

## Modelstudie naar chlorideconcentratie in bodemvocht en ondiep grondwater in een zout kwelsysteem

Marian Koskamp  
Januari 2008





# **Modelstudie naar chlorideconcentratie in bodemvocht en ondiep grondwater in een zout kwelsysteem**

Stageopdracht

Auteur:

M.H. Koskamp

Begeleiders:

P.G.B. de Louw (TNO)

G.H.P Oude Essink (TNO)

S.E.A.T.M. van der Zee (Wageningen Universiteit)

Januari 2008



## Samenvatting

In opdracht van de provincie Zeeland is door TNO een onderzoek gestart naar de verziltings- en verzoetingsprocessen van het freatische grondwater in de provincie Zeeland. Doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de huidige situatie in de provincie en de toekomstige verwachting. Het onderzoek richt zich op de verzadigde zone (zoete en brakke regenwaterlenzen) en bestaat uit een veldstudie en een modelstudie met MOCDENS3D. Bij de modelstudie wordt de onverzadigde zone vooralsnog buiten beschouwing gelaten. Het is echter niet bekend of het buiten beschouwing laten van de onverzadigde zone invloed heeft op de gemodelleerde chlorideverdeling in het ondiepe grondwater in een zout kwelsysteem.

In dit rapport is een modelstudie met Hydrus-2D beschreven. Hydrus-2D is een softwareprogramma voor het 2D simuleren van waterstroming, warmte- en stoftransport in de verzadigde en onverzadigde zone. In Hydrus-2D wordt geen rekening gehouden met dichtheidsstroming. Het doel van deze modelstudie is het vergroten van het inzicht in de bijdrage van de onverzadigde zone in een zout kwelsysteem: hoe beïnvloedt de onverzadigde zone de vorming van zoet/brak regenwaterlenzen en wat gebeurt er in de wortelzone met de chlorideconcentratie. Met Hydrus-2D is de invloed van enkele parameters op de chlorideconcentraties in het bodemvocht en ondiepe grondwater op perceelsschaal onderzocht bij stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. In de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarde is gerekend met het neerslagoverschot (constante waarde). In de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is gerekend met dagwaarden voor neerslag en verdamping. Door het ontbreken van een passend MOCDENS3D model zijn de resultaten van de modelstudie in Hydrus-2D niet vergeleken met de resultaten van het verzadigd dichtheidsafhankelijk grondwaterstromingsmodel.

Uit de modelstudie is gebleken dat de resultaten van simulaties met stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden van elkaar verschillen. De chlorideconcentratie in de wortelzone en het ondiepe grondwater wordt onderschat in de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden. Het vermoeden bestaat dat de dynamiek van een zout kwelsysteem door de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden beter benaderd wordt dan door die met stationaire bovenrandvoorwaarden. Uit de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is gebleken dat de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater het sterkst wordt beïnvloed door draandiepte, drukhoogte onderrand, neerslagoverschot, dispersielengte en drainafstand. De chlorideconcentratie in de wortelzone wordt sterk beïnvloed door de drukhoogte op de onderrand, draandiepte, neerslagoverschot, chlorideconcentratie van diep grondwater, dispersielengte, positie onderrand en de dikte van de onverzadigde zone (maaiveldverloop). Uit de modelresultaten van de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden is gebleken dat het afdekken van het maaiveld leidt tot chlorideconcentraties in de wortelzone en het ondiepe grondwater die gelijk zijn aan de chlorideconcentratie in het diepe grondwater.

Naast het modelleren is ook veldwerk in de provincie Zeeland uitgevoerd. Op 2 locaties zijn monsters van de bodem, sloot- en grondwater genomen om vervolgens in het lab de chlorideconcentratie te bepalen in het bodemvocht, sloot en grondwater. Op één locatie zijn doorlatendheidsmetingen volgens de boorgatmethode uitgevoerd om de verzadigde doorlatendheid van zware zavel- en kleigronden te bepalen. Uit deze metingen is een doorlatendheid van 0,2 en 1,1 m/d berekend. Omdat in het veld niet gecontroleerd is of de aannames van de boorgatmethode geldig waren, zijn de berekende doorlatendheden mogelijk niet correct. Uit de resultaten van de chlorideconcentratiebepaling in bodemvocht, sloot- en grondwater is gebleken dat de ruimtelijk verschillen in chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater en bodemvocht mogelijk beïnvloed worden door de bodemopbouw en de afstand tot een sloot. De resultaten van het veldwerk zijn niet in de modelstudie gebruikt.

