.a., 2009).

In de eerste fase van het project is echter gesteld dat:

“Nog niet de *verzilting* van de bodem maar droogte, plensbuien, plantziekten en dierplagen zijn de zorgen van de landbouwsector in Noord-Nederland als het gaat om klimaatverandering.”
(http://www.themaklimaat.wur.nl/NL/Projecten/KL02_hotspot/)

Daarom zijn er in de tweede fase ook geen schattingen gemaakt van de te verwachten zoutschade. Wel geeft het betreffende rapport (Schaap e.a., 2009) in een bijlage een tabel “Verzilting en zouttolerantie gewassen”. In deze tabel zijn voor 15 in Noord-Nederland verbouwde gewassen de drempelwaarden voor zoutschade opgegeven, zowel voor het bodemvocht en het gietwater. In dezelfde bijlage is een kaartje opgenomen van Noord-Nederland met als onderschrift:

“Verzilting van het oppervlaktewater in een gemiddeld jaar (Bron: Alterra naar de Vries (1994))⁴”

In dit kaartje zijn behalve de Noordoostpolder, alleen de noordelijke delen van Friesland, Groningen en Flevoland ingekleurd. Ongeveer een derde van dat ingekleurde oppervlakte valt in de klasse met een Cl-gehalte boven de 1000 mgCl/l. Deze waarde ligt boven de drempelwaarde voor gietwater van 12 van de 15 gewassen in bovengenoemde tabel. De drie gewassen met een hogere drempelwaarde zijn wintertarwe (1053), suikerbiet (1288) en koolzaad (2329mgCl/l).

Uit andere bronnen weten wij dat het Cl-gehalte in poldersloten in de zomer gemiddeld ruim twee maal zo hoog is als in de winter (Berekend uit tabel 48 en 49 in Bots e.a. , 1978) en dat in een uitzonderlijk droge zomer de concentraties in het oppervlaktewater tot een veelvoud van de gemiddelde concentratie kan oplopen (o.a. Snijders, 1959, 1960).

Uit besproken tabel en kaartje valt o.i. af te leiden dat er in Noord-Nederland nú al sprake kan zijn van gewasschade door verzilting.

⁴ Deze bron staat niet vermeld in de literatuurlijst van Schaap (2009)

Hoe groot deze schade is, kan met de informatie in Schaap e.a. (2009) niet goed worden berekend:

- De tabel geeft geen waarden voor de opbrengstafname bij overschrijding van de genoemde drempelwaarden. Deze waarden zouden overigens gemakkelijk uit andere bronnen kunnen worden overgenomen;
- Schaap (2009) geeft (in tabel 2.1 p.4) het totaal in Noord-Nederland bebouwde oppervlakte voor elk van de 15 gewassen; per gewas is ook een kaartje opgenomen dat de geografische verspreiding ervan weergeeft. Combinatie van zoutschadetabel, gewaskaartjes en het kaartje met de chloride-gehalten zou op zijn best een schatting op kunnen leveren van de gewasschade door verzilting 'in een gemiddeld jaar.'

Hiermee komen we bij een wezenlijk verschil tussen het effect van verzilting en het effect van de andere klimaatfactoren als hevige regenval, extreme hitte e.d., waarvan het effect wél berekend is in Schaap e.a. (2009); zowel de mate van verzilting als de gevolgen ervan op de gewasproductie kan per locatie sterk verschillen.

Dat het van weinig nut is om opbrengstdaling tengevolge van verzilting te schatten voor 'een gemiddeld jaar' blijkt uit onderstaande figuur (Van den Berg, 1952). Zomergerst op sterk verzoute gronden (traject zoutgetal tussen 5 en 10) geeft in een vrij nat jaar (1946) ongeveer 30% hogere opbrengsten dan op overeenkomstig zoute gronden⁵ in een droog en warm jaar (1947).

FIG. 29. Gemiddelde relatieve opbrengsten van bruine bonen (links) en zomergerst (rechts) onder invloed van stijgende zoutcijfers van de grond in de jaren 1946 (vrij nat), 1947 (droog en warm) en 1948 (vrij nat). Naar VAN DEN BERG (1950).

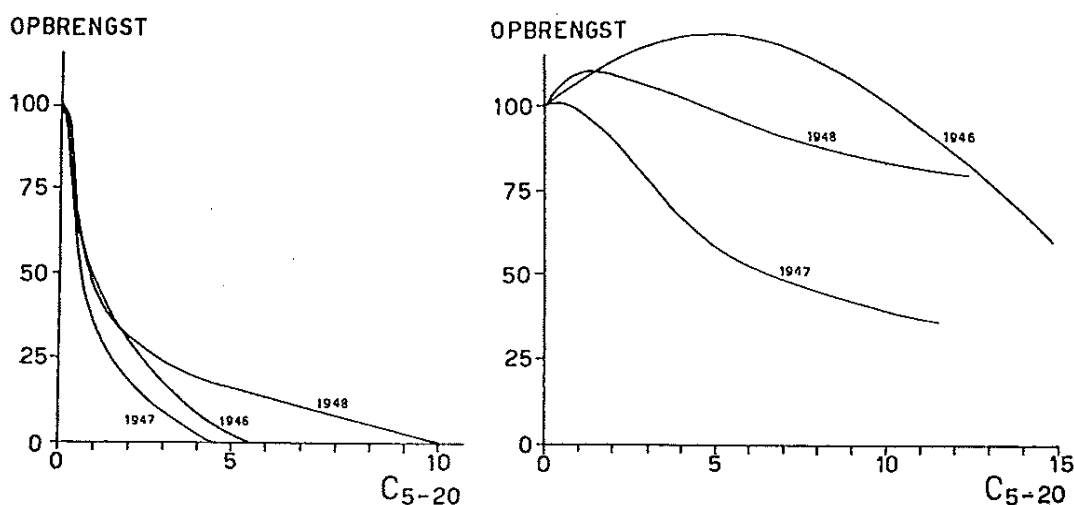


FIG. 29. Average relative yield of red kidney beans (left) and spring barley (right) under influence of increasing salinity figures of the soil in the years 1946 (rather wet), 1947 (dry and warm) and 1948 (rather wet). According to VAN DEN BERG (1950).

