

concept

TNO-rapport

Oriënterende studie verzilting Dongeradeel

Princetonlaan 6
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T 030 256 42 56
F 030 256 44 75
info-BenO@tno.nl

Datum	6 juni 2008
Auteur(s)	Perry de Louw Wiebe Borren Gualbert Oude Essink
Opdrachtgever	Wetterskip Fryslân
Projectnummer	
Rubricering rapport Titel Samenvatting Rapporttekst Bijlagen	Concept
Aantal pagina's Aantal bijlagen	45 (incl. bijlagen)

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
1.1	Probleemstelling	3
1.2	Doelstelling.....	3
2	Gebiedsbeschrijving en opbouw van de ondergrond.....	5
2.1	Algemene beschrijving van het onderzoeksgebied	5
2.2	Opbouw van de ondergrond.....	7
3	Chloridegehalte van grond- en oppervlaktewater	10
3.1	Waar komt het zoute grondwater vandaan?.....	10
3.2	Chlorideconcentratie van het grondwater	10
3.3	Autonome verzilting grondwater sinds inpoldering.....	11
3.4	Zoute kwel in sloot en perceel	12
3.5	Het chloridegehalte van het oppervlaktewater	15
3.6	Verzilting door zoute kwel.....	16
4	Effect van bodemdaling en zeespiegelstijging: modelberekeningen.....	18
4.1	Aanpak	18
4.2	Resultaten	20
4.3	Vergelijking met modellering MVAEM (1997)	26
4.4	Kanttekeningen bij de modelresultaten.....	28
5	Selectie monitoringsgebieden.....	30
5.1	Selectiecriteria	30
5.2	Toepassing van selectiecriteria	30
5.3	Keuze van monitoringsgebieden.....	32
6	Conclusies en aanbevelingen.....	33
7	Referenties	35

1 Inleiding

concept

1.1 Probleemstelling

In Dongeradeel, rondom Anjum, wordt gas gewonnen, wat een bodemdaling tot gevolg heeft. Door de te verwachten zeespiegelstijging zal de verzilting van oppervlaktewater, grondwater en wortelzone in de toekomst toenemen. De bodemdaling veroorzaakt een daling van het drainageniveau, m.a.w. de drainagebuizen dalen mee. Hierdoor zal mogelijk de kwelflux en daarmee de verzilting toenemen. Indien het oppervlaktewaterpeil naar aanleiding van de bodemdaling verlaagd wordt, zal ook hierdoor de verzilting mogelijk toenemen.

In dit deel van Fryslân (overigens in de gehele kustzone van Noord-Nederland), zit het brakke-zoute grondwater erg ondiep. Door kwel komt dit grondwater in het oppervlaktewater en mogelijk in de wortelzone terecht. De stijging van de zeespiegel en de dalende bodem door de gaswinningen (met name de daardoor benodigde peilverlagingen) dragen bij aan een grotere kweldruk en daarmee samenhangend heeft dit effecten op de verzilting.

In het kader van deze problematiek heeft TNO in opdracht van het wetterskip een veldonderzoek uitgevoerd naar het voorkomen van regenwaterlenzen en is er een monitoringplan opgesteld (De Louw e.a., 2006; Maljaars en Wils, 2006). De bodemdalingscommissie heeft besloten 1 tot 3 peilgebieden te selecteren waar de komende jaren intensief de verzilting en grond- en oppervlaktewatersituatie wordt gemonitord. Aan TNO is gevraagd om een oriënterende studie uit te voeren door middel van een korte systeemanalyse op basis van bestaande gegevens en verkennende modelberekeningen en te komen tot een onderbouwde keuze van peilgebieden.

1.2 Doelstelling

Het doel van de oriënterende studie is:

- *Inzicht te geven in de orde van grootte van verzilting en de toename daarin door bodemdaling en zeespiegelstijging;*
- *Te komen tot een onderbouwde keuze van peilgebieden voor monitoring van de verzilting.*

De oriënterende studie moest plaatsvinden op basis van bestaande gegevens en metingen en eenvoudige modelberekeningen zodat de orde grootte van de toename van verzilting in het bodemdalingsgebied kan worden bepaald.

Voor het oriënterende onderzoek zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

1. Korte beschouwing opbouw Holocene deklaag;
2. Kartering chlorideconcentratie grondwater;
3. Analyse van bestaande metingen;
4. Oriënterende berekeningen met bestaand MIPWA-model.

Er dient te worden opgemerkt dat de modelresultaten slechts een orde van grootte weergeven. Het betreffen zeer globale, verkennende berekeningen omdat er geen rekening wordt gehouden met dichtheidsstroming, de geohydrologische opbouw voor zouttransportmodellering te globaal is en er geen betrouwbare schatting kan worden

gemaakt van de zoutverdeling in de ondergrond door gebrek aan metingen. Over het opzetten van een betrouwbaar modelinstrumentarium betreffende de verziltingsproblematiek heeft TNO uitgebreid verslag gedaan in een discussiestuk aan de NAM en een grondwatermodelofferte aan het wetterskip (TNO-offerte bg 07-10.086/al: 2 februari 2007).

1.3 Leeswijzer

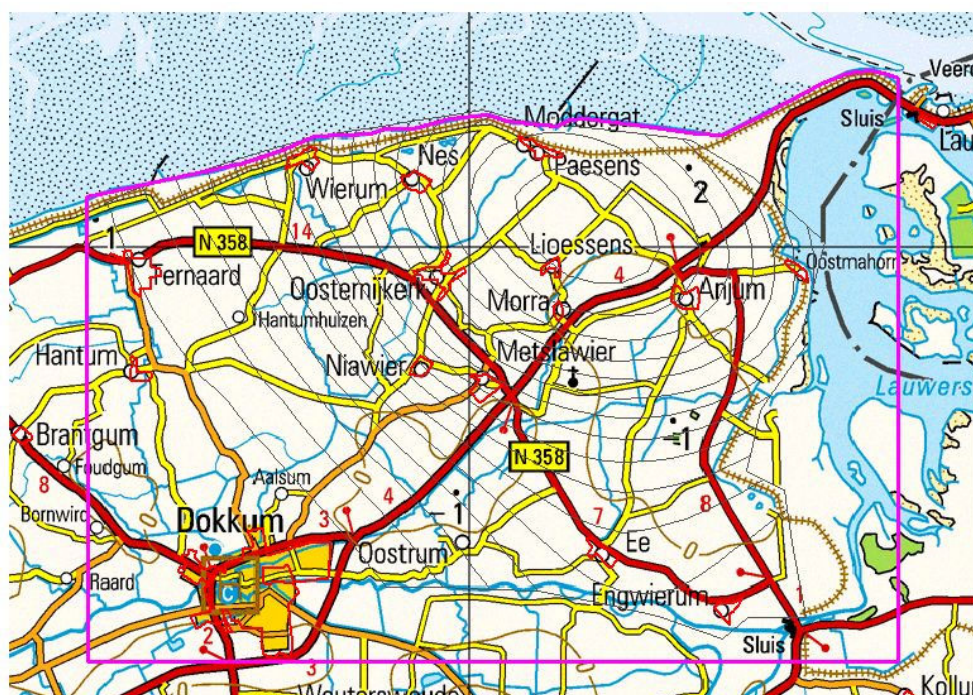
Ten opzichte van onze eerdere rapportage van 6 februari 2008 en de oplegnotitie van 12 maart 2008 zijn de volgende zaken gewijzigd aan het rapport:

- De oplegnotitie van 12 maart 2008 is nu aan de rapportage toegevoegd. Dit betreft paragraaf 4.3 wat betreft de vergelijking met de modellering uit 1997. De aanpassingen aan de modelresultaten zijn verwerkt in de scenario's 1 en 2 in paragraaf 4.2.
- De extra scenario's zijn beschreven in de paragrafen 4.1 en 4.2.
- In de paragrafen 3.3, 4.1 en 4.2 is een beschrijving opgenomen over autonome verzilting.
- In paragraaf 3.4 is duidelijk gemaakt welke factoren invloed hebben op de verzilting in relatie tot bodemdaling.
- In paragraaf 4.4.1 is het effect beschreven van het al of niet aanwezig zijn van drains op de uitkomsten van het onderzoek.

2 Gebiedsbeschrijving en opbouw van de ondergrond

2.1 Algemene beschrijving van het onderzoeksgebied

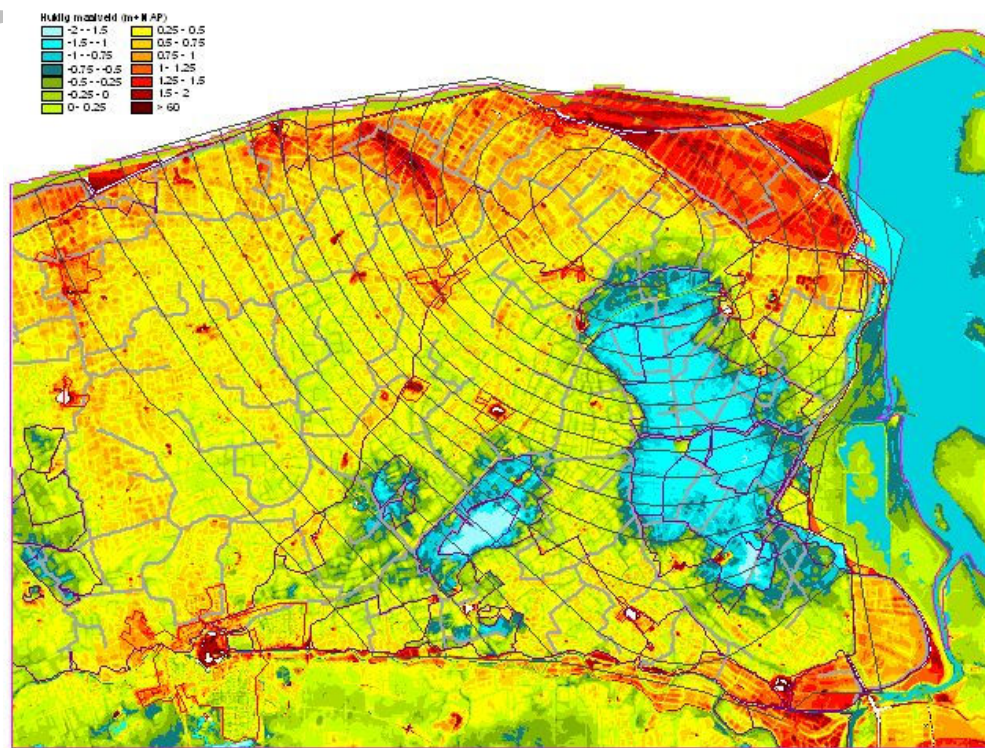
Het onderzoeksgebied omvat het bodemdalingsgebied als gevolg van de gaswinning Anjum en ligt in het kustgebied van Noordoost Fryslân. Het omvat grotendeels de gemeente Dongeradeel, met als grootste dorp Anjum. Het gebied wordt begrensd door de Waddenzee, het Lauwersmeer en het Dokkummerdiep tot aan Dokkum (zie Figuur 1). Rondom het dorpje Anjum vindt de gaswinning plaats. De bodem als gevolg van de winning is nu al ongeveer 9 tot 10 centimeter gedaald. De prognose die de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) voor dit gebied uitgeeft is een maximale bodemdaling van 17 cm in 2050 (zie ook Figuur 3).



Figuur 1 Ligging van het studiegebied (paarse lijn) en contouren van de verwachte bodemdaling als gevolg van gaswinning

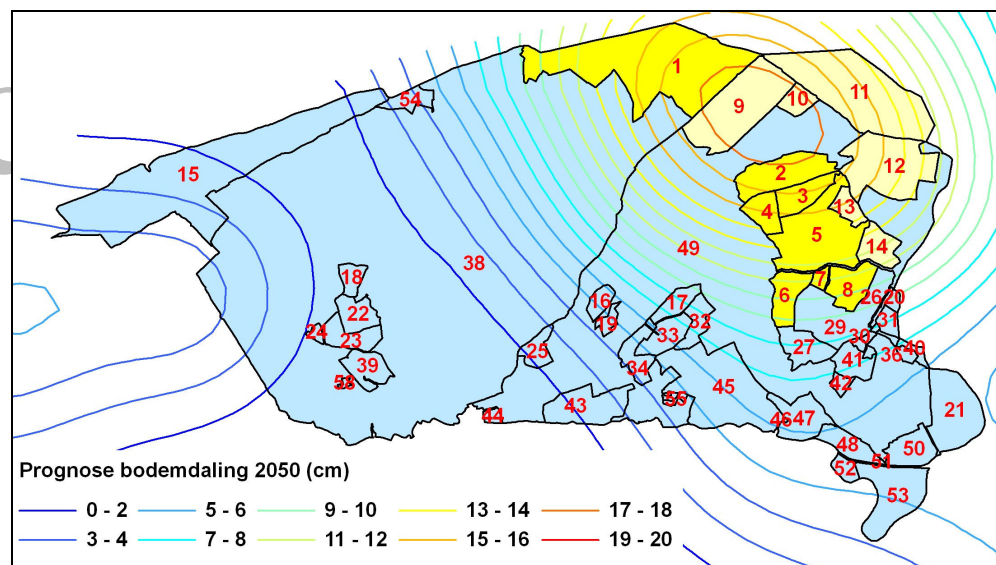
Noordoost Fryslân wordt van oudsher voornamelijk gebruikt voor landbouwdoeleinden. Op de hoger gelegen plaatsen ligt een zandige formatie aan de oppervlakte; hier vindt van oudsher voornamelijk akkerbouw plaats. Deze gebieden zijn hoogproductief, hebben een goede doorlatendheid en er zijn weinig natuurlijke handicaps. De laaggelegen gebieden waren vaak te nat om gewassen te telen en werden daarom gebruikt voor melkveehouderij en schapenhouderij (zie ook Figuur 2). Het vee kon drinken uit een dobbe, een natuurlijk ontstane drinkplaats of zelf gegraven door de boeren. In de lager gelegen gebieden bestaat de deklaag van de bodem uit klei op veen. Het gebied onder Anjum wordt ook wel De Kolken genoemd en was tot 1950 een slecht ontwaterd gebied. Rond 1960 ontstond een groots opgezette ruilverkaveling waarbij het oorspronkelijke karakter van De Kolken voor een groot deel verloren is gegaan.

Momenteel treft men op de meeste plaatsen een open grasland aan met als karakteristieke eendenkooien en dobben. Het gebied De Kolken is een echt open gebied. Verder in het noorden is er akkerbouw in het meer zandige deel van het gebied.



Figuur 2 Maaiveldhoogte (m +NAP) in de huidige situatie

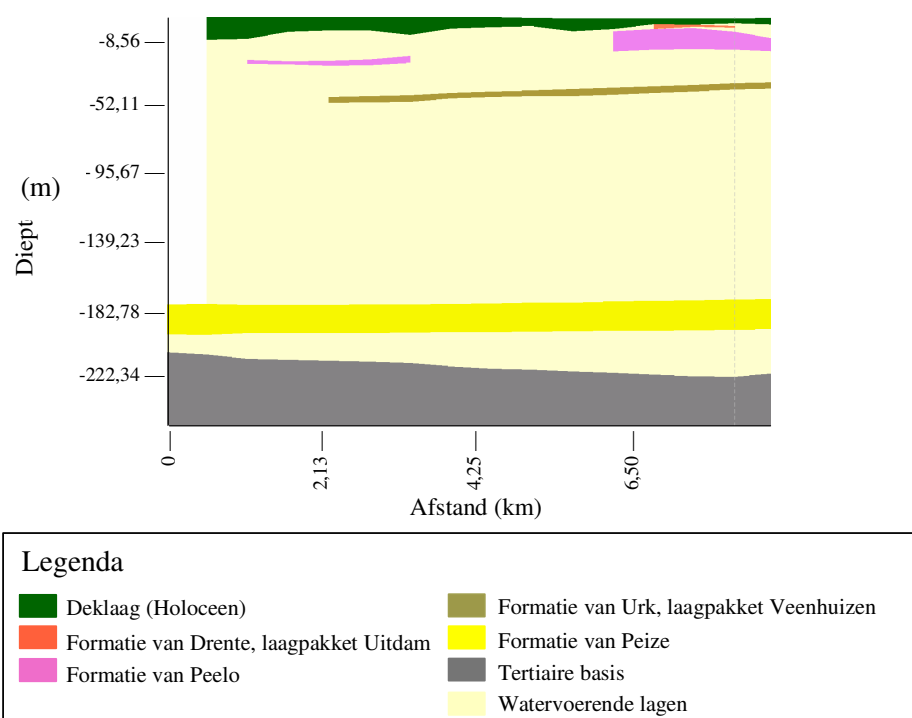
Het gebied Dongeradeel telt 58 peilgebieden. Deze zijn weergegeven in Figuur 3. De nummering is zo gekozen dat de nummers 1 t/m 14 overeenkomen met de “memo korte voorstudie”. Deze 14 gebieden zijn in donkergeel en lichtgeel aangegeven. In de tabellen van Bijlage C is tevens de codering van de peilgebieden gegeven.



Figuur 3 Overzicht van de peilgebieden in Dongeradeel en de bodemdalingsprognose voor 2050

2.2 Opbouw van de ondergrond

De ondergrond van het studiegebied bestaat tot ruim 200 meter diepte uit verschillende watervoerende en slechtdoorlatende lagen. In Figuur 4 zijn de slechtdoorlatende kleilagen aangegeven met een bepaalde kleur en de watervoerende zand/grindlagen met lichtgeel. De watervoerende lagen in het studiegebied zijn grotendeels verzilt, dat wil zeggen ze bevatten brak-zout grondwater (zie Paragraaf 3.2).



Figuur 4 Geologisch noord-zuid profiel loodrecht op de Waddenzee (Paesens) over X-coördinaat 202000 (bron: Regis)

Voor de verziltingsproblematiek met betrekking tot de bodemdaling speelt met name kwel vanuit de eerste watervoerende laag een rol. De kwelintensiteit laat zich gemakkelijk berekenen met de formule van Darcy:

$$\text{Kwel} = \text{stijghoogteverschil} \text{ gedeeld door weerstand deklaag}$$

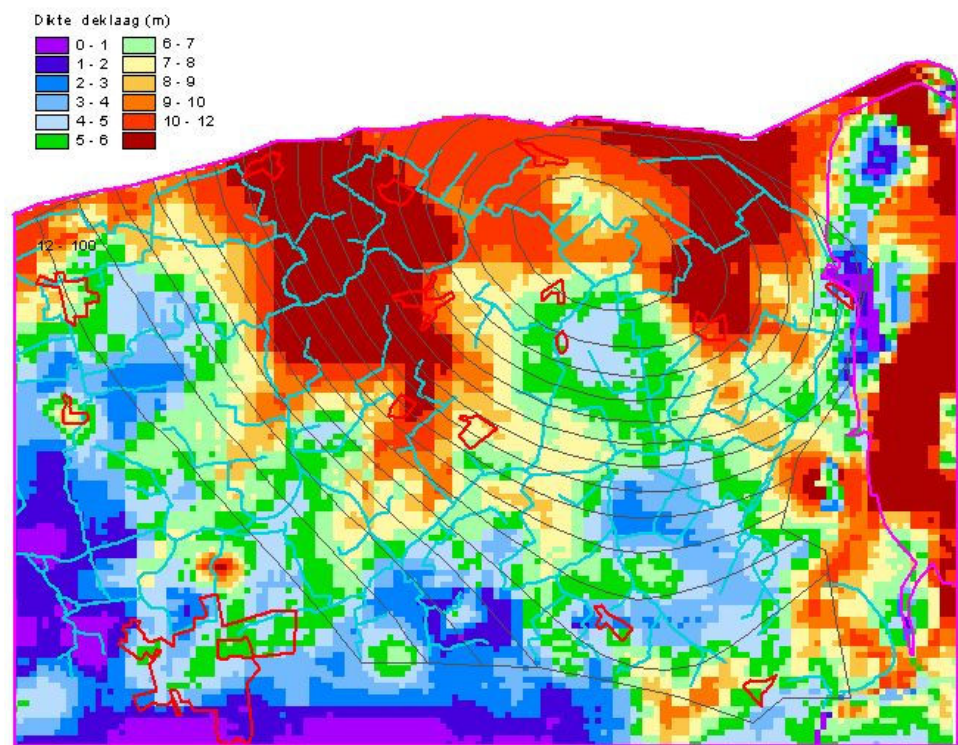
Met het *stijghoogteverschil* wordt bedoeld het verschil tussen de grondwaterdruk in het eerste watervoerende pakket (stijghoogte) en de (grond)waterdruk in de deklaag (dus het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand in de percelen). Hoe groter het stijghoogteverschil, hoe groter de kwelintensiteit.