# Inhoudsopgave

## Samenvatting

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Inleiding</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Onderzoek naar de verzilting en verzoeting van het freatische grondwater in de provincie Zeeland | 1         |
| 1.2 Modelstudie naar chlorideconcentratie in bodemvocht en ondiep grondwater in een zout kwelsysteem | 1         |
| 1.3 Classificatie van zoutgehalte  | 2         |
| 1.4 Invloed van zout op opbrengst van landbouwgewassen   | 3         |
| <b>2 Veldwerk</b>  | <b>5</b>  |
| 2.1 Inleiding  | 5         |
| 2.2 Doorlatendheidsmetingen  | 5         |
| 2.2.1 Inleiding  | 5         |
| 2.2.2 Methode  | 6         |
| 2.2.3 Boorgatbeschrijving  | 7         |
| 2.2.4 Resultaten   | 8         |
| 2.2.5 Discussie en conclusie   | 9         |
| 2.2.6 Aanbevelingen  | 9         |
| 2.3 Chlorideconcentratiemeting   | 10        |
| 2.3.1 Inleiding  | 10        |
| 2.3.2 Methode  | 10        |
| 2.3.3 Beschrijving van locaties  | 11        |
| 2.3.4 Weersituatie   | 14        |
| 2.3.5 Resultaten   | 15        |
| 2.3.6 Discussie en conclusie   | 18        |
| 2.3.7 Aanbevelingen  | 19        |
| <b>3 Modelstudie</b>   | <b>21</b> |
| 3.1 Inleiding  | 21        |
| 3.2 Methode  | 21        |
| 3.2.1 Hydrus-2D  | 21        |
| 3.2.2 Basismodel   | 21        |
| 3.2.3 Stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden   | 23        |
| 3.2.4 Aanpassingen op het basismodel   | 25        |
| 3.2.5 Simulaties   | 27        |
| 3.3 Resultaten   | 29        |
| 3.3.1 Basismodel   | 29        |
| 3.3.2 Aanpassingen op het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden                            | 39        |
| 3.3.3 Aanpassingen op het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden                       | 42        |
| 3.4 Discussie en conclusie   | 52        |
| 3.5 Aanbevelingen  | 54        |
| <b>4 Conclusie</b>   | <b>55</b> |
| <b>5 Aanbevelingen</b>   | <b>57</b> |
| <b>Literatuur</b>  | <b>59</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Bijlage</b>  | <b>61</b> |
| Bijlage 1 Relatie tussen chlorideconcentratie en EC in grondwater- en bodemvochtmonsters  | 63        |
| Bijlage 2 Hydrus-2D   | 67        |
| Bijlage 3 Modelparameters basismodel  | 73        |
| Bijlage 4 Stationaire bovenrandvoorwaarden: modelresultaten per aanpassing                | 77        |
| Bijlage 5 Stationaire bovenrandvoorwaarden: modelresultaten per onderwerp                 | 111       |
| Bijlage 6 Resultaten niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: modelresultaten per onderwerp | 117       |



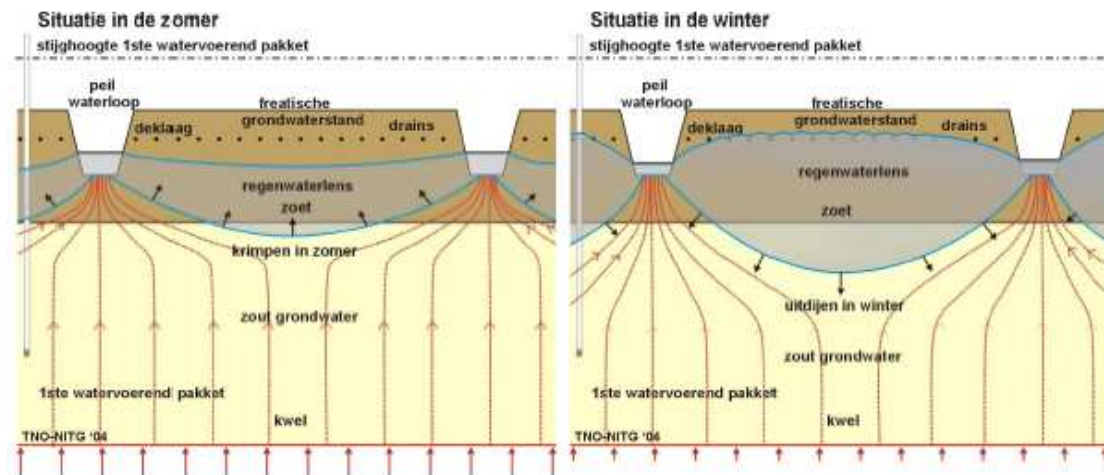


# 1 Inleiding

## 1.1 Onderzoek naar de verzilting en verzoeting van het freatische grondwater in de provincie Zeeland

In opdracht van de provincie Zeeland is door TNO een onderzoek gestart naar de verziltings- en verzoetingsprocessen van het freatische grondwater in de provincie Zeeland. Doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de huidige situatie in de provincie en de toekomstige verwachting. De provincie Zeeland wil in haar beleid kunnen anticiperen op de mogelijke veranderingen in de toekomst (Oude Essink & Vernes, 2005).

Het verziltingsonderzoek bestaat uit een modelstudie en een veldstudie. In de veldstudie zullen op geselecteerde locaties in de provincie Zeeland de verdeling van chloride in het grondwater en oppervlaktewater worden gemeten. In de modelstudie zal de vorming van zoet/brak regenwaterlens (figuur 1.1) in zout grondwater op verschillende schalen worden gemodelleerd met het de code MOCDENS3D (Oude Essink, 1998; Oude Essink, 1999).



Figuur 1.1: Schematische weergave van een regenwaterlens in winter- en zomersituatie in een zoute omgeving. Een regenwaterlens is een zone in het bovenste verzadigde poreuze medium waarin alleen water aanwezig is dat afkomstig is uit neerslag. De regenwaterlens wordt aan de bovenkant begrensd door de grondwaterspiegel en aan de onderkant door een kwelwatersysteem (Oude Essink & Vernes, 2005).