Figuur 4.1.5 (Van den Berg, 1952)

De website van het onderzoeksproject *Klimaat en Landbouw Noord-Nederland* vermeldt verder onder het kopje **Verzilting**:

"Het onderzoek zal zich de komende tijd verfijnen en zich gaan toespitsen op acht deelgebieden, omdat de hoger gelegen zandgronden nu eenmaal andere problemen kennen dan het zeekleigebied. Naar verwachting zal dan de rol van de deelnemende waterschappen ook

⁵Met 'overeenkomstig' wordt hier bedoeld: gronden met hetzelfde zoutgetal. Dit zoutgetal (C) werd aan het begin van het groeiseizoen vastgesteld door meting van de zoutconcentratie – in gram NaCl per liter – van het bodemvocht. C₅₋₂₀ is een aanduiding voor de zoutconcentratie in de laag van 5 tot 20 cm onder maaiveld.

groter worden. Met de voorspelde verzilting van de kustgebieden valt het tot nu toe erg mee. Volgens Prins [LTO Noord] komt dat doordat het even duurt voordat het zout op wortelniveau is aangeland. Maar vanwege de stijgende zeespiegel zal daarvoor op termijn een oplossing gevonden moeten worden.”

Ook op dit punt zijn wij een andere mening toegedaan. O.i. kan de zoutschade ook toenemen bij gelijkblijvende zeespiegel. Bovenstaande figuur laat n.l. ook zien dat er geen toename van de verzilting nodig is om toch zoutschade te ondervinden van een veranderend klimaat: als de zomers droger en warmer worden kan er door verzilting schade ontstaan die nu nog te beperkt is om te worden opgemerkt.⁶

2.2.7 Kunnen we een verantwoorde keuze maken tussen ‘weerstand bieden’ en ‘meebewegen’?

Op grond van de informatie die ons ter beschikking staat krijgen wij de indruk dat die keuze in Noord-Nederland al gemaakt is. Dat blijkt o.a. uit de constatering:

“Door de beide inliggende waterschappen worden in hun beheersplannen relatief hoge chloridegehalten als streefwaarden genoemd; deze moeten worden geïnterpreteerd als de momenteel door hen haalbaar geachte normen” (Swart 1991).

Dit is dus duidelijk een keuze voor “meebewegen”. Helaas lijkt deze keuze niet te zijn voorafgegaan door een afweging op basis van informatie. Dat blijkt o.a. uit:

- beperkte frequentie van EGV metingen;
- beperkt gebruik van de verzamelde gegevens;
- onduidelijkheid over betrouwbaarheid van EGV metingen en wijze van omrekenen van gemeten EGV waarden naar chloridegehalte.

De genoemde streefwaarden liggen aanzienlijk boven zowel de internationaal gehanteerde - als de nationale streefwaarden. Dat overschrijding ten opzichte van de internationale norm momenteel niet leidt tot hevige protesten van de gebruikers kan verklaard worden uit het relatief mildere klimaat in Nederland. Bij klimaatverandering gaat dit niet langer op. Dat overschrijding t.o.v. de Nederlandse streefwaarde geaccepteerd wordt, kan worden verklaard door te veronderstellen dat zoutgevoelige gewassen verbouwd worden op locaties met een vooralsnog voldoende waterkwaliteit. Wanneer de temperatuur gaat stijgen en daarmee de gewasverdamming, is het allerm minst zeker dat zelfs bij handhaving van de huidige waterkwaliteit er geen zoutschade zal ontstaan.

De keuze voor “meebewegen” lijkt te zijn gemaakt “met de ogen dicht”. Wij bepleiten een keuze “met de ogen open.”

2.2.8 Adaptatiestrategieën of teeltmaatregelen

Meebewegen of adapteren kan op verschillende manieren. Er is door Acacia (Velstra e.a., 2009) een uitgebreid overzicht geschets van maatregelen om effecten van verzilting op te vangen (“Inventarisatie maatregelen omtrent interne verzilting”). De maatregelen liggen in het technische, beheersmatige en bestuurlijk juridische domein en het schaalniveau varieert van perceel tot polder.

⁶Snijders (1960) zei hierover: “Dat zoutbeschadigingen en groeiremmingen tot oogstderving leiden ligt voor de hand, doch een schade van 10%, die in economisch opzicht toch al bijzonder belangrijk kan zijn, is aan het te velde staande gewas niet waarneembaar. Vergelijkend onderzoek, waarbij de invloed van andere factoren dan het zout geëlimineerd worden, is noodzakelijk.”

Maatregelen kunnen daarnaast ook variëren van brongerichte (kwelreductie) of effectgerichte maatregelen. Hieronder schetsen wij een overzicht van mogelijke maatregelen die kunnen worden genomen.

Gebruikersmaatregelen richten zich op het regelen van de eigen watervoorziening, ontzilten van brakwater, en aanpassingen in de detailontwatering. Deze kunnen veelal door agrariërs zelf getroffen worden.

Beheersmaatregelen spitsen zich toe op maatregelen die genomen kunnen worden door grondgebruikers of waterbeheerders. Hierbij valt te denken aan zoetwateraanvoer, waterberging, tegen gaan van brakke kwel, en het sturen van brakke waterstromen. Dit zijn veelal mitigerende maatregelen.

Tenslotte kunnen beleidsmatige maatregelen worden getroffen. Zo kunnen de normen voor de waterkwaliteit worden aangepast of kunnen verzekeringen worden afgesloten. Daarnaast kan ook het ruimtelijke beleid worden ingezet om gevoelige teelten te verplaatsen. Ook kunnen waterakkoorden worden gesloten voor waterlevering en verdeling.