De *weerstand van de deklaag* neemt toe naarmate deze dikker wordt en uit klei en veen bestaat. Hoe lager de weerstand van de deklaag, hoe groter de kwelintensiteit.

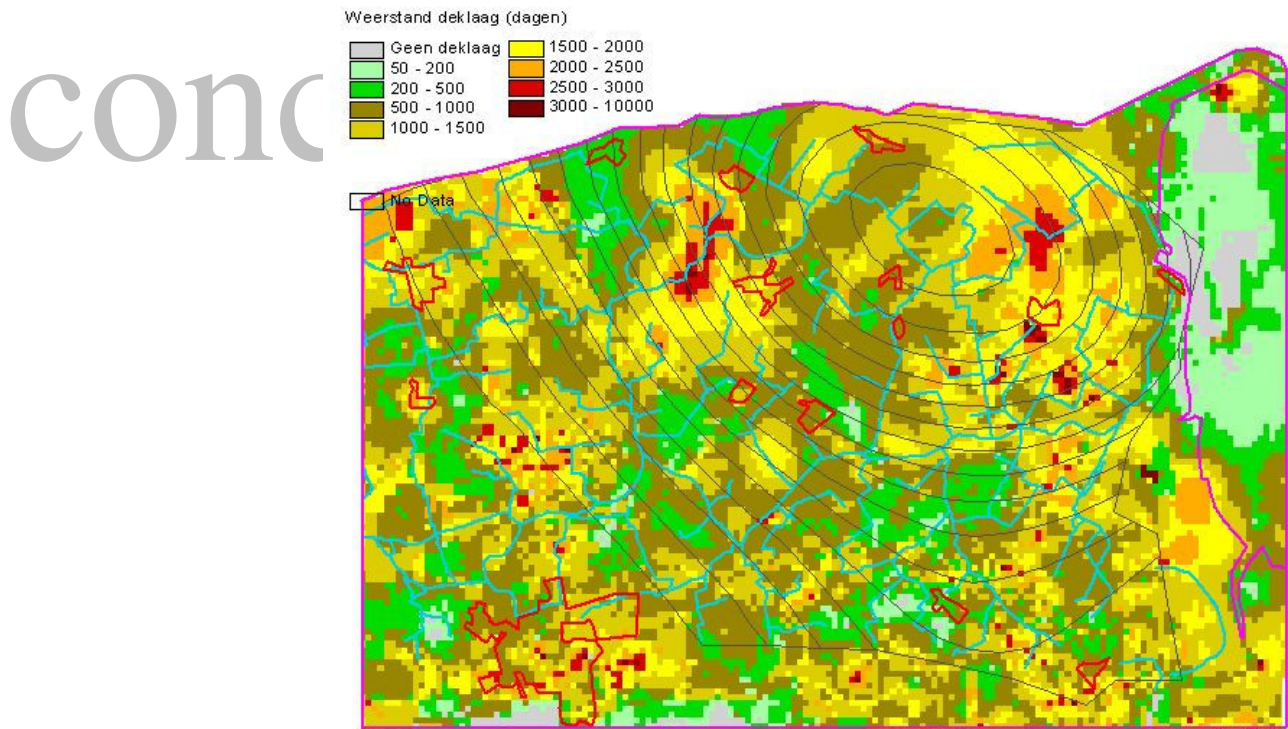
In een volgend hoofdstuk wordt de kwelintensiteit besproken die met het grondwatermodel is berekend (zie Paragraaf 4.2.2), hieronder wordt dieper ingegaan op de samenstelling van de deklaag en de ruimtelijke variatie daarvan.

2.2.1 Opbouw van de deklaag

In Figuur 5 en Figuur 6 staan respectievelijk de dikte van de deklaag en de weerstand van de deklaag weergegeven. In Bijlage A staat de samenstelling van de deklaag weergegeven door de dikte van de klei-, veen- en zandlagen weer te geven.



Figuur 5 Dikte van de deklaag (bron: DINO)



Figuur 6 Weerstand van de deklaag (bron: DINO)

De deklaag is op een drietal locaties zichtbaar dikker dan 12 meter. De structuren zijn te herkennen als oude getijdegeulen van de zee. De meest oostelijke ligt ter hoogte van het huidige Lauwersmeer. De deklaag is dan wel dikker maar bestaat voornamelijk uit zand (zie Bijlage A) en heeft daardoor niet een extra hogere weerstand (zie Figuur 6). Ter hoogte van het Lauwersmeer is door erosie van de oude getijdegeulen vrijwel al het klei en veen verdwenen. De deklaag bestaat hier bijna uitsluitend uit zand en heeft daardoor nauwelijks een weerstand, waardoor het Lauwersmeer in min of meer open verbinding staat met het onderliggende watervoerende pakket.

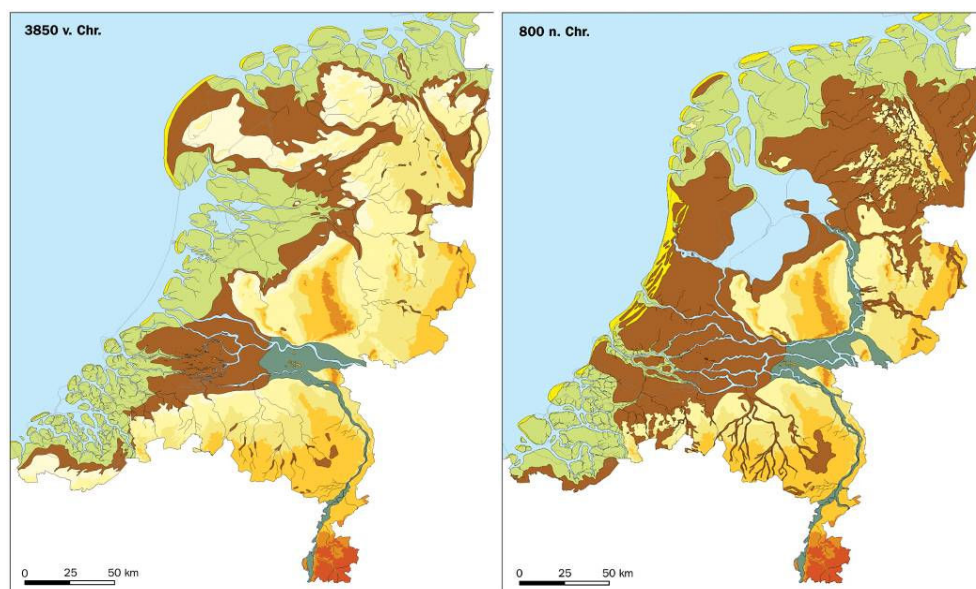
Daarnaast zijn ook duidelijk een aantal locaties zichtbaar met een geringe weerstand (minder dan 500 dagen). Hier is de kans op hogere kwelintensiteiten groter. Dit hangt echter direct samen met het stijghoogteverschil.

3 Chloridegehalte van grond- en oppervlaktewater

3.1 Waar komt het zoute grondwater vandaan?

Tijdens een groot deel van het Holocene (periode na de laatste ijstijd) was het noordelijke deel van Groningen en Fryslân een getijdengebied (zie Figuur 7). In dit getijdengebied is door de zee klei afgezet, soms zelfs op het aanwezige veen, is het veen weggeslagen, hebben zich krekken gevormd en zijn er zandige sedimenten neergelegd. Bovenal heeft er zich gedurende een lange periode tijdens het Holocene (ongeveer 7000 jaar), zout zeewater de bodem kunnen infiltreren in periode dat de zee het gebied overstroomde (zogenaamde transgressies). Daarom vinden we nu het brakke-zoute grondwater zeer ondiep in Fryslân.

Sinds 1200 na Christus hebben er vele bedijkingen in het gebied plaatsgevonden om land van de zee te winnen en stopte de infiltratie van zeewater.

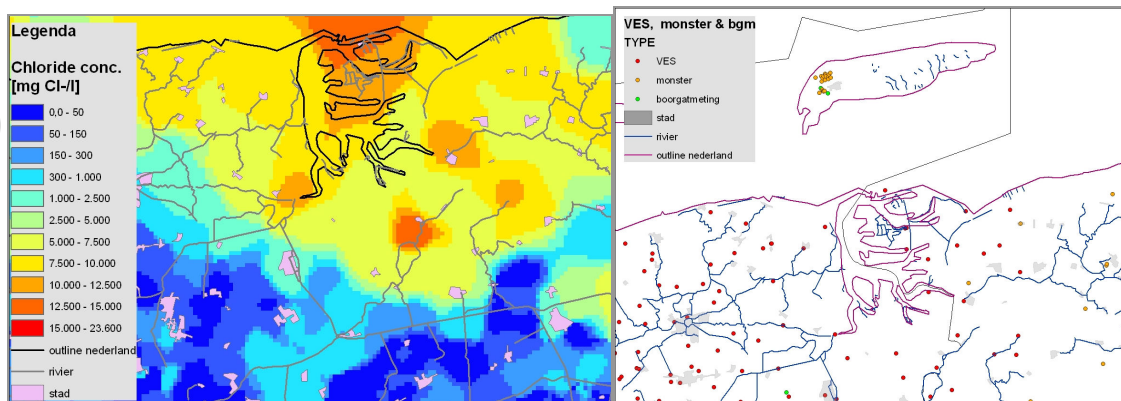


Figuur 7 De maximale transgressie tijdens het Holocene (links) en de transgressie-situatie 800 na Chr. [groen=getijdengebied; bruin=veenvorming; geel =zand]

3.2 Chlorideconcentratie van het grondwater

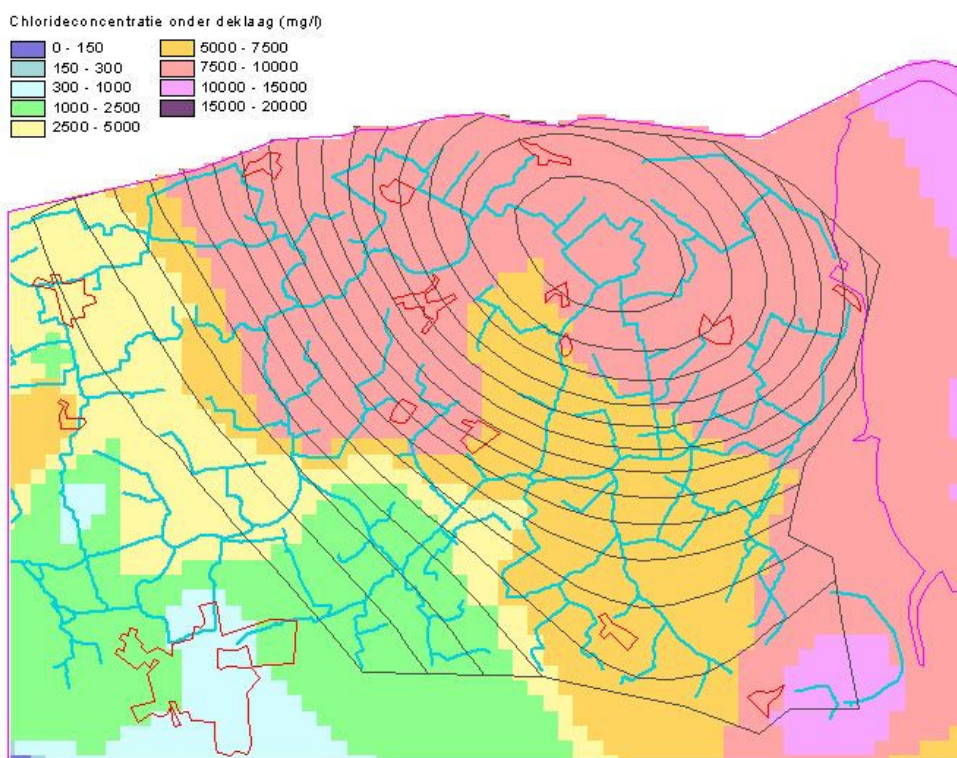
In Figuur 8 staat de chlorideconcentratie weergegeven van het grondwater direct onder de deklaag voor het Lauwermeersgebied. Het grondwater direct onder de deklaag bereikt uiteindelijk via kwel het oppervlak (in kwelgebieden).

Duidelijk zichtbaar is dat het zoute grondwater ter hoogte van het Lauwersmeer verder landinwaarts reikt. Dit is het gevolg van de grotere en langere zeeinvloed in dit deel van het gebied waardoor meer zout water heeft kunnen infiltreren. Ongeveer 10 km ten zuiden van het Lauwersmeer krijgt het grondwater een chloridegehalte van minder dan 1000 mg/l. Ter hoogte van Dokkum wordt deze grens al bereikt op ongeveer 6 km van de kust.



Figuur 8 Chlorideconcentratie onderkant deklaag (TNO, Oude Essink et al., 2005) (links); posities van chlorideconcentratie monsters, boorgatmetingen en Verticale Elektrische Sonderingen in het studiegebied uit het DINO-databestand (rechts)

In het bodemdalingsgebied varieert het chloridegehalte van het grondwater onder de deklaag van ongeveer 1000 tot 2500 mg/l in het zuidwestelijke tot 5000 tot 10000 mg/l in het noordoostelijk deel van het bodemdalingsgebied.

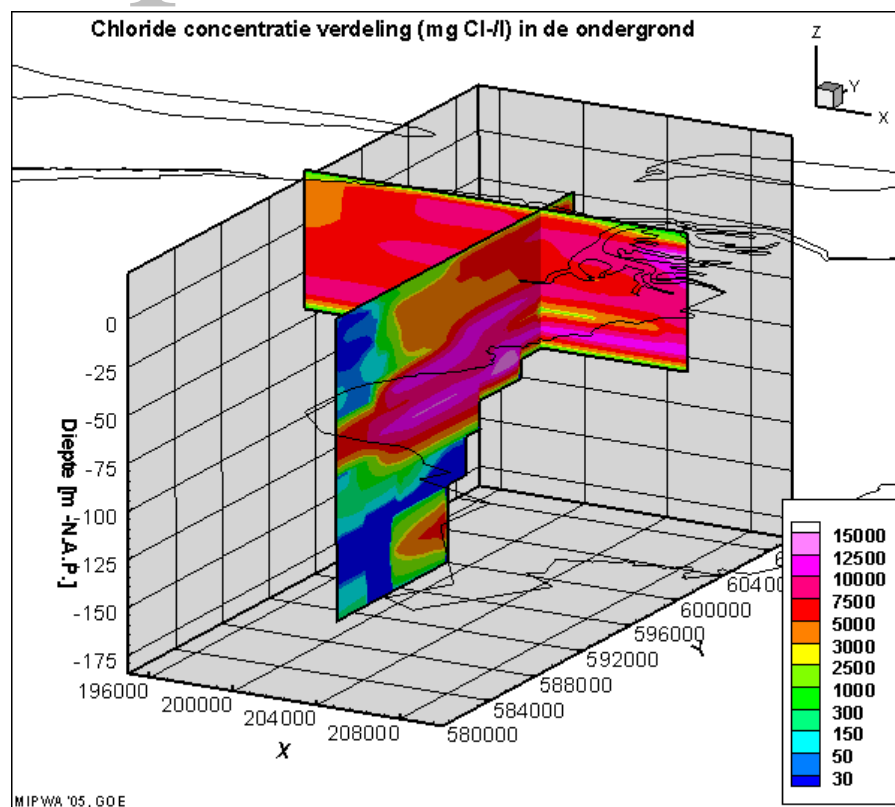


Figuur 9 Chlorideconcentratie onderkant deklaag, ingezoomd op studiegebied (mg/l)

3.3 Autonome verzilting grondwater sinds inpoldering

Figuur 8 en Figuur 9 laten alleen de chlorideconcentratie van het grondwater direct onder deklaag zien. Echter, het zoutgehalte neemt toe met de diepte. In de toekomst zal hierdoor de verzilting toenemen omdat er steeds dieper en dus zouter grondwater het

oppervlak bereikt. Een proces dat ook wel autonome verzilting wordt genoemd en gestart is sinds de drooglegging van de polders. Het is dus verstandig om ook naar het diepere grondwater te kijken. In Figuur 10 is duidelijk te zien dat voor het studiegebied ook het diepere grondwater zout is en waarden boven de 10000 mg/l bereikt.



Figuur 10 Chlorideconcentratie van het grondwater in een noord-zuid en west-oost profiel met middelpunt ongeveer 2 km ten zuiden van het centrum van de bodemdalingsprognose (xy=202200, 602400) (bron: Oude Essink, 2006).

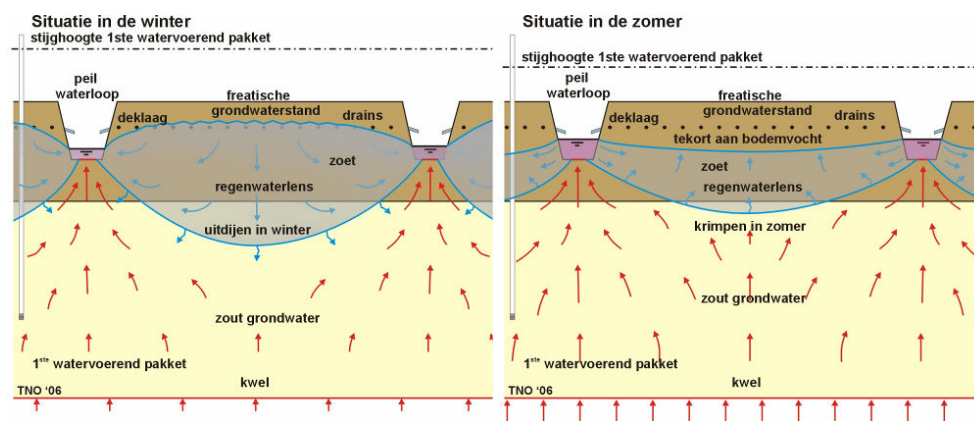
Uit de huidige kwelflux kan een inschatting gemaakt worden van de toestroomsnelheid van het zoute grondwater. Als we uitgaan van een maximale jaargemiddelde kwelflux van 0.4 mm/dag (zie modelberekeningen Tabel 1, scenario 2) en een porositeit van 0.25, dan zal het grondwater in 50 jaar tijd ca. 30 m afleggen. Voor de chlorideconcentratie in 2050 gaan we daarom uit van de chlorideconcentratie op 30 m onder de deklaag. In het westelijk deel van Dongeradeel is deze concentratie hoger, van enkele procenten tot 50%. In het oostelijk deel van Dongeradeel komen echter lagere concentraties voor. In het noordoosten van het studiegebied bevindt zich zelfs zoeter grondwater op 30 m onder de deklaag. Hier zal de chloridebelasting iets (tot enkele procenten) afnemen. Gemiddeld genomen is er een toename van 11% te verwachten.

3.4 Zoute kwel in sloot en perceel

Zoute kwel in de sloten leidt tot verzilting van het oppervlaktewater waardoor het water minder of niet meer geschikt wordt voor beregening van landbouwgewassen tenzij men het doorspoelen met zoet water laat toenemen.

Dat de landbouw in de zoute kwelgebieden normaal gesproken nauwelijks hinder ondervindt van het zoute grondwater in het perceel, komt door de natuurlijke

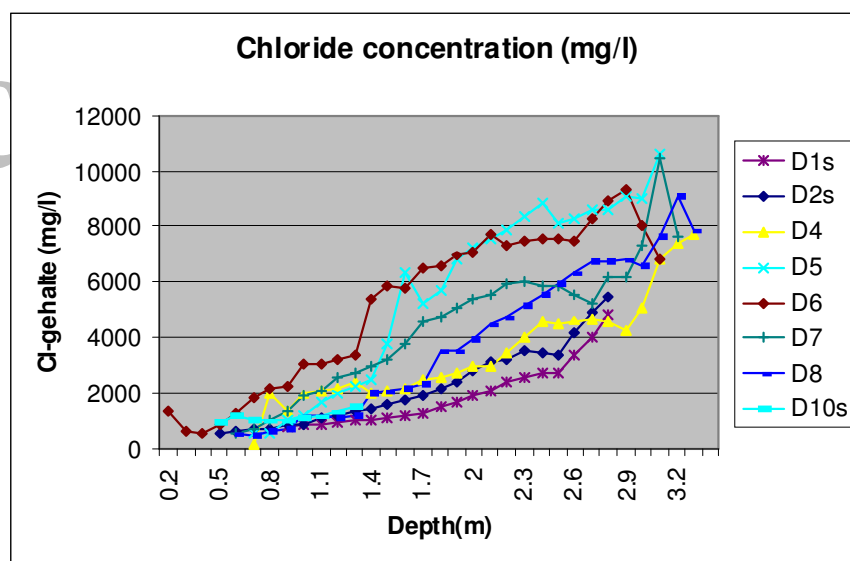
grondwateraanvulling (regen). Er ontstaat een laag zoet water boven het brakke/zoute grondwater: de zogenaamde regenwaterlens (Figuur 11). Dat gebeurt vooral in het najaar en in de winterperiode. Tijdens dat proces wordt het omhoog kwellende zoute of brakke water opzij gedruwd, waardoor het naar de sloten stroomt, samen met het overtollige regenwater dat via drains en greppels in de sloten komt.