## 1.2 Modelstudie chlorideconcentratie in bodemvocht en ondiepe grondwater in een zout kwelsysteem

In de modelstudie van het verziltingsonderzoek richt men zich op het modelleren van waterstroming en chloridetransport in de verzadigde zone. De onverzadigde zone wordt hierbij vooralsnog buiten beschouwing gelaten. Het is echter niet bekend of het negeren van de onverzadigde zone invloed zal hebben op de resultaten van de modelstudie in het verziltingsonderzoek. Vast staat dat op dit moment met de modelresultaten niet direct uitspraken kunnen worden gedaan over de invloed van zoute kwel op de chlorideconcentratie in de wortelzone van planten. Een te hoge zoutconcentratie in het bodemvocht zal de groei van een gewas negatief beïnvloeden.

In dit rapport zal een modelstudie naar de invloed van de onverzadigde zone worden besproken. Het doel van deze modelstudie is het vergroten van inzicht in de bijdrage van de onverzadigde zone in een zout kwelsysteem: hoe beïnvloedt de onverzadigde zone de vorming van zoet/brak regenwaterlens en wat gebeurt er in de wortelzone met de chlorideconcentratie. In de modelstudie is de invloed van parameters op de chlorideconcentratie in het bodemvocht en ondiepe grondwater onderzocht. De

volgende parameters zijn hierbij in beschouwing genomen: bodemopbouw, maaiveldverloop, dispersielengte, positie onderrand, draindiepte, drainafstand, slootpeil, slootafstand, chlorideconcentratie in het diepe grondwater en neerslag, stijghoogte in de diepe ondergrond en neerslagpatroon.

De onderzoeksvragen:

- Hoe beïnvloedt de onverzadigde zone de zoet/brak regenwaterlens en welke parameters hebben hier invloed op?
- Hoe hoog is de chlorideconcentratie in de wortelzone en door welke parameters worden deze concentraties beïnvloed?

In de modelstudie is gebruik gemaakt van het softwareprogramma Hydrus-2D (Šimůnek *et al.*, 1999) voor het op perceelsschaal simuleren van de waterstroming en chloridetransport in de verzadigde en onverzadigde zone. In Hydrus-2D wordt geen rekening gehouden met dichtheidsstroming. Om de eerste onderzoeksvraag volledig te kunnen beantwoorden zullen resultaten van een Hydrus-2D model vergeleken moeten worden met resultaten van MOCDENS3D model. Omdat op het moment van deze rapportage geen passend MOCDENS3D model beschikbaar was, is in dit verslag geen antwoord gegeven op de vraag hoe het buiten beschouwing laten van de onverzadigde zone de modelresultaten van een MOCDENS3D model beïnvloedt.

Aanvankelijk was het plan om de waterstroming en het chloridetransport op één locatie uit de veldstudie na te bootsten. Door middel van veldwerk zouden extra gegevens over het perceel worden verkregen. Omdat om verschillende redenen afgeweken is van dat plan, is de modelstudie generiek van karakter geworden. Het model is niet gebaseerd op één van de meetlocatie in de provincie Zeeland maar heeft kenmerken die karakteristiek zijn de voor de provincie. Door de gewijzigde opzet van de modelstudie kunnen de resultaten van 2 dagen veldwerk niet direct vertaald worden in de modelstudie.

### 1.3 Classificatie van zoutgehalte

In oceaanwater is chloride ( $\text{Cl}^-$ ) een dominant negatief ion. In een liter zeewater is 34,6 gram zout aanwezig waarvan 19,0 gram in de vorm van chloride. Vaak wordt zoutconcentratie gekoppeld aan chlorideconcentratie. Bij het modelleren van zouttransport in kustnabije gebieden wordt daarom het chloridetransport gemodelleerd als eigenlijk het zouttransport wordt bedoeld. Hierbij wordt aangenomen dat de verdeling van chloride representatief is voor de verdeling van alle opgeloste stoffen. Daarnaast wordt aangenomen dat de verhouding tussen de opgeloste stoffen niet afwijkt van de verhoudingen die gelden in zeewater (Oude Essink, 2001). Bij metingen in het veld wordt het zoutgehalte vaak uitgedrukt in EC waarden.

De manier waarop oa chlorideconcentratie en EC waarden worden geclassificeerd, is afhankelijk van de toepassing. Voor de classificatie van zoutgehalte in bodemvocht worden wereldwijd vele methodes toegepast. De oorsprong van deze classificaties is veelal te herleiden tot het werk van Richards (1954). Een belangrijk classificatiesysteem voor zoutgehalte in bodemvocht is gegeven in tabel 1.1 waarbij de EC waarde van 'soil saturated paste at lubrication level' is geclassificeerd.

Tabel 1.1: Classificatie van EC waarden van 'soil saturated paste' met de effecten op de gewasopbrengst. Waarden overgenomen uit Richards (1954).

| ECe (mS/cm) | Klasse           | Effect   |
|-------------|------------------|--|
| 0-2         | Non saline       | Negligible   |
| 2-4         | Mildly saline    | Yield reduction of sensitive crops                 |
| 4-8         | Medium saline    | Yield reduction for many crops                     |
| 8-12        | Very saline      | Normal yields for salt tolerant crops only         |
| >16         | Extremely saline | Reasonable crop yield for very tolerant crops only |

Voor de classificatie van chlorideconcentratie in grondwater wordt in Nederland veelal gerefereerd naar Stuyfzand (1993). In het verziltingsonderzoek is door TNO en de provincie Zeeland een eigen classificatiesysteem voor de chlorideconcentratie in bodemvocht en grondwater geïntroduceerd. Uitgangspunt voor deze classificatie is de zouttolerantie van landgewassen. Men spreekt daarom over landbouwkundig zoet, brak en zout. In tabel 1.2 zijn de classificaties van Stuyfzand en TNO/Provincie Zeeland gegeven. In dit rapport zal de classificatie van TNO/Provincie Zeeland worden gebruikt.