Recent onderzoek van Stuyt (2011, in press) resulteert in de volgende boodschap; er zijn nogal wat landbouw gebruiksfuncties, waarvoor het best een beetje zouter mag. Deze stelling dekt niet het gehele verhaal. De kern is dat de materie veelal complexer is dan simpelweg zeggen: 'het moet zo zoet mogelijk'. Je kunt een differentiatie aanbrengen in de tolerantie en in de omstandigheden. Benut die tolerantie, die flexibiliteit, om tot afstemming te komen tussen vraag en aanbod, en tussen kosten en baten.

Beleid in de toekomst zal zich mogelijk moeten richten om locatiespecifiek beheer te ontwikkelen met locatiespecifieke afspraken tussen beheerders en gebruikers, met als kernopdracht: maak onderscheid tussen 'Waar doe je het nu voor, voor wat voor soort teelten?' enerzijds, en 'Wat betekent dat voor je zoetwaterbeheer?' anderzijds. Fine tuning van watervoorziening voor de landbouw wordt steeds belangrijker. Een groot aantal teelten, met vrij grote oppervlaktes heeft een hogere zouttolerantie dan specifieke eisen van bepaalde hoogrenderende teelten. Dit betekent dat er meer van dit soort afwegingen moeten worden gemaakt in de komende tijd.

Een ultieme manier van adaptatie is het veranderen van het landgebruik, zoals de teelt van zilte groenten of zoute aquacultuur. Dit wordt beschreven in paragraaf 4.2. Anderzijds kunnen ook gangbare gewassen middels veredeling dusdanig worden verbeterd dat ze onder zoutere omstandigheden kunnen groeien. Grote handelshuizen van pootaardappelen verwachten hiervan dat ze op deze wijze kunnen omgaan met veranderende klimaatsomstandigheden (Schaap e.a., 2009, Rapportage Landbouw en Klimaat, 2011). In de afzetgebieden van pootgoed heersen veelal al aride en zoutere omstandigheden dan in Nederland. Om deze reden alleen al is veredeling gewenst. Huidig onderzoek en veredeling richt zich momenteel al op deze gewenste verbetering van gewassen.

2.3 Zilte teelten en zoute aquacultuur

2.3.1 Perspectieven

Zilte teelten en aquaculturen kunnen gezonde en veilige voeding leveren. Hierbij valt te denken aan de productie van algen die een goede leverancier is van omega 3 en 6 vetzuren. De provincie Fryslân ziet dan ook kansen die zinvol zijn om nader te verkennen (Landbouw Agenda Provincie Fryslân 2011-2013, 2010). Zij zien die kansen niet zozeer vanuit het oogpunt dat verzilting de huidige landbouw bedreigt, maar vanwege mogelijke nieuwe economische activiteiten. Dit geldt met name voor het kustgebied waar aan- en afvoer van zoutwater aanwezig is, gemakkelijk kan worden aangesloten bij bestaande bedrijvigheid en de transportmogelijkheden goed zijn.

De Provincie Fryslân concludeert verder in de Landbouw Agenda dat het nog te vroeg is om te oordelen over de levensvatbaarheid van zilte landbouw en zoute aquacultuur. Zij verwacht dat zilte landbouw en visteelt de concurrentie met lage lonen landen niet aan kan. Terwijl teeltcombinaties zoals algen, wormen en schelpdieren wellicht wel kansrijk zijn.

Er bestaat tenslotte onduidelijkheid over de exacte zoutgehalten van het grondwater, en anderzijds is er nog weinig ervaring met teelttechnieken. Ook de watervoorziening vraagt nog aandacht. Binnendijks oppervlaktewater en ondiep grondwater is niet zout genoeg volgens de provincie. Dit staat dan nog los van de vraag hoe zouterwater moet worden aan- en afgevoerd moet worden en wat de effecten daarvan zijn op de omgeving.

Met de huidige kennis weten we dat zilte landbouw en aquacultuur een nichemarkt is en dat er weinig kansen liggen voor de bestaande landbouw om aan de slag te gaan met zilte teelten (Stuyt, 2009). Het aantal verkenningen en initiatieven beschreven in paragraaf 4.1.1 getuigt hier reeds van. Hieronder zijn de kansen die Stuyt definieert weergegeven. Hieraan toegevoegd is een vertaling naar de situatie in Noord Nederland:

- Nederland moet zich richten op kennisexploitatie en niet op bulkproductie. Nu zijn er in Noord Nederland nog weinig initiatieven waarbij kennis wordt ontwikkeld. Dit maakt dat dit nog weinig perspectiefvol is, maar het neemt niet weg dat deze kansen wel verder ontwikkeld kunnen worden. Hierbij kan gedacht worden aan de brede context van aquacultuur tot zilte landbouwteelten. Aanvullend hierop wordt ook gedacht aan het ontwikkelen van ziltbestendige systemen waarbij bestaande maar soms ook nieuwe gewassen onderzocht worden op zoutbestendigheid. Op deze wijze zouden mogelijk tot de ontdekking kunnen komen dat we met de beschikbare hoeveelheid zoetwater, ook bij toenemende verdroging / klimaatverandering, nog best uit zouden kunnen komen
- De visserijsector staat onder druk. Dit is mede een gevolg van het feit dat bulkproductie elders in de wereld in lage lonen landen sterk concurreert. Kansen liggen er alleen voor teeltcombinaties. Ook de teelt van algen lijkt een aantrekkelijke optie. Deze ontwikkeling staat echter nog in de kinderschoenen.
- Landelijk gezien liggen de grootste kansen voor zilte aquacultuur in de zuidwestelijke delta en Noord Nederland vanwege nabije ligging langs zee en het aanbod van zoutwater.. Daarbij schatten we in dat het zuidwesten een voorsprong heeft, die voortkomt uit een uitgebreidere afzet en verwerkingsindustrie, en een verder ontwikkelde en uitgebreidere visserij sector. In het zuidwesten wordt van oudsher al schelpen en vis gekweekt.
- Brak of zoutwater kan als "recourse" worden gebruikt. Dit is gezien het economisch perspectief van veel gangbare teelten niet vanzelfsprekend. Aequator heeft een studie gedaan naar de kansen van het benutten van brak welwater in de Haarlemmermeer (van Essen e.a., 2011). Hier lijken kansen te liggen in het benutten van brakwater voor de teelt van algen in een brak milieu. Ook hiervoor geldt dat dit nog veel ontwikkeling van kennis en teelten vraagt.

