

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 531

Verziltig in Nederland: oorzaken en perspectieven

November 2011



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2011

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

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

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

This report provides information about the causes and consequences of salinization in the Netherlands

Keywords

Salinization, Netherlands, climate change, agriculture, dairy farming

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

Herman de Boer
Simone Radersma

Titel

Verzilting in Nederland: oorzaken en perspectieven

Rapport 531

Samenvatting

Dit rapport beschrijft oorzaken en gevolgen van verzilting in Nederland.

Trefwoorden

Verzilting, Nederland, klimaatverandering, landbouw, melkveehouderij



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Rapport 531

Verziltig in Nederland: oorzaken en perspectieven

Herman de Boer
Simone Radersma

November 2011

Samenvatting

In Nederland neemt de aandacht voor verzilting toe, vooral vanwege mogelijke gevolgen voor de landbouw en natuur. Om inzicht te krijgen in de situatie voor de landbouw, in het bijzonder voor de melkveehouderij, is een literatuurstudie uitgevoerd. In deze studie is geprobeerd antwoorden te vinden op een aantal vragen, waaronder: (1) waardoor wordt verzilting veroorzaakt?; (2) is verzilting een serieus probleem voor de landbouw?; (3) zijn er regionale verschillen in oorzaken en gevolgen van verzilting?; (4) welk effect zal klimaatverandering op verzilting hebben?; en (5) hoe kan het best met de gevolgen van verzilting omgegaan worden? De ernstigste oorzaken van verzilting, die grootschalig op kunnen treden (vaak via kwel) en kunnen leiden tot hoge chloridegehalten in grond- en oppervlaktewater, zijn de aanwezigheid van fossiel (zout) zeewater in relatief ondiepe bodemlagen (o.a. in de kuststrook), zeewaterindringing langs de zee kust en zeewaterindringing via de Nieuwe Waterweg. Minder ernstige oorzaken, die meer lokaal optreden of relatief lage chloridegehalten veroorzaken, zijn o.a. verdamping, verstuiving van zeezout, landbouwactiviteit (bemesting), lokale bodemverontreiniging, opkegeling bij drinkwaterwinning en oplossing van steenzout. Verzilting is in Nederland een voortschrijdend probleem. Enerzijds is door bodemdaling (o.a. als gevolg van inpolderingen) fossiel zout grondwater grootschalig in beweging gebracht. Dit leidt tot brakke en zoute kwel in een kuststrook van 25 tot 75 km breed, maar ook verder landinwaarts. Anderzijds blijft zeewaterindringing optreden zolang de zeespiegel hoger is dan het grondwaterpeil landinwaarts. Dit proces heeft invloed op een kuststrook van momenteel 6 km en uiteindelijk waarschijnlijk 30 km breed. Klimaatveranderingen zullen naar verwachting leiden tot grotere verzilting in de zomer. Door een stijgende zeespiegel zal de zoutwaterdruk toenemen. Daarnaast zal door een (verwacht) groter neerslagtekort in de zomer het zoetwaterdebiet, nodig om zoutindringing tegen te gaan, vaker niet gehaald worden, en zal minder gebiedseigen zoet water beschikbaar zijn om de interne verzilting (zoute kwel) tegen te gaan. Verzilting is in Nederland vooral een probleem voor de grondgebonden landbouw. De gevoeligheid van landbouwgewassen kan met factor 40 verschillen. Bloembollen en snijbloemen leiden al schade bij chloridegehalten kleiner dan 200 mg/l, aardappelen en snijmaïs bij gehalten vanaf 700 tot 800 mg/l, en granen, gras, en suikerbieten bij gehalten vanaf 3800 tot 4800 mg/l. De melkveehouderij heeft relatief weinig last van verzilting. Zowel gras als koeien kunnen chloridegehalten tot 2700 mg/l goed verdragen; wel zal de teelt van snijmaïs, een belangrijk voedergewas, als eerste schade ondervinden. Behalve zoutgehalten in het water, en de gevoeligheid van gewassen, wordt het verziltingsprobleem ook bepaald door geografische en maatschappelijke factoren, waaronder de lokale mogelijkheden om verzilting te bestrijden en de aanwezigheid van tegenstrijdige belangen in de (directe) omgeving. Factoren die een rol spelen bij het voorkomen en bestrijden van verzilting, en daardoor de lokale perceptie van verzilting als probleem voor de landbouw kunnen beïnvloeden, zijn de landelijke zoetwaterverdeling, fluctuaties in verzilting (pieken) en in de zoetwateraanvoer, de aanwezigheid van zoetwatervragen met hogere prioriteit (en hun effect op de verziltingsbestrijding), en het relatieve economische belang van de landbouw in deze regio. Analyse van deze factoren geeft voor verschillende regio's in Nederland het volgende beeld van de verziltingsproblematiek voor de landbouw. In het Noorden en Noordwesten zullen landbouwers relatief weinig last hebben van onvoorspelbare verzilting. Weliswaar zijn de chloridegehalten in het oppervlaktewater vaak hoog, maar er zijn weinig andere zoetwatervragen met hogere prioriteit, nauwelijks pieken in verzilting, weinig fluctuaties in de zoetwateraanvoer en –kwaliteit, en het economische belang van de landbouw is relatief groot. Ook worden in dit gebied van oudsher al minder zoutgevoelige gewassen geteeld. In Zuid-Holland zullen landbouwers waarschijnlijk het meest last hebben van onvoorspelbare en onbestrijdbare verzilting. Hoewel chloridegehalten in het oppervlaktewater lager zijn dan in het Noorden en Zeeland, is er relatief veel kans op verziltingspieken in de zomer, door grote fluctuaties in wateraanvoer en waterkwaliteit van de grote rivieren en door zeewaterindringing via de Nieuwe Waterweg. Ook zijn er relatief veel zoetwatervragen met hogere prioriteit dan de landbouw. Tot slot komen in dit gebied van oudsher veel zoutgevoelige teelten voor, die al schade ondervinden bij een relatief kleine toename in verzilting. In Zeeland zullen landbouwers relatief weinig last hebben van een voortschrijdende verzilting, ondanks relatief hoge chloridegehalten in het oppervlaktewater, relatief veel kans op verziltingspieken in de zomer en de aanwezigheid van zoetwatervragen met hogere prioriteit dan de landbouw. Zeeland is al honderden jaren omringd door zout water. Daardoor heeft de landbouw met verzilting leren omgaan, en zoutgevoelige gewassen werden al niet of beperkt geteeld. Tenslotte heeft uitvoer van de Deltawerken eerder tot verzoeting dan tot verzilting geleid. Naast het tegengaan van verzilting kan de landbouw zich aan verzilting aanpassen door b.v. de teelt van meer zouttolerante gewassen, veredeling op zouttolerantie,

efficiënter gebruik van zoet water (door b.v. brak water te gebruiken voor beregening van meer zouttolerante gewassen), en b.v. de ontzilting van water (glastuinbouw).

Summary

Salinization receives increasing attention in the Netherlands, especially because of potential consequences for agriculture and nature. A desk study was performed to obtain insight in the situation for agriculture, especially for dairy farming, and to find answers to e.g. the following questions: (1) what causes salinization?; (2) is salinization a serious problem for Dutch agriculture?; (3) are there local differences in causes and consequences of salinization?; (4) what will be the effect of climate change?; and (5) how can agriculture respond to salinization? The most serious causes of salinization in the Netherlands, occurring at large scale and resulting (mostly by seepage) in potentially high chloride concentrations in ground- and surface water, are the presence of fossil (saline) seawater in relatively shallow soil layers (e.g. along the coast), seawater intrusion along the coast, and seawater intrusion into the "Nieuwe Waterweg" (canal with open connection to the North Sea). Less serious causes, occurring more locally, or resulting in relatively low chloride concentrations, are e.g. (evapo)transpiration, dispersion of sea salt, agricultural activity (fertilization), local soil pollution, upconing of salt water during drinking water production, and the dissolving of rock salt (halite). In the Netherlands, salinization is progressive. On the one hand, fossil (saline) groundwater is on the move at large scale, as a result of lowering soil levels (e.g. due to land reclamations). This results in brackish and saline seepage in a coastal area of 25 to 75 km wide, but also inland. On the other hand, seawater intrusion will proceed as long as seawater level is higher than groundwater level inland. This process affects a coastal strip of currently 6 km and potentially 30 km wide. Climate change will likely increase salinization during summer. The anticipated increase in sea level will increase the salt water pressure along the coast. The anticipated higher precipitation deficits in summer will increase the risk that the demand for fresh water, necessary to prevent salinization, will not be met. In the Netherlands, salinization is mainly a problem for land-based agriculture. The sensitivity of crops to saline conditions can vary with factor 40. Crops such as flowerbulbs and cut flowers already sustain damage at chloride concentrations below 200 mg/l, potatoes and silage maize at concentrations from 700 to 800 mg/l upwards, and grains, grass, and sugar beets at concentrations from 3600 to 4800 mg/l upwards. Salinization will have a relatively low impact on Dutch dairy farming. Both grassland and dairy cows easily tolerate chloride concentrations up to 2700 mg/l. However, the cultivation of silage maize, an important fodder crop, will already sustain damage at chloride concentrations from 800 mg/l upwards. Apart from chloride concentrations in the water, and the sensitivity of crops or animals, the problem of salinization is also determined by geographical and social factors. Factors that play a role in preventing and counteracting salinization, and therefore can influence the local perception of salinization as a problem for agriculture, are the national freshwater distribution, fluctuations in salinization (peaks) and in the fresh water supply (quality and quantity), other fresh water demands with a higher priority than agriculture (and their effect on the counteracting of salinization), and the regional economic importance of agriculture. Analysis of these factors gives the following assessments of salinization as a problem for different regions of the Netherlands. In the North and Northwest, salinization will proceed, but its impact on agriculture will be relatively low, due to its predictability. Though chloride concentrations in the surface water are often high, the freshwater demand for activities with higher priority than agriculture is low, there are hardly any peaks in salinization, fluctuations in the freshwater supply and quality are relatively small, and the economic importance of agriculture is relatively high. Also, commonly cultivated crops in this area are relatively tolerant to saline conditions. In the province of Zuid-Holland, agriculture will likely be prone to damage, because salinization is rather unpredictable and difficult to counteract. Although chloride concentrations in surface water are lower than in the North and Northwest, and in the province of Zeeland, there is a high risk of salinization peaks in summer, due to larger fluctuations in the amount and quality of fresh water supplied by the main rivers, and also due to seawater intrusion into the Nieuwe Waterweg. Also, the freshwater demand for activities with higher priority than agriculture is relatively high. Finally, crops historically grown in this area are sensitive to salinization, and will already sustain damage at relatively small increases in salinization. In the province of Zeeland, salinization will likely have a relatively low impact on agriculture, despite relatively high chloride levels in surface water, a relatively high risk of salinization peaks in summer, and a relatively large fresh water demand from activities with higher priority than agriculture. Zeeland has been surrounded by salt water for hundreds of years. Therefore, agriculture has adapted to salinization, and salt-sensitive crops are scarcely cultivated. Finally, the implementation of the Delta Works has rather counteracted salinization than stimulated it. Agriculture can adapt to salinization by e.g. the cultivation of more salt-tolerant crops, breeding for salt-tolerance, a more efficient use of fresh water (e.g. by using brackish water for irrigation of the more salt-tolerant crops), and e.g. desalination of salt water (in greenhouse horticulture).