Tabel 1.2: Classificatie van chlorideconcentratie volgens Stuyfzand (1993) en TNO/Provincie Zeeland.

| <b>klasse</b> | <b>Stuyfzand</b><br>(mg Cl <sup>-</sup> /l) | <b>TNO/Provincie Zeeland</b><br>(mg Cl <sup>-</sup> /l) |
|---------------|---|---|
| zoet          | < 300                                       | < 1000  |
| brak          | 300 – 10000                                 | 1000 – 3000   |
| zout          | > 10000                                     | > 3000  |

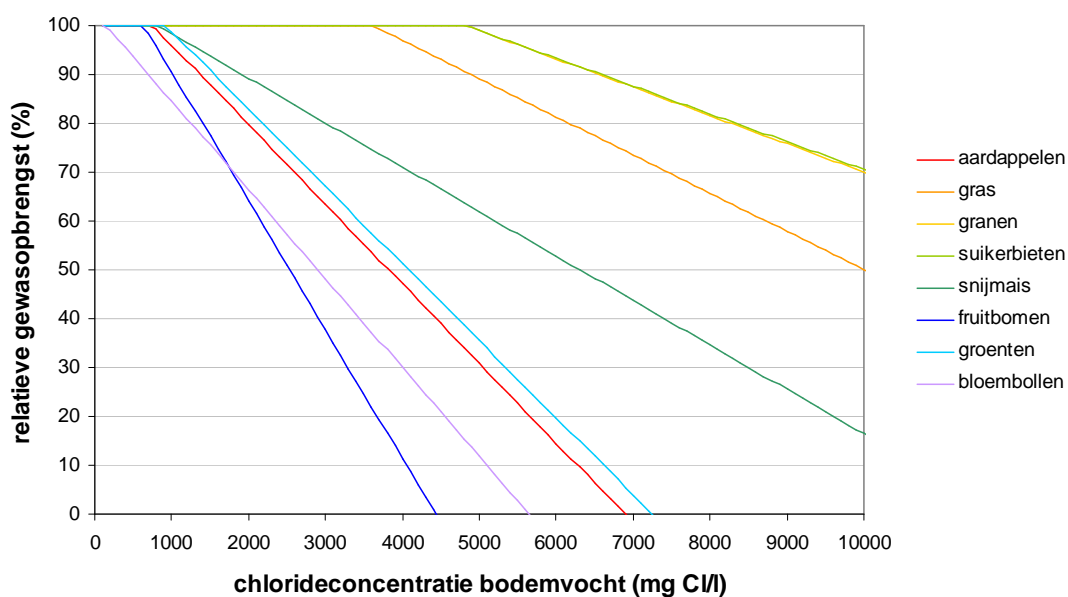
#### 1.4 Invloed van zout op opbrengst landbouwgewassen

Een te hoge zoutconcentratie in het bodemvocht zal de groei van een gewas negatief beïnvloeden. De tolerantie tegen hoge zoutconcentratie is gewasafhankelijk. Zoutschade aan gewassen kan op verschillende manieren ontstaan. Het belangrijkste mechanisme van zoutschade aan gewassen is het osmotische effect. Door de osmotische werking van zout in de bodem, vermindert de beschikbaarheid van bodemvocht voor plantopname. Daarnaast kunnen bepaalde elementen in het bodemvocht ook giftige reacties bij sommige gewassen veroorzaken. Het is bekend dat dit geldt voor de elementen natrium, chloride en borium. Een hoog natriumgehalte in het bodemvocht kan daarnaast ook invloed hebben op de eigenschappen van kleigronden. Door een te hoge natriumgehalte kan de grond dicht zwellen waardoor een zuurstoftekort in de wortelzone ontstaat waarmee de groei van het gewas negatief beïnvloed wordt (Roest *et al.*, 2003).

Ondanks de vele factoren die zoutschade aan gewassen beïnvloeden en het niet-lineaire karakter van de effecten van zoutschade, wordt in de literatuur op basis van empirisch onderzoek de reactie van gewassen op zout afgeleid in de vorm van een drempelwaarde en een traject boven de drempelwaarde waarbij de gewasschade lineair toeneemt met een toenemende zoutgehalte in het bodemvocht. In het rapport van Roest *et al.* (2003) zijn omgewerkte literatuurwaarden gegeven voor de drempelwaarde en hellingshoek uitgedrukt in chlorideconcentratie bij gemiddelde bodemvochtgehalten. De hellingshoek geeft de lineaire relatie tussen relatieve gewasopbrengst en chlorideconcentratie in bodemvocht bij een gemiddeld bodemvochtgehalte. In tabel 1.3 zijn voor enkele gewassen de door Roest *et al.* berekende waarden voor hellingshoek en drempelwaarde gegeven. In figuur 1.2 is de invloed van chlorideconcentratie in bodemvocht op de gewasopbrengst grafisch weergegeven.