Zilte groenten en voedselproducten die momenteel kleinschalig in de supermarkt liggen zijn allemaal afkomstig van natuurlijke soorten. Er heeft geen veredeling plaatsgevonden zoals bij de grootschalige akkerbouwgewassen (bijv. suikerbieten, granen en aardappelen).

Hiele e.a. (2008) heeft een overzicht gemaakt van de teelttechniek, het economische rendement en landschappelijk inpassing van verschillende zilte teelten. (zie onderstaande figuur). Elk aspect is daarbij onderverdeeld in criteria. Zo is teelttechniek onderverdeeld in ("beschikbare kennis", "Beschikbaarheid uitgangsmateriaal, "...tot benodigde hoeveelheid zout water" Aan elk criterium is een kwalitatieve waarde toegekend.

Voor deze beoordeling zijn vertegenwoordigers van verschillende instanties geïnterviewd, te weten:

- Stichting Zeeuws Landschap
- Molecatengroep
- Landbouwloket gemeente Sluis
- Stichting VGAGB

Hieruit blijkt dat voor de meeste zilte groenten nog te weinig kennis van de teelt beschikbaar is.

Het economisch perspectief van de verschillende teelten is zeer wisselend, en gemiddeld genomen zelfs negatief. De voornaamste economische succesfactoren zijn de opbrengsten en marktperspectieven. M.a.w. als de teelt gemakkelijk is en de opbrengst voldoende hoog, is er markt voor een zilte groente. Vertaald naar de situatie in Noord Nederland (aanbod van brakwater i.p.v. zeewater en hoog renderende teelten) valt te denken aan selderij, groene asperges, voederbiet (Beta vulgaris) en afhankelijk van het zoutgehalte van het water zeekool. Er is echter nog wel onduidelijkheid ten aanzien van het noodzakelijke zoutgehalte voor het bereiken van een goede smaak van zilte teelten. De bovengenoemde genoemde teelten zijn om die reden vooral de gewassen met een voor zilte teelten lage zouttolerantie.

Tabel 7.6 Resultaten van de multicriteria analyse van zilte gewassen

Mogelijke zilte teelten	Teeltechnisch:	Beschikbare kennis	Beschikbaarheid uitgangsmateriaal	Geschikte grondsoort	Bewerkbaarheid van de teelt mechanisatie	Ziektegevoeligheid	Periode tot oogst	Benodigde hoeveelheid zout water	SUBTOTAAL TEELTECHNISCH	Economisch:	Opbrengst €/ha	Marktperspectieven	Concurrentie	Recreatief medagebruik (2x)	SUBTOTAAL ECONOMISCH	Landschappelijke inpassing:	Landschappelijke inpassing	TOTAAL SCORE
DROGE AQUACULTUUR																		
Zilte groenten met productiepotentie																		
Zeekraal	++	+	+	0	++	++	+	9		++	+	0	++	7		++	2	18
Lamsoren	+	+	0	0	+	+	+	5		+	+	0	++	6		++	2	13
Zeevenkel	-	-	+	-	-	+	0	-5		-	-	-	++	-2		++	2	-5
Zeekool	0	+	++	0	0	-	0	2		+	0	+	++	6		+	1	9
Groene asperge	++	0	0	0	+	-	-	1		+	++	0	++	7		+	1	9
Lepelblad	-	-	0	-	-	-	+	-8		-	-	-	0	-6		++	2	-12
Zeekiet/strandbiet	-	-	-	-	-	+	+	-6		-	-	-	0	-6		++	2	-10
Zilte peen	-	-	-	-	-	-	0	-10		-	-	-	0	-6		++	2	-14
Selderij	++	+	+	0	+	+	+	5		+	++	-	++	6		++	2	13
Schorrekruid	-	-	+	-	-	-	+	-7		-	-	-	0	-6		++	2	-11
Akkerbouwgewassen met zouttolerantie																		
Spelt	+	++	0	++	+	+	-	6		-	-	0	0	-2		++	2	6
Gerst	++	++	0	++	+	+	-	7		-	-	0	0	-2		++	2	7
Koolzaad	++	++	+	++	+	+	-	8		-	-	0	-	-4		++	2	6
Quinoa	0	++	0	++	0	+	-	4		-	-	0	0	-2		++	2	4
Zwarte mosterd	0	+	+	+	+	+	-	4		-	0	-	0	-3		++	2	3
Biet	++	++	0	++	+	+	-	7		-	0	0	-	-3		++	2	6
Vlas	++	++	+	++	+	+	-	8		-	-	0	-	-5		++	2	5
Huttentut	+	+	-	++	++	+	0	6		-	-	0	-	-5		++	2	3
Siergewassen																		
Lamsoor	0	0	0	+	-	+	-	-1		-	-	0	0	-4		++	2	-1

Op basis van de analyse van Hiele e.a. (2008) lijkt de zoute aquacultuur lucratief. Belangrijk daarbij te melden is dat de inschatting van marktomstandigheden sterk kunnen variëren. Zo is de Kokkel in de analyse van Hiele e.a. (2008) als positief beoordeeld. Echter vanwege een recente omschakeling van Spanje om (vanwege prijstechnische redenen) geen kokkels maar andere schelpdieren in de Paella te verwerken, verwachten we dat de marktpotentie gering is. Er is dus grote onduidelijkheid ten aanzien van de marktkansen ten aanzien van de zoute aquacultuur.