Figuur 11 Dynamiek van een regenwaterlens in een zoute omgeving: conceptueel stromingsbeeld in de winter- en zomersituatie

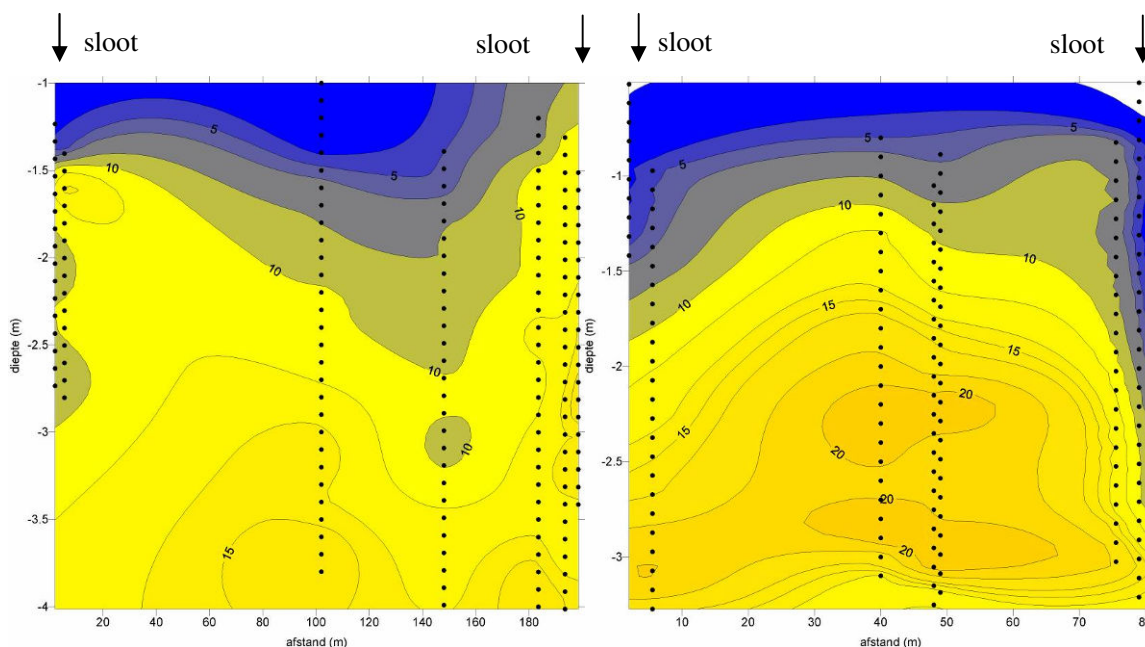
Vanaf het voorjaar zal de grondwaterstand door drainage en gewasverdamping geleidelijk dalen. Op een gegeven moment kan de grondwaterstand lager worden dan het slootpeil. Door capillaire opstijging en gewasverdamping wordt de zoetwaterlaag in de zomer dunner. Dit heeft ook tot gevolg dat zout grondwater zich in de buurt van de wortelzone gaat bevinden. Onder normale omstandigheden blijft in de meeste gebieden over het algemeen genoeg zoet water in de wortelzone over. Alleen in erg droge periodes kan dit zoute water vervolgens naar de wortels stromen, met mogelijkerwijs zoutschade tot gevolg.

In 2006 is uitgebreid veldonderzoek gedaan naar het chloridegehalte van het ondiepe grondwater in sloten en landbouwpercelen (Maljaars en Wils, 2006; De Louw e.a., 2006). In Figuur 12 zijn voor perceel D de verschillende metingen in het perceel in een diepteprofiel weergegeven. Te zien is dat de chlorideconcentratie zeer sterk met de diepte toeneemt. Op 3 meter diepte worden al waarden van 6000 mg/l bereikt. Ondieper dan 80 cm liggen de waarden beneden de 800 mg/l.



Figuur 12 De chlorideconcentratie met de diepte voor perceel D ten noorden van het dorpje Ee. Metingen in de sloot worden aangeduid met toevoeging s.

Alle meetpunten laten een toename zien van het zoutgehalte met de diepte maar er zijn toch grote verschillen tussen de percelen merkbaar. Figuur 13 laat duidelijk het verschil zien tussen een situatie waarin kwel in de sloten plaatsvindt (links) en infiltratie vanuit de sloot plaatsvindt (rechts) als gevolg van een ander polderpeil. In de situatie met infiltratie vanuit de sloot zit het zoute grondwater toch nog vrij ondiep. Dit betekent dat er geen permanente infiltratiesituatie heerst maar dat kwel, met name in het midden van het perceel, ook een rol speelt. In de linkerfiguur is duidelijk te zien dat de zone met zoeter grondwater in het midden van het perceel het dikst is.



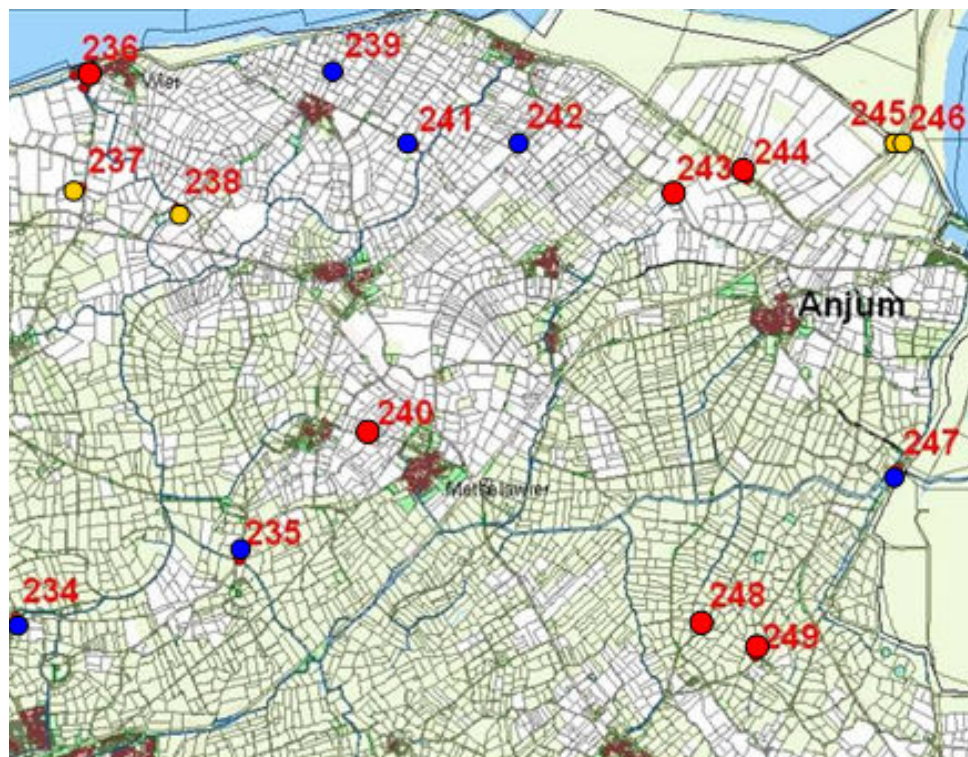
Figuur 13 De gemeten prikstok EC-waarde (hoe hoger hoe zouter), geïnterpoleerd in een profiel met de diepte. Links perceel H, zoute kwel naar rechtersloot, rechts perceel D infiltratie vanuit rechtersloot (bron: Maljaars en Wils, 2006).

Uit de metingen (De Louw e.a., 2006) blijkt dat er geen zoet grondwater is aangetroffen (<300 mg/l) voor de percelen in het laag gelegen gebied de Kolken. De percelen verschillen onderling maar laten allemaal een toename van het chloridegehalte met de diepte zien. Op een diepte van 4 meter wordt in alle gevallen een hogere chlorideconcentratie gemeten dan 6000 mg/l. Dit zijn erg hoge waarden. Belangrijk is dat er bijna nergens echt zoet grondwater is aangetroffen en er dus nauwelijks sprake is van een zoetwater lens. Het veldonderzoek heeft, met uitzondering van perceel G, alleen in de laaggelegen gebieden plaatsgevonden. Perceel G ligt in het zandgebied (oude getijde oeverwal) ongeveer 0.8 m boven zeeniveau en in dit gebied vindt voornamelijk infiltratie van regenwater plaats waardoor het ondiepe grondwater zoet is.

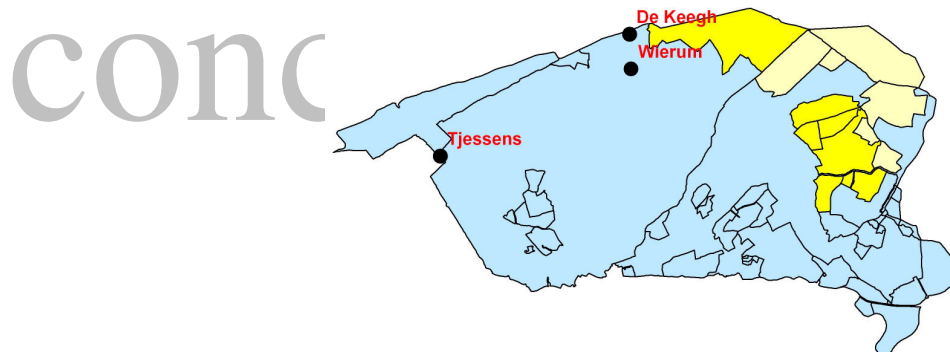
3.5 Het chloridegehalte van het oppervlaktewater

De oppervlaktewateren in het gebied kunnen veelal aangemerkt worden als brak. Om het brakke water te verdunnen, worden enkele watergangen in het noorden van het onderzoeksgebied i.h.k.v. het zoetwaterplan Holwerd-Nes doorgespoeld met boezemwater van de Friese Boezem. De watergangen in de Kolken wateren op de Zuider Ee af die zijn water op het Lauwersmeer loost.

In Figuur 14 staan de locaties weergegeven waar het wetterskip regelmatig de Elektrische Geleidbaarheid meet (maandelijks). Deze Elektrische Geleidbaarheid wordt vervolgens omgerekend naar chlorideconcentratie. Regelmatig vinden met labanalyses controles plaats van deze omrekening. Voor dit oriënterende onderzoek zijn de reeksen in de periode 1997-2005 beschikbaar. De reeksen zijn afgebeeld in Bijlage B.



Figuur 14 Locatie van oppervlaktewatermeetpunten Elektrische Geleidbaarheid en het gemiddelde chloridegehalte in de zomer: blauw=<800 mg/l; oranje=800-1200 mg/l; rood >1200 mg/l.



Figuur 15 Locatie van de EC-telemetriestations

Daarnaast is een drietal meetreeksen beschikbaar van EC-telemetriestations (automatische opname op 15 minuten interval), in de periode 2002-2007. Het betreft meetpunten bij Wierum, Tjessens en De Keegh (zie Figuur 15). Ook deze meetreeksen zijn weergegeven in Bijlage B, waarbij de reeksen naar dagwaarden zijn geaggregeerd. Duidelijk is te zien dat de concentraties in de zomer vele malen hoger liggen dan in een gemiddelde wintersituaties. In de winter verdunt het overvloedige regenwater het zoute kwelwater waardoor de concentraties laag blijven.

In de zomer van 1996 heeft het wetterskip eenmalig het chloridegehalte van het oppervlaktewater bepaald (zie voorstudie Wetterskip). De resultaten van deze chloriderouting zijn gemiddeld per peilgebied, weergegeven in Tabel 1.

Alle meetpunten met relatief lage concentraties (blauwe meetpunten in Figuur 14 en Figuur 15) liggen in de infiltratiegebieden. De meetpunten met hoge chloridegehalten (rood en oranje) liggen met name in de kwelgebieden. Meetpunt 245 en 246 vormen hierop een uitzondering.

Daarnaast speelt de aanvoer van zoet water in het noorden van Dongeradeel een rol in de relatief lage concentraties van punten 239, 241, 242 en de EC-divers bij Tjessens en De Keegh. Deze punten liggen op de doorstroomroute van het zoetwaterplan Holwerd-Nes.

De chlorideconcentraties van het oppervlaktewater geven geen lokaal beeld van de situatie maar een gemiddeld beeld van het gebied stroomopwaarts van het meetpunt.

3.6 Verzilting door zoute kwel

Zoals eerder beschreven wordt het zoute oppervlaktewater, ondiepe grond- en bodemwater veroorzaakt door zoute kwel vanuit het eerste watervoerende pakket. De intensiteit van deze zoute kwel laat zich gemakkelijk berekenen met de formule van Darcy:

$$\text{Kwel} = \text{stijghoogteverschil} \text{ gedeeld door weerstand deklaag}$$

De *weerstand van de deklaag* neemt toe naarmate deze dikker wordt en uit klei en veen bestaat. Hoe lager de weerstand van de deklaag, hoe groter de kwelintensiteit (zie Paragraaf 2.2). Met het *stijghoogteverschil* wordt bedoeld het verschil tussen de grondwaterdruk in het eerste watervoerende pakket (stijghoogte) en de (grond)waterdruk in de deklaag (dus het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand in de percelen). Hoe groter het stijghoogteverschil, hoe groter de kwelintensiteit. Dit stijghoogteverschil wordt in geval van kwel ook wel kweldruk genoemd.

concepi

Toekomstige veranderingen van verzilting door zoute kwel zullen worden veroorzaakt door veranderingen in kweldruk of veranderingen in zoutgehalte van het kwellende grondwater. In dit hoofdstuk is al uitgebreid stil gestaan bij veranderingen in zoutgehalte door het autonome verziltingsproces. Hieronder wordt kort ingegaan op veranderingen in kweldruk.

Veranderingen in kweldruk kunnen onder andere worden veroorzaakt door:

1. Zeespiegelstijging;
2. Grondwateronttrekkingen;
3. Verandering ontwaterings situatie;
4. Bodemdaling;
5. Verandering neerslagoverschot.

Ad 1. Door zeespiegelstijging zal de stijghoogtedruk in het eerste watervoerende pakket toenemen. De uitstraling van de zeespiegelstijging is afhankelijk de weerstand van de deklaag en de het doorlaatvermogen in het eerste watervoerende pakket.

Ad 2. Grondwateronttrekkingen hebben een verlagend effect op de stijghoogte in de verschillende watervoerende pakketten.

Ad 3. Met ontwaterings situatie wordt bedoeld de kenmerken van het stelsel aan ontwateringsmiddelen zoals vaarten, sloten, greppels en drainagebuizen. Met name het ontwateringsniveau (waterpeil, drainagediepte) en de dichtheid aan ontwateringsmiddelen hebben invloed op de freatische grondwaterstand en het oppervlaktewaterpeil. Veranderingen die leiden tot een verlaging van het ontwateringsniveau en een toename van de ontwateringsdichtheid leiden tot een toename van de kwel. Bijvoorbeeld peilverlaging van hoofdvaarten en sloten maar ook de verandering van greppeldrainage naar buisdrainage leiden tot een gemiddeld lagere grondwaterstand en daardoor tot een toename van de kwel.

Ad 4. Bodemdaling heeft een direct effect op de toename van de kwel als bestaande drainagebuizen en greppels mee dalen en daardoor het ontwateringsniveau lager komt te liggen. Indirect kan bodemdaling een effect hebben als peilverlagingen noodzakelijk blijken om voor de landbouw een zelfde ontwaterings situatie te handhaven.

Ad 5. Er wordt voorspeld dat door klimaatverandering het neerslagoverschot verandert, meer winterneerslag, minder zomerneerslag en meer zomerverdamping. Dit heeft gevolgen voor de freatische grondwaterstand en daarmee voor de kwel.

4 Effect van bodemdaling en zeespiegelstijging: modelberekeningen

4.1 Aanpak

Om het ordegrootte effect van bodemdaling en zeespiegelstijging op de kwelflux en op de zoutbelasting te bepalen, zijn berekeningen uitgevoerd met een ruimtelijk grondwatermodel. Hiervoor is het MIPWA-model gebruikt (TNO, 2007), een grootschalig en gedetailleerd grondwatermodel van Noord-Nederland. Het interessegebied Dongeradeel valt binnen de modelgrenzen van MIPWA. Het model is gerund over de periode 1989-2001, wat als een referentie-periode gezien kan worden (de situatie voor bodemdaling). Er zijn 6 modelruns uitgevoerd:

- Huidige situatie (referentiemodel, geen aanpassingen aan het MIPWA-model);
- Scenario 1: toepassing van bodemdaling, waarbij de drains de bodemdaling volgen, maar het oppervlaktewaterpeil gehandhaafd blijft;
- Scenario 2: toepassing van bodemdaling, waarbij de drains en het peil de bodemdaling volgen;
- Scenario 3: geen bodemdaling, wel toepassing van zeespiegelstijging, waarbij het peil in de Waddenzee verhoogd is;
- Scenario 4: toepassing van zeespiegelstijging en bodemdaling met aanpassing drains, peil blijft gehandhaafd (combinatie scenario 1 en 3);
- Scenario 5: toepassing van zeespiegelstijging en bodemdaling met aanpassing drains en peil (combinatie scenario 2 en 3).

De 5 scenario's zijn gerund met dezelfde meteorologische input als het referentiemodel. De bodemdaling is toegepast door de prognose voor 2050 af te trekken van het huidige maaiveld, de drainagediepte en (in scenario 2 en 5) het oppervlaktewaterpeil. In het huidige MIPWA model komt drainage voor op vrijwel het gehele oppervlak van Dongeradeel.

In scenario 3 t/m 5 is het Waddenzeepeil verhoogd met 25 cm. Dit is de voor 2050 geprognostiseerde zeespiegelstijging van het WB21-midden scenario. Deze stijging valt in de range van 15-35 cm die door het KNMI in de G, G+, W en W+ scenario's is berekend.

De veranderingen door bodemdaling en zeespiegelstijging zijn per modelcel uitgevoerd, voorzover relevant.

Uit de 14-daagse modelresultaten over de modelperiode zijn de volgende vlakdekkende gegevens berekend:

- GLG en GHG en het verschil tussen de huidige situatie en de scenario's;
- Kwelflux: gemiddelde flux van het eerste watervoerende pakket naar de deklaag (een negatieve waarde betekent infiltratie);
- Chloridebelasting: dit wordt berekend door de chlorideconcentratie in het grondwater (direct onder de deklaag) te vermenigvuldigen met de kwelflux; hierbij dient opgemerkt te worden, dat de infiltratiefluxen geen bijdrage (ook geen negatieve) leveren aan de chloridebelasting, omdat chloride alleen door de kwelflux wordt aangevoerd. Voor de chloridebelasting is uitgegaan van de huidige chlorideconcentratie van het grondwater en de concentratie na autonome verzilting (zie Paragraaf 3.3).