Tabel 1.3: Drempelwaarde en hellingshoek voor zoutschade van verschillende landbouwgewassen. De hellingshoek geeft het verband tussen relatieve gewasopbrengst en chlorideconcentratie van het bodemvocht bij overschrijding van de drempelwaarde. Waarden zijn overgenomen uit Roest *et al.* (2003). Drempelwaarde is afgerond naar veelvoud van 50 mg Cl<sup>-</sup>/l.

| <b>gewas</b> | <b>drempel</b><br>mg Cl <sup>-</sup> /l | <b>helling</b><br>%/mg Cl <sup>-</sup> /l |
|--------------|---|---|
| aardappelen  | 750                                     | 0,0163                                    |
| gras         | 3600                                    | 0,0078                                    |
| granen       | 4850                                    | 0,0058                                    |
| suikerbieten | 4850                                    | 0,0057                                    |
| snijmaïs     | 800                                     | 0,0091                                    |
| fruitbomen   | 650                                     | 0,0264                                    |
| groenten     | 900                                     | 0,0158                                    |
| bloembollen  | 150                                     | 0,0182                                    |



Figuur 1.2: Relatie tussen relatieve gewasopbrengst en chlorideconcentratie van bodemvocht bij een gemiddeld bodemvochtgehalte gebaseerd op Roest *et al.* (2003).

In de classificatie van TNO/Provincie Zeeland wordt bodemvocht met een chlorideconcentratie lager dan 1000 mg Cl<sup>-</sup>/l zoet genoemd. Uit tabel 1 volgt dat voor bepaalde landbouwgewassen reeds afname van de gewasopbrengst optreedt beneden deze concentratie. Voor landbouwgewassen met een lage zouttolerantie kan 'landbouwkundig' zoet bodemvocht dus al tot afname van de gewasopbrengst leiden. Uit figuur 1 blijkt dat brak bodemvocht (1000-3000 mg Cl<sup>-</sup>/l) bij bepaalde gewassen tot aanzienlijke schade leidt. Voor graan, gras en suikerbieten ligt de drempelwaarde volgens Roest *et al.* (2003) hoger dan 3000 mg Cl<sup>-</sup>/l. Een afname van gewasopbrengst treedt bij deze gewassen op bij zout bodemvocht.

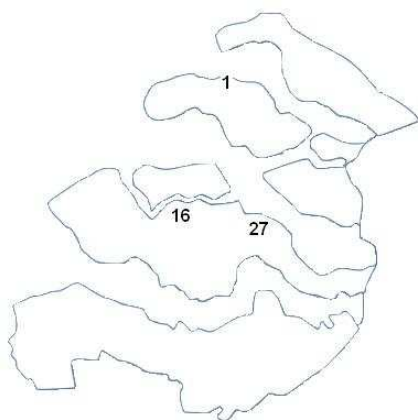
## 2 Veldwerk

### 2.1 Inleiding

Het aanvankelijke doel van het veldwerk was om gegevens te verzamelen voor de modelstudie. Omdat de opzet van de modelstudie is gewijzigd, staat het veldwerk los van de modelstudie. Op drie locaties in de provincie Zeeland zijn op 10 en 11 mei 2007 metingen uitgevoerd. Op twee locaties zijn sloot-, bodem- en grondwatermonsters genomen om de chlorideconcentratie in bodemvocht, sloot- en grondwater in het lab te bepalen. Op één locatie zijn doorlatendheidsmetingen uitgevoerd volgens de boorgatmethode. In tabel 2.1 staat een zeer beknopte beschrijving van de drie meetlocaties. In het hoofdstuk 2.3 chlorideconcentratiemeting zal nader ingegaan op de eigenschappen van locatie 1 en 27. Voor een uitgebreide beschrijving van de drie meetlocaties wordt verwezen naar het rapport van Stevens & De Veen (2007). In figuur 2.1 is de ligging van de meetlocaties in de provincie Zeeland aangegeven.

Tabel 2.1: Enkele gegevens over de drie meetlocaties en de uitgevoerde meting.

| locatie |                | coördinaten (x,y) |       | functie  | gewas/vegetatie | meting         |
|---------|----------------|-------------------|-------|----------|-----------------|----------------|
| nummer  | plaats         |                   |       |          |                 |                |
| 1       | Brouwershaven  | 51,7              | 416,6 | landbouw | aardappelen     | chloride       |
| 16      | Wolphaartsdijk | 43,1              | 395,0 | landbouw | gras            | doorlatendheid |
| 27      | Kapelle        | 58,3              | 390,2 | natuur   | gras            | chloride       |



Figuur 2.1: Ligging van de meetlocaties in de Provincie Zeeland.

### 2.2 Doorlatendheidsmetingen

#### 2.2.1 Inleiding

Doel van de doorlatendheidsmetingen op perceel 16 (figuur 2.2) was om beter inzicht in de doorlatendheid van (zware) klei en zavel gronden. Door middel van de boorgatmethode (Aquatische ecologie en waterkwaliteit & Waterhuishouding, 2004) kan de doorlatendheid van de bodem (net) beneden de grondwaterstand worden bepaald. Op twee punten in het perceel (85 en 100 m afstand van de sloot, nabij de prikstokraai) is deze methode toegepast. Voor het registreren van het waterpeil in de boorgat zijn tijdens de proeven twee divers gebruikt (tijdsinterval van 5 en 20 seconden).



Figuur 2.2: Locatie 16. De doorlatenheidsmetingen zijn in het perceel met gras uitgevoerd (rechterkant van linker foto). Op de overgang van tussen de twee gewassen waren scheuren in de kleigrond zichtbaar (rechter foto).