Tabel 7.7 Resultaten van de multicriteria analyse voor verschillende soorten 'natte' aquacultuur

Mogelijke zilte teelten	Teelttechnisch:	Beschikbare kennis	Beschikbaarheid uitgangsmateriaal	Bewerkelijkheid van de teelt/ mechanisatie	Ziekteproductiegewoelheid en/of teelttechnische risico's	Periode tot oogst	Benodigde hoeveelheid zout water	SUBTOTAAL TEELTTECHNISCH	Economisch:	Opbrengst €/ha	Marktperspectieven	Concurrentie	Recreatief medegebruik (2x)	SUBTOTAAL ECONOMISCH	Landschappelijke inpassing:	Landschappelijke inpassing	Natuurvriendelijkheid van de teelt	SUBTOTAAL LANDSCHAPPELIJK	TOTAAL SCORE
NATTE AQUACULTUUR																			
Schelpdieren																			
Mosselen hangcultuur	++	++	0	++	0	++	8	8	++	++	0	++	8	8	0	++	2	18	
Mosselen kouchot	+	++	0	++	0	++	7	7	+	++	0	++	7	7	0	++	2	16	
Mosselen bodemcultuur	++	++	+	+	0	++	8	8	+	++	0	++	7	7	+	-	-1	13	
Kokkels bodemcultuur	+	+	+	+	0	++	5	5	+	++	0	++	7	7	+	-	-1	11	
Kokkels off-bottom	0	+	0	++	0	++	5	5	+	++	0	++	7	7	0	+	1	13	
Oesters bodemcultuur	++	0	+	-	-	++	1	1	++	++	0	++	8	8	+	-	0	9	
Oesters off-bottom	+	0	0	-	-	++	1	1	++	++	0	++	8	8	0	++	2	11	
Mesheften bodemcultuur	-	+	0	-	0	++	0	0	-	0	-	++	0	0	+	-	-1	-1	
Tapijtschelpen en Venusschelpen off bottom	-	0	0	++	0	++	3	3	+	+	0	++	6	6	0	++	2	10	
St Jakobsschelpen	-	-	-	0	-	++	-2	-2	+	+	0	++	6	6	0	++	2	6	
Wormen																			
Zagers	++	+	-	++	+	++	6	6	+	+	0	0	2	2	-	-	-4	4	
Algen																			
Verskillende soorten zoutwater algen	-	+	++	0	0	++	4	4	++	+	-	0	1	1	+	++	3	8	
Vis																			
Piscivore vissoorten	0	0	-	-	0	++	-1	-1	++	++	0	++	8	8	+	-	-1	6	
Herbivore vissoorten	-	-	-	-	-	++	-4	-4	++	0	0	++	6	6	+	-	-1	1	

Naast het gebrek van jonge vissen geldt dat ook voor Piscivore vissoorten dat aanvoer van jonge vissen noodzakelijk is voor de voedselvoorziening. Aangezien deze aanvoer ook steeds duurder wordt is inmiddels interesse ontstaan om deze aanvoer ook zelf te kweken.

De zoutconcentraties voor aquacultuur komen zeer nauw. Veelal zijn concentraties van zeewaterkwaliteit gewenst. Alleen bot en zalm kunnen gekweekt worden onder brakke condities. Dit is wellicht interessant om verder te onderzoeken. Bekend is dat de waterkwaliteit in visteelt zeer nauw luistert.

De teelt van algen wordt zowel in het bedrijfsleven als bij wetenschappers en beleidsmakers uitgewerkt en gevolgd. De verwachting van deze teelt is hoog, welke wordt gedeeld door ons. Algen kennen namelijk een veel hogere productiviteit dan huidige landbouwgewassen. Algen zijn bij uitstek de ideale kandidaten als leveranciers van duurzame producten. Denk daarbij aan voedsel, chemicaliën en biobrandstoffen.

Algenfarming is een nog onvolwassen technologie. Dit wordt ook onderbouwd met het kansonderzoek van DHV (2008). Zij concluderen dat er meer inzicht in de economische rendabiliteit nodig is op basis van de huidige stand van technologie. Daarnaast is input van kennis nodig en ruimte (planologisch).

De ontwikkeling tot een volwaardige industriële activiteit zal vijftien jaar duren. Op korte termijn, van nul tot vijf jaar verwachte we dat algen interessant zullen worden voor toepassing in aquacultuur van vis en schelpdieren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het proefproject Zeeuwse Tong, waarbij algen worden geteelt als voedsel voor zagers. De zagers dienen vervolgens weer als voedsel voor Tong. Tenslotte dienen de uitwerpselen van de vis weer als voedsel voor de algen.

Op de lange termijn komen er kansen als eiwitbron voor levensmiddelen, als basischemicaliën voor allerlei producten, denk aan vijf tot tien jaar en uiteindelijk als biobrandstoffen wat nog tien tot vijftien jaar zal vergen. (Maria Barbosa, projectmanager microalgae bij de afdeling Food and Biobased Research van Wageningen Universiteit (WUR) Algenconres 2010).

2.3.2 Stand van zaken in Noord-Nederland

Er is een woud aan verkenningen en onderzoeken gedaan waarbij de kansen van zilte landbouw of zilte aquacultuur zijn verkend. Dit heeft tot op heden nog niet geleid tot een succesvolle bedrijfsvoering in deze sector, los van overheidssubsidies. In Friesland is een verkenning uitgevoerd door Grontmij in de Westergo zone (2008). Door van Hall Larenstein is een kansen onderzoek uitgevoerd voor zilte landbouw en aquacultuur (Boekhoud, 2008). Een vergelijkbare studie is in het kader van het project Comcoast in Groningen uitgevoerd (Van der Graaf en Loonen, 2006).

In de huidige situatie is het zoutgehalte van het freatisch grondwater niet hoog genoeg voor het uitvoeren van zilte teelten. Hooguit in lokale polders, percelen of stroken langs de kust worden hoge Chloride gehalten aangetroffen, maar dan vaak nog niet hoog genoeg voor een zilte teelt. Het ontbreekt aan initiatieven in de praktijk waarbij onderzoek en praktijkervaringen worden opgedaan met zilte teelten. Dit is wel veelvuldig geadviseerd om tot uitvoering te brengen. Daarnaast moet het marktaandeel van zilte producten worden vergroot en gepromoot.