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Fysische aspecten van verzilting	3
2.1	Zout- en zoetwatervoorraden in Nederland	3
2.2	Oorzaken van verzilting.....	3
2.2.1	Verdamping.....	3
2.2.2	Verstuiving van zeezout.....	4
2.2.3	Landbouwkundige activiteiten.....	4
2.2.4	Lokale bodemverontreiniging.....	4
2.2.5	Infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen.....	4
2.2.6	Sedimentatie	4
2.2.7	(Historische) overstromingen door de zee.....	4
2.2.8	Indringing van zeewater langs de kust	5
2.2.9	Indringing van zeewater via een open riviermonding	5
2.2.10	Menging van zoet met zout water.....	5
2.2.11	Opkegeling bij drinkwaterwinning	5
2.2.12	Oplossing van steenzout	6
2.3	Ruimtelijke aspecten en snelheid van verzilting	6
2.3.1	Indringing van Noordzeewater: variatie in snelheid en ruimte.....	6
2.3.2	Mobilisatie van diep marien grondwater	7
2.3.3	Zoutindringing vanuit zee via open riviermonding	7
2.4	Effecten van klimaatverandering en bodemdaling op verzilting.....	8
3	Verzilting en landgebruik	9
3.1	Sectoren met last van verzilting	9
3.2	Regionale verschillen in potentiële verziltingsschade.....	10
4	Verzilting: maatschappelijke perspectieven	10
4.1	Water volgt functie: bestrijding van verzilting.....	10
4.2	Bestrijding van verzilting: regionale verschillen	11
4.2.1	Landelijke zoetwaterverdeling	12
4.2.2	Fluctuaties in verzilting en zoetwateraanvoer.....	12
4.2.3	Aanwezigheid van zoetwater vragen met hogere prioriteit dan de landbouw	13
4.2.4	Het relatieve economische belang van landbouw	14
4.3	Functie volgt water: adaptatie aan verzilting.....	15
5	Conclusies	17

Literatuur

1 Inleiding

De laatste jaren komt er steeds meer aandacht voor verzilting in Nederland, in het bijzonder ook voor het effect van verzilting op de landbouw. Onduidelijk is echter in welke mate verzilting momenteel optreedt en hoe groot de schade daarvan is. Daarnaast is onduidelijk hoe verzilting zich in de toekomst gaat ontwikkelen, mede ook in samenhang met klimaatveranderingen. Om meer inzicht te krijgen in dit onderwerp is een literatuurstudie uitgevoerd. Met deze studie is geprobeerd antwoorden te vinden op een aantal vragen, waaronder:

1. Waardoor wordt verzilting veroorzaakt en hoe snel gaat het?
2. Is verzilting een serieus probleem in Nederland en waaruit valt dat af te leiden?
3. Het lijkt erop dat verzilting in Zuidwest-Nederland meer aandacht opeist dan in Noord-Nederland, gezien het aantal lopende projecten. Hoe komt dat?
4. Welke verschillen zijn er in oorzaken en gevolgen van verzilting voor verschillende regio's in Nederland?
5. Is of wordt verzilting een probleem voor de Nederlandse melkveehouderij?
6. Hoe kan verzilting bestreden worden en hoe kan het best met de gevolgen van verzilting omgegaan worden?
7. Hoe zal verzilting zich in de toekomst gaan ontwikkelen en welk effect gaan klimaatveranderingen hierop hebben?

2 Fysische aspecten van verzilting

2.1 Zout- en zoetwatervoorraden in Nederland

Zout water is de oervorm van water op aarde. Zoet water is feitelijk een sediment, dat neerslaat na verdamping van zout water. Diep grondwater is nog steeds in de oervorm aanwezig en daardoor zout. De overgang van zoet naar zout grondwater, het zoet/brak grensvlak, ligt in Nederland op variabele diepte. In een brede strook land van 25 tot 75 km breedte langs de Nederlandse Westkust en Noordkust, in Twente en de Achterhoek, en in Zuid-Limburg, ligt deze overgang op minder dan 50 m diepte (Stuyfzand, 2007). In Zuidoost Friesland en onder de Veluwe ligt de overgang op 200 tot 400 m diepte en in Zuid-Brabant en Midden-Limburg op 200 tot meer dan 500 m diepte. In de rest van Nederland ligt de overgang tussen zoet en zout grondwater tussen de 50 en 200 m diepte.

De termen zoet, brak en zout zijn gerelateerd aan het chloridegehalte (Cl^-) van water. In Tabel 1 wordt een classificatie gegeven van de termen zoet, brak en zout. Deze classificatie is niet eenduidig; andere classificaties geven meestal hogere grenzen (Ter Voorde en Velstra, 2009). De landelijke streefwaarde voor het chloridegehalte van oppervlaktewater is 100 mg/l; de MTR-waarde (maximaal toelaatbaar risico) is 200 mg/l (Stuurman et al., 2006).

Tabel 1 Waterclassificatie met bijbehorende chloridegehalten (Stuyfzand, 2007)

Waterclassificatie	Chloridegehalte (mg Cl^- /l)
Zoet	< 150
Zoet-brak	150 - 300
Brak	300 – 1.000
Brak-zout	1.000 – 10.000
Zout	10.000 – 20.000
Hyperzout / brijnzout	> 20.000

2.2 Oorzaken van verzilting

In Nederland kan verzilting door een aantal processen veroorzaakt worden (Stuyfzand, 2007). Deze oorzaken worden eerst opgesomd en daarna afzonderlijk beschreven. De oorzaken zijn:

- Verdamping;
- Verstuiving van zeezout;
- Landbouwkundige activiteiten;
- Lokale bodemverontreiniging;
- Infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen;
- Sedimentatie;
- (Historische) overstromingen door de zee;
- Indringing van zeewater langs de kust;
- Indringing van zeewater via een open riviermonding;
- Menging van zoet met zout water;
- Opkegeling bij drinkwaterwinning;
- Oplossing van steenzout.

2.2.1 Verdamping

Water op aarde bevat opgeloste ionen. Bij verdamping van het water neemt de concentratie van deze ionen toe en verzilt het achterblijvende water. Hoe groter de verdamping, des te groter de verzilting. Naast directe verdamping van water levert vooral ook de verdamping door planten een grote bijdrage aan de totale verdamping. Onbegroeid terrein heeft daardoor de laagst mogelijke verdamping, met concentratiefactor 1.3 (Stuyfzand, 2007). Dennenbos heeft echter, vanwege de begroeiing, een veel hogere verdamping, met concentratiefactor 5.8. De concentratiefactor is gelijk aan de bruto neerslag gedeeld door de natuurlijke grondwateraanvulling. Vergeleken met de hieronder beschreven oorzaken

draagt verdamping slechts beperkt bij aan verzilting: het chloridegehalte van grondwater blijft lager dan 200 mg/l (Stuyfzand, 2007).

2.2.2 Verstuiving van zeezout

Na het opdrogen van zeewater kan het aanwezige zout verstuiven. Eerst wordt het door de wind landinwaarts geblazen, daarna ingevangen door vegetatie en tenslotte komt het terecht in het grondwater onder die vegetatie. Deze oorzaak van verzilting speelt alleen een rol in een smalle strook land (enkele km) vlak langs de kust. Het chloridegehalte in grondwater als gevolg van deze oorzaak varieert plaatselijk van 30 tot 600 mg/l (Stuyfzand, 2007).

2.2.3 Landbouwkundige activiteiten

Landbouwactiviteit kan verzilting veroorzaken door een toename van de verdamping en door de toediening van zouten voor bemesting. Een hogere verdamping kan het gevolg zijn van beregening en irrigatie en het verhogen van het grondwaterpeil ten behoeve van capillaire waterlevering. Toediening van zouten vindt plaats door bemesting, vooral met kaliumchloridezouten en dierlijke mest (Stuyfzand, 2007). Sinds 1950 neemt het gebruik van kaliumchloridezouten af, maar is het gebruik van dierlijke mest relatief sterker toegenomen (Stuurman et al., 2006). Het chloridegehalte in grondwater als gevolg van landbouwactiviteiten varieert plaatselijk van 20 tot 200 mg/l (Stuyfzand, 2007).

2.2.4 Lokale bodemverontreiniging

Lokaal kan verzilting optreden als gevolg van bodemverontreinigingen. Oorzaken zijn bijvoorbeeld vuilstort, gebruik van wegeenzout, lekkende riolering, gebruik van onvoldoende ontzilt marien ophoozand, of te rijk bemeste (volks)tuinen. Verzilting door bodemverontreiniging komt vooral voor in stedelijk gebied. Het chloridegehalte in grondwater ten gevolge hiervan varieert plaatselijk van 50 tot 500 mg/l (Stuyfzand, 2007).

2.2.5 Infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen

Rioolwater en industriële lozingen in rivieren in deze eeuw of eerder hebben geleid tot infiltratie van zouten in waterbodems en daarmee tot lokale milde verzilting van grondwater in de omringende watervoerende pakketten. Een watervoerend pakket is een bodemlaag die water doorvoert en die aan boven- en onderzijde begrensd wordt door een ondoorlatende laag of door een vrije waterspiegel. Het chloridegehalte in grondwater als gevolg van infiltratie varieert plaatselijk van 50 tot 300 mg/l (Stuyfzand, 2007). De huidige regelgeving is dusdanig aangescherpt dat de kans op verdere verzilting via deze route klein wordt geacht.

2.2.6 Sedimentatie

De historische afzetting van mariene sedimenten, inclusief conservering van het oorspronkelijke poriewater, kan een bron zijn van zout grondwater. In Nederland komt dit zoute water vooral voor in diepe lagen zeer ondoorlatende klei (100 tot 200 m diep), met lokaal minder diepe ophopingen. Het chloridegehalte in grondwater als gevolg van deze oorzaak varieert plaatselijk van 2.000 tot 15.000 mg/l (Stuyfzand, 2007).