### 2.2.2 Methode

De boorgatmethode is een eenvoudige methode om in het veld de verzadigde doorlatendheid van een bodem te bepalen. In een boorgat, waarvan het diepste punt bij voorkeur zich ten minste 30 cm beneden de grondwaterstand bevindt, dient het waterpeil in een korte tijd te worden verlaagd. Na de plotselinge verlaging van het waterpeil in het boorgat, zal het boorgat zich weer vullen met grondwater. Uit de snelheid waarmee het boorgat zich weer vult met water, de geometrie van het boorgat en de grondwaterstand kan de verzadigde doorlatendheid van de bodem rondom het boorgat worden afgeleid.

Voor het uitvoeren van een doorlatendheidsproef zijn nodig: een grondboor, een pomp, een dompelklokje en divers. Na het boren van het boorgat dient met het uitvoeren van de proef te worden gewacht tot het waterpeil in het boorgat gelijk is aan de grondwaterstand en niet meer veranderd in de tijd. Door water uit het boorgat te pompen wordt een plotselinge verlaging van het waterpeil in het boorgat tot stand gebracht. Divers in het boorgat registreren de maximale verlaging van het waterpeil en de stijging van het waterpeil door het hervullen van het boorgat met grondwater. Omdat in de methode wordt aangenomen dat de grondwaterstand rondom het boorgat na de verlaging niet verandert, zijn de waarnemingen van het waterpeil in het boorgat alleen net na de verlaging bruikbaar. Waarnemingen worden betrouwbaar geacht tot het moment waarop het deels leeggepompte boorgat weer tot een kwart hervuld is.

Uit de beschikbare gegevens (grondwaterstand, geometrie van het boorgat en diverwaarnemingen) kan met behulp van de onderstaande vergelijkingen de verzadigde doorlatendheid ( $k$ ) worden berekend:

$$k = C \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad 2.1$$

- $k$  verzadigde doorlatendheid (m/d)
- $C$  geometriefactor (-)
- $\Delta y$  peilverschil tussen 2 metingen (cm)
- $\Delta t$  tijdsverschil tussen 2 metingen (s)

De geometriefactor ( $C$ ) in vergelijking 2.1 kan worden bepaald met de Ernst vergelijking:

$$C = \frac{4000 \frac{r}{y'}}{\left(20 + \frac{H}{r}\right) \left(2 - \frac{y'}{H}\right)} \quad 2.2$$

- $H$  natte lengte van boorgat (afstand tussen diepste punt van boorgat en grondwaterstand) (cm)  
 $y'$  verschil tussen grondwaterstand en het gemiddelde waterpeil tussen 2 metingen (cm)  
 $r$  straal van boorgat (cm)

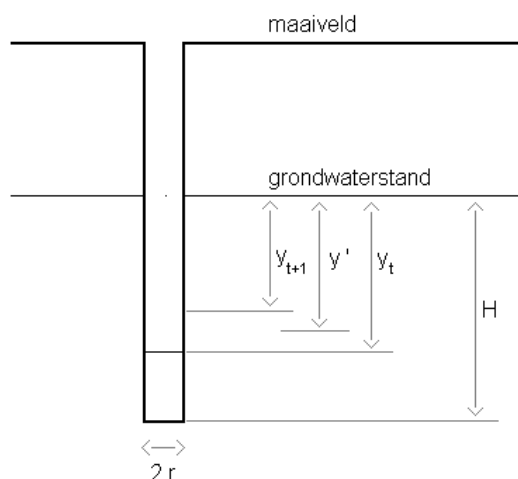
Vergelijking 2.2 geldt als het grensvlak van 2 bodemlagen dieper ligt dan  $6 \cdot r$  beneden het boorgat. Het verschil tussen grondwaterstand en het gemiddelde waterpeil tussen twee metingen ( $y'$ ) kan worden berekend met de volgende vergelijking:

$$y' = \frac{y_t + y_{t+1}}{2} \quad 2.3$$

- $y_t$  verschil tussen grondwaterstand en waterpeil in boorgat op tijdstip  $t$  (cm)  
 $y_{t+1}$  verschil tussen grondwaterstand en waterpeil in boorgat op tijdstip  $t+1$  (cm)

De betekenis van de parameters is verduidelijkt in figuur 2.3. De Ernst vergelijking (vergelijking 2.2) kan worden toegepast als de volgende drie criteria gelden:

- $3 \text{ cm} < r < 7 \text{ cm}$
- $20 \text{ cm} < H < 200 \text{ cm}$
- $0,2 < y'/H < 1$