Er zijn echter weinig of geen bestaande initiatieven waar ondernemers experimenteren met zilte teelten. In Franeker is een Tarbot kweker geweest. Dit bedrijf bestaat echter inmiddels niet meer. De vis die hier werd gekweekt werd met zout grondwater geteelt wat werd opgepompt. Daarnaast is er een kokkelvisser in Harlingen die aquacultuur activiteiten overweegt. Bij Feerwerd (Fr) wordt buitendijks zeeaster en zeekraal verbouwd door familie Hoogland. Het zou om één van de oudste zilte landbouwbedrijven in Nederland gaan.

Tot slot is er recent een subsidie verleend voor het project "Ziltperspectief" en een verkenning naar de haalbaarheid van een kenniscentrum bij de Afsluitdijk voor zilte landbouw. Het project ziltperspectief verkent wat de technische mogelijkheden zijn voor een combinatie van teelten in een gesloten kringloop.

3 CONCLUSIES

Het algemene doel van deze studie luidt: inzichtelijk maken van de effecten van verzilting in sociaal economische zin voor Noord-Nederland. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in directe gevolgen voor de interne agrarische bedrijfsvoering en externe factoren. Inzicht in interne bedrijfsvoering omvat zaken als het beheersen van waterkwaliteit op perceelsniveau door waterbeheersmaatregelen: slim beregenen en samengestelde, peilgestuurde drainage⁷. Belangrijke externe factoren zijn vestigingsklimaat, markt, regelgeving en kredietverlening.

De hoofddoelstelling is opgedeeld in een aantal projectresultaten (zie paragraaf 2.2). Deze zullen per onderdeel worden beantwoord.

Overzicht van zouttoleranties van gangbare landbouwgewassen

Er diverse tabellen met overzichten van zouttoleranties van gangbare landbouwgewassen zijn beschikbaar (van Bakel et al, 2009, Roest et al, 2003, van Bakel 2011, in voorbereiding). Er zijn tabellen van gietwater die de zouttolerantie weergeven van een aantal gangbare landbouwgewassen. Deze rapportage geeft een overzicht van de nieuwste ontwikkelingen en inzichten in zouttoleranties; er zijn nieuwe zoutschade functies en nieuwe inzichten in osmotische effecten. Naast deze inzichten m.b.t. gietwater en osmotische effecten is er behoefte aan onderzoek en inzicht in de effecten van zoutgehalten in de wortelzone op gewassen.

Anderzijds worden in de praktijk verschillende streefwaarden gehanteerd voor het doorspoelen van het oppervlaktewater.

Effecten van verzilting op huidige landbouwpraktijk

Van schade door verzilting lijkt op dit moment op slechts enkele plaatsen in Noord-Nederland sprake te zijn. Als gevolg van drogere en warmere zomers is niet uit te sluiten dat meer schade door verzilting gaat ontstaan. De gangbare landbouw beweegt momenteel al mee met verzilting. Het feit dat hoge zoutgehalten worden gemeten in het oppervlaktewater geeft aan dat er al een keuze is gemaakt voor meebewegen met verzilting. Het verziltingspoot van dit onderhavige onderzoek geeft inzicht in de effecten van verzilting op de huidige landbouwpraktijk en die in de toekomst onder invloed van klimaatsverandering.

Economische rendement van zilte landbouw en aquacultuur

De zilte landbouw en aquacultuur staan nog te veel in de kinderschoenen om inzicht te geven in het economisch rendement. Er moet nog veel worden geïnvesteerd in ontwikkeling van de teelttechnieken en meer inzicht ontstaan in het marktpotentieel. Van een aantal zilte teelten die al verder zijn ontwikkeld zijn wel kwalitatieve positieve verwachtingen, zoals selderij, groene asperges, voederbiet (*Beta vulgaris*) en afhankelijk van het zoutgehalte van het water zeekool. De saldo's zijn echter gauw lager dan de gangbare landbouwgewassen.

Ook van aquacultures zoals algenteelt zijn hoog gespannen verwachtingen. Het is echter maar zeer de vraag of deze gewassen kunnen concurreren met de gangbare landbouwgewassen.

Daarnaast is een omschakeling van gangbare landbouw naar zilte teelten en dan met name aquacultuur groot. Het vraagt hoge investeringen en de financiële opbrengsten zijn onzeker.

⁷Inzicht in samengestelde, peilgestuurde drainage als veelbelovende waterbeheersmaatregel op perceelsniveau in de agrarische bedrijfsvoering. Drooglegging verkleinen, zoute kwel naar de wortelzone verminderen. Zoetwaterconservering tijdens de winter.

Hoe kan landbouw adapteren aan toenemende verzilting (teeltmaatregelen, anders doorspoelen, aanpassingen detailontwatering, e.d.)

Er zijn een groot aantal ontwikkelingen in teeltechnieken (Stuyt e.a., 2011 in druk) en maatregelen waarmee ingespeeld kan worden op een toenemende verzilting (Velstra e.a., 2009) beschrijft een aantal maatregelen. De effecten van de maatregelen zijn echter in de praktijk vrijwel niet beproefd.

Dit geeft tevens aanleiding om zouter oppervlaktewater te accepteren. Consequentie is wel dat mogelijkheden voor beregening beperkter worden, afhankelijk van de lokale situatie.

Kansen voor landbouw

Afhankelijk van de exacte zilte teelten zijn de marktperspectieven klein en is het nog te vroeg om te oordelen over de levensvatbaarheid van de zilte teelten of aquacultures. Het biedt vrijwel geen alternatief voor gangbare teelten, mede omdat het lijkt dat er nog rek zit in zouttoleranties van de gangbare landbouw gewassen. Daarnaast lijken er een groot aantal mogelijk heden om maatregelen te treffen om om te gaan met verzilting, zoals hierboven beschreven.

De marktperspectieven voor zoute aquacultures lijken groter in combinatie met stapeling van functies (bijv. algen, schelpen, visteelt). Dit vraagt echter wel een aanvoer van zoutwater, aangezien de concentraties te laag zijn in het ondiepe grond- en oppervlaktewater. Teelt van brakke algen zou mogelijk wel perspectieven bieden (van Essen, e.a. 2011). Zilte teelten met lage saldo's zullen niet gauw als een alternatief worden gezien voor de gangbare landbouwgewassen.