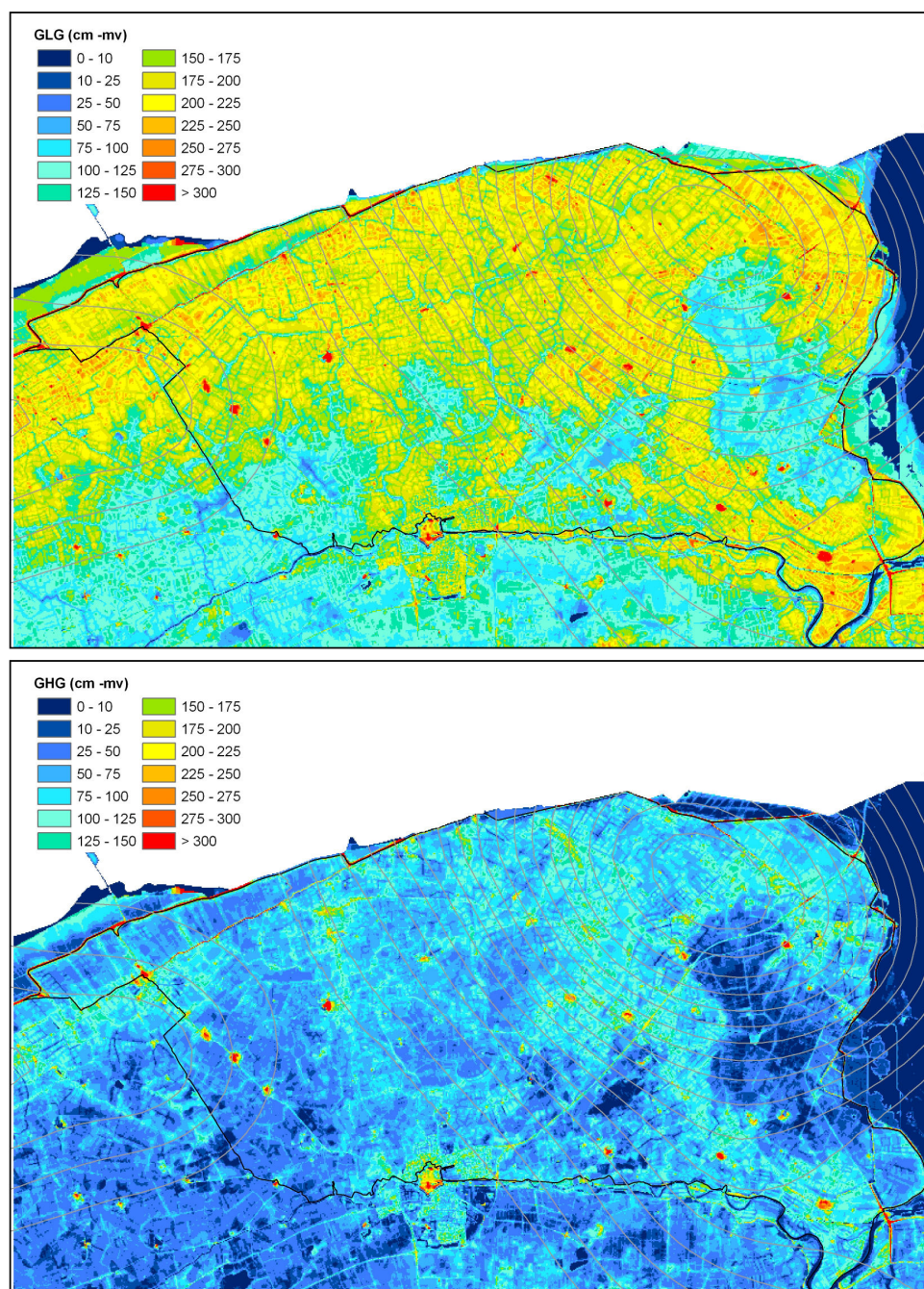
Voor elk van de 58 peilgebieden zijn de resultaten samengevat in de volgende gemiddelde waarden:

- Chlorideconcentratie onder de deklaag;
- Bodemdaling: de prognose voor 2010 en voor 2050;
- Kwelflux in de 6 modelruns;
- Chloridebelasting per oppervlakte-eenheid in de 3 modelruns: net als bij de vlakdekkende resultaten geldt hier dat de infiltratiefluxen zijn uitgesloten van de berekening; hierdoor kan het voorkomen dat in een peilgebied met een gemiddeld negatieve kwelflux (infiltratie) toch een chloridebelasting voorkomt;
- Totale chloridebelasting voor het peilgebied: dit is het product van de chloridebelasting per oppervlakte-eenheid en het oppervlak van het peilgebied.

4.2 Resultaten

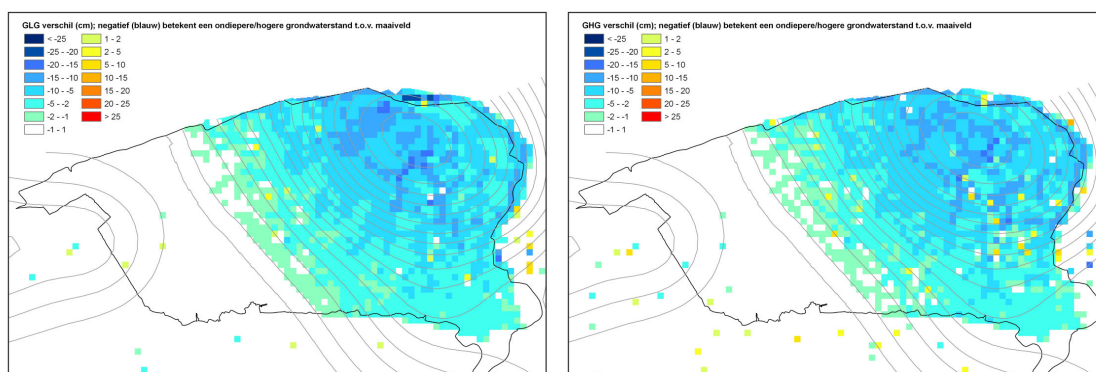
4.2.1 GLG en GHG

In Figuur 16 zijn duidelijk de laaggelegen gebieden (met name De Kolken) te herkennen aan de lage GLG en GHG (een lage GxG t.o.v. maaiveld betekent een hoge grondwaterstand). Verder valt op dat het verschil tussen GHG en GLG grofweg 1 tot 1.5 m bedraagt. Dit geeft een indicatie van de jaarlijkse amplitude in de grondwaterstand.

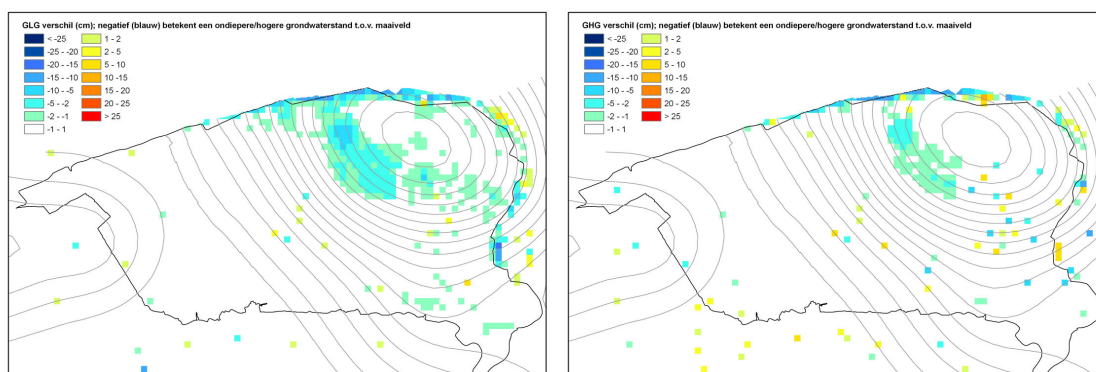


Figuur 16 GLG (boven) en GHG (onder) in de huidige situatie

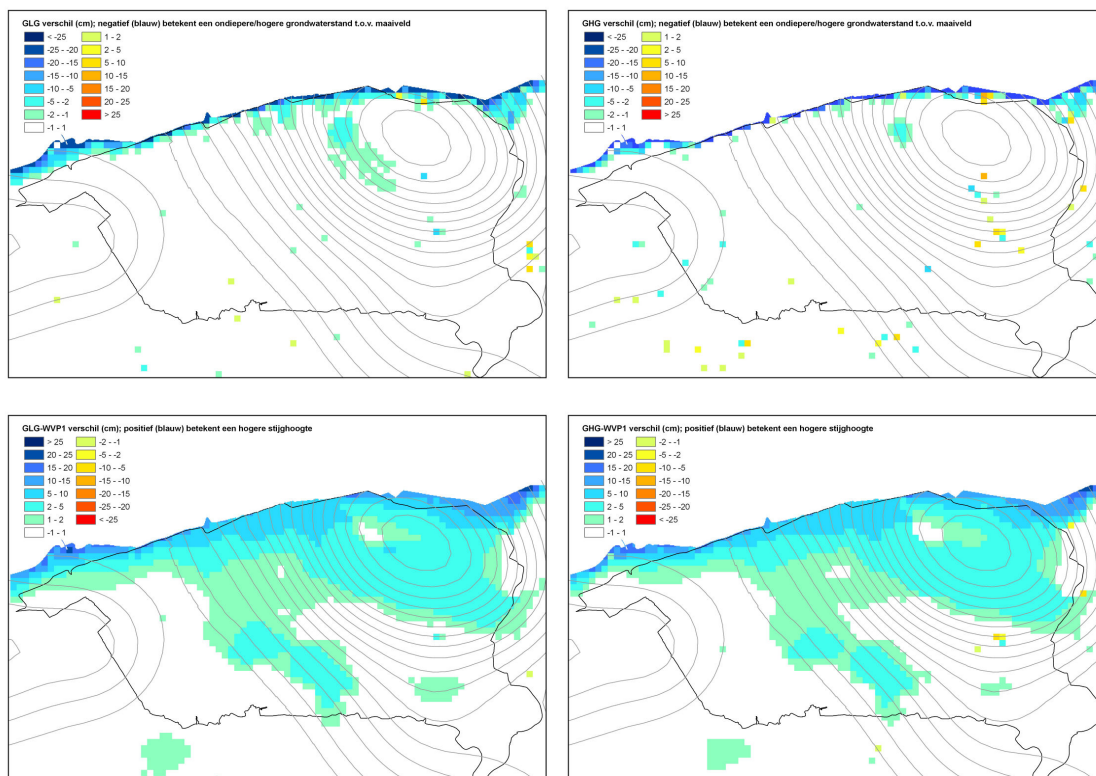
CO



Figuur 17 Verschil in GLG (links) en GHG (rechts) tussen scenario 1 en huidige situatie



Figuur 18 Verschil in GLG (links) en GHG (rechts) tussen scenario 2 en huidige situatie



Figuur 19 Verschil in GLG (links) en GHG (rechts) tussen scenario 3 en huidige situatie; boven: GLG en GHG in de deklaag; onder: GLG en GHG in 1° watervoerende pakket.

In de verschilkaarten tussen de GLG/GHG van de scenario 1 en de huidige situatie is duidelijk de bodemdalingsprognose zichtbaar (Figuur 17). In dit scenario is het verschil in het bodemdalingsgebied negatief, d.w.z. dat de grondwaterstand dichterbij het maaiveld staat. Dit effect wordt veroorzaakt door de daling van het maaiveld en de drainagebuizen, terwijl het oppervlaktewater gelijk blijft. Dit heeft een geringere drooglegging tot gevolg.

In scenario 2 is de afname in drooglegging gecompenseerd door een peilverlaging toe te passen die even groot is als de bodemdaling. Het gevolg is dat de grondwaterstand meedaalt met de bodemdaling. Hierdoor is de grondwaterstand t.o.v. het maaiveld slechts in geringe mate ondieper geworden in vergelijking met de huidige situatie (Figuur 18). Toch is op enkele plaatsen de grondwaterstand 2 tot 10 cm dichterbij het maaiveld gekomen. Dit hangt samen met de toename in kwelintensiteit (zie Paragraaf 4.2.2), waardoor de peilverlaging de effecten van bodemdaling niet geheel kan compenseren.

Het effect van zeespiegelstijging (scenario 3) op de grondwaterstand is zeer gering en alleen aanwezig direct aan de kust (Figuur 19). De uitstraling van de zeespiegelstijging geschiedt via de stijghoogte in het 1e watervoerende pakket. De zone vanuit de Waddenzee waarbinnen nog 2 cm effect op de stijghoogte waarneembaar is, is klein (westelijk deel) tot ca. 2 km (oostelijk deel). Opvallend is dat in het midden deel van het gebied de zeespiegelstijging tot in het zuiden een effect van enkele centimeters heeft. Hier speelt de samenstelling van de ondergrond een rol. Overigens dient hier opgemerkt te worden dat het effect van 25 cm zeespiegelstijging op de stijghoogte van het 1e watervoerende pakket in de Waddenzee vlak voor de kust slechts ca. 10 cm is. Dit hangt samen met de aanwezigheid van scheidende lagen in de zone van enkele kilometers voor de kust. Op grotere afstand voor de kust is het effect van zeespiegelstijging op het 1e watervoerende pakket wel 25 cm, omdat daar scheidende lagen ontbreken.

In scenario 4 is het effect op de grondwaterstand vergelijkbaar met scenario 1 en het effect op de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket vergelijkbaar met scenario 3. Voor scenario 5 geldt een zelfde overeenkomst met scenario 2 en scenario 3.

4.2.2 Chlorideconcentratie en kwelflux

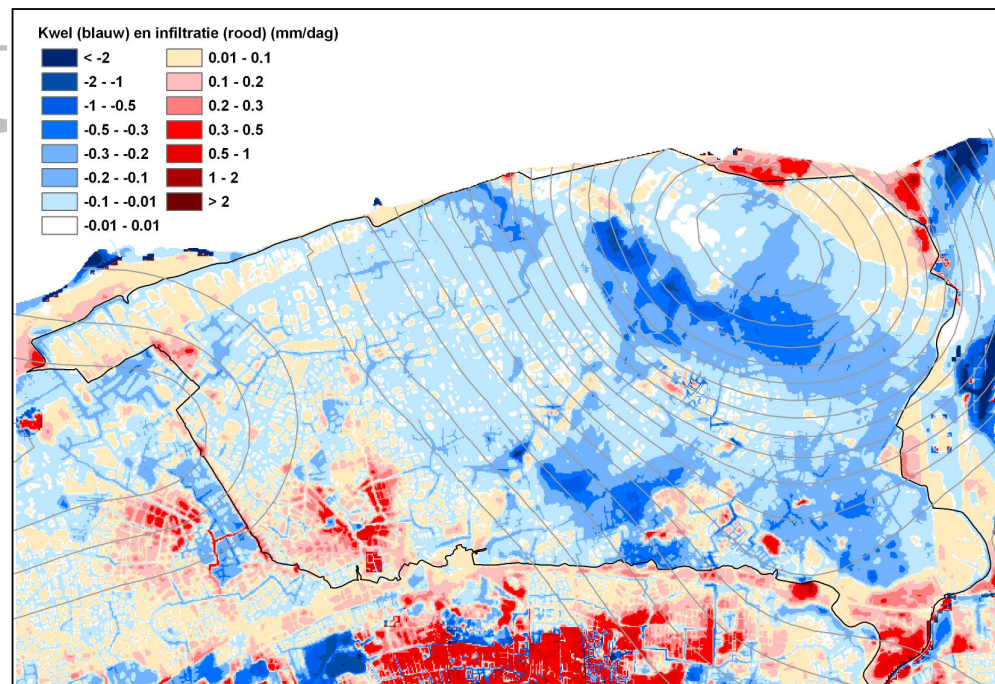
In Figuur 20 is de gemiddelde kwel- en infiltratieflux in de huidige situatie weergegeven. Opvallend zijn de gebieden met sterke kwelflux, De Kolken en het gebied rond Oosternijkerk. De oorzaak hiervan ligt niet zozeer in de lage weerstand van de deklaag op deze plaatsen, maar in het grote stijghoogte verschil tussen het eerste watervoerende pakket en de deklaag.

De noordrand en de noord-oosthoek van Dongeradeel komen als infiltratiegebieden naar voren. Dit zijn de hogergelegen delen van het gebied.

De totalen en gemiddelden per peilgebied zijn weergegeven in Bijlage C en voor de peilgebieden 1 t/m 14 in Tabel 1 hieronder. In deze tabellen staan ook het oppervlak, de gemiddelde chlorideconcentratie in het oppervlakte water en grondwater onder de deklaag en de verwachte bodemdaling weergegeven.

Sommige gebieden hebben gemiddeld een negatieve kwelflux, d.w.z. infiltratie (b.v. peilgebied 11). Andere gebieden, die een gemiddeld positieve kwelflux hebben, kunnen een deel van het jaar wel infiltratiegebied zijn. Dit is weergegeven in Tabel 2, waarin de kwelflux tijdens de GLG- en de GHG-situatie is weergegeven. Een voorbeeld hiervan is peilgebied 1. In de GHG-situatie vindt hier infiltratie plaats. De positieve GLG-kwelflux domineert echter in enkele scenario's, hetgeen gemiddeld tot kwel leidt.

conc



Figuur 20 Kwel- en infiltratieflux in huidige situatie (mm/dag)

Tabel 1 Oppervlakte, chloride-concentratie in oppervlakte water en onder deklaag, bodemdaling en kwelflux in peilgebieden 1 t/m 14 (zie Tabel C 1 op pag. 41 voor alle peilgebieden)

Nr.	Code	Oppervlakte (ha)	Cl-conc. opp.water zomer '96 (mg/l)	Cl-conc. onder deklaag (mg/l)	Gemiddelde bodemdaling (cm)		Gemiddelde kwelflux in huidige situatie en scenario's (mm/dag); negatief = infiltratie					
					2010	2050	huidig	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5
1	GPG-W4	590	591	8309	5	14	-0.015	-0.002	0.026	-0.009	0.005	0.032
2	GPG-W11	143	1415	7865	9	16	0.291	0.314	0.354	0.305	0.328	0.369
3	GPG-W12	71	1481	7815	9	15	0.324	0.344	0.380	0.336	0.356	0.392
4	GPG-W13	58	-	7458	9	14	0.339	0.359	0.395	0.352	0.372	0.408
5	GPG-W14	262	2560	7217	9	13	0.214	0.219	0.239	0.220	0.225	0.245
6	GPG-W32	76	1850	5106	7	10	0.056	0.058	0.063	0.058	0.060	0.064
7	GPG-W19	14	-	5971	7	11	0.027	0.029	0.033	0.028	0.030	0.034
8	GPG-W18	84	-	6665	7	10	0.062	0.067	0.075	0.064	0.069	0.077
9	GPG-W5	271	521	7811	8	17	0.048	0.059	0.080	0.057	0.069	0.089
10	GPG-W6	40	327	7888	8	17	0.086	0.091	0.106	0.094	0.098	0.114
11	GPG-W7	409	455	8455	8	14	-0.049	-0.041	-0.029	-0.041	-0.033	-0.021
12	GPG-W9	246	1264	8177	9	14	0.019	0.025	0.033	0.022	0.028	0.036
13	GPG-W10	39	-	7792	9	14	0.142	0.153	0.177	0.149	0.161	0.185
14	GPG-W15	66	-	7727	8	12	0.142	0.148	0.168	0.147	0.153	0.173

Tabel 2 GLG- en GHG-kwelflux in peilgebieden 1 t/m 14

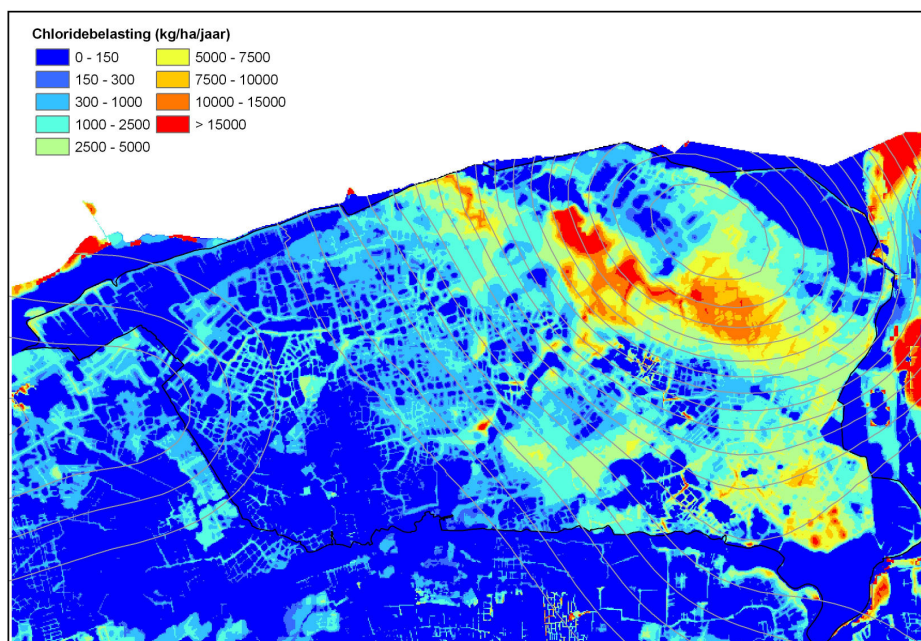
Nr.	Code	Gemiddelde GLG-kwelflux (mm/dag)					Gemiddelde GHG-kwelflux (mm/dag)					
		huidig	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	huidig	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5
1	GPG-W4	0.144	0.155	0.171	0.155	0.165	0.181	-0.053	-0.040	-0.010	-0.040	-0.026
2	GPG-W11	0.339	0.360	0.386	0.352	0.375	0.401	0.230	0.260	0.292	0.247	0.272
3	GPG-W12	0.409	0.431	0.451	0.421	0.442	0.463	0.278	0.300	0.334	0.290	0.314
4	GPG-W13	0.350	0.372	0.389	0.363	0.384	0.401	0.285	0.314	0.342	0.295	0.327
5	GPG-W14	0.238	0.245	0.258	0.244	0.251	0.265	0.184	0.191	0.209	0.190	0.197
6	GPG-W32	0.068	0.071	0.074	0.069	0.072	0.075	0.051	0.053	0.059	0.053	0.054
7	GPG-W19	0.036	0.037	0.040	0.037	0.038	0.041	0.025	0.031	0.031	0.027	0.032
8	GPG-W18	0.090	0.093	0.098	0.092	0.095	0.100	0.056	0.063	0.069	0.058	0.065
9	GPG-W5	0.128	0.138	0.151	0.137	0.148	0.160	0.008	0.018	0.040	0.017	0.027
10	GPG-W6	0.112	0.116	0.128	0.120	0.124	0.136	0.065	0.069	0.085	0.073	0.077
11	GPG-W7	0.023	0.033	0.038	0.030	0.040	0.045	-0.075	-0.068	-0.056	-0.068	-0.062
12	GPG-W9	0.061	0.067	0.072	0.064	0.070	0.075	0.002	0.007	0.016	0.005	0.010
13	GPG-W10	0.237	0.253	0.263	0.245	0.261	0.270	0.086	0.100	0.124	0.093	0.109
14	GPG-W15	0.194	0.202	0.213	0.199	0.207	0.218	0.095	0.104	0.121	0.100	0.110

Zowel door bodemdaling (scenario 1 en 2) als door zeespiegelstijging (scenario 3) neemt de kwelflux toe of, in peilgebieden 1 en 11, de infiltratieflux af.