Figuur 2.3 Boorgatmethode

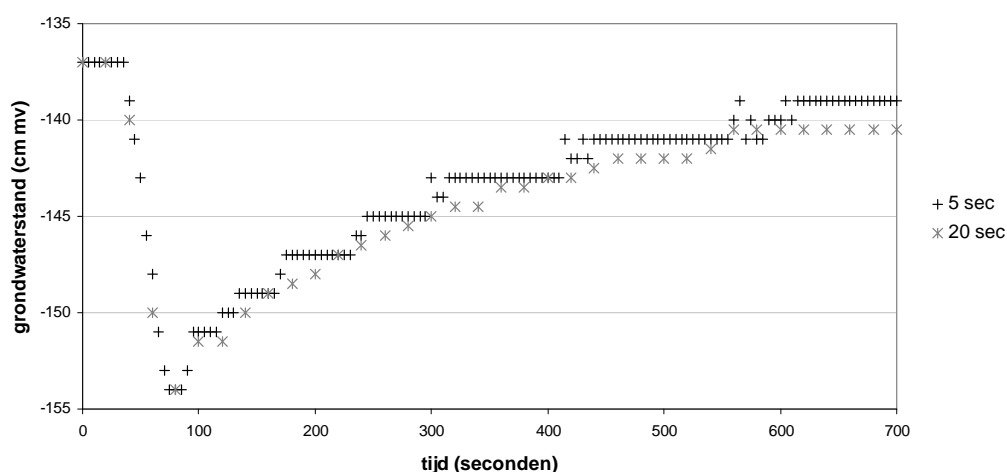
### 2.2.3 Boorgatbeschrijving

Voor het uitvoeren van de doorlatendheidsmeting zijn met behulp van een grondboor gaten gemaakt. Uit het opgeboorde materiaal is de opbouw van de bodem bepaald. Beschrijving van de twee boorgaten waarin de doorlatendheidsmetingen zijn uitgevoerd:

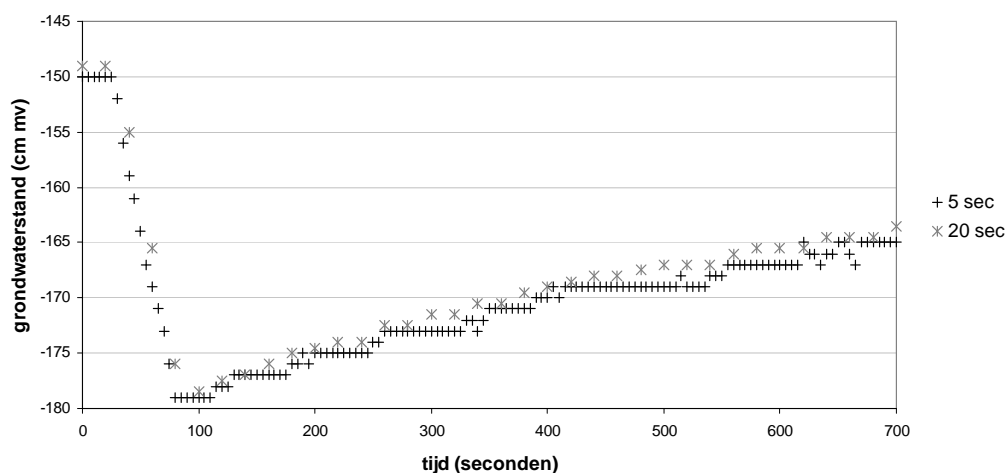
|                                |                        |                   |
|--------------------------------|------------------------|-------------------|
| boorgat 1 (85 m van de sloot)  | <b>diepte (cm –mv)</b> | <b>grondsoort</b> |
|                                | 0-35                   | zwارة klei        |
|                                | 35-140                 | zwارة zavel       |
|                                | 140-210                | zwارة klei        |
| boorgat 2 (100 m van de sloot) | <b>diepte (cm –mv)</b> | <b>grondsoort</b> |
|                                | 0-35                   | zwارة zavel       |
|                                | 35-100                 | matige zavel      |
|                                | 100-170                | zwارة zavel       |
|                                | 170-207                | zwارة klei        |

## 2.2.4 Resultaten

In figuur 2.4 en 2.5 zijn de resultaten van de diverwaarnemingen gegeven. Uit deze figuren blijkt dat de 5 seconden diver het waterpeil in de boorgaten niet goed registreert: de diver blijft hangen rond oneven waarden voor het waterpeil in de boorgaten. Uit de diverwaarnemingen en de gegevens over de boorgaten (tabel 2.2) zijn de doorlatendheid van de twee boorgaten berekend (tabel 2.2). Hiervoor zijn de geregistreerde waterpeilen niet gefit op een lijn. Uit tabel 2.2 volgt dat de waarnemingen van de defecte 5 seconden diver tot hogere berekende verzadigde doorlatendheden leidt dan de registraties van de 20 seconden diver. De resultaten suggereren een grotere doorlatendheid van de bodem rondom boorgat 1 (20 seconden diver: 1,1 m/d) dan rondom boorgat 2 (20 seconden diver: 0,2 m/d). In figuur 2.4 en 2.5 is te zien dat het waterpeil in de boorgaten redelijk snel stijgt na de verlaging (10 cm binnen 5 minuten).



Figuur 2.4: Verloop van waterpeil in boorgat 1 tijdens doorlatendheidsbepaling, gemeten met 2 divers (tijdsinterval van 5 en 20 seconden).



Figuur 2.5: Verloop van waterpeil in boorgat 2 tijdens doorlatendheidsbepaling, gemeten met 2 divers (tijdsinterval van 5 en 20 seconden).