2.2.7 (Historische) overstromingen door de zee

Overstromingen door de Noordzee, en insluiting van dit zeewater door mariene sedimenten, kunnen leiden tot brak en zout grondwater. Dergelijke overstromingen tijdens het Tertiair en Kwartair over een groot deel van Noord- en West-Nederland hebben waarschijnlijk het grootste aandeel geleverd aan de aanwezigheid van brak en zout water in de bovenste kilometer van actief circulerend grondwater in dit

gebied. Het chloridegehalte in grondwater als gevolg van deze oorzaak varieert plaatselijk van 2.000 tot 15.000 mg/l (Stuyfzand, 2007).

2.2.8 Indringing van zeewater langs de kust

Indringing van zeewater langs de kust is het gevolg van drooglegging, inklinking, verbeterde afwatering, grondwaterwinning en laterale waterdichtheidsgradiënten. De huidige positie van het indringingsfront bevindt zich op 1,5 tot 6 km landinwaarts (Stuyfzand, 2007). Dit front vertegenwoordigt circa 1.000 jaar oud Noordzeewater en breidt zich uit met een snelheid van 5 tot 30 meter per jaar. De potentiële indringing is maximaal 30 km landinwaarts. Dit betekent dat de komende 800 tot 5.700 jaar verzilting door indringing van zeewater voor een groter wordend gebied een probleem gaat vormen. De snelheid van indringing is echter dusdanig laag, dat er voldoende tijd is voor aanpassing. De jaarlijkse indringingssnelheid is afhankelijk van de mate van bodemdaling, de diepte van het grondwateroppervlak, de hydraulische weerstand van de deklaag en het doorlaatvermogen van watervoerende pakketten (Oude Essink, 2007). Het chloridegehalte in grondwater als gevolg van indringing van zeewater varieert plaatselijk van 14.000 tot 18.000 mg/l (Stuyfzand, 2007).

2.2.9 Indringing van zeewater via een open riviermonding

Alleen de Nieuwe Waterweg en de Westerschelde vormen nog een open verbinding tussen het oppervlaktewater in Nederland en de Noordzee. Van de Westerschelde ligt alleen het zoutwatergedeelte in Nederland; daardoor is in het Nederlandse deel van de Westerschelde geen sprake van indringing van zout zeewater in zoet rivierwater. In de Nieuwe Waterweg gebeurt dit wel. De binnendringende 'tong' van zout water gaat bij een gemiddeld rivierdebiet (2.200 m³/s) en gemiddeld tij niet verder dan de Waalhaven in Rotterdam (Jacobs, 2007). Bij extreme droogte (rivierdebiet < 1.000 m³/s) kan de zouttong binnendringen tot aan de monding van de Hollandse IJssel. De Hollandse IJssel, het Spui en het Haringvliet raken dan verzilt. Het chloridegehalte in de Nieuwe Waterweg als gevolg van deze oorzaak is aan de oppervlakte gemiddeld rond de 2.000 mg/l. De inlaat tot de Hollandse IJssel wordt afgesloten als het water meer dan 250 mg Cl⁻/l bevat. Zeewater kan daarnaast ook (in kleinere hoeveelheden) binnendringen via sluizen die in verbinding staan met zout water, zoals de sluizen van het Noordzeekanaal (IJmuiden) en het Eemskanaal (Delfzijl). Recent is ook sprake van het binnenlaten van zout zeewater in het Haringvliet (bij vloed), als consequentie van het 'Kierbesluit'.

2.2.10 Menging van zoet met zout water

Door de menging met zout water verandert zoet water in brak water. Menging gebeurt door diffusie (ionenbeweging van hoog naar laag chemisch potentiaal in stilstaand water) of dispersie (menging door waterbeweging). Menging door dispersie is sneller dan menging door diffusie. Longitudinale dispersie (bij verdringing van het ene waterlichaam door het andere) is 10 tot 1.000 maal sneller dan transversale dispersie (bij parallelle stroming van twee waterlichamen) (Stuyfzand, 2007). Het chloridegehalte in grondwater als gevolg van menging varieert plaatselijk van 100 tot 100.000 mg/l (Stuyfzand, 2007). Menging vindt bijvoorbeeld plaats op grote diepte, maar ook in en in de omgeving van ondiepe kleilagen, zoals in het IJsselmeergebied.

2.2.11 Opkegeling bij drinkwaterwinning

Op punten waar zoet drinkwater onttrokken wordt uit ondiepe grondwaterlagen, komt de grens met het diepere zoute grondwater mee omhoog. Dit heet opkegeling. Doordat de zoute waterkegel zich door diffusie mengt met het omringende zoete water, verzilt het grondwater in het gebied rondom de kegel. Deze verzilting versnelt als na de vorming van een zoutwaterkegel de wateronttrekking stopt; dan stort de kegel in en vermengt met het omringende zoete grondwater (Stuurman et al., 2006). Gezien de chloridegehalten, behorend bij de verschillende waterklassen (Tabel 1), is er in verhouding weinig zout water nodig om een groot volume zoet water zilt of brak te maken.

2.2.12 Oplossing van steenzout

Steenzout bestaat voornamelijk uit haliet (NaCl), in Nederland voorkomend in de Zechsteinformatie uit het Perm, liggend op 2 tot 3 km diepte. Daar waar plaatselijk zoutdiapieren voorkomen (zoals in Drenthe) ligt de top van het steenzout slechts 150 tot 400 meter beneden het maaiveld. Oplossing van haliet uit het Perm is waarschijnlijk de belangrijkste bron van zout grondwater op grote diepte (meer dan 1 km). Het chloridegehalte in grondwater als gevolg van deze oorzaak varieert van 2.000 tot 200.000 mg/l (Stuyfzand, 2007).

2.3 Ruimtelijke aspecten en snelheid van verzilting

Verzilting van het grondwater aan de oppervlakte en/of op geringe diepte (tot 500 m) wordt meestal veroorzaakt door recente gebeurtenissen. In het zilte grondwatergebied van (Holoceen) West- en Noord-Nederland zijn de voornaamste oorzaken van verzilting de indringing van Noordzeewater, mobilisatie van diep marien grondwater na inpolderingen, verstuiving van zeezout en infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen (Stuyfzand, 2007). In de gebieden met geringe verzilting (kleiner dan 300 mg Cl⁻/l) in (Pleistoceen) Zuid- en Oost-Nederland wordt verzilting vooral veroorzaakt door landbouwactiviteiten, verdamping en lokale verontreiniging.

Verzilting in diepere lagen (tussen 500 en 1000 m diepte) heeft meestal historische oorzaken, zoals menging, mariene overstromingen, sedimentatie, en oplossing van steenzout (Stuyfzand, 2007). Op grotere diepte neemt het aandeel van oplossing van steenzout wellicht fors toe.

2.3.1 Indringing van Noordzeewater: variatie in snelheid en ruimte

Verzilting in het Nederlandse kustgebied als gevolg van indringing van Noordzeewater is een nauwelijks omkeerbaar proces dat zich nog niet in een evenwichtstoestand bevindt. Factoren die de intensiteit en snelheid van deze verzilting bepalen zijn (Oude Essink, 2007):

- Bodem en grondwaterpeil: hoe lager het bodem- en grondwateroppervlak, hoe groter het hoogteverschil met de zeespiegel en hoe groter de verzilting. Het bodemoppervlak in West-Nederland is de laatste duizend jaar gedaald van gemiddeld + 2.5 m NAP tot – 2.5 m NAP;
- Zeewaterpeil: hoe hoger het zeewaterpeil, hoe groter het hoogteverschil met het bodem- en grondwaterpeil en hoe groter de verzilting;
- Doorlatendheid en dikte van het watervoerende pakket: hoe groter het doorlaatvermogen van watervoerende pakketten, hoe groter de verzilting;
- Hydraulische weerstand van de deklaag (bodemlaag bovenop de watervoerende laag): hoe kleiner de hydraulische weerstand van de deklaag, hoe groter de verzilting;
- Afstand tot de zee: hoe korter de afstand tot zee, hoe groter de verzilting;
- Tijdsduur: Hoe ouder de polder, hoe langer de zeewaterindringing al plaatsvindt en hoe verder deze is voortgeschreden.

Op het zeewaterpeil na kunnen deze factoren lokaal sterk verschillen, waardoor ook de verzilting op korte afstanden sterk kan verschillen. De lokale verschillen worden bovendien nog versterkt door andere hydrologische processen dan zeewaterindringing, zoals:

- Afspoeling van zoet regenwater of verdringing door zoete grondwaterlenzen uit hoger gelegen gebieden naar aangrenzende lage polders, zoals vanuit de duinen en vanaf de Veluwe;
- Verschillen in hoogte van bodem- en waterpeil tussen polders. Dit leidt tot meer grondwaterstroming tussen polders en is een bron van zoute kwel in diepe polders (Stuurman et al., 2006; Oude Essink, 2007).

De snelheid van verzilting kan dus ruimtelijk sterk verschillen. Stuurman et al. (2006) berekenen een voortschrijdende zoutwaterindringing in de Haarlemmermeer van 1.5 km gedurende het 150-jarige bestaan. Ter Voorde en Velstra (2009) maken aan de hand van modelberekeningen een schatting dat extra verzilting als gevolg van een stijgende zeespiegel niet verder landinwaarts zal reiken dan 7 km.

2.3.2 Mobilisatie van diep marien grondwater

Het oude mariene grondwater onder West-Nederland was vrijwel immobiel. Door inpolderingen is vanaf de 12^e eeuw dit diepe mariene grondwater grootschalig in beweging gekomen. Dit proces loopt al eeuwen en is nog lang niet uitgewerkt. Door inpolderingen ontstaat kunstmatig reliëf. Regenwater dringt hoger gelegen delen binnen en verdringt het zoute grondwater naar de zijkanen, waar het als zoute kwel omhoog komt, tot in de wortelzone of in het oppervlaktewater van die lage gebieden. In het Hoogheemraadschap Rijnland (Zuid-Holland) is 60% van de verzilting toe te schrijven aan dit proces (Maas, 2007). De fysische factoren die bij dit proces de ruimtelijke variatie bepalen zijn waarschijnlijk vergelijkbaar met die voor indringing van Noordzeewater (zie voorgaande paragraaf 2.3.1), waarbij "zeewaterpeil" vervangen moet worden door "marien grondwaterpeil".