In de tabellen is te zien dat de kwelflux bij bodemdaling zonder peilverlaging ongeveer gelijk is aan de kwelflux bij zeespiegelstijging; vergelijk hiervoor scenario's 1 en 3. Bij peilverlaging als compenserende maatregel voor een afgenomen drooglegging, zal de kwelflux echter hoger uitvallen dan bij zeespiegelstijging; vergelijk hiervoor scenario's 2 en 3. Hieruit blijkt dat de grondwaterstands daling door bodemdaling+peilverlaging sterker doorwerkt dan de stijghoogtetoe name door zeespiegelstijging. De kwelflux is het hoogst in het gecombineerde scenario 5, waarbij zowel de grondwaterstands daling door bodemdaling en peilverlaging als de stijghoogtetoe name door zeespiegelstijging de kwelflux versterken.

4.2.3 Chloridebelasting

Vrijwel overal in Dongeradeel treedt in meer of mindere mate verzilting op. De hoogste chloridebelastingen treden op bij de hoogste kwelfluxen en lopen op tot ca. 30000 kg/ha/jaar (zie Figuur 21). Het gemiddelde van de peilgebieden hier (gebieden 2, 3 en 4) bedraagt ca. 8000-9000 kg/ha/jaar. Dit is weergegeven in Tabel 3 en Bijlage C. Een veel lagere belasting treedt op in de infiltratiegebieden, zoals peilgebied 11. Slechts een klein deel van het jaar treedt hier kwel en aanvoer van chloride op.



Figuur 21 Chloridebelasting in de huidige situatie

Uit de modelberekeningen blijkt dat door bodemdaling de verzilting toeneemt. Zoals te zien in Figuur 22 treedt in de gebieden met een hoge chloridebelasting ook een hoge absolute toename van de belasting op. Deze toename is het sterkst in scenario 2, waar de kweldruk sterk toeneemt door peilverlaging.

Ook door zeespiegelstijging neemt de verzilting toe, door een toename in de stijghoogte van het 1e watervoerende pakket neemt de kwelflux toe. Het effect van de zeespiegelstijging blijft echter beperkt tot een zone van 0 – 2 km vanuit de Waddenzee. Buiten deze zone is de toename in chloridebelasting klein.

Tabel 3 Chloridebelasting in peilgebieden 1 t/m 14 (zie Tabel C 2 op pag. 42 voor alle peilgebieden)

Nr.	Code	Gemiddelde Cl-belasting per oppervlak (kg/ha/jaar)					Totale Cl-belasting (x 1000 kg/jaar)						
		huidig	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5	huidig	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5
1	GPG-W4	730	973	1649	1070	1363	2131	431	574	973	631	805	1258
2	GPG-W11	8365	9022	10200	8784	9432	10618	1196	1290	1458	1256	1348	1518
3	GPG-W12	9249	9825	10851	9594	10174	11198	658	699	772	683	724	797
4	GPG-W13	9280	9840	10827	9622	10183	11171	539	572	629	559	592	649
5	GPG-W14	5833	5985	6512	6000	6153	6681	1529	1569	1707	1573	1613	1751
6	GPG-W32	1041	1078	1169	1067	1104	1195	79	82	89	81	84	91
7	GPG-W19	591	640	729	617	661	755	9	9	11	9	10	11
8	GPG-W18	1552	1674	1864	1600	1722	1915	130	140	156	134	144	161
9	GPG-W5	1429	1722	2294	1681	1988	2563	388	467	622	456	539	695
10	GPG-W6	2470	2592	3029	2693	2816	3253	98	103	120	107	112	129
11	GPG-W7	114	108	177	149	151	281	46	44	73	61	62	115
12	GPG-W9	748	856	1073	819	930	1153	184	211	264	202	229	284
13	GPG-W10	4025	4354	5041	4236	4565	5254	155	168	195	164	176	203
14	GPG-W15	4008	4182	4744	4153	4326	4889	265	277	314	275	286	324

De gecombineerde scenario's laten zien dat de effecten van bodemdaling en zeespiegelstijging gesuperponeerd kunnen worden.

Voor het gehele studiegebied neemt de totale zoutbelasting in de verschillende scenario's toe:

- Scenario 1: 6% toename
- Scenario 2: 24%
- Scenario 3: 8%
- Scenario 4: 14%
- Scenario 5: 32%

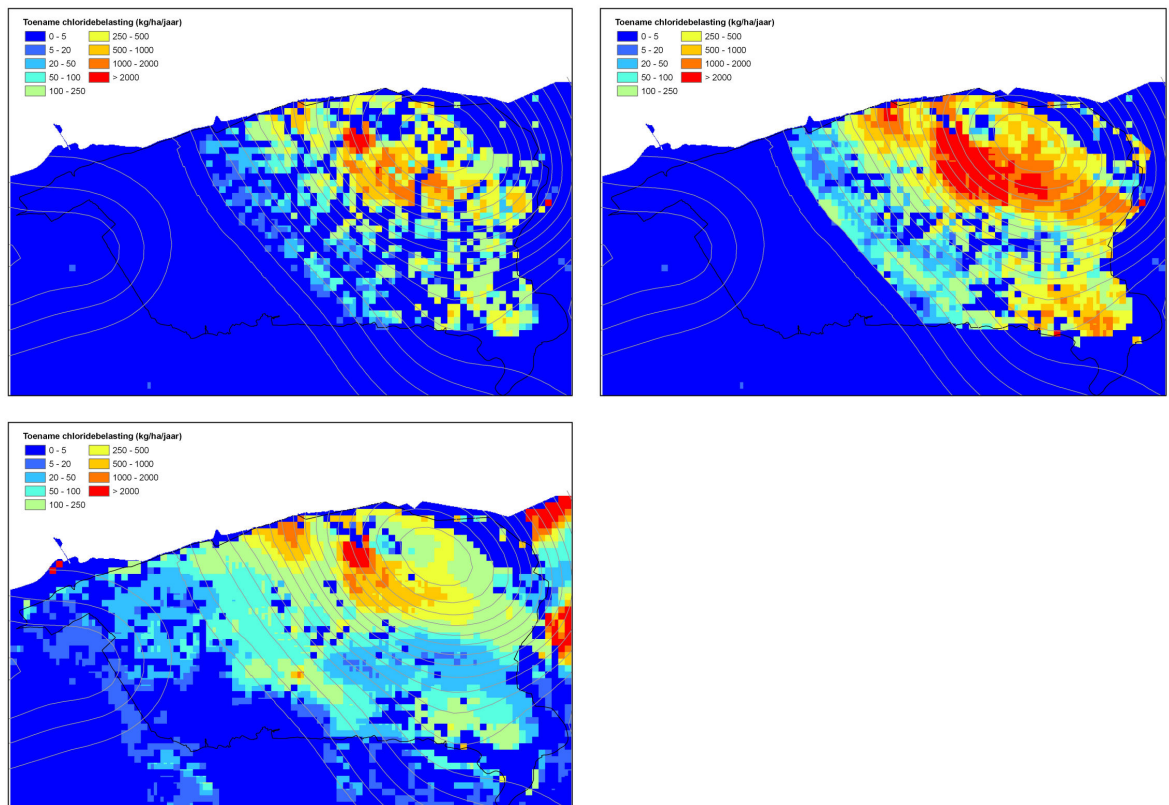
In Tabel C 3 is te zien wat de chloridebelasting is bij autonome verzilting. Zoals gezegd is in het oostelijk deel waarschijnlijk een lichte afname in de chloridebelasting te verwachten. In het westelijk deel van Dongeradeel is duidelijk een toename in de chloridebelasting zichtbaar.

Tabel 4 laat zien wat de relatieve en absolute toename per deelgebied is in de 5 scenario's. De peilgebieden die al een hoge belasting hebben, laten ook de grootste absolute toename zien. De relatieve toename is hier echter meestal lager. Tabel C 4 en Tabel C 5 geven de resultaten voor alle peilgebieden en ook bij autonome verzilting.

Tabel 4 Toename chloridebelasting in peilgebieden 1 t/m 14 (zie Tabel C 2 op pag. 42 voor alle peilgebieden)

Nr.	Code	Relatieve toename Cl-belasting					Absolute toename Cl-belasting (kg/ha/jaar)				
		scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5
1	GPG-W4	29%	118%	42%	81%	183%	209	861	305	590	1332
2	GPG-W11	6%	19%	3%	10%	24%	471	1624	236	872	2034
3	GPG-W12	3%	13%	0%	6%	17%	236	1227	10	574	1563
4	GPG-W13	4%	15%	2%	8%	18%	394	1365	179	732	1703
5	GPG-W14	0%	9%	1%	3%	12%	24	540	39	189	705
6	GPG-W32	0%	8%	-1%	2%	10%	-3	84	-14	22	109
7	GPG-W19	4%	18%	0%	7%	22%	22	107	0	43	132
8	GPG-W18	1%	13%	-3%	4%	16%	16	195	-52	62	242
9	GPG-W5	19%	59%	16%	38%	78%	275	843	233	538	1109
10	GPG-W6	3%	20%	7%	12%	29%	71	499	169	291	719
11	GPG-W7	-5%	56%	31%	32%	146%	-6	63	35	37	166
12	GPG-W9	16%	45%	11%	26%	56%	117	336	79	191	416
13	GPG-W10	7%	24%	4%	12%	29%	287	969	171	497	1179
14	GPG-W15	-1%	12%	-2%	2%	16%	-47	485	-75	89	622

CO



Figuur 22 Toename in chloridebelasting voor scenario 1 (linksboven), scenario 2 (rechtsboven) en scenario 3.

4.3 Vergelijking met modellering MVAEM (1997)

In opdracht van de provincie Friesland heeft TNO in de periode 1994-1997 een onderzoek uitgevoerd naar grootschalige veranderingen van het grondwatersysteem binnen de provincie Friesland ten gevolge van mogelijke wijzigingen als gevolg van:

1. Zeespiegelstijging
2. Maaiveld daling door veenoxidatie
3. Maaiveld daling door gas- en zoutwinning

Het onderzoek is uitgevoerd met het bestaand grondwatermodel uit de NAGROM-reeks (De Lange en van der Meij, 1992) en is aangepast voor dichtheidsstroming (TNO 1994 t/m 1997b; Van der Meij 1999).

4.3.1 Globale vergelijking grondwatermodellen

Hieronder worden enkele relevante kenmerken van dit grondwatermodel (MVAEM) besproken in relatie tot het grondwatermodel (MIPWA) dat voor de oriënterende studie is gebruikt. Zowel scenario 2 uit de oriënterende studie als scenario 5b uit het rapport 97-5(B) hebben als uitgangspunt een bodemdaling over ca. 50 jaar als gevolg van gaswinning, waarbij de drainagemiddelen en het oppervlaktewaterpeil de bodemdaling volgen. In de vergelijking zullen deze twee scenario's betrokken worden. In scenario 5b zal gekeken worden naar de resultaten voor het deelgebied Lauwersmeer, welke grotendeels samenvalt met Dongeradeel.

- Elementgrootte

Zowel modelinvoer (b.v. oppervlaktewaterpeil, ondergrondgegevens, bodemdaling) als modeluitvoer (kwel, zoutbelasting) geschiedt per

modelelement. Dongeradeel wordt geschematiseerd door ongeveer 5 tot 10 elementen voor het MVAEM-model en is in de ruimte veel minder nauwkeurig dan het MIPWA-model dat is opgedeeld in elementen van 25m bij 25m.

- Schematisatie van ondergrond

De schematisatie van de ondergrond van het MVAEM-model kent een minder detail dan het MIPWA-model waarbij alle beschikbare boringen zijn gebruikt. Met name de weerstand van de deklaag heeft grote invloed op de kwelintensiteiten en daarmee op de zoutbelasting.

- Chloridegegevens

Ook voor chloridegegevens zijn er de laatste 10 jaar meer gegevens beschikbaar gekomen en zijn er betere interpolatietechnieken binnen TNO (project ZZREGIS) ontwikkeld waardoor op dit moment een betere schatting van de zoutverdeling in de ondergrond kan worden gemaakt. Een betere schatting van de zoutverdeling onder de deklaag leidt tot betere schattingen van de zoutbelastingen.

- Berekening zoutbelasting

Bij het MIPWA-model is de toename in zoutgehalte niet dynamisch doorgerekend, maar is wel een inschatting gemaakt van het zoutgehalte in 2050 a.h.d.v. de kwelflux. Het MVAEM-model rekent de autonome verzilting dynamisch door.

- Bodemdaling

De toegepaste bodemdaling verschilt licht. In scenario 5b is een schatting van Provincie Friesland gebruikt die in Dongeradeel 4-24 cm bedraagt (zie Figuur 5.6 in rapport 97-5(B)). Voor scenario 2 uit de oriënterende studie is een recente schatting van NAM gebruikt die uitgaat van 0-17 cm.

4.3.2 Globale vergelijking modelresultaten

- Toename kwelintensiteit

Scenario 5b laat een toename in gemiddelde kwel zien van 0 tot 0.027 mm/dag (zie Figuur 5.9 in rapport 97-5(B)). In scenario 2 is dit gemiddeld over alle peilgebieden van Dongeradeel 0.026 mm/dag, vrijwel gelijk aan scenario 5b.

- Toename zoutbelasting

De toename in gemiddelde zoutbelasting laat een vergelijkbaar beeld zien: 572 kg/ha/jaar in scenario 5b tegen 597 kg/ha/jaar in scenario 2 (gewogen gemiddelde van de peilgebieden, zie Tabel C3 van de oriënterende studie). Figuur 5.10 in rapport 97-5(B) geeft een beeld van de ruimtelijke variatie in zoutbelastingstoename in scenario 5b. Rond het De Kolken neemt de zoutbelasting toe met 1000-1500 kg/ha/jaar. Direct ten westen hiervan is de toename 100-500 kg/ha/jaar. In het westelijke deel van Dongeradeel neemt de toename af tot 0-100 kg/ha/jaar. Het noordelijke deel laat een toename van 500-1500 kg/ha/jaar zien.

Deze waarden zijn te vergelijken met Tabel C3 van de oriënterende studie. In de peilgebieden 2 t/m 8, 13 en 14, rond De Kolken, bedraagt de toename 200-2300 kg/ha/jaar. In het noordelijk deel (peilgebieden 1, 9 t/m 12) is de toename 100-1500 kg/ha/jaar, hetgeen vergelijkbaar is met scenario 5b. In het westelijk deel van Dongeradeel zien we vergelijkbaar lage toenames van de zoutbelasting als in scenario 5. Zie hiervoor bijvoorbeeld de peilgebieden ten noordwesten van Dokkum.

4.3.3 Conclusie

Het MVAEM-model uit de studie van 1997 en het MIPWA-model uit de oriënterende studie verschillen wat betreft modelconcept, detailniveau en inputgegevens.

Het MIPWA-model heeft in vergelijking tot het MVAEM-model een gedetailleerdere schematisatie. Dit geldt voor zowel de discretisatie in horizontale richting (25m cellen in vergelijking met kilometers grote MVAEM-elementen) als voor de ondergrondschematisatie. Ook andere inputs van het grondwatermodel (b.v. peilen, drainagemiddelen, onttrekkingen), zijn gedetailleerder en op basis van recentere bronnen toegepast in het MIPWA-model. Dit leidt tot realistischere berekeningen van stijghoogten en grondwaterstanden.

Voor de chlorideconcentratie is in de oriënterende studie gebruik gemaakt van geïnterpoleerde beelden waarbij metingen betrokken zijn, die in 1997 nog niet beschikbaar waren. Hierdoor is de chlorideconcentratie onder de deklaag nauwkeuriger geschat, hetgeen tot nauwkeurigere berekeningen van de zoutbelasting leidt. Wel heeft het MVAEM-model rekening gehouden met toename in de chlorideconcentratie door dichtheidsstroming, hetgeen in de oriënterende studie als tekortkoming is onderkend. Binnen de oriënterende studie was geen ruimte om aanpassingen aan het MIPWA-model te doen.

De verschillen in de modellen leiden tot verschillen in berekende zoutbelasting. De totalen over het hele gebied zijn vergelijkbaar, maar door een hoger ruimtelijk detailniveau is met het MIPWA-model de ruimtelijke variatie te berekenen, waardoor peilgebieden met een relatief hoge of lage zoutbelasting zichtbaar worden.

4.4 Kanttekeningen bij de modelresultaten

De gepresenteerde chloridebelastingen zijn afhankelijk van tal van aannames die gedaan zijn in de gekozen modelleringsaanpak. Hieronder zal een aantal belangrijke kanttekeningen geplaatst worden bij de uitkomsten. De resultaten geven, in het licht van deze kanttekeningen, een orde van grootte aan en een indicatie van de te verwachte effecten.

4.4.1 Drainage

In het MIPWA-model is voor het gehele modelgebied drainage ingevoerd, ook daar waar al greppeldrainage is ingevoerd. Dit is geen realistische weergave van de werkelijkheid en berekende effecten van bodemdaling worden hierdoor overschat. Namelijk, door bodemdaling dalen de drainagebuizen mee waardoor de grondwaterstand daalt en de kwel toeneemt. Betreffende scenario 1, worden op locaties waar in werkelijkheid geen buisdrainage aanwezig is, nauwelijks of geen effecten verwacht van bodemdaling.

4.4.2 Zeespiegelstijging

Het zeespiegelscenario gaat uit van 25 cm stijging tussen nu en 2050 (WB21-midden). Dit is de stijging van de zeespiegel in modellaag 1. Tussen modellaag 1 en modellaag 2 (1^e watervoerende pakket) komen in een strook van enkele kilometers voor de kust scheidende lagen voor. Hoewel op enige afstand een directe verbinding tussen het oppervlakte water en het 1^e watervoerende pakket bestaat, is er duidelijk een verschil in stijghoogte. Het blijkt dat het effect van 25 cm zeespiegelstijging een effect van ca. 10 cm op de stijghoogte direct bij de kust heeft. In de MIPWA schematisatie zijn de hydrologische randvoorwaarden van de Waddenzee gebaseerd op modelleringservaring

van betrokken partijen. Er zijn echter weinig meetpunten direct voor de waddenkust beschikbaar, om het genoemde verschil in stijghoogte te verifiëren.

4.4.3 *Chlorideconcentratie*

De chlorideconcentratie van het grondwater aan de onderkant van de deklaag is de basis voor de berekening van de chloridebelasting. De gekarteerde concentratie is echter gebaseerd op een beperkte set metingen, die met name een lage dichtheid heeft in Noord-Friesland. De grote onzekerheid die hierdoor ontstaat in de chlorideconcentratie geeft daarom een grote onzekerheid op de berekende chloridebelasting.

4.4.4 *Toename chlorideconcentratie in de toekomst*

Door autonome verziltingsprocessen is de verwachting dat de chlorideconcentratie onder deklaag zal toenemen (Minnema et al., 2004). Door kwel en de toename hiervan door bodemdaling, wordt dieper grondwater aangetrokken. Dit diepere grondwater heeft een hogere chlorideconcentratie, waardoor de chloridebelasting geleidelijk zal toenemen. In de modelscenario's, die de situatie rond 2050 weergeven, is niet op dynamische wijze rekening gehouden met autonome verzilting. Wel is op basis van een maximale jaarlijkse kwelflux ingeschat hoe snel het zoutere grondwater toestroomt en wat dan het zoutgehalte in 2050 zal zijn. Omdat hierbij geen rekening is gehouden met laterale toestroom van grondwater (aanneمة is verticale stroming), moeten de gepresenteerde belastingen bij autonome verzilting als een indicatie gezien worden.