Tabel 2.2: Gegevens over de proefopzet (grondwaterstand, grondwaterstandsverlaging, geometrie van de boorgaten) en berekende verzadigde doorlatendheid (m/d) uit de meetresultaten.

| boorgat | grondwaterstand (cm mv) | verlaging (cm) | diepte boorgat (cm) | diameter boorgat (cm) | berekende verzadigde doorlatendheid (m/d) |              |
|---------|-------------------------|----------------|---------------------|-----------------------|---|--------------|
|         |                         |                |                     |                       | 5 sec diver                               | 20 sec diver |
| 1       | 137                     | 17             | 210                 | 6,5                   | 2,9                                       | 1,1          |
| 2       | 150                     | 29             | 207                 | 7                     | 0,4                                       | 0,2          |



### 2.2.5 Discussie en conclusie

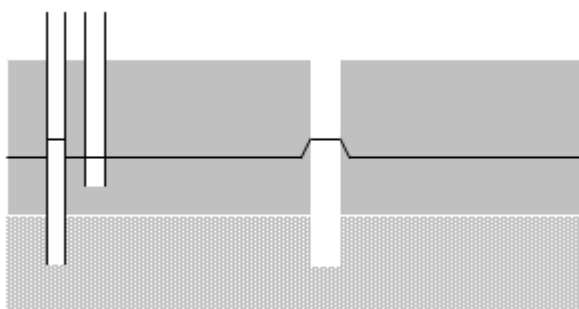
Met de boorgatmethode zijn waarden van 0,2 en 1,1 m/d (20 seconden diver) voor verzadigde doorlatendheid van het (zware) zavel/kleipakket berekend. Voor het correct toepassen van de boorgatmethode gelden een aantal voorwaarden. Eén van de voorwaarden is dat een overgang naar een andere grondsoort beneden het boorgat zich niet binnen een afstand van zes maal de straal van het boorgat mag bevinden. Bij de doorlatendheidsbepaling hiervoor beschreven, is deze aanname niet getoetst in het veld. Uit grondboringen in het perceel door Stevens & De Veen (2007) is gebleken dat op circa 2,5 m -mv het zavel/kleipakket overgaat in een veenpakket. Omdat voor de twee boorgaten waar de doorlatendheidsmetingen zijn uitgevoerd niet is vastgesteld waar de overgang van klei/zavel naar veen zich bevindt, kan niet worden vastgesteld of de boorgatmethode correct is toegepast. Indien de overgang van grondsoorten zich binnen de voorgeschreven afstand bevond, is de doorlatendheid van het zavel/kleipakket overschat. De verzadigde doorlatendheid is mogelijk ook beïnvloed door macroporiën en kleine zandlagen in het zavel/kleipakket. Zandlagen zijn overigens niet waargenomen in het zware klei- en zavelpakket.

### 2.2.6 Aanbevelingen

Om vast te stellen of bodemgelaagdheid beneden het boorgat invloed zou kunnen hebben op de resultaten van de doorlatendheidsmeting, is het noodzakelijk om na de meting het boorgat dieper uit te boren. Als een overgang tussen twee grondsoorten niet binnen drie maal de diameter van het boorgat wordt gevonden, kan voor het berekenen van de doorlatendheid vergelijking 2.2 worden gebruikt.

Divers meten met een vast interval met een bepaalde nauwkeurigheid. Om mogelijk tot een betere schatting voor de verzadigde doorlatendheid te komen, zou bij de berekeningen gebruik moeten worden gemaakt van een lijn door de waarnemingen ipv de waarnemingen. Op deze manier zouden uit de waarnemingen van de 5 seconden diver toch goede schattingen kunnen worden gemaakt voor de doorlatendheid omdat de helling wel juist is.

Op veel plekken in de provincie Zeeland treedt kwel op. Hierdoor kan er in de diepte een behoorlijke stijghoogtegradiënt aanwezig zijn (kweldruk). De freatische grondwaterstand hoeft niet gelijk te zijn aan de stijghoogte in het pakket eronder (figuur 2.6). Door het aanboren van het afgesloten pakket is de waterstand dat gemeten wordt in het boorgat niet gelijk aan de freatische grondwaterstand maar aan de stijghoogte in het afgesloten pakket eronder. De boorgatmethode is waarschijnlijk niet geschikt voor deze situatie. De boorgatmethode is mede om deze reden niet uitgevoerd op perceel 27. De omgekeerde boorgatmethode is in deze situatie mogelijk een betere methode voor het bepalen van de doorlatendheid in het pakket waarin zich de freatische grondwaterstand bevindt.



Figuur 2.6: schematische weergave van kweldruk: de stijghoogte in het afgesloten pakket (licht grijs) is hoger dan in het slecht doorlatende pakket erboven (donker grijs).

## 2.3 Chlorideconcentratiemeting

### 2.3.1 Inleiding

Tijdens de twee dagen veldwerk in de provincie Zeeland zijn op twee locaties (1 en 27) monsters genomen van de bodem en het grond- en slootwater. In het lab is vervolgens de chlorideconcentratie bepaald in het bodemvocht, grond- en slootwater. Doel van dit experiment was om een beter inzicht te krijgen in de ruimtelijke verdeling van chloride in de bodem. Een neven doel van het experiment was het testen van twee verschillende methodes om de chlorideconcentratie in het bodemvocht te bepalen.

### 2.3.2 Methode

Voor het meten van de chlorideconcentratie in bodemvocht, grond- en slootwater is gebruik gemaakt van de Aquamerck® chloride test set (1.11106.0001). Deze set is ontwikkeld om snel en eenvoudig de chlorideconcentratie in water te kunnen vaststellen. Het meetbereik van de set ligt tussen 2 en 200 mg Cl<sup>-</sup>/l.

#### *Sloot- en grondwater*

De chlorideconcentratie van het bemonsterde sloot- en grondwater lag, op uitzondering van één monster na, buiten het meetbereik van de chloride test set. Om