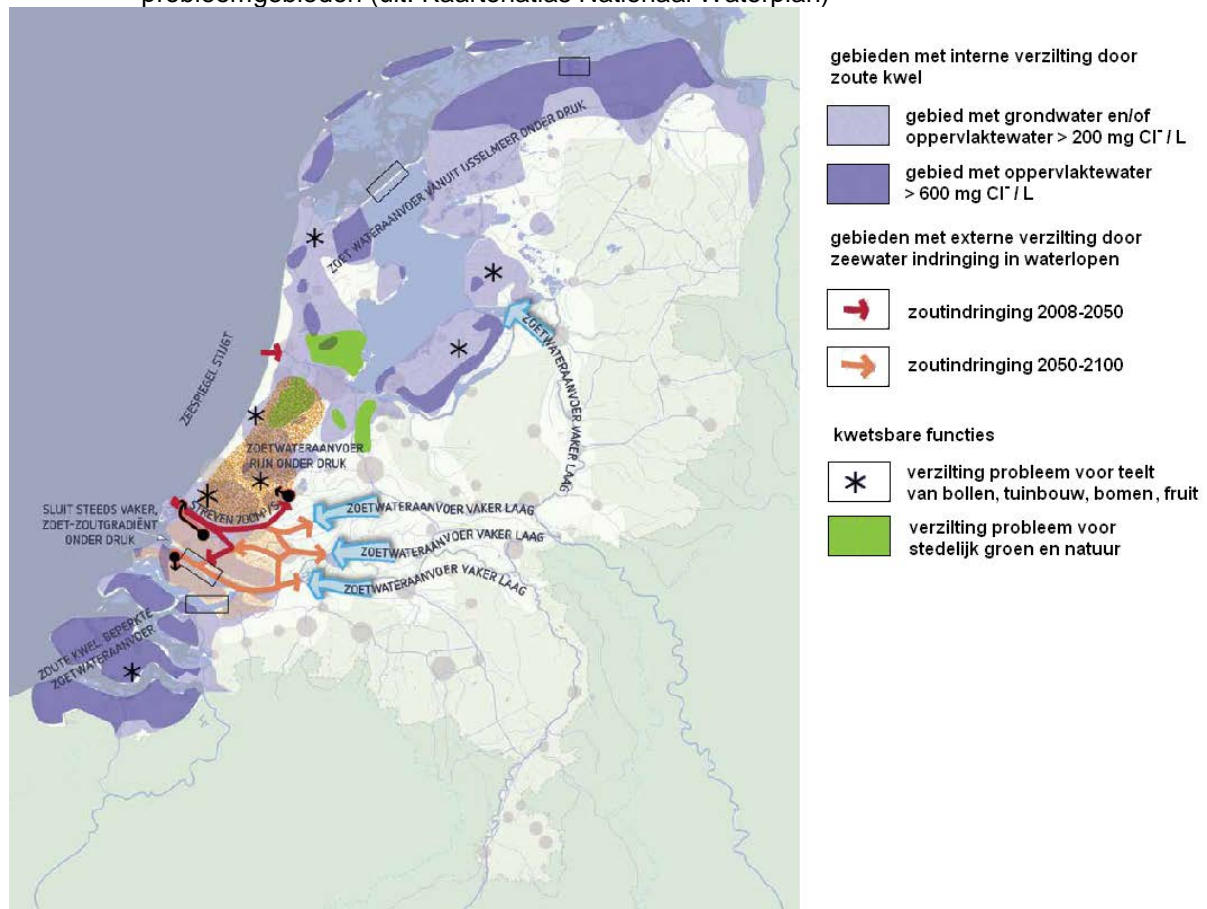
2.3.3 Zoutindringing vanuit zee via open riviermonding

Zoutindringing via open riviermondingen is afhankelijk van:

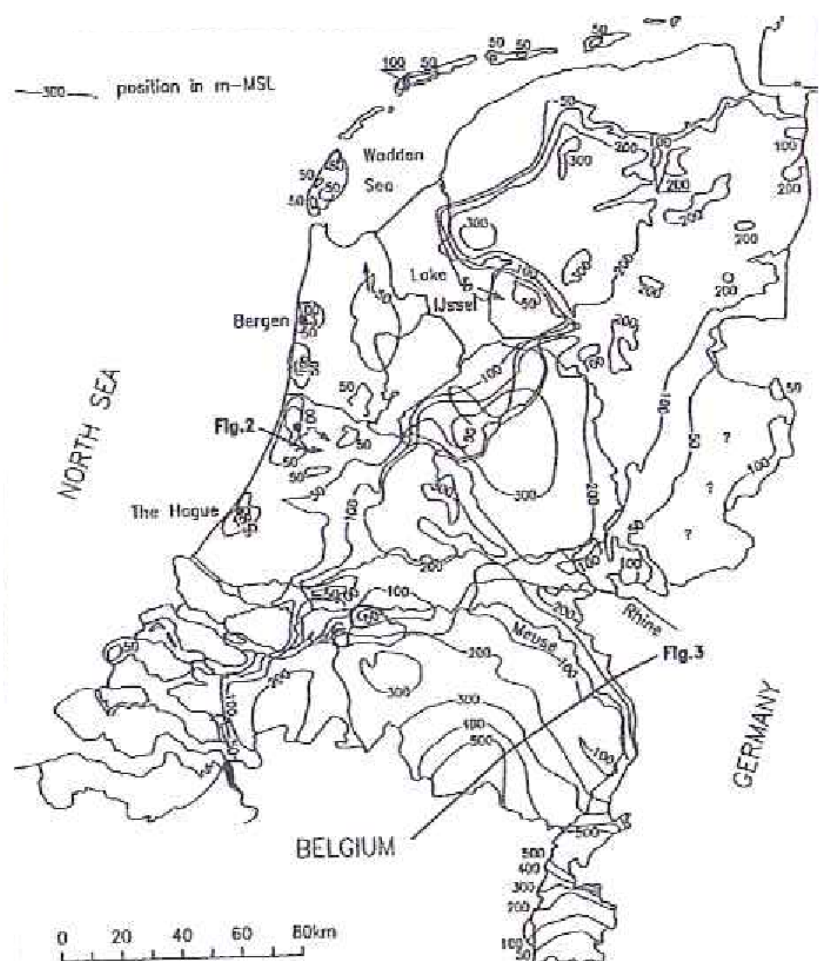
- Rivierafvoer: hoe groter de rivierafvoer, hoe kleiner de zoutwaterindringing via die rivier;
- Zeewaterpeil: hoe hoger het zeewaterpeil, hoe verder de zoutwaterindringing via de rivier;
- Bodempeil: hoe lager het bodemoppervlak, hoe groter de indringing;
- Windrichting: storm uit de hoek waar de riviermonding heenwijst vergroot de zoutwaterindringing.

Variatie in de bovenstaande factoren veroorzaakt ruimtelijke variatie in de intensiteit van verzilting. Zoutindringing vanuit zee via open riviermondingen geeft gelaagdheid, met zout water onderin en zoet(er) water bovenin de riviermonding. De zoutindringing kan beperkt worden door trappen of drempels in de rivierbodem (Jacobs, 2007), hoewel deze oplossing de scheepvaart kan belemmeren.

Figuur 1. Chloridegehalten van oppervlaktewater: huidige situatie, verwachte zoutindringing en probleemgebieden (uit: Kaartenatlas Nationaal Waterplan)



Figuur 2 Chloridegehalten in het **grondwater** (uit: Stuyfzand, 2007)



2.4 Effecten van klimaatverandering en bodemdaling op verzilting

De verwachte klimaatveranderingen, of directe gevolgen van klimaatveranderingen, zijn (Jacobs, 2007):

- Stijging van de zeespiegel (door smeltende ijskappen);
- Toename van de hoeveelheid neerslag in zomer en winter, met ook nog toename van de evapotranspiratie in de zomer, waardoor in de zomer het neerslagtekort toeneemt;
- Grotere waterafvoer door rivieren in winter en voorjaar en verlaging in zomer en herfst.

Bij koppeling van deze klimaatveranderingen aan de factoren die verzilting beïnvloeden (paragraaf 2.3) wordt het volgende duidelijk:

- Stijging van de zeespiegel zal de verzilting door zeewaterindringing versterken;
- Stijging van de zeespiegel zal verzilting door zoutindringing via de Nieuwe Waterweg versterken;
- Verhoging van de waterafvoer door rivieren in de winter en het voorjaar kan mogelijke verzilting door zoutindringing via de Nieuwe Waterweg (b.v. tijdens winterstormen) verminderen;
- Verlaging van de waterafvoer in de zomer en herfst zal op dat moment de verzilting door zoutindringing via de Nieuwe Waterweg versterken;
- Toename van het neerslagoverschot in de winter zal op dat moment de verzilting verminderen;
- Toename van het neerslagtekort in de zomer zal op dat moment de verzilting versterken.

Volgens Stuurman et al. (2006) kan klimaatverandering en bodemdaling leiden tot een verdubbeling van de zoutbelasting van het oppervlaktewater in delen van Noord-Nederland. Naast abrupte bodemdaling door inpoldering vindt bodemdaling in West- en Noord-Nederland ook continu plaats, als gevolg van veenafbraak, het inklinken van klei, en van gas- en zoutwinning. Bij koppeling van

bodemdaling aan de factoren die verzilting beïnvloeden (paragraaf 2.3) wordt duidelijk dat bodemdaling de verzilting versterkt door (grotere) indringing van zeewater en de mobilisatie van diep marien grondwater.

3 Verzilting en landgebruik

3.1 Sectoren met last van verzilting

De economisch belangrijke sectoren die de meeste last krijgen van verzilting zijn de industrie, drinkwaterbedrijven, elektriciteit(opwekkings)bedrijven en de landbouw. Deze sectoren stellen bepaalde eisen wat betreft de hoeveelheid en kwaliteit van water (Van Cleef en Laro, 2008). Naast de economische belangrijke sectoren stelt ook de natuur eisen aan de hoeveelheid en kwaliteit van water. De eerste drie sectoren zijn direct of indirect vooral afhankelijk van oppervlaktewater. Landbouw en natuur gebruiken daarnaast ook neerslag. Voor de natuur kan verzilting naast negatieve gevolgen ook positieve gevolgen hebben, mits het zoutniveau stabiel is. De meeste natuurtypen, vooral bosdoeltypen, vereisen echter zoet water (Ter Voorde en Velstra, 2009).