4.4.5 *Dichtheidsstroming*

In de bepaling van de chloridebelasting is de chlorideconcentratie vermenigvuldigd met de kwelflux. Gezien de hoge concentraties zou er echter rekening gehouden moeten worden met dichtheidsafhankelijke stroming. Binnen het kader van deze oriënterende studie is dit niet mogelijk en de geohydrologische schematisatie van het MIPWA-model is voor zouttransportmodellering te grofmazig.

Daarnaast dient opgemerkt te worden dat bij de calibratie van het MIPWA-model (geen onderdeel van deze oriënterende studie) geen rekening is gehouden met het verschil tussen zoetwater- en zoutwaterstijghoogten. De reden hiervoor is, dat er vrijwel geen meetpunten zijn waar zowel de stijghoogte als de chlorideconcentratie gemeten zijn. Het gevolg hiervan is dat het MIPWA-model weliswaar een getrouw beeld geeft van de grondwaterstand/stijghoogten in de huidige situatie, maar dat bij toepassen van scenario's een mogelijk incorrect stromingspatroon gesimuleerd wordt.

4.4.6 *Klimaatverandering, en peilfluctuaties Lauwersmeer*

In de modellering is gebruik gemaakt van de meteorologische input van de referentieperiode 1989-2001. Dat betekent dat er in de scenario's voor de situatie rond 2050 geen rekening is gehouden met klimaatverandering. Daarnaast zijn de effecten van peilfluctuaties in het Lauwersmeer niet meegenomen. Beide vormen belangrijke hydrologische randvoorwaarden.

5 Selectie monitoringsgebieden

5.1 Selectiecriteria

Doel van deze oriënterende studie is het selecteren van 1 tot 3 peilgebieden waarvoor gedurende een langdurige periode de verzilting en verandering van het grond- en oppervlaktewatersysteem zal worden gemonitord.

Het wetterskip heeft in een voorstudie al een eerste selectie gemaakt op basis van de beschikbare gegevens. Deze oriënterende studie geeft meer informatie, met name de verkennende modelberekeningen van de te verwachten chloridebelasting, op basis waarvan de keuze kan worden gemaakt. De selectiecriteria voor de keuze van de monitoringsgebieden zijn:

1. Bodemdalingsprognose;
2. Toename van zoutbelasting door kwel als gevolg van bodemdaling;
3. Peilgebieden waar peilverlaging wel/niet nodig is;
4. Grootte van het peilgebied;
5. Wateraanvoer.

Ad 1. Zoals het wetterskip in de voorstudie heeft bepaald, worden er alleen gebieden geselecteerd met een grotere bodemdaling dan 10 cm (prognose 2050).

Ad 2. De toename in zoutbelasting als gevolg van bodemdaling moet significant zijn zodat de kans het grootst is dat de effecten goed meetbaar zijn. Dit betekent dat het alleen om kwelgebieden gaat.

Ad 3. In de voorstudie heeft het wetterskip bepaald voor welke peilgebieden een peilverlaging nodig is om voldoende drooglegging voor de landbouw te handhaven. Indien ervoor wordt gekozen om twee peilgebieden in het bodemdalingsgebied als meetgebied in te richten, dan is het zinvol om 1 gebied met peilverlaging en 1 gebied zonder peilverlaging te kiezen. Wanneer wordt gekozen voor 1 meetgebied dan wordt geadviseerd een gebied te kiezen waar een peilverandering gaat plaatsvinden omdat hierdoor de effecten groter zullen zijn en daardoor beter meetbaar.

Ad 4. Het peilgebied dient niet te groot te zijn zodat de effecten makkelijk tot uiting komen.

Ad 5. Voor het goed kunnen meten van effecten van bodemdaling is het wenselijk dat de gebieden zo weinig mogelijk onder invloed staan van wateraanvoer.

5.2 Toepassing van selectiecriteria

5.2.1 Bodemdalingsprognose

Voor 14 peilgebieden wordt een gemiddelde bodemdaling van 10 cm of meer verwacht in 2050. Deze staan opgesomd in Tabel C 1 (pag. 41) en betreffen dezelfde 14 gebieden die behandeld zijn in de “memo korte voorstudie”. Voor de peilgebieden 6, 7 en 8 is de daling het kleinst.

5.2.2 Toename zoutbelasting

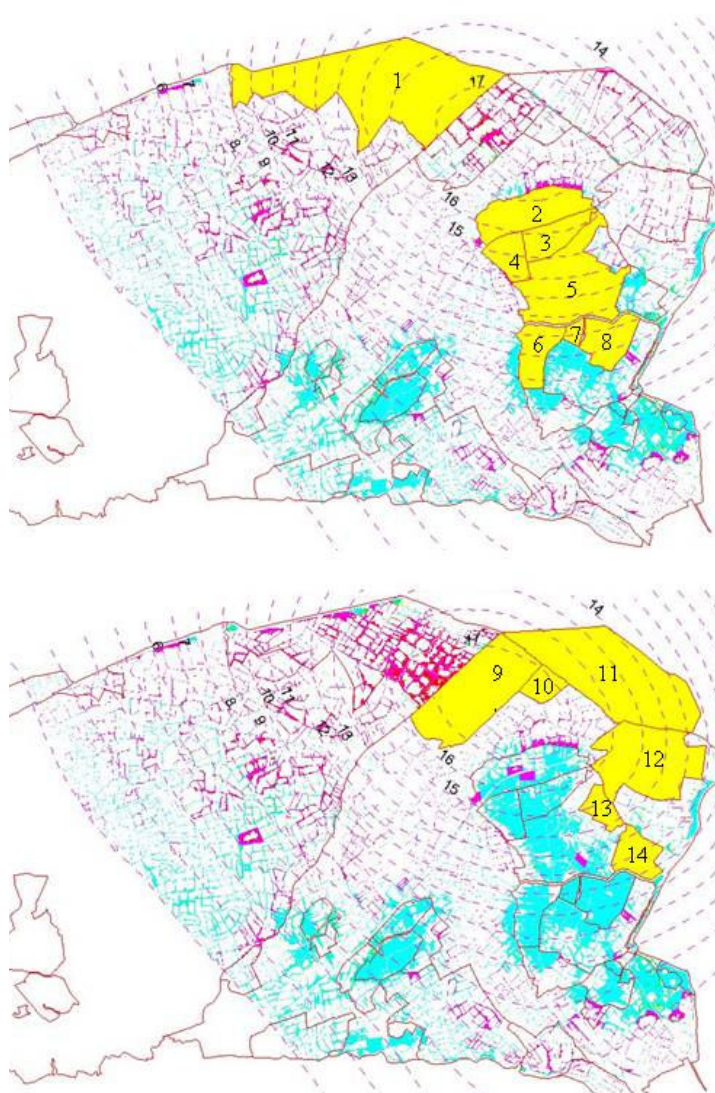
Voor de 14 peilgebieden staat de toename van de gemiddelde zoutbelasting weergegeven in Tabel 4. Voor scenario 2 is de gemiddelde toename in absolute zoutbelasting, uitgedrukt in kg/ha/jaar, in peilgebieden 2, 3 en 4 het grootst (meer dan 1000 kg/ha/jaar) en voor peilgebieden 6 en 11 het kleinst (minder dan 100 kg/ha/jaar). In scenario 3 is de toename het grootst in peilgebieden 1, 2 en 9 (meer dan 200 kg/ha/jaar) en wordt een lichte afname berekend in de peilgebieden 6, 8 en 14. In het extreme scenario 5 is de toename in chloridebelasting het sterkst in peilgebied 2. Relatief neemt de zoutbelasting voor peilgebieden 1, 9, 11 en 12 het meest toe, een toename van meer dan 50% voor scenario 5.

Opgemerkt moet worden dat veranderingen in chlorideconcentraties significanter met metingen vastgesteld kunnen worden bij een hogere absolute toename.

Een extra kanttekening bij peilgebieden 1 en 11 is dat deze gebieden een deel van het jaar infiltratiegebieden zijn (zie Tabel 2) en in die periode geen chloride-toevoer ondervinden.

5.2.3 Peilgebieden waar peilverlaging wel/niet nodig is;

In figuur 5.1 staan de peilgebieden waarvoor wel en niet direct een peilverlaging nodig wordt geacht. Voor elke situatie wordt een proefgebied voorgesteld.



Figuur 23 Gebieden waarvoor een peilverlaging nodig (boven) en niet direct nodig (onder) is (bron: “memo korte voorstudie”)

concept

5.2.4 *Grootte van het peilgebied*

De peilgebieden die op basis van hun oppervlakte minder geschikt zijn voor monitoring zijn 1 en 11 en in mindere mate ook 5, 9 en 12 (zie Tabel 1). De overige peilgebieden zijn alle geschikt.

5.2.5 *Wateraanvoer*

In het kader van het zoetwaterplan Holwerd-Nes vindt aanvoer van zoetwater plaats in het noordelijk deel van Dongeradeel. Met name peilgebied 1 wordt hierdoor mogelijk beïnvloed. De afwatering vanuit peilgebied 1 gebeurt via peilgebieden 9 en 10. Mogelijk is peilgebied 9 hierdoor ook beïnvloed (zie Paragraaf 3.5).

5.3 **Keuze van monitoringsgebieden**

5.3.1 *Gebied met noodzaak peilverlaging*

Van de peilgebieden 1 t/m 8 komen gebieden 2, 3 en 4 het meest in aanmerking. Wat betreft omvang zijn ze geschikt, ze liggen dicht bij de maximale bodemdaling, hebben een hoge kwelflux en hoge absolute toename in chloridebelasting door bodemdaling. Op basis van de bodemdalingsprognose en de hogere toename in chloridebelasting door zeespiegelstijging zou de keuze dan vallen op gebied 2.

Peilgebied 1 valt af omdat dit gebied groot is, een deel van het jaar een infiltratiegebied is en beïnvloed wordt door wateraanvoer. Gebied 5 is groot en heeft een lagere absolute toename in chloridebelasting. Gebieden 6 t/m 7 hebben een geringe bodemdaling en een lagere absolute toename in chloridebelasting.

5.3.2 *Gebied zonder noodzaak peilverlaging*

Van de peilgebieden 9 t/m 14 komen gebieden 9, 10 en 13 het meest in aanmerking, gezien oppervlakte, bodemdalingsprognose en chloridebelasting. Gebied 9 is echter mogelijk beïnvloed door de wateraanvoer vanuit gebied 1. Daarom komt gebied 13 het dichtst in de buurt van het hierboven geselecteerde gebied 2, hoewel de verwachte absolute toename in chloridebelasting wel lager is.

In de peilgebieden 11, 12 en 14 vindt duidelijk minder toename in chloridebelasting plaats. Bovendien is peilgebied 11 te groot en een deel van het jaar vindt hier infiltratie plaats.

5.3.3 *Gebied zonder bodemdaling*

Naast de twee meetgebieden in het bodemdalingsgebied wordt een derde meetgebied voorgesteld buiten het bodemdalingsgebied, bij voorkeur op eenzelfde afstand van de zee en met een vergelijkbare zoutbelastingssituatie. Op basis van de tabellen in Bijlage C, wordt gebied 18 voorgesteld. Van alle peilgebieden waarin 0-2 cm bodemdaling optreedt, heeft dit gebied de hoogste chloridebelasting (hoewel lager dan in de hierboven geselecteerde gebieden). Bovendien ligt het, op gebied 15 na, het dichtst bij de zee, maar wel buiten de uitstralingszone van de zeespiegelstijging. Wat betreft omvang is dit gebied ook geschikt.

6 Conclusies en aanbevelingen

concept

6.1.1 Verziltingsprocessen

Uit de modelberekeningen blijkt dat zowel door bodemdaling als door zeespiegelstijging een toename in de kwelflux en daarmee in de zoutbelasting te verwachten is. Bij bodemdaling wordt dit met name veroorzaakt door een verlaging van de grondwaterstand en daardoor een groter stijghoogteverschil met het 1e watervoerende pakket. In het geval dat de afnemende drooglegging wordt gecompenseerd met peilverlaging, is de verlaging van de grondwaterstand het grootst. Bij zeespiegelstijging wordt de toename in kwelflux veroorzaakt door een hogere stijghoogte in het 1e watervoerende pakket. De effecten van zeespiegelstijging op de stijghoogte van het 1e watervoerende pakket hebben een uitstraling landinwaarts tot 2 km. In de beïnvloede zone zijn de effecten vergelijkbaar met de effecten van bodemdaling, maar voor het totale studiegebied aanzienlijk lager. In het totaalscenario (scenario 5) is de toename in verzilting ca. 32%, wat grofweg uiteen valt in 24% door bodemdaling en 8% door zeespiegelstijging. Daarnaast is door autonome verzilting (toestroom van dieper en zouter grondwater) een toename van de verzilting van ca. 11% te verwachten, bovenop de toename door bodemdaling en zeespiegelstijging.

Samenvattend:

Scenario	Kenmerk	Toename verzilting
1	Bodemdaling, drains volgen, peil blijft gelijk	6%
2	Bodemdaling, drains en peil volgen	24%
3	Zeespiegelstijging, geen bodemdaling	8%
4	Zeespiegelstijging en bodemdaling, drains volgen	14%
5	Zeespiegelstijging en bodemdaling, drains en peil volgen	32%
autonome verzilting	Verandering chlorideconcentratie onder deklaag	11%

6.1.2 Selectie monitoringsgebied

Op basis van de resultaten van Hoofdstuk 5 adviseren wij de volgende selectie van monitoringsgebieden:

- Peilgebied 2 als meest geschikte gebied waar peilverlaging noodzakelijk wordt geacht. Dit gebied heeft een hoge kweldruk en daaraan gekoppeld een hoge chloridebelasting. De absolute toename van de chloridebelasting als gevolg van bodemdaling en zeespiegelstijging is groot.
- Peilgebied 13 als meest geschikte gebied waar peilverlaging niet noodzakelijk wordt geacht. Ook dit gebied heeft een hoge kweldruk en chloridebelasting en komt wat dat betreft een dichtst in de buurt van peilgebied 2.
- Peilgebied 18 als meest geschikte gebied buiten het bodemdalingsgebied. Van alle peilgebieden buiten het bodemdalingsgebied komt dit gebied het meest overeen met de twee hierboven geselecteerde gebieden.

De combinatie van deze 3 gebieden is de beste optie om de toekomstige verzilting te monitoren. Zoals al eerder vermeld is het zonder hulp van modelberekeningen niet mogelijk om effecten van bodemdaling te scheiden van andere toekomstige veranderingen zoals klimaatverandering, zeespiegelstijging, autonome verzilting en peilveranderingen Lauwersmeer.

6.1.3 *Monitoring*

Er wordt geadviseerd om naast de drie voorgestelde monitoringgebieden, de monitoringcampagne uit te breiden voor het gehele gebied zoals aangegeven in het monitoringplan dat eerder is opgesteld (De Louw e.a., 2006).

De belangrijkste elementen daaruit zijn:

- 1) het continu meten van de Elektrische Geleidbaarheid van het oppervlaktewater bij de uitstroming van elk peilgebied en
- 2) installatie meerdere en diepere meetpunten om op meer lokaties en op grotere diepte het zoutgehalte te monitoren (zie monitoringsplan). Er zijn heel weinig meetpunten en metingen van het zoutgehalte van het grondwater. We weten niet hoe zout het grondwater is dat over 10 jaar in de polders opkwelt en we weten niet hoe zout het grondwater op dit moment is. Voor een betrouwbare schatting van de huidige zoutbelasting en betrouwbare prognose van de toename van de zoutbelasting, evenals het monitoren van de toename van de zoutbelasting zijn deze metingen essentieel.

6.1.4 *Monitoring en modellering*

In Paragraaf 4.3 zijn enkele kanttekeningen geplaatst bij de modelresultaten. Hieruit blijkt dat niet alleen bodemdaling een effect heeft op de verandering in chloridebelasting, maar ook autonome ontwikkelingen als toename van de zoutconcentratie in het grondwater, zeespiegelstijging, klimaatverandering etc. Door metingen alleen is het onmogelijk om het effect van bodemdaling te scheiden van deze invloeden. Daarom adviseren wij om de monitoringscampagne te koppelen aan een rekenmodel.

6.1.5 *Uitbreiding modelconcept*

Ten opzichte van het nu toegepaste MIPWA-model dient het rekenmodel uitgebreid te worden met *dichtheidsafhankelijk chloride-transport* en dient het geschikt gemaakt te worden om *toenames in de chlorideconcentratie* te voorspellen. Daarnaast zou rekening gehouden moeten worden *klimaatverandering* (effect toetsen a.d.h.v. klimaatscenario's). Uit de gepresenteerde resultaten blijkt dat veranderingen in de kwelflux belangrijk zijn. Bij een bodemdaling in de orde van 1-2 decimeter en/of een zeespiegelstijging van 25 cm is al een significante toename in de chloridebelasting zichtbaar.

7 Referenties

De Louw, P.G.B. de, G.H.P. Oude Essink, P. Maljaars, R. Wils (2006). Monitoring Verzilting Dongeradeel. TNO-rapport 2006-U-R0177/B.

Maljaars, P.S. en R.A. Wils (2006). Regenwaterlenzen in zoute kwelsystemen. TNO-rapport 2006-U-R0086/A.

Minnema, B., Kuijper, B., & Oude Essink, G.H.P. (2004). Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland, NITG 04-189-B, 86 p., Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond.

Oude Essink, G.H.P., Houtman, H. & B.J.M. Goes (2005). Chloride-concentratie onderkant deklaag in Nederland, TNO NITG 05-056-A, 17 p., Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond.

Oude Essink, G.H.P. (2006). MIPWA zoet-zout, TNO notitie, p.22.

TNO (1994). Onderzoek waterhuishoudkundige inrichting Friesland. Fase 2. TNO-rapport OS-94-62B. (1994).

TNO (1995). TNO-rapport GG R-95-37(B). (1995). Onderzoek waterhuishoudkundige inrichting Friesland. Fase 2 (vervolg).

TNO (1997a). TNO-rapport NITG 97-5(B). (1997). Onderzoek waterhuishoudkundige inrichting Friesland. Fase 2 (2^e vervolg).

TNO (1997b). TNO-rapport NITG 91-186(B) (1997). Onderzoek waterhuishoudkundige inrichting Fryslân. Rekenscenario's mogelijke ontwikkelingsrichtingen.

TNO (1997c). Fries oppervlaktewater wordt zouter. Artikel uit TNO-informatieblad Spraakwater 5 (1997).

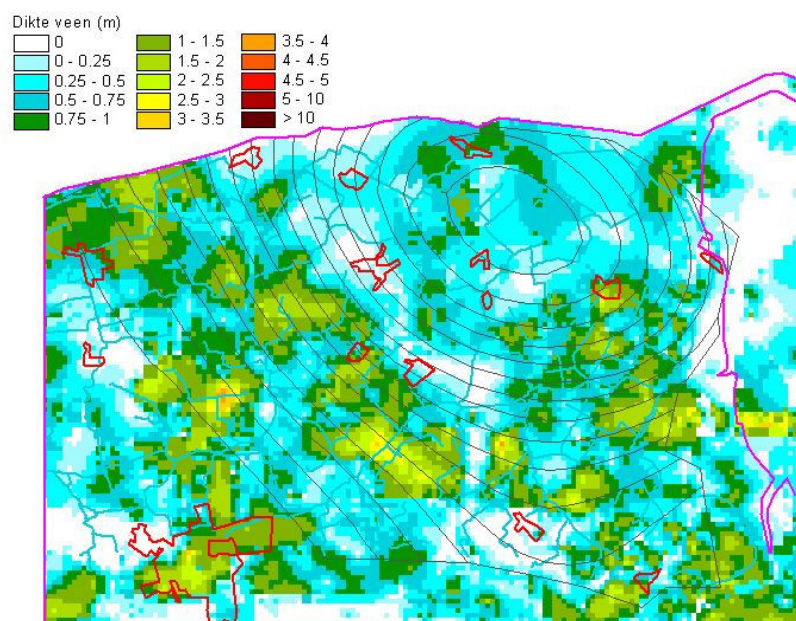
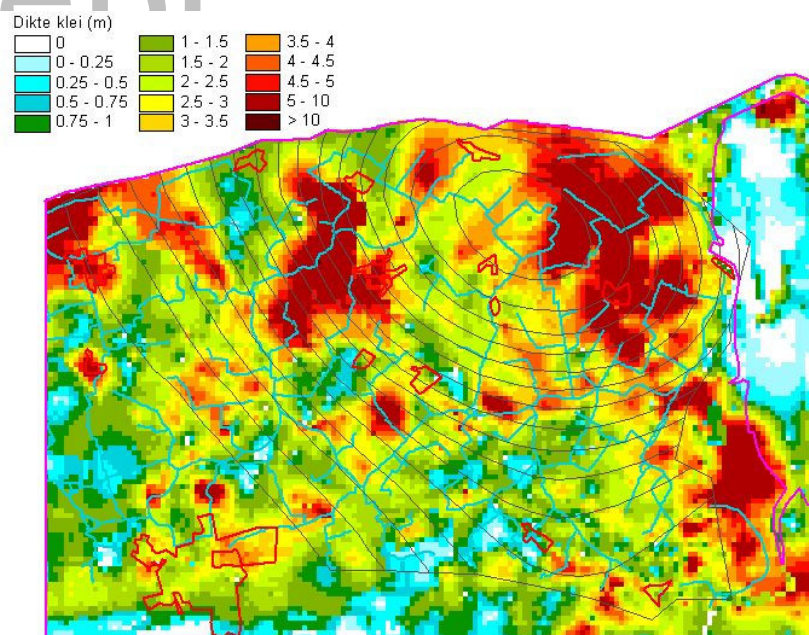
TNO (2007). MIPWA: Methodiekontwikkeling voor interactieve planvorming ten behoeve waterbeheer. TNO-rapport: 2007-U-RO972/A.