4 SAMENVATTING

De Nederlandse landbouw kent een eeuwenoude traditie van omgaan met gronden die zijn verzilt door overstroming met zeewater. De grotendeels empirisch opgedane kennis kreeg na 1950 een betere theoretische onderbouwing, vooral door onderzoek n.a.v. de z.g. 'militaire inundaties' van 1944-45. Deze kennis is vanaf begin jaren '60 ook actief ingezet bij het ontwikkelen van maatregelen tegen verzouting in de geïrrigeerde gebieden van aride- en semi-aride landen. N.a.v. de droge zomers in 1959 en 1976 zijn er landsdekkende studies uitgevoerd naar zowel verdroging als verzilting. Beide studies kwamen tot de conclusie dat vooral de (glas)tuinbouw economische schade kan ondervinden van verzilting. De methodiek die in de tweede studie (de z.g. PAWN-studie) is ontwikkeld om de zoutschade te berekenen op nationaal niveau is in Nederland ook gebruikt in recentere studies voor het vaststellen van zoutschade op bedrijfsniveau.

Bij het onderzoek naar effecten van klimaatsverandering op de landbouw in Noord-Nederland is er relatief weinig aandacht besteed aan verzilting. De reden die hiervoor wordt opgegeven is dat het naar verwachting lang zal duren voordat de effecten van een stijgende zeespiegel invloed hebben in de wortelzone van de gewassen. In onze opvatting is dit niet juist: bij stijgende temperaturen en/of langere periodes van droogte in de zomer is er een risico op zoutschade, ook zonder toename van de zoutaanvoer door een stijgende zeespiegel. De kans op zoutschade wordt bepaald door locatiespecifieke factoren en is weersafhankelijk. Voor een verantwoorde schatting van de te verwachten economische schade moeten gegevens worden verzameld op bedrijfs- en zelfs perceelsniveau. Behalve het effect van zout op de osmotische potentiaal moeten ook effecten van ionen opname door het gewas en op de bodemstructuur worden onderzocht. Hierbij kan – met inzet van modern model- en meetinstrumentarium en buitenlandse kennis- worden voortgebouwd op de kennis over verzilting onder Nederlandse omstandigheden die door het onderzoek n.a.v. de 'militaire inundaties' van 1944-45 is verkregen.

Deze – goeddeels nieuw te ontwikkelen – kennis is ook nodig voor het ontwikkelen van adaptatiemaatregelen. Ten aanzien van de keuze tussen "meebewegen" of "weerstand bieden" zien wij dat er in Noord-Nederland *de facto* al een keuze is gemaakt voor "meebewegen". Dit blijkt uit het hanteren door de waterbeheerders van streefwaarden voor chloridegehalten die ruim boven de internationale waterkwaliteitsnormen liggen.

Er zijn een groot aantal maatregelen op het vlak van adaptatie als mitigatie waarbij ingespeeld kan worden op verzilting. Deze rapportage geeft een overzicht van studies waarin deze worden beschreven. Anderzijds lijkt het dat de huidige landbouwgewassen een hogere zouttolerantie hebben dan tot nu toe altijd werd gedacht. Het is mogelijk om differentiatie aan te brengen in de zoutgehalten afhankelijk van de tijd van het jaar en de gewassen die specifiek worden geteeld in bepaalde gebieden.

Een ultieme manier van adaptatie is het veranderen van het landgebruik, zoals de teelt van zilte groenten of zoute aquacultuur. Er zijn vrijwel geen voorbeelden in Noord-Nederland van succesvolle voorbeelden. De marktperspectieven voor zilte teelten en aquacultures zijn klein of vanwege ontbreken aan ervaring zijn er vrijwel geen gegevens over financiële opbrengsten. Wel zijn er kansen die zinvol zijn om nader te verkennen. Hierbij valt vooral te denken aan het stapelen van functies en toepassen van brakke algenteelt.

5 REFERENTIES

Abrahamse, A.H., G. Baarse, E. van Beek. 1982. *Policy Analysis of Water Management for the Netherlands. Vol. XII, Model for Regional Hydrology, Agricultural Water Demands and Damages from Drought and Salinity*. RAND Corporation, Santa Monica, California

Baars, C. e.a. 1956. *Berekening in de landbouw*. Uitgeverij Ceres, Meppel

Baars, C. 1968. *Berekening in de landbouw*. Ministerie van Landbouw en Visserij

Bakel, P.J.T. van, Linderhof, C.E. van 't Klooster, A.A. Veldhuizen, D. Goense, H.M. Mulder en H.T.L. Massop. 2009a. Definitiestudie Agricom. Rapport 1934 Alterra, Wageningen.

Bakel, P.J.T. van, Kselik, R.A.L., Roest, C.W.J., Smit, A.A.M.F.R., 2009b. *Review of crop salt tolerance in the Netherlands*. Report 1926, Alterra, Wageningen

Beekom, C.W.C.van, e.a. 1953. Reclaiming land flooded with salt water. *Netherlands Journal of agricultural Science*. Vol 1, No. 3 p. 153-163 en 225-244

Berg, C. van den. 1950. *De reactie van landbouwgewassen op het zoutgehalte van de bodem*. Rijksdienst voor Landbouwherstel. Verslagen Landbouwk. Onderz. No. 56.16

Berg, C. van den. 1952. *De invloed van opgenomen zouten op de groei en productie van landbouwgewassen op zoute gronden*. Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen

Berg, C. van den. 1967. *Tuinbouw en waterverontreiniging*. Med. Dir. Tuinbouw 30, 3

Boogerd, A. 2005. *Van droge kennis naar natte natuur: de interactie tussen natuurwetenschap en beleid over verdroging*. Eburon, Delft

Bots, W.C. P.M., P.C. Jansen en G.J. Noordewier. 1978. *Fysisch-Chemische Samenstelling van Oppervlakte- en Grondwater in het Noorden des Lands*. ICW Regionale studies 13. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen

Dam, A.M. van e.a. 2007. *Zouttolerantie van landbouwgewassen*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR

De Jong Van Lier, Q., J.C. Van Dam, and K. Metselaar. 2009. Root Water Extraction under Combined Water and Osmotic Stress. *Soil Sci. Soc. Am.* 73:862-875.