Gewassen en teelten

Binnen de landbouw zijn de teelt van bloembollen en snijbloemen het gevoeligst voor verzilting (Roest et al., 2003; van Dam et al., 2007). Al bij een chloridegehalte (in bodemvocht) lager dan 200 mg Cl⁻/l kan gewasschade optreden. De glastuinbouw (groenten), vollegrondsgroente-, fruit- en boomteelt, lijdt schade bij chloridegehalten vanaf 400 tot 600 mg Cl⁻/l; de teelt van de akkerbouwgewassen aardappelen en maïs bij chloridegehalten vanaf 700 tot 800 mg Cl⁻/l. Grassen en de akkerbouwgewassen granen, suikerbieten, en vooral koolzaad, zijn de minst zoutgevoelige gewassen, met schadedrempels van respectievelijk 3600, 4850, 4850 en 8700 mg Cl⁻/l. Zoutschadedrempels zijn met veel onzekerheden omgeven en kunnen daarom niet als absoluut gebruikt worden. Zo is de zoutschadedrempel voor gietwater een factor 2 tot 4 lager dan voor bodemvocht (Roest et al., 2003; van Dam et al., 2007), o.a. omdat zout water dan ook op de bladeren terecht komt. Schade bij variërende zoutgehalten kan groter zijn dan bij continue zoutgehalten (de weergegeven zoutschadedrempels zijn meestal op basis van continue zoutgehalten). Verder is de zouttolerantie van gewassen lager bij hogere transpiratie, een slechtere bodembeluchting en een onvoldoende beschikbaarheid van andere ionen (zoals Ca en K) (Roest et al., 2003; van Dam et al., 2007).

De landbouwsectoren verschillen in de mate waarin ze aangepast kunnen worden aan verzilting. Glastuinbouw is gevoelig maar heeft zich aangepast aan verzilting, of is redelijk aanpasbaar, door bijvoorbeeld het circuleren van zoet water en het gebruik van omgekeerde osmose. Niet eenvoudig aan te passen zijn verziltingsgevoelige akkerbouwgewassen (aardappel en maïs), het grootste deel van de vollegrondstuinbouw (vooral bloembollen, groente) en de boom- en fruitteelt (Van Cleef en Laro, 2008).

Vee

In veel intensieve veehouderijsystemen krijgen de dieren leidingwater te drinken. Alleen in de grondgebonden veehouderij drinken dieren (deels) oppervlaktewater. Het gaat dan voornamelijk om melkvee, vleesrundvee en schapen. Een zoutgehalte van 3000 mg/l (Tabel 2) is zelfs voor de gevoeligste categorie melkkoeien (koeien in de vroege lactatie) drinkbaar (NRC, 2001). Bij zoutgehalten hoger dan 3000 mg/l neemt de melkproductie af. Bij meer dan 7000 mg/l is het water te zout voor het drinken van rundvee en moet een alternatieve drinkwatervoorziening geregeld worden. Alleen aangepaste diersoorten, zoals schapen op Texel, tolereren hogere zoutgehalten in drinkwater (Van Leeuwen, 1970). Het negatieve effect van zout drinkwater kan versterkt worden door hittestress en een laag energieniveau in het rantsoen. Zout in ruwvoer en krachtvoer heeft verder een veel kleiner effect op de zout- en drinkwateropname dan zout in het drinkwater zelf.

Tabel 2 Zoutschadedrempels in drinkwater van (melk)koeien

Totaal opgelost zout (mg/l)	Cl-gehalte (mg Cl ⁻ /l)*	Opmerkingen
< 1.000	< 540	Veilig, geen gezondheidsproblemen voorzien
1.000 – 2.999	540 – 1.620	In het algemeen veilig, mogelijk tijdelijk milde diarree bij dieren niet gewend aan dit water
3.000 – 4.999	1.620 – 2.700	Water kan in eerste instantie geweigerd worden, kan tijdelijk diarree veroorzaken. Dierlijke productie kan suboptimaal zijn
5.000 – 6.999	2.700 – 3.780	Water niet aanbieden aan zwangere of lacterende koeien. Water bruikbaar als maximale productie niet noodzakelijk is
> 7.000	> 3.780	Water niet aanbieden aan koeien, leidt tot gezondheidsproblemen en/of lage productie

Bron: NRC (2001)

*Cl-gehalte berekend door vermenigvuldiging zoutgehalte met 0,54

3.2 Regionale verschillen in potentiële verziltingsschade

Een vergelijking van de niveaus van verzilting (paragraaf 2.2) met de gevoeligheid van gewassen en vee leidt tot de volgende constatering:

- Verdamping en landbouwkundige activiteiten (zoals mesttoediening) leiden in Nederland tot chloridegehalten van maximaal 200 mg Cl⁻/l. Deze factoren veroorzaken daarom alleen schade bij de meest zoutgevoelige gewassen, zoals bloembollen en snijbloemen. Dit kan in heel Nederland voorkomen;
- Indringing van zout water via open riviermondingen kan in Nederland tijdelijk voorkomen in Zuid-Holland door infiltratie langs de Nieuwe Waterweg en de Hollandse IJssel. Het chloridegehalte is dan maximaal 250 mg/l in het oppervlaktewater (Delsman en Prinsen, 2008). Op het land kan dit hoger zijn, door een combinatie van verzilting met verdamping (neerslagtekort in de zomer). Deze factoren kunnen schade veroorzaken bij de meest zoutgevoelige gewassen;
- Infiltratie van (vervuild) oppervlaktewater, verstuing van zeezout in de kuststrook, en lokale bodemverontreinigingen (zoals door lekkende riolering of vuilstort), kunnen maximaal leiden tot chloridegehalten van 300 tot 600 mg Cl⁻/l. Deze factoren kunnen daarmee zoutschade veroorzaken bij de teelt van de meest zoutgevoelige gewassen, in de glastuinbouw (groenten), vollegrondsgroente-, de fruit- en de boomteelt;
- Indringing van zeewater langs de kust en mobilisatie van fossiel marien zeewater geeft chloridegehalten tussen de 2.000 en 18.000 mg Cl⁻/l. Deze factoren veroorzaken zowel schade bij de gevoelige gewassen als ook bij de minst gevoelige gewassen. Bij gebruik als drinkwater kan al snel sprake zijn van een daling in melkproductie van hoogproductief melkvee (> 1.620 mg Cl⁻/l) (Tabel 2) of ongeschiktheid voor drenking van alle rundvee (> 3.780 mg Cl⁻/l). Indringing van zeewater komt voor in de kuststrook in West- en Noord-Nederland tot momenteel maximaal 6 km landinwaarts. Mobilisatie en menging van fossiel marien zeewater vindt plaats langs de West- en Noordkust van Nederland over een zone van 25 tot 75 km, waarbij de verzilting per locatie verschillend kan zijn (paragraaf 2.3);
- Oplossing van steenzout geeft chloridegehalten tussen de 2.000 en 200.000 mg Cl⁻/l. Wanneer de steenzoutlagen relatief aan de oppervlakte liggen, kan door menging met bovenliggend zoet water het chloridegehalte te hoog zijn voor de meest gevoelige gewassen. De steenzouten in Twente en de Achterhoek liggen op 400 m diepte. Verzilting van (ondiep) grond- en oppervlaktewater door deze factor wordt (nog) nauwelijks waargenomen (Stuyfzand, 2007).

4 Verzilting: maatschappelijke perspectieven

4.1 Water volgt functie: bestrijding van verzilting

Nederland heeft een lange geschiedenis van waterbeheer. Omdat Nederland de delta is van verschillende rivieren, is zoetwaterschaarste relatief zeldzaam. Van oudsher zijn daarom de waterpeilen en waterdistributie afgestemd op de vraag naar o.a. veiligheid, drinkwater, water voor

doorspoeling (ter vermindering van zoutgehalten in watergangen), beregeningswater in de landbouw, (koelings)water voor de industrie en water(kracht) of koelwater voor elektriciteitscentrales. Het type waterbeheer waarmee geprobeerd wordt aan alle vragen te voldoen, wordt ook wel aangeduid met de term "water volgt functie". Met dit type waterbeheer wordt geprobeerd verzilting te voorkomen en te bestrijden. Het watergebruik is gericht op het aanbod: als er genoeg water is wordt het gebruikt (Velstra en de Vries, 2008). De watervraag is afkomstig van alle sectoren. Het beheer om aan de watervraag te voldoen ligt vooral bij de waterschappen en de overheid. Voor het beheer tijdens droge perioden heeft de overheid een prioriteitenlijst gemaakt, de Verdringingsreeks (Figuur 3) (Min. VenW, 2004). Deze reeks is per regio door regionale overheden (provincies, waterschappen) nader uitgewerkt en gespecificeerd in een regionale verdringingsreeks.

Figuur 3 Verdringingsreeks voor water: bij zoetwaterschaarste wordt eerst niet meer aan de watervraag uit categorie 4 voldaan, daarna niet meer aan watervraag uit categorie 3, enz. (Min. VenW, 2004)



Uit de Verdringingsreeks wordt duidelijk dat de zoetwatervraag voor het tegengaan van verzilting voor landbouwgewassen, of voor oppervlaktewater in landbouwgebieden, betrekkelijk laag op de prioriteitenlijst staat (voornamelijk categorie 4, alleen voor kapitaalintensieve gewassen categorie 3). Als klimaatveranderingen (paragraaf 2.4) optreden, kunnen vooral de verminderde rivierdebieten in de zomer (en herfst) een extra probleem opleveren voor de landbouw: Niet alleen zal de verzilting door zoutwaterindringing via de Nieuwe Waterweg toenemen, maar ook zal er mogelijk niet altijd genoeg zoet water zijn om aan alle vragen te voldoen. Vanwege de lage prioriteit in de Verdringingsreeks zal in dat geval aan de zoetwatervraag uit de landbouw relatief vaak *niet* voldaan worden. Het tekort aan zoet water in de zomer zou mogelijk opgevangen kunnen worden door een grotere tijdelijke waterberging in bijvoorbeeld het IJsselmeer. Dit is een mogelijke oplossing als er bij de klimaatveranderingen sprake is van een toenemend neerslagoverschot in de winter en het voorjaar.

4.2 Bestrijding van verzilting: regionale verschillen

In paragraaf 3.2 is informatie over oorzaken van verzilting, ruimtelijke verdeling en schade voor verschillende landbouwgebruiken samengevoegd. De ervaring van verzilting als huidig of toekomstig probleem voor de landbouw in een bepaald gebied hangt niet alleen af van het chloridegehalte in het water, maar ook van de voorspelbaarheid, de maatschappelijke context en van de bestrijdingsmogelijkheden. De regionale perceptie van verzilting als probleem hangt onder andere af van:

- De landelijke zoetwaterverdeling;
- De fluctuaties in verzilting en zoetwateraanvoer;
- De aanwezigheid van zoetwater vragen met hogere prioriteit dan de landbouw en hun effect op de verziltingsbestrijding;
- Het relatieve economische belang van landbouw in de betreffende regio;
- Culturele verschillen in probleemperceptie.