Van der Meij, J.L. & B. Minnema (1999). Modelling of the effect of a sea-level rise and land subsidence on the evolution of the groundwater density in the subsoil of the northern part of the Netherlands. Journal of Hydrology 226 (199) 152-166.

Wetterskip Fryslân (2007). Memo korte voorstudie verzilting Dongeradeel.

A Samenstelling van de deklaag

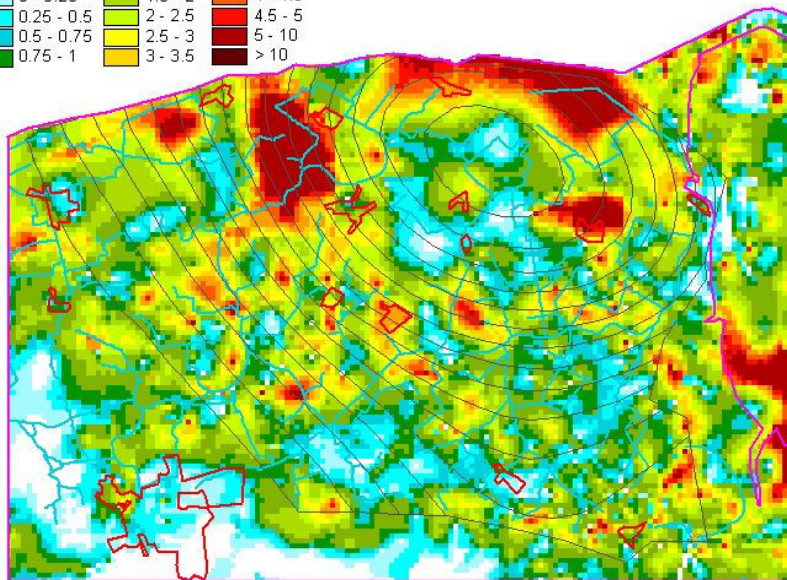
concent



concent+

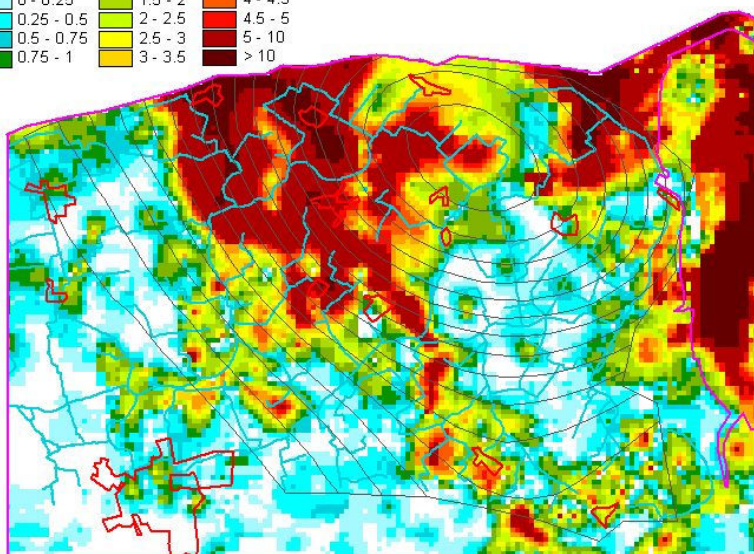
Dikte kleiig zand (m)

0	1 - 1.5	3.5 - 4
0 - 0.25	1.5 - 2	4 - 4.5
0.25 - 0.5	2 - 2.5	4.5 - 5
0.5 - 0.75	2.5 - 3	5 - 10
0.75 - 1	3 - 3.5	> 10

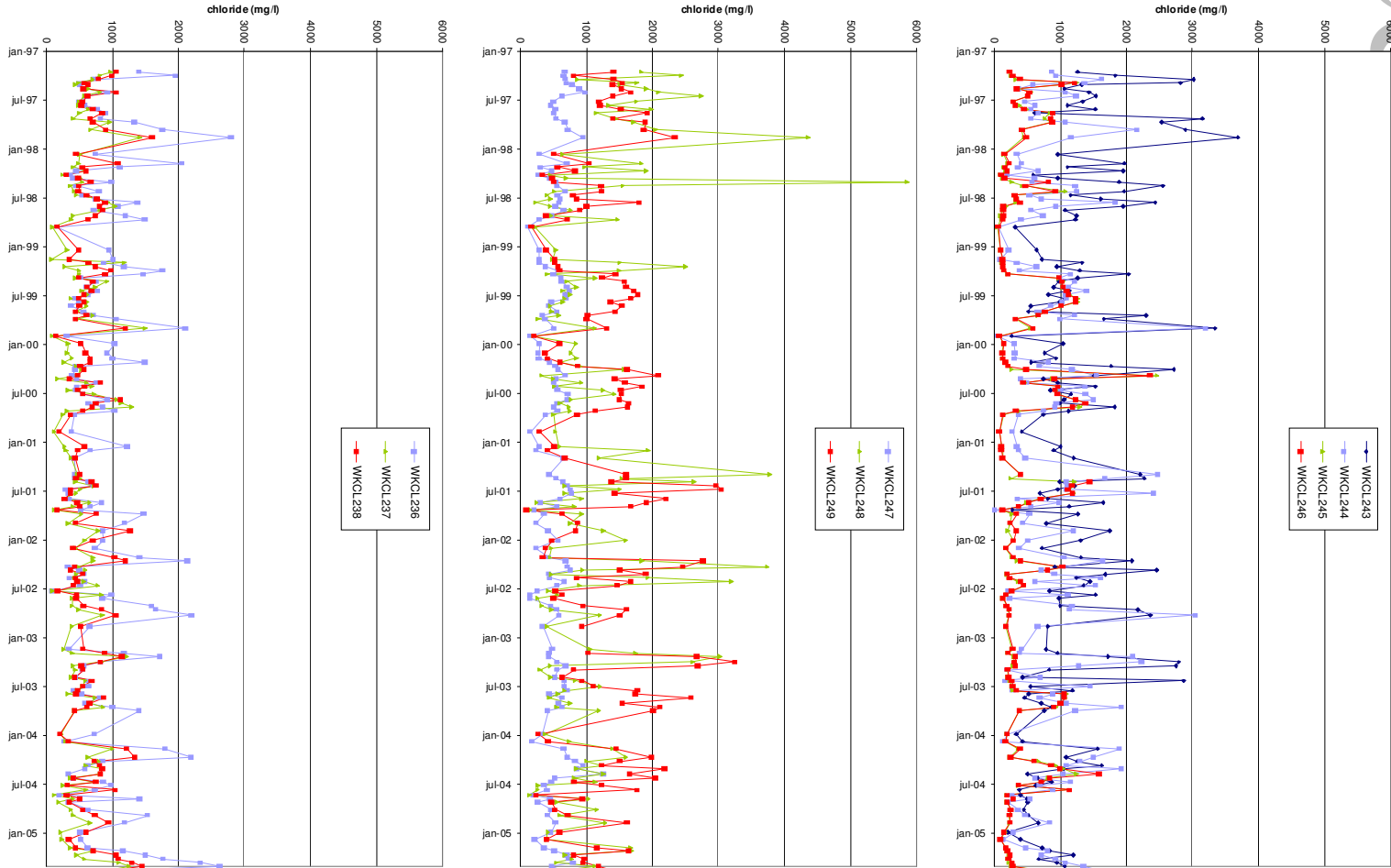


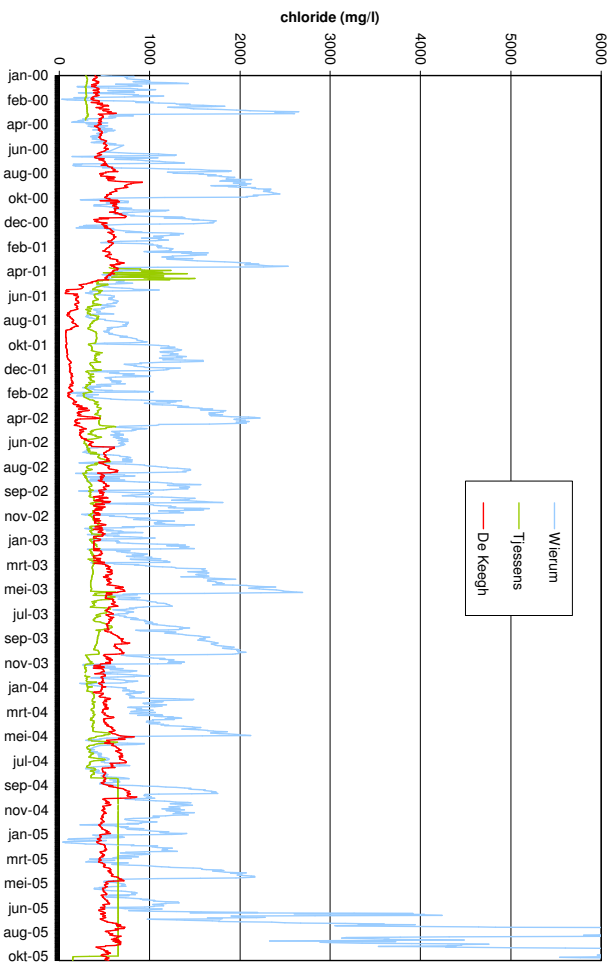
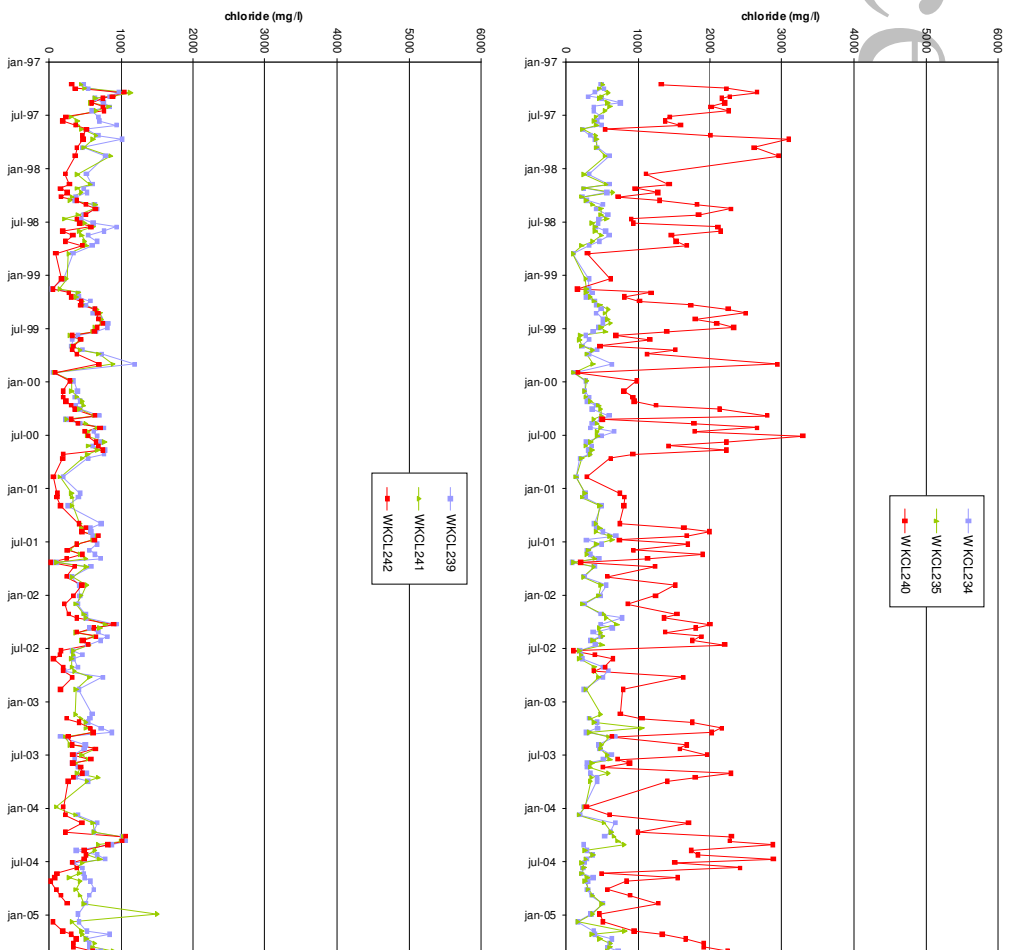
Dikte zand (m)

0	1 - 1.5	3.5 - 4
0 - 0.25	1.5 - 2	4 - 4.5
0.25 - 0.5	2 - 2.5	4.5 - 5
0.5 - 0.75	2.5 - 3	5 - 10
0.75 - 1	3 - 3.5	> 10



B Chloride concentratie oppervlaktewater





C Modelresultaten per peilgebied

In de onderstaande tabellen staan gemiddelde en totale waarden voor elk van de 58 peilgebieden weergegeven. Peilgebieden 1 t/m 14 komen overeen met de nummering in de “memo korte voorstudie”.

Tabel C 1 Oppervlakte, chloride-concentratie in oppervlaktewater en onder deklaag, bodemdaling en kwelflux

Nr.	Code	Oppervlak (ha)	Cl-conc. opp.water zomer '96 (mg/l)	Cl-conc. onder deklaag (mg/l)	Gemiddelde bodemdaling (cm)		Gemiddelde kwelflux in huidige situatie en scenario's (mm/dag)					
					2010	2050	huidig	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5
1	GPG-W4	590	591	8309	5	14	-0.015	-0.002	0.026	-0.009	0.005	0.032
2	GPG-W11	143	1415	7865	9	16	0.291	0.314	0.354	0.305	0.328	0.369
3	GPG-W12	71	1481	7815	9	15	0.324	0.344	0.380	0.336	0.356	0.392
4	GPG-W13	58	-	7458	9	14	0.339	0.359	0.395	0.352	0.372	0.408
5	GPG-W14	262	2560	7217	9	13	0.214	0.219	0.239	0.220	0.225	0.245
6	GPG-W32	76	1850	5106	7	10	0.056	0.058	0.063	0.058	0.060	0.064
7	GPG-W19	14	-	5971	7	11	0.027	0.029	0.033	0.028	0.030	0.034
8	GPG-W18	84	-	6665	7	10	0.062	0.067	0.075	0.064	0.069	0.077
9	GPG-W5	271	521	7811	8	17	0.048	0.059	0.080	0.057	0.069	0.089
10	GPG-W6	40	327	7888	8	17	0.086	0.091	0.106	0.094	0.098	0.114
11	GPG-W7	409	455	8455	8	14	-0.049	-0.041	-0.029	-0.041	-0.033	-0.021
12	GPG-W9	246	1264	8177	9	14	0.019	0.025	0.033	0.022	0.028	0.036
13	GPG-W10	39	-	7792	9	14	0.142	0.153	0.177	0.149	0.161	0.185
14	GPG-W15	66	-	7727	8	12	0.142	0.148	0.168	0.147	0.153	0.173
15	GPG-W17	780	396	2866	0	0	-0.015	-0.016	-0.015	-0.011	-0.012	-0.011
16	GPG-W20	29	-	2299	3	5	0.118	0.120	0.123	0.122	0.123	0.126
17	GPG-W21	44	-	4716	4	7	0.068	0.068	0.071	0.070	0.070	0.073
18	GPG-W22	33	423	4831	0	3	0.037	0.037	0.037	0.039	0.039	0.039
19	GPG-W23	19	358	2163	2	4	0.184	0.184	0.189	0.189	0.189	0.194
20	GPG-W24	11	-	7468	4	8	0.041	0.044	0.059	0.042	0.046	0.061
21	GPG-W242	181	536	10048	1	1	-0.034	-0.034	-0.030	-0.034	-0.034	-0.030
22	GPG-W25	61	451	1488	0	0	-0.028	-0.029	-0.029	-0.027	-0.027	-0.027
23	GPG-W26	64	-	1568	0	0	-0.036	-0.036	-0.036	-0.035	-0.035	-0.035
24	GPG-W29	10	-	1970	0	0	-0.013	-0.013	-0.013	-0.011	-0.011	-0.011
25	GPG-W30	43	299	1988	0	2	0.067	0.067	0.074	0.073	0.074	0.081
26	GPG-W31	8	1751	6605	6	8	0.128	0.123	0.135	0.130	0.125	0.137
27	GPG-W33	75	1175	5386	5	7	0.115	0.122	0.138	0.119	0.127	0.143
28	GPG-W34	3	-	6366	5	7	0.099	0.094	0.102	0.101	0.095	0.104
29	GPG-W35	200	2389	5722	6	9	0.128	0.130	0.138	0.129	0.132	0.140
30	GPG-W36	7	-	5624	5	7	0.180	0.181	0.189	0.182	0.183	0.191
31	GPG-W37	26	-	7357	4	7	-0.055	-0.052	-0.040	-0.054	-0.051	-0.039
32	GPG-W38	56	983	4722	4	4	0.119	0.119	0.124	0.121	0.121	0.126
33	GPG-W39	67	-	3462	3	6	0.251	0.256	0.261	0.255	0.260	0.265
34	GPG-W40	58	-	2022	2	4	0.402	0.404	0.415	0.412	0.414	0.425
35	GPG-W41	6	-	7623	5	7	0.077	0.078	0.088	0.078	0.078	0.089
36	GPG-W42	12	-	8815	5	6	0.044	0.048	0.058	0.045	0.048	0.058
37	GPG-W43	5	-	6911	5	7	0.174	0.173	0.183	0.176	0.175	0.185
38	GPG-W44	5652	635	4604	1	3	0.032	0.034	0.042	0.037	0.040	0.048
39	GPG-W45	67	1062	1657	0	0	-0.115	-0.115	-0.115	-0.115	-0.115	-0.115
40	GPG-W51	14	721	8996	5	6	-0.017	-0.013	-0.004	-0.017	-0.012	-0.004
41	GPG-W52	63	6085	6059	5	5	0.257	0.263	0.275	0.260	0.266	0.278
42	GPG-W53	16	-	5919	5	6	0.177	0.185	0.199	0.180	0.189	0.203
43	GPG-W57	130	398	1641	0	2	0.055	0.056	0.060	0.060	0.061	0.065
44	GPG-W59	12	-	908	0	0	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
45	GPG-W62	347	469	4826	4	5	0.016	0.019	0.034	0.020	0.024	0.039
46	GPG-W63	1	-	5685	4	6	0.017	0.028	0.048	0.021	0.033	0.053
47	GPG-W64	96	249	5694	4	6	0.041	0.046	0.077	0.047	0.053	0.084
48	GPG-W68	61	266	6736	4	5	-0.039	-0.038	-0.021	-0.036	-0.035	-0.019
49	GPG-W69	2958	871	5915	5	9	0.141	0.148	0.166	0.148	0.155	0.173
50	GPG-W70	76	88	10111	4	3	-0.184	-0.178	-0.165	-0.182	-0.176	-0.163
51	GPG-W71	1	-	9685	4	5	-0.276	-0.274	-0.249	-0.273	-0.271	-0.246
52	GPG-W72	25	-	6550	1	1	-0.032	-0.034	-0.032	-0.030	-0.032	-0.030
53	GPG-W73	167	-	9193	0	0	-0.280	-0.282	-0.281	-0.278	-0.279	-0.279
54	GPG-W259	42	-	4383	1	3	0.057	0.057	0.060	0.068	0.068	0.071
55	GPG-W262	7	-	1928	3	4	0.095	0.109	0.123	0.101	0.116	0.129
56	GPG-W263	4	-	1788	3	4	-0.074	-0.058	-0.044	-0.066	-0.051	-0.036
57	GPG-W264	1	-	1788	2	4	-0.316	-0.297	-0.282	-0.308	-0.289	-0.274
58	GPG-F1012	4	-	1853	0	0	-0.068	-0.068	-0.068	-0.067	-0.067	-0.067