Dregne, H.E. 1977. *Managing Saline water for Irrigation*. Proceedings of the International Conference on Managing Saline Water for Irrigation: Planning for the Future. TexasTechUniversity

Essen, E.A. van, A. Roelandse, 2011. Kansenonderzoek benutting brakwater Haarlemmermeer. Aequator Groen & Ruimte in opdracht van Innovatienetwerk.

FAO/UNESCO. 1973. *Irrigation, Drainage and Salinity*. An International Source Book

FAO, 1976. Ayers, R.S. & D.W. Westcot. *Water quality for agriculture*. Irrigation and Drainage Paper 48, FAO, Rome

FAO, 1992. Rhoades, J.R. e.a. *The use of saline waters for crop production*. Irrigation and Drainage Paper 48, FAO, Rome

Ghassemi, F. e.a. 1995. *Salinisation of Land and water resources*. Centre for Resource and Environmental Studies. The AustralianNationalUniversity, Canberra

Hiele, T. van der, J. Heringa, B. Verkruysse; 2008; Mogelijkheden voor zilte teelten in Waterdunen, SPRING;

Hissink, D.J. 1954. *De voorgeschiedenis van de verbetering van door zeewater bedorven gronden door bemesting met gips*. In: Zuur, A.J. e.a. (Eds.) *Langs gewonnen velden: Facetten van Smedings werk*. Veenman & Zn, Wageningen

Jansen, H.P.H en A. Janse. 1991. *Kroniek van het klooster Bloemhof te Wittewierum*. Uitgeverij Verloren, Hilversum

Kooten, O. van, Heuvelink, E.; Stanghellini, C. 2008. New Development in Greenhouse Technology can Mitigate the Water Shortage Problem of the 21st Century. *Acta Horticulturae* 767 . - p. 45 - 52.

Kroes, J.G. and I. Supit, in prep. Impact analysis of drought and salinity on grassland production in the Netherlands using historical and future climate data. Subm. To J.: Agriculture, Ecosystems & Environment

Kroes, J.G., van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A., Jacobs, C.M.J., 2009. SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Alterra-report 1649, update 02, Augustus 2009. Alterra, Wageningen University Research, Wageningen. [http://www.swap.alterra.nl/DownloadRecent/swap32\(26\)/Alterra_Report1649\(02\)](http://www.swap.alterra.nl/DownloadRecent/swap32(26)/Alterra_Report1649(02)) - Swap32 Theory description and user manual.pdf

Maas, E.V., Hoffman, G.J., 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE 103:115-134.

Maas, E.V., 1990. Crop salt tolerance. In: 'Agricultural salinity assessment and management', K.K. Tanji (Ed.), ASCE Manuals and Reports on Engineering practice, No71, New York, USA.

Maas, K. 2007. *Verziltingsbeheersing*. In: Louw, P. de. *Verziltning in Nederland*. NHV – Special 7. Nederlandse Hydrologische Vereniging, Utrecht.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. 2009. *Nationaal Waterplan 2009-2015*. Den Haag (www.nationaalwaterplan.nl)

Molen, W.H. van der. 1958. *The exchangeable cations in soils flooded with seawater*. Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen

Molen, W.H. van der. 1987. *Over water en Bodem*. Voordracht bij zijn afscheid als hoogleraar in de Agrohydrologie. Landbouwuniversiteit Wageningen

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* (2002) **25**, 239-250

Ritzema, H.P. 1994. *Drainage principles and practices. Publication 16. Drainage principles and applications*. International Institute for Land reclamation and Improvement, Wageningen. 1125 pp.

Roest, C.W.J., Bakel, P.J.T. & Smit, A.A.M.F.R., 2003. *Actualisering van de zouttolerantie van land-en tuinbouwgewassen ten behoeve van de berekening van de zoutschade in Nederland met het RIZA-instrumentarium*. Alterra, Wageningen

- Schaap, B. e.a. 2009. *Klimaat en Landbouw Noord Nederland*. Rapportage van fase 2. Nota 629. Plant Research International. Wageningen UR
- Snijders, J.H. 1959. *Het landelijk verziltingsonderzoek na 1956*. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Rapport 7. Wageningen
- Snijders, J.H. 1960. *Het Nederlandse verziltingsvraagstuk*. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Mededeling 20. Wageningen
- Stewart, J.L. e.a. 1977. *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil*. Utah Water research Laboratory. Logan, USA
- Stuyt, L.C.P.M. 2009. Kansen voor zilte aquacultuur in Nederland. Rapport 1839 Alterra, Wageningen.
- Stuyt, L.C.P.M., P.J.I. van Bakel, H.I.L. Massop, 2011. Basis survey zout en fact finding effecten van zout. In druk. Alterra, Wageningen.
- Swart, B. 1991. *Zout en verzilting; van (on)oplosbaar probleem naar hanteerbaar verschijnsel*. Provincie Friesland
- Swart, B. 1995. *Verzilting in noord Friesland, een hanteerbaar verschijnsel!* Provincie Friesland, afd. waterhuishouding
- Velstra, Jouke, Merel Hoogmoed en Koos Groen, 2009. Leven met Zout Water. Deelrapport : Inventarisatie maatregelen omtrent interne verzilting. STOWA en Leven met Water. 28/5/2009, Definitief rapport, Projectnummer 203
- Verhoeven, B. 1953. *Over de zout- en vochthuishouding van geïnundeerde gronden*. Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen
- Weterings, S., E.A. van Essen, C. Zoete, 2008. Verzilting wordt door de agrarische sector niet als een probleem ervaren. H2O nr. 22
- Zuur, A.J. 1936. *Over de bodemkundige gesteldheid van de Wieringermeer*. Ministerie van Waterstaat
- Zuur, A.J. 1938. *Over de ontzilting van den bodem in de Wieringermeer*. Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen
- Zuur, A.J. 1952. Drainage and reclamation of lakes and of the Zuiderzee. *Soil Science* (74) 1, p. 75-89