Hieronder worden de eerste vier punten verder uitgewerkt.

4.2.1 Landelijke zoetwaterverdeling

Zolang er voldoende zoet water het land binnenkomt via de rivieren, wordt dit water zo verdeeld dat aan alle watervragen voldaan wordt. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een distributiemodel voor het hoofdwatersysteem (Delsman en Prinsen, 2008). Als er een tekort aan zoet water optreedt, wordt het water verdeeld volgens een verdeelsleutel gebaseerd op de Verdringingsreeks.

Nederland is de delta van vier rivieren: de Rijn, de Maas, de Schelde en de Eems. Zoet water komt Nederland alleen binnen via de Rijn en de Maas. Het debiet van de Maas stroomt geheel naar de Zuidwestelijke Delta (gebied tussen de Nieuwe Waterweg en de Schelde). Het debiet van de Rijn wordt verdeeld tussen de IJssel, de Neder-Rijn en de Waal. Water uit de Rijn, de Lek en de Waal vormt de zoetwateraanvoer naar Zuidwest- en Middenwest-Nederland. Het debiet van de IJssel is de hoofdbron van het IJsselmeer; het aangevoerde debiet naar het IJsselmeer is $\geq 285 \text{ m}^3/\text{s}$. Naast IJsselwater ontvangt het IJsselmeer ook zoet water van de Overijsselse Vecht en de Eems. Het watersysteem "IJsselmeergebied" omvat het IJsselmeer, Markermeer en de Randmeren, en is het grootste zoetwaterbekken van Europa. Het IJsselmeerpeil is in de winter 0,2 m hoger dan in de zomer. De provincies Groningen, Friesland, en Noord-Holland krijgen het merendeel van hun zoete water vanuit het IJsselmeer. Het water uit het IJsselmeer wordt *buiten* Noord-Nederland daarnaast ook nog gebruikt voor:

- Watervraag uit Drenthe en Noordwest-Overijssel;
- Drinkwaterinname bij Andijk en Enkhuizen (klein volume);
- Boezemwater voor de Schermerpolder;
- Doorspoelen van de Utrechtse Vecht en de Amsterdamse grachten (MinVenW, 2009);
- De wateraanvoer naar Flevoland en Zuid-Holland via de Tolhuisroute (alleen bij extreem lage rivierdebieten) (NHI, 2008).

De provincie Flevoland is, ook in droge perioden, een netto waterleverancier. Alleen bij extreme droogte kan Flevoland een netto waterbehoefte hebben (Min. VenW, 2009). De provincie Zuid-Holland (ten Noorden van de Nieuwe Waterweg) is vooral afhankelijk van zoet water aangevoerd door de grote rivieren, via het Amsterdam-Rijnkanaal en de Hollandse IJssel. Daarnaast heeft Zuid-Holland ook inlaten voor IJsselmeerwater, voor in geval van extreme droogte (NHI, 2008). De provincies Zuid-Holland (ten zuiden van de Nieuwe Waterweg) en Zeeland zijn direct afhankelijk van zoet water aangevoerd door de grote rivieren.

Bij extreem lage rivierafvoeren ($< 1.300 \text{ m}^3/\text{s}$ in de Rijn bij Lobith) worden alle stuwen in de Neder-Rijn gesloten en blijven de sluisen in het Haringvliet en de Afsluitdijk dicht. Verder valt er dan niets meer te sturen in de afvoerverdeling (Min. VenW, 2009). Bij extreem lage rivierafvoeren neemt de kwaliteit van het zoete rivierwater af. Bij een zeer laag debiet van $920 \text{ m}^3/\text{s}$ in de Rijn bij Lobith is het chloridegehalte van dit "zoete" water ca. $150 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$; dit is voor enkele waterschappen en drinkwaterbedrijven een grenswaarde voor drinkwaterinname (RIZA, 2005).

Bij normale rivierafvoeren kan aan alle watervragen voldaan worden, ook aan de vraag voor de verziltingsbestrijding in Noord-, West- en Zuidwest-Nederland. Daardoor zullen er als gevolg van normale rivierafvoeren geen verschillen in regionale verzilting ontstaan. Dit gebeurt alleen bij extreem lage rivierafvoeren, onder andere doordat verschillende regio's hun zoete water uit verschillende voorraden/stromen krijgen, en er weinig meer aan de landelijke zoetwaterverdeling te sturen is.

4.2.2 Fluctuaties in verzilting en zoetwateraanvoer

Verzilting hoeft geen probleem te zijn voor de landbouw, zolang er genoeg zoet water tijdens het groeiseizoen beschikbaar is om de verzilting op een aanvaardbaar peil te houden. Verzilting wordt pas een probleem als de rivieren te weinig water aanvoeren om aan alle watervragen in het groeiseizoen te voldoen (inclusief verziltingsbestrijding). Lage rivierdebieten komen meestal voor in de zomer en nazomer.

De kuststrook (25 tot 75 km) van Noord-Nederland heeft last van brak tot zout grondwater en deels ook van brak tot zout oppervlaktewater. In het voorjaar en de zomer wordt het oppervlaktewater doorgespoeld met zoet water, voornamelijk afkomstig uit het IJsselmeer, tot het gewenste chloridegehalte is bereikt (pers. comm. Wetterskip Fryslan en Waterschap Noorderzijlvest). Met doorspoelen wordt begonnen als de chlorideconcentratie hoger wordt dan 600 mg/l. Gestreefd wordt naar een chlorideconcentratie van 600 tot 800 mg/l (www.wetterskipfryslan). In Noord-Nederland vindt verder geen zoutindringing via open riviermondingen plaats. De zoetwateraanvoer uit het IJsselmeer is van relatief constante hoeveelheid en kwaliteit. Het chloridegehalte in het oppervlaktewater fluctueert dus voornamelijk tussen hogere concentraties in het winterseizoen en beheerste, lagere concentraties in het groeiseizoen.

De kuststrook (25 tot 75 km) van Zuid-Holland heeft last van brak tot zout grondwater, brakke/zoute kwel en deels ook van brak oppervlaktewater. Het chloridegehalte in het oppervlaktewater is er lager dan in grote delen van Noord-Nederland en Zeeland (Figuur 1). Echter, bij extreem lage rivierafvoeren (meestal in de zomer en nazomer) kan zeewaterindringing via de Nieuwe Waterweg leiden tot verzilting van de Hollandse IJssel, het Spui en het Haringvliet. Vooral de Hollandse IJssel kan onder langere perioden van verzilting lijden, omdat dit een doodlopende rivier is zonder doorspoelmogelijkheden (Jacobs, 2007). Het gebied van Zuid-Holland boven de Nieuwe Waterweg (Delfland, Rijnland en Schieland) krijgt zoet water aangevoerd via de inlaat bij Gouda. Deze aanvoer komt uit de Hollandse IJssel, de gekanaliseerde IJssel en de Gouwe. In droge omstandigheden, met een lage Rijnafvoer, verzilt het water van deze inlaat door indringing van zeewater via de Nieuwe Waterweg (NHI, 2008). Alleen wanneer de periode te lang wordt, en de mate van verzilting van de IJsselmonding te hoog ($> 250 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$), wordt de wateraanvoer via deze inlaat gestremd en wordt zoet water aangevoerd via een alternatieve route: de kleinschalige wateraanvoer (KWA) Middenwest-Nederland. Het chloridegehalte in het oppervlaktewater neemt in de kuststrook van Zuid-Holland dus toe in droge zomerperioden.

De provincies Zuid-Holland (ten zuiden van de Nieuwe Waterweg) en Zeeland hebben last van brak tot zout grondwater en van brak tot zout oppervlaktewater. Omdat de waterkwaliteit van het Haringvliet na aanleg van de Deltawerken sterk verslechterd (=verzoet) is, heeft het kabinet in 2011 het 'Kierbesluit' laten ingaan. Hierdoor wordt bij vloed zout water het Haringvliet binnengelaten en zal een bepaalde hoeveelheid verzilting optreden. De fluctuatie in verzilting in de Zuidwestelijke Delta zal vooral leiden tot een toenemend chloridegehalte in droge zomerperioden. Deze toename is dan deels veroorzaakt door zeewaterindringing via de Nieuwe Waterweg (en in de toekomst mogelijk ook in zekere mate via de Haringvlietsluizen). Bij een afname in hoeveelheid en kwaliteit van de zoetwateraanvoer door de rivieren bij extreem lage debieten kan interne zoutwateraanvoer (kwel) en externe zoutwateraanvoer (zeewaterindringing) minder goed bestreden worden. Het is dus waarschijnlijk dat bij extreem lage rivierafvoeren de Zuidwestelijke regio, in vergelijking met het Noorden en Noordwesten, in de zomer te maken heeft met onregelmatige, sterke pieken van verzilting. Deze pieken zijn bovendien moeilijker te bestrijden, door meer zeewaterindringing via open watermondingen (en de daaruit voortkomende verzilting van oppervlaktewater) en daarnaast een verminderde aanvoer van zoet water door de rivieren (met bovendien hogere chloridegehalten). In delen van Noord- en Noordwest-Nederland is mogelijk het jaarlijkse gemiddelde chloridegehalte in oppervlaktewater hoger, maar door doorspoeling in het voorjaar, afwezigheid van externe verzilting van het oppervlaktewater in de zomer, en de aanwezigheid van een meer stabiele zoetwaterbuffer, leidt dit waarschijnlijk tot lagere fluctuaties in verzilting in het groeiseizoen.

De zoetwateraanvoer in de Zuidwestelijke delta (voornamelijk Zeeland) is deels afkomstig uit zoetwaterspaarbekkens (waarin regionaal neerslagoverschot wordt opgeslagen), maar vooral uit het Volkerak-Zoommeer. In de nabije toekomst zal het Zoommeer echter steeds meer gaan verzilten, waardoor naar alternatieve routes voor de zoetwateraanvoer gezocht moet worden. Zoet water wordt in Zeeland vooral gebruikt voor het tegengaan van verzilting van specifieke landbouwsectoren (doorspoelen in fruitteeltgebieden) en voor zoetwatervoorziening van de glastuinbouw, en in veel mindere mate voor irrigatie of beregening.