Nr.	Code	Gemiddelde CI-belasting per oppervlak (kg/ha/jaar)						Totale CI-belasting (x 1000 kg/jaar)					
		huidig	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5	huidig	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5
1	GPG-W4	730	973	1649	1070	1363	2131	431	574	973	631	805	1258
2	GPG-W11	8365	9022	10200	8784	9432	10618	1196	1290	1458	1256	1348	1518
3	GPG-W12	9249	9825	10851	9594	10174	11198	658	699	772	683	724	797
4	GPG-W13	9280	9840	10827	9622	10183	11171	539	572	629	559	592	649
5	GPG-W14	5833	5985	6512	6000	6153	6681	1529	1569	1707	1573	1613	1751
6	GPG-W32	1041	1078	1169	1067	1104	1195	79	82	89	81	84	91
7	GPG-W19	591	640	729	617	661	755	9	9	11	9	10	11
8	GPG-W18	1552	1674	1864	1600	1722	1915	130	140	156	134	144	161
9	GPG-W5	1429	1722	2294	1681	1988	2563	388	467	622	456	539	695
10	GPG-W6	2470	2592	3029	2693	2816	3253	98	103	120	107	112	129
11	GPG-W7	114	108	177	149	151	281	46	44	73	61	62	115
12	GPG-W9	748	856	1073	819	930	1153	184	211	264	202	229	284
13	GPG-W10	4025	4354	5041	4236	4565	5254	155	168	195	164	176	203
14	GPG-W15	4008	4182	4744	4153	4326	4889	265	277	314	275	286	324
15	GPG-W17	231	230	231	257	257	258	180	180	180	201	200	201
16	GPG-W20	974	990	1013	1001	1017	1040	28	29	29	29	30	30
17	GPG-W21	1155	1162	1221	1187	1194	1253	51	51	54	52	53	55
18	GPG-W22	816	814	814	854	851	851	27	27	27	28	28	28
19	GPG-W23	1449	1452	1491	1491	1494	1533	28	28	29	29	29	29
20	GPG-W24	1197	1288	1684	1240	1329	1728	13	14	18	14	15	19
21	GPG-W242	136	129	180	139	132	183	25	23	33	25	24	33
22	GPG-W25	69	69	69	78	77	77	4	4	4	5	5	5
23	GPG-W26	126	126	126	131	131	131	8	8	8	8	8	8
24	GPG-W29	63	63	63	65	65	65	1	1	1	1	1	1
25	GPG-W30	531	531	575	579	579	623	23	23	24	25	25	27
26	GPG-W31	3193	3073	3354	3232	3111	3394	25	24	26	25	24	26
27	GPG-W33	2431	2550	2825	2509	2629	2905	182	190	211	187	196	217
28	GPG-W34	2310	2179	2382	2337	2206	2409	6	6	7	6	6	7
29	GPG-W35	2702	2753	2930	2740	2792	2968	539	550	585	547	557	593
30	GPG-W36	3707	3722	3892	3745	3761	3931	25	25	26	25	25	26
31	GPG-W37	549	539	606	556	546	613	14	14	15	14	14	16
32	GPG-W38	2028	2033	2107	2062	2068	2142	114	115	119	116	116	121
33	GPG-W39	2965	3034	3095	3008	3076	3138	198	203	207	201	206	210
34	GPG-W40	2901	2917	2996	2970	2986	3066	169	170	175	173	174	179
35	GPG-W41	2151	2163	2457	2178	2188	2484	12	12	14	12	12	14
36	GPG-W42	1508	1635	1939	1533	1659	1963	18	20	24	19	20	24
37	GPG-W43	4389	4352	4602	4437	4400	4650	24	24	25	24	24	25
38	GPG-W44	1226	1304	1519	1390	1469	1686	6931	7368	8585	7855	8300	9527
39	GPG-W45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	GPG-W51	921	1075	1198	937	1092	1215	13	15	17	13	15	17
41	GPG-W52	5730	5850	6125	5796	5916	6191	360	368	385	364	372	389
42	GPG-W53	3816	3993	4307	3897	4074	4389	61	63	68	62	65	70
43	GPG-W57	352	356	378	379	383	406	46	46	49	49	50	53
44	GPG-W59	48	48	48	48	48	48	1	1	1	1	1	1
45	GPG-W62	888	887	1066	942	941	1124	308	308	370	327	326	390
46	GPG-W63	347	586	1001	442	681	1097	0	0	1	0	1	1
47	GPG-W64	1466	1533	2058	1574	1643	2182	141	148	198	152	158	210
48	GPG-W68	191	190	275	197	200	293	12	12	17	12	12	18
49	GPG-W69	2991	3166	3603	3153	3328	3766	8850	9366	10659	9329	9846	11142
50	GPG-W70	93	98	130	97	101	133	7	7	10	7	8	10
51	GPG-W71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	GPG-W72	286	272	284	306	292	304	7	7	7	8	7	8
53	GPG-W73	810	805	805	818	813	813	135	134	134	136	136	136
54	GPG-W259	949	956	1001	1102	1109	1154	40	41	42	47	47	49
55	GPG-W262	889	945	1001	915	971	1027	6	6	7	6	7	7
56	GPG-W263	433	464	497	448	479	512	2	2	2	2	2	2
57	GPG-W264	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	GPG-F1012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel C 3 Chloridebelasting bij autonome verzilting

Nr.	Code	Gemiddelde CI-belasting per oppervlak (kg/ha/jaar)						Totale CI-belasting (x 1000 kg/jaar)					
		huidig	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5	huidig	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5
1	GPG-W4	703	939	1591	1035	1320	2062	415	554	939	611	779	1217
2	GPG-W11	8189	8835	9989	8600	9237	10399	1171	1263	1428	1229	1320	1486
3	GPG-W12	8926	9485	10476	9259	9823	10812	635	675	746	659	699	770
4	GPG-W13	9122	9674	10644	9459	10012	10983	530	562	619	550	582	638
5	GPG-W14	5708	5857	6373	5872	6021	6538	1496	1535	1671	1539	1578	1714
6	GPG-W32	1001	1038	1125	1027	1062	1150	76	79	86	78	81	87
7	GPG-W19	567	614	699	592	634	724	8	9	10	9	9	10
8	GPG-W18	1454	1568	1747	1499	1614	1794	122	131	146	126	135	150
9	GPG-W5	1411	1703	2272	1662	1967	2538	383	462	616	451	534	688
10	GPG-W6	2420	2541	2969	2639	2761	3189	96	101	118	105	109	126
11	GPG-W7	114	108	177	149	150	279	47	44	72	61	62	114
12	GPG-W9	756	865	1084	827	940	1164	186	213	267	204	231	287
13	GPG-W10	3987	4312	4994	4196	4522	5204	154	167	193	162	175	201
14	GPG-W15	3796	3961	4493	3933	4097	4630	251	262	297	260	271	306
15	GPG-W17	390	390	391	434	434	436	305	304	305	339	339	340
16	GPG-W20	1217	1235	1264	1251	1269	1298	35	36	37	36	37	38
17	GPG-W21	1105	1112	1169	1136	1143	1200	49	49	52	50	50	53
18	GPG-W22	1097	1093	1093	1148	1145	1145	36	36	36	38	38	38
19	GPG-W23	1766	1769	1816	1817	1820	1867	34	34	35	35	35	36
20	GPG-W24	1107	1191	1556	1146	1229	1597	12	13	17	13	13	17
21	GPG-W242	129	122	171	132	124	174	23	22	31	24	23	32
22	GPG-W25	116	115	115	131	130	130	7	7	7	8	8	8
23	GPG-W26	221	221	221	229	229	229	14	14	14	15	15	15
24	GPG-W29	108	108	108	112	111	111	1	1	1	1	1	1
25	GPG-W30	967	965	1049	1053	1051	1135	41	41	45	45	45	48
26	GPG-W31	2930	2821	3079	2967	2856	3116	23	22	24	23	22	24
27	GPG-W33	2274	2385	2643	2348	2459	2717	170	178	197	175	184	203
28	GPG-W34	2110	1991	2176	2135	2015	2201	6	5	6	6	6	6
29	GPG-W35	2503	2550	2714	2539	2586	2750	500	509	542	507	516	549
30	GPG-W36	3351	3365	3519	3386	3400	3554	22	23	24	23	23	24
31	GPG-W37	504	495	556	510	501	563	13	13	14	13	13	14
32	GPG-W38	1891	1896	1965	1923	1929	1997	106	107	111	108	109	112
33	GPG-W39	2515	2574	2626	2551	2610	2662	168	172	175	170	174	178
34	GPG-W40	2907	2923	3004	2977	2994	3075	169	170	175	173	174	179
35	GPG-W41	1975	1985	2255	1999	2009	2280	11	11	13	11	11	13
36	GPG-W42	1396	1513	1795	1419	1536	1817	17	19	22	17	19	22
37	GPG-W43	4024	3990	4219	4068	4034	4264	22	22	23	22	22	23
38	GPG-W44	1400	1477	1698	1581	1660	1882	7913	8348	9595	8936	9381	10638
39	GPG-W45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	GPG-W51	852	995	1108	867	1010	1124	12	14	15	12	14	16
41	GPG-W52	5213	5321	5572	5272	5381	5632	328	335	350	332	338	354
42	GPG-W53	3464	3625	3910	3538	3698	3984	55	58	62	56	59	63
43	GPG-W57	645	651	692	696	703	745	84	85	90	91	92	97
44	GPG-W59	141	141	141	142	142	142	2	2	2	2	2	2
45	GPG-W62	983	984	1179	1041	1042	1242	341	341	409	361	361	430
46	GPG-W63	378	640	1092	482	743	1197	0	1	1	0	1	1
47	GPG-W64	1530	1602	2157	1643	1717	2289	147	154	208	158	165	220
48	GPG-W68	201	200	289	208	211	308	12	12	18	13	13	19
49	GPG-W69	3080	3255	3692	3246	3421	3859	9113	9629	10922	9603	10120	11415
50	GPG-W70	93	98	130	97	101	133	7	7	10	7	8	10
51	GPG-W71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	GPG-W72	294	280	291	314	300	312	7	7	7	8	7	8
53	GPG-W73	707	703	703	714	709	709	118	117	117	119	118	118
54	GPG-W259	1273	1282	1341	1478	1487	1547	54	54	57	63	63	66
55	GPG-W262	1333	1417	1502	1372	1457	1542	9	10	10	9	10	10
56	GPG-W263	655	702	753	678	725	776	3	3	3	3	3	3
57	GPG-W264	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	GPG-F1012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel C 4 Toename chloridebelasting

Nr.	Code	Relatieve toename Cl-belasting					Absolute toename Cl-belasting (kg/ha/jaar)				
		scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5
1	GPG-W4	33%	126%	47%	87%	192%	243	919	340	633	1402
2	GPG-W11	8%	22%	5%	13%	27%	658	1835	420	1068	2253
3	GPG-W12	6%	17%	4%	10%	21%	576	1602	344	925	1949
4	GPG-W13	6%	17%	4%	10%	20%	560	1547	342	904	1892
5	GPG-W14	3%	12%	3%	5%	15%	152	679	167	320	848
6	GPG-W32	4%	12%	3%	6%	15%	38	129	27	64	154
7	GPG-W19	8%	23%	4%	12%	28%	49	137	26	70	163
8	GPG-W18	8%	20%	3%	11%	23%	122	313	48	171	364
9	GPG-W5	21%	61%	18%	39%	79%	293	866	253	559	1135
10	GPG-W6	5%	23%	9%	14%	32%	122	559	223	346	783
11	GPG-W7	-5%	56%	31%	33%	147%	-5	64	35	37	167
12	GPG-W9	14%	43%	9%	24%	54%	108	325	71	182	404
13	GPG-W10	8%	25%	5%	13%	31%	329	1017	211	540	1229
14	GPG-W15	4%	18%	4%	8%	22%	174	736	144	318	881
15	GPG-W17	0%	0%	11%	11%	12%	0	0	26	26	27
16	GPG-W20	2%	4%	3%	4%	7%	16	39	27	43	66
17	GPG-W21	1%	6%	3%	3%	8%	7	66	32	39	98
18	GPG-W22	0%	0%	5%	4%	4%	-2	-2	38	35	35
19	GPG-W23	0%	3%	3%	3%	6%	3	42	42	44	83
20	GPG-W24	8%	41%	4%	11%	44%	91	487	43	132	531
21	GPG-W242	-5%	32%	2%	-3%	35%	-7	44	3	-4	47
22	GPG-W25	-1%	-1%	12%	11%	11%	-1	-1	8	8	8
23	GPG-W26	0%	0%	4%	3%	3%	0	0	5	4	4
24	GPG-W29	0%	0%	3%	3%	3%	0	0	2	2	2
25	GPG-W30	0%	8%	9%	9%	17%	0	44	48	48	92
26	GPG-W31	-4%	5%	1%	-3%	6%	-119	162	39	-81	201
27	GPG-W33	5%	16%	3%	8%	20%	119	395	79	198	475
28	GPG-W34	-6%	3%	1%	-4%	4%	-130	72	27	-103	100
29	GPG-W35	2%	8%	3%	3%	10%	51	228	39	90	267
30	GPG-W36	0%	5%	1%	1%	6%	16	185	38	54	225
31	GPG-W37	-2%	10%	1%	0%	12%	-9	57	7	-3	64
32	GPG-W38	0%	4%	2%	2%	6%	6	79	35	41	114
33	GPG-W39	2%	4%	1%	4%	6%	69	130	43	111	173
34	GPG-W40	1%	3%	2%	3%	6%	15	95	69	85	165
35	GPG-W41	1%	14%	1%	2%	15%	11	306	26	37	333
36	GPG-W42	8%	29%	2%	10%	30%	127	431	26	152	456
37	GPG-W43	-1%	5%	1%	0%	6%	-37	213	48	11	261
38	GPG-W44	6%	24%	13%	20%	37%	77	293	163	242	459
39	GPG-W45	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
40	GPG-W51	17%	30%	2%	19%	32%	154	277	16	171	294
41	GPG-W52	2%	7%	1%	3%	8%	120	395	66	185	461
42	GPG-W53	5%	13%	2%	7%	15%	177	491	81	258	572
43	GPG-W57	1%	8%	8%	9%	16%	4	26	28	32	55
44	GPG-W59	0%	0%	1%	0%	0%	0	0	0	0	0
45	GPG-W62	0%	20%	6%	6%	27%	-1	177	54	53	236
46	GPG-W63	69%	189%	27%	96%	216%	240	654	95	334	750
47	GPG-W64	5%	40%	7%	12%	49%	67	592	108	177	716
48	GPG-W68	0%	44%	3%	5%	53%	-1	84	6	9	102
49	GPG-W69	6%	20%	5%	11%	26%	174	612	162	337	775
50	GPG-W70	5%	39%	4%	8%	43%	4	36	3	8	40
51	GPG-W71	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
52	GPG-W72	-5%	-1%	7%	2%	6%	-14	-2	20	6	17
53	GPG-W73	-1%	-1%	1%	0%	0%	-5	-5	8	2	2
54	GPG-W259	1%	5%	16%	17%	22%	7	52	153	160	205
55	GPG-W262	6%	13%	3%	9%	16%	56	112	26	82	138
56	GPG-W263	7%	15%	3%	11%	18%	31	64	15	46	80
57	GPG-W264	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
58	GPG-F1012	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0

Tabel C 5 Toename chloridebelasting bij autonome verzilting (toename t.o.v. huidige situatie zonder autonome verzilting)

Nr.	Code	Relatieve toename Cl-belasting					Absolute toename Cl-belasting (kg/ha/jaar)				
		scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5	scen. 1	scen. 2	scen. 3	scen. 4	scen. 5
1	GPG-W4	29%	118%	42%	81%	183%	209	861	305	590	1332
2	GPG-W11	6%	19%	3%	10%	24%	471	1624	236	872	2034
3	GPG-W12	3%	13%	0%	6%	17%	236	1227	10	574	1563
4	GPG-W13	4%	15%	2%	8%	18%	394	1365	179	732	1703
5	GPG-W14	0%	9%	1%	3%	12%	24	540	39	189	705
6	GPG-W32	0%	8%	-1%	2%	10%	-3	84	-14	22	109
7	GPG-W19	4%	18%	0%	7%	22%	22	107	0	43	132
8	GPG-W18	1%	13%	-3%	4%	16%	16	195	-52	62	242
9	GPG-W5	19%	59%	16%	38%	78%	275	843	233	538	1109
10	GPG-W6	3%	20%	7%	12%	29%	71	499	169	291	719
11	GPG-W7	-5%	56%	31%	32%	146%	-6	63	35	37	166
12	GPG-W9	16%	45%	11%	26%	56%	117	336	79	191	416
13	GPG-W10	7%	24%	4%	12%	29%	287	969	171	497	1179
14	GPG-W15	-1%	12%	-2%	2%	16%	-47	485	-75	89	622
15	GPG-W17	29%	118%	42%	81%	183%	209	861	305	590	1332
16	GPG-W20	6%	19%	3%	10%	24%	471	1624	236	872	2034
17	GPG-W21	3%	13%	0%	6%	17%	236	1227	10	574	1563
18	GPG-W22	4%	15%	2%	8%	18%	394	1365	179	732	1703
19	GPG-W23	0%	9%	1%	3%	12%	24	540	39	189	705
20	GPG-W24	0%	8%	-1%	2%	10%	-3	84	-14	22	109
21	GPG-W242	4%	18%	0%	7%	22%	22	107	0	43	132
22	GPG-W25	1%	13%	-3%	4%	16%	16	195	-52	62	242
23	GPG-W26	19%	59%	16%	38%	78%	275	843	233	538	1109
24	GPG-W29	3%	20%	7%	12%	29%	71	499	169	291	719
25	GPG-W30	-5%	56%	31%	32%	146%	-6	63	35	37	166
26	GPG-W31	16%	45%	11%	26%	56%	117	336	79	191	416
27	GPG-W33	7%	24%	4%	12%	29%	287	969	171	497	1179
28	GPG-W34	-1%	12%	-2%	2%	16%	-47	485	-75	89	622
29	GPG-W35	69%	69%	88%	88%	89%	159	160	204	203	205
30	GPG-W36	27%	30%	28%	30%	33%	261	290	277	295	324
31	GPG-W37	-4%	1%	-2%	-1%	4%	-43	14	-19	-12	45
32	GPG-W38	34%	34%	41%	40%	40%	277	277	332	328	328
33	GPG-W39	22%	25%	25%	26%	29%	320	367	368	371	418
34	GPG-W40	-1%	30%	-4%	3%	33%	-6	360	-50	32	401
35	GPG-W41	-11%	26%	-3%	-9%	28%	-14	35	-5	-12	38
36	GPG-W42	66%	66%	89%	88%	88%	46	46	62	61	61
37	GPG-W43	75%	75%	81%	81%	81%	94	94	103	102	102
38	GPG-W44	70%	70%	77%	76%	76%	44	44	48	48	48
39	GPG-W45	82%	98%	98%	98%	114%	434	518	522	520	604
40	GPG-W51	-12%	-4%	-7%	-11%	-2%	-371	-113	-226	-336	-77
41	GPG-W52	-2%	9%	-3%	1%	12%	-45	212	-83	29	287
42	GPG-W53	-14%	-6%	-8%	-13%	-5%	-319	-134	-175	-295	-109
43	GPG-W57	-6%	0%	-6%	-4%	2%	-151	12	-163	-116	48
44	GPG-W59	-9%	-5%	-9%	-8%	-4%	-341	-188	-321	-307	-152
45	GPG-W62	-10%	1%	-7%	-9%	3%	-54	7	-39	-47	14
46	GPG-W63	-6%	-3%	-5%	-5%	-2%	-131	-63	-105	-99	-30
47	GPG-W64	-13%	-11%	-14%	-12%	-10%	-391	-339	-414	-355	-303
48	GPG-W68	1%	4%	3%	3%	6%	22	103	76	93	174
49	GPG-W69	-8%	5%	-7%	-7%	6%	-166	104	-152	-143	128
50	GPG-W70	0%	19%	-6%	2%	21%	6	287	-88	29	310
51	GPG-W71	-9%	-4%	-7%	-8%	-3%	-398	-170	-321	-354	-125
52	GPG-W72	20%	38%	29%	35%	53%	251	471	355	433	656
53	GPG-W73	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
54	GPG-W259	8%	20%	-6%	10%	22%	74	187	-54	89	203
55	GPG-W262	-7%	-3%	-8%	-6%	-2%	-409	-159	-458	-349	-98
56	GPG-W263	-5%	2%	-7%	-3%	4%	-192	93	-279	-118	167
57	GPG-W264	85%	97%	98%	100%	112%	300	341	344	351	393
58	GPG-F1012	194%	194%	196%	196%	196%	93	93	94	94	94