4.2.3 Aanwezigheid van zoetwatervragen met hogere prioriteit dan de landbouw

De Verdringingsreeks (paragraaf 4.1, Figuur 3) is uitgewerkt per regio. Per regio kan er verschil zijn in de prioritering van functies en hun zoetwatervraag. Ook het type vraag (gebruik of verbruik) en de

locatie (b.v. bovenstrooms of aan de kust) zijn van invloed op de waterbeschikbaarheid voor functies met lagere prioriteit, zoals doorspoeling ter bestrijding van verzilting. Functies met lagere prioriteit kunnen soms meeprofiteren van functies met hoge prioriteit: zo profiteert de beroeps- en recreatiescheepvaart (met lage prioriteit) van het op peil houden van het landelijke en regionale hoofdwatersysteem (hoogste prioriteit).

Tegengaan van onherstelbare schade aan bodem en natuur

In grote delen van Noord- en West-Nederland worden waterpeilen hoog gehouden om uitdroging van veen en kwetsbare natuur te voorkomen. Deze uitdroging zou leiden tot onherstelbare schade door veenafbraak (leidt tot bodemdaling) en verlies van zeldzame ecosystemen. In Zuid-Holland wordt voor deze peilhandhaving desnoods brak tot zout water gebruikt (zoals verzilt water uit de Hollandse IJssel). Dit kan verzilting van oppervlaktewater in de hand werken; door de wateronttrekking aan de Hollandse IJssel kan zout zeewater, dat via de Nieuwe Waterweg de monding van de Hollandse IJssel al bereikt heeft, verder de Hollandse IJssel ingetrokken worden (RIZA, 2005). In Noord-Nederland is voor een dergelijke peilhandhaving alleen (zoet) IJsselmeerwater beschikbaar, waardoor verzilting wordt tegengegaan. In Zeeland wordt zout water juist doelbewust binnengelaten ter verbetering van de waterkwaliteit en de natuur.

Drinkwater- en energievoorziening

Elektriciteitscentrales gebruiken zoet water alleen voor koeling; daarna kan het water stroomafwaarts opnieuw gebruikt worden voor andere doelen met lagere prioriteit. Door deze prioritering kunnen benedenstroomse elektriciteitscentrales de watervoorziening aan het bovenstroomse gebied beperken, terwijl bovenstroomse elektriciteitscentrales de watervoorziening van het benedenstroomse gebied kunnen verruimen. In de Verdringingsreeks voor Noord-Nederland (Waterverdeling Noord Nederland, 2009) heeft de watervraag van de elektriciteitscentrale in Noord-Bergum (tussen Leeuwarden en Groningen), ondanks de landelijk hoge prioriteit van energievoorziening, dezelfde prioriteit als doorspoeling van het Noordzeekanaal tegen verzilting. Dit komt doordat het gaat om een elektriciteitscentrale met een relatief hoge watervraag en een relatief lage, goed te vervangen, productie. Daarentegen wordt voor de elektriciteitscentrale Harculo bij Zwolle de ondergrens van het IJsseldebiet ($285 \text{ m}^3/\text{s}$) lang aangehouden om voldoende koelwater te hebben, ook bij afnemend Rijndebiet (Min. VenW, 2009). De ondergrens wordt alleen verlaagd als het Rijndebiet bij Lobith daalt tot onder $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ (extreem droog). In Noord-Nederland lijkt het zoetwatergebruik van de energievoorziening geen nadelige gevolgen voor verziltingsbestrijding te hebben, en heeft de stabiele aanvoer van IJsselwater naar het IJsselmeer mogelijk zelfs positieve effecten.

Kwaliteitseisen bij de drinkwatervoorziening gaan verzilting tegen. De benodigde hoeveelheid drinkwater is relatief klein en heeft geen noemenswaardig effect op de hoeveelheid beschikbaar water voor andere doelen. Het chloridegehalte dient echter voldoende laag te zijn ($< 150 \text{ mg Cl/l}$) en daarom wordt verzilting voorkomen of bestreden ten bate van drinkwaterinnamepunten. Dit speelt onder andere een rol bij:

- Het tegenhouden van de zouttong in het Amsterdam-Rijnkanaal (komend uit het Noordzeekanaal) door bij Diemen een minimumdebiet van $30 \text{ m}^3/\text{s}$ aan te houden (Min. VenW, 2009);
- Uitvoer van het kierbesluit voor de Haringvlietsluizen: er gaat meer zout water naar binnen. Het gevolg is dat bestaande zoetwaterinnamepunten verzilten en daarom verplaatst moeten worden.

Of en hoeveel de verziltingsbestrijding en de landbouw profiteren van de watervraag ten bate van de drinkwatervoorziening zal eerder lokaal dan regionaal bepaald worden.

4.2.4 Het relatieve economische belang van landbouw

Scheepvaart

Hoewel de scheepvaart in de Verdringingsreeks in de vierde categorie is geplaatst, en daarmee dezelfde prioriteit heeft als landbouw, maar wel een lagere prioriteit dan beregening van kapitaalintensieve gewassen, zijn er enkele punten waarop de scheepvaart hoge prioriteit heeft gekregen:

- Het besluit tot het graven en uitdiepen van de Rotterdamse haven. Hierdoor is de indringing van zout zeewater in de Nieuwe Waterweg versterkt. Dit leidt in droge zomerperioden tot verzilting van de Hollandse IJssel en de gebieden die van IJsselwater afhankelijk zijn. Om die zoutindringing

tegen te gaan is een rivierdebiet van 1.500 m³/s nodig. Dit water kan daarna echter niet meer voor andere zoetwatervragen gebruikt worden;

- Het boven NAP houden van het Hollands Diep, ten behoeve van de zeehaven Moerdijk. Het hiervoor benodigde water kan eerder of later niet voor andere zoetwatervragen gebruikt worden;
- Bij het schutten van schepen door sluzen, zoals die van het Noordzeekanaal (IJmuiden) of het Eemskanaal (Delfzijl), komt zout water binnen. Dit leidt tot verzilting van het oppervlaktewater.

Het belang van de scheepvaart leidt in het algemeen tot een grotere verzilting van oppervlaktewater, vooral in West- en Zuid-Nederland.

Het relatieve belang van landbouw als economische sector

Op het platteland van de provincies Groningen en Friesland is landbouw en agribusiness de belangrijkste economische sector. Hierdoor wegen landbouwbelangen in deze provincies relatief zwaar. In West-Nederland, en vooral de provincie Zuid-Holland, is landbouw slechts één van de vele economische sectoren. Ondanks de relatief hoge prioriteit van kapitaalintensieve landbouwsectoren (zoals glastuinbouw en bollenteelt) in de Verdringingsreeks kunnen deze sectoren voor de regionale economie daardoor minder snel als onmisbaar worden beschouwd. Het gevolg kan zijn dat landbouwbelangen minder zwaar wegen ten opzichte van andere belangen.

4.3 Functie volgt water: adaptatie aan verzilting

Wanneer de watervraag niet meer wordt gedekt door het wateraanbod, zal de vraag aangepast moeten worden. Dit leidt tot een andere waterbeheersbenadering, namelijk "functie volgt water". Deze benadering kan alleen toegepast worden op functies die aanpasbaar zijn (de landbouw is theoretisch aanpasbaar, het thema veiligheid nauwelijks of niet) en een relatief lage prioriteit hebben in de Verdringingsreeks. De waterbeheersbenadering streeft naar adaptatie aan verzilting. Adaptatie is pas aan de orde als de mogelijkheden voor het voorkomen en bestrijden van verzilting maximaal zijn benut. Adaptatie kan nagestreefd worden met technische methoden, maar ook door verandering van de ruimtelijke inrichting. Een mogelijkheid is om zoutgevoelige teelten weg te halen uit streken met een hoge verzilting in het groeiseizoen. Een andere mogelijkheid is het streven naar een meer lokaal waterbeheer, waardoor niet meer een hele regio het waterbeheer voor de gevoeligste functie moet ondergaan (Velstra en de Vries, 2008).

Enkele adaptatiemogelijkheden zijn:

- De gewasrotatie aanpassen: zoutgevoelige gewassen minder verbouwen ten gunste van zouttolerante gewassen, bijvoorbeeld aardappels minder verbouwen ten gunste van suikerbieten;
- Verziltingsgevoelige gewassen met een kort groeiseizoen (zoals groentes) voor en na de periode met het grootste verziltingsrisico (zomer) verbouwen;
- Veredelen op zouttolerantie en het kiezen van zouttolerante variëteiten binnen een gewassoort;
- Overstappen op zoutminnende soorten, zoals de halofyten lamsoor en zeekraal;
- Efficiënter gebruik van zoet water, bijvoorbeeld door brak water te gebruiken voor de beregening van minder zoutgevoelige gewassen (mits het ophopende zout later uitgespoeld kan worden);
- In de glastuinbouw: toepassing van zoetwatercirculatie, ontzilting met behulp van omgekeerde osmose en het gebruik van regenwaterbassins.

5 Conclusies

- De voornaamste oorzaken van verzilting, landelijk optredend en met relatief hoge chloridegehalten in grond- en oppervlaktewater, zijn:
 - a. Het omhoogkomen van fossiel (zout) zeewater vanuit relatief ondiepe bodemlagen. Dit fossiele water komt voor in een brede kuststrook van 25 tot 75 km langs de hele Noordzee en de Waddenkust, maar ook verder landinwaarts;
 - b. Zeewaterindringing langs de hele kust, momenteel tot ca. 6 km landinwaarts;
 - c. Zeewaterindringing via de open riviermonding van de Nieuwe Waterweg, en in mindere mate via wateren en kanalen die met sluizen in verbinding staan met zee.

- Andere oorzaken van verzilting, vooral lokaal optredend of met relatief lage chloridegehalten, zijn:
 - a. Verdamping;
 - b. Verstuiving van zeezout;
 - c. Landbouwkundige activiteiten;
 - d. Lokale bodemverontreiniging;
 - e. Infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen;
 - f. Sedimentatie;
 - g. Menging van zoet met zout water;
 - h. Opkegeling bij drinkwaterwinning;
 - i. Oplossing van steenzout (haliet).

- De verzilting in Nederland is voortschrijdend, omdat:
 - a. Fossiel (zout) grondwater grootschalig in beweging is gebracht door o.a. inpolderingen, met bijbehorende verlagingen van bodemoppervlak en grondwaterpeil. Dit leidt tot brakke en zoute kwel in grote gebieden in de kuststrook, maar ook verder landinwaarts;
 - b. Zeewaterindringing blijft optreden zolang de zeespiegel hoger is dan het grondwaterpeil landinwaarts. Dit proces heeft momenteel invloed op een kuststrook van maximaal 6 km breed, toenemend tot maximaal 30 km op de (zeer) lange termijn.

- Bij de verwachte klimaatveranderingen (een groter neerslagoverschot in de winter, een groter neerslagtekort in de zomer, een stijgende zeespiegel) zal vooral in de zomer de verzilting toenemen. Dit komt doordat de zoutwaterdruk vanuit de zee toeneemt en het zoetwaterdebiet, nodig om zoutindringing tegen te gaan, met grotere regelmaat niet gehaald zal worden. Een groter neerslagtekort in de zomer leidt bovendien tot een kleinere capaciteit om met gebiedseigen water of regenwaterlenzen de interne verzilting (door het omhoog komen van fossiel grondwater) te bestrijden.

- De gevoeligheid van landbouwgewassen voor verzilting kan wel met factor 40 verschillen. Snijbloemen en bloembollen lijden al schade bij chloridegehalten in het bodemvocht van minder dan 200 mg/l, aardappelen en snijmaïs vanaf 700 tot 800 mg/l, gras vanaf 3600 mg/l, granen en suikerbieten vanaf 4900 mg/l en koolzaad pas vanaf 8.700 mg/l. Bij zeer productief melkvee kan drinkwater met meer dan 1.600 mg/l al productieverlies geven; drachtig melkvee kan tot 2.700 mg/l verdragen en overig rundvee tot 3.800 mg/l. Schapen zijn meer zouttolerant dan melkvee.

- De Nederlandse melkveehouderij is relatief ongevoelig voor verzilting. Zowel gras als koeien kunnen chloridegehalten tot 2.700 mg Cl⁻/l probleemloos verdragen, hoewel er dan al wel sprake kan zijn van productieverlies. De teelt van snijmaïs, een belangrijk voedergewas, zal als eerste schade ondervinden van verzilting.

- Behalve het chloridegehalte in grond- en oppervlaktewater en de gevoeligheid van gewassen, wordt de ervaring van verzilting als een probleem bepaald door een aantal ruimtelijke en maatschappelijke factoren. Een aantal factoren die een rol spelen bij het voorkomen en bestrijden van verzilting, en die mogelijk de perceptie van verzilting als probleem voor de landbouw in specifieke regio's (mede) bepalen, zijn:
 - a. De landelijke zoetwaterverdeling;
 - b. Fluctuaties in verzilting en zoetwateraanvoer;
 - c. Aanwezigheid van zoetwatervragen met hogere prioriteit en hun effect op de verziltingsbestrijding;
 - d. Het relatieve economische belang van landbouw in de betreffende regio.

Analyse van de bovenstaande vier factoren geeft voor verschillende regio's van Nederland het volgende beeld van de verziltingsproblematiek voor de landbouw:

- In het Noorden en Noordwesten van Nederland: in grote delen van dit gebied komen relatief hoge chloridegehalten in het grond- en oppervlaktewater voor. Echter:
 - a. De verziltingsbestrijding ten behoeve van het groeiseizoen ondervindt relatief weinig concurrentie van andere zoetwatervragen met hogere prioriteit;
 - b. Dit gebied heeft nauwelijks last van pieken in de verzilting van oppervlaktewater;
 - c. Dit gebied heeft relatief weinig last van fluctuaties in de zoetwateraanvoer en –kwaliteit;
 - d. Het economisch belang van landbouw in dit gebied is relatief groot.

De combinatie van deze factoren leidt tot een redelijk goed voorspelbare situatie voor landbouwers. Bovendien worden van oudsher in Noord-Groningen en Friesland al de minder zoutgevoelige gewassen geteeld (zoals granen, suikerbieten en gras). De (poot)aardappelteelt kan op de termijn wel problemen gaan ondervinden, evenals de voor het gebied relatief nieuwe bollenteelt. Dit geldt ook voor Noord-Holland, waarbij ook de vollegrondsgroenteteelt relatief gevoelig is voor verzilting.
- Zuid-Holland: de chloridegehalten in het oppervlaktewater zijn minder hoog dan in het Noorden en Zeeland, maar:
 - a. Er is relatief veel kans op verziltingspieken in de zomer door fluctuaties in de hoeveelheid en kwaliteit van het (voor doorspoeling) aangevoerde zoete water via de grote rivieren, en door zeewaterindringing via de Nieuwe Waterweg;
 - b. Er zijn relatief veel sectoren met hogere prioriteit in de Verdringingsreeks dan de landbouw (zoals de scheepvaart), waardoor verzilting in de hand gewerkt kan worden.

Ondanks de relatief lage chloridegehalten hebben Zuid-Hollandse landbouwers waarschijnlijk het meest last van onvoorspelbare en onbestrijdbare verzilting in het groeiseizoen. Dit wordt mede veroorzaakt doordat in dit gebied van oudsher veel zoutgevoelige teelten voorkomen, die al schade ondervinden bij lage chloridegehalten en dus ook bij een relatief geringe toename in verzilting. De akkerbouwteelt op de Zuid-Hollandse eilanden zal door een verschuiving naar meer intensieve teelten (minder granen en suikerbieten, meer aardappelen, uien en vollegrondsgroenten) ook gevoeliger worden.
- Zeeland: de chloridegehalten in het oppervlaktewater zijn relatief hoog. Daarnaast:
 - a. Is er relatief veel kans op verziltingspieken in de zomer, door fluctuaties in de hoeveelheid en kwaliteit van aangevoerd zoet water via de grote rivieren;
 - b. Kunnen sectoren met een hogere prioriteit in de Verdringingsreeks dan de landbouw de verzilting doen toenemen.

Zeeland is omgeven door zout water. De landbouw heeft daardoor met verzilting leren omgaan en zoutgevoelige gewassen werden relatief weinig geteeld of alleen geteeld op de minder gevoelige gronden met mogelijkheden van zoetwateraanvoer (fruitteelt). Uitvoering van de Deltawerken heeft tot dusver waarschijnlijk eerder verzoeting dan verdere verzilting in de hand gewerkt. De landbouw in Zeeland heeft daardoor waarschijnlijk nog minder last van voortschrijdende verzilting.
- Bij een (relatieve) daling van het zoetwateraanbod zal de watervraag aangepast moeten worden. Aanpassing kan met technische methoden, maar ook door verandering van de ruimtelijke inrichting. Een mogelijkheid is om zoutgevoelige teelten weg te halen uit streken met een hoge verzilting in het groeiseizoen. Een andere mogelijkheid is het streven naar een meer lokaal waterbeheer, waardoor niet meer een hele regio het waterbeheer voor de gevoeligste functie moet ondergaan.
- Enkele adaptatiemogelijkheden voor de landbouw zijn:
 - a. Teeltomvang: zoutgevoelige gewassen verminderen ten gunste van zouttolerante gewassen;
 - b. Verziltingsgevoelige gewassen met een kort groeiseizoen (zoals groenten) voor en na de periode met het grootste verziltingsrisico (zomer) verbouwen;
 - c. Veredelen op zouttolerantie met keuze voor zouttolerante variëteiten binnen een gewassoort;
 - d. Overstappen op zouttolerante of zoutminnende soorten;
 - e. Efficiënter gebruik van zoet water, bijvoorbeeld door de minder zoutgevoelige gewassen te beregenen met brak water (mits het ophopende zout later uitgespoeld kan worden);
 - f. In de glastuinbouw: zoetwatercirculatie, ontzilting met omgekeerde osmose en het gebruik van regenwaterbassins.

Literatuur

- Cleef, R. van, Laro, J. 2008. Het zoete en bittere van verzilting. *H₂O* 9: 4-5.
- Dam, A.M. van, Clevering, O.A., Voogt, W., Aendekerk, Th.G.L., van der Maas, M.P. 2007. Zouttolerantie van landbouwgewassen. Deelrapport 'Leven met zout water'. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad.
- Delsman, J., Prinsen, G. 2008. Oppervlaktewater in het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium. *Stromingen* 14: 25-36.
- Jacobs, P. 2007. Zout vanuit zee: verzilting van rijkswateren in Midden-West-Nederland nu en in de toekomst. In: *Verzilting in Nederland* (Ed. P. de Louw), p. 71-83. Nederlandse Hydrologische Vereniging (NHV), Utrecht.
- Leeuwen, J.M. van. 1970. Keukenzout in de rundveevoeding. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht.
- Maas, K. 2007. Verziltingsbeheersing. In: *Verzilting in Nederland* (Ed. P. de Louw), p. 85-94. Nederlandse Hydrologische Vereniging (NHV), Utrecht.
- Min. VenW (Ministerie van Verkeer en Waterstaat), 2004. Evaluatienota waterbeheer aanhoudende droogte 2003. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- Min. VenW (Ministerie van Verkeer en Waterstaat), 2009. Waterhuishouding en waterverdeling in Nederland. Ministerie van Verkeer en Waterstaat / Directoraat-generaal Water / Rijkswaterstaat, Den Haag.
- NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium), 2008. Deelrapport kenmerken landelijk oppervlaktewater (versie NHI\FASE_1+2008\DR6\2).
- NRC (National Research Council), 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy of Science, Washington, VS.
- Oude Essink, G.H.P. 2007. Regionale modellering zoet-zout grondwater in het Nederlandse kustgebied. In: *Verzilting in Nederland* (Ed. P. de Louw), p. 41-53. Nederlandse Hydrologische Vereniging (NHV), Utrecht.
- RIZA, 2005. Modelperformance van het aangepaste RIZA modelinstrumentarium. Voorbereiding van het modelspoor ten behoeve van de tweede fase van de Zoetwaterverkenning Midden-West Nederland. Werkdocument 2005.113x, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.
- Roest, C.W.J., van 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.
- Stuurman, R., Oude Essink, G., Broers, H.P., Grift, B. van der. 2006. Monitoring zoutwaterintrusie naar aanleiding van de Kaderrichtlijn Water "verzilting door zoutwaterintrusie en chloridevervuiling". TNO-rapport, 2006-U-R0080/A, TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht.
- Stuyfzand, P.J. 2007. Oorzaken van verzilting, hun herkenning en de risicofactoren voor de drinkwatervoorziening. In: *Verzilting in Nederland* (Ed. P. de Louw), p. 1-26. Nederlandse Hydrologische Vereniging (NHV), Utrecht.
- Velstra, J., Vries, A. de. 2008. Nieuwe kijk op verzilting biedt perspectief voor zoetwatertekort. *H₂O* 22: 18-19.
- Voorde, M. ter, Velstra, J. 2009. Leven met zout water: overzicht huidige kennis omtrent interne verzilting. Gezamenlijk uitgave van Acacia Water, Leven met Water en STOWA.
- Waterverdeling Noord-Nederland, 2009. Advies van de Werkgroep Regionale Uitwerking Verdringingsreeks Noord-Nederland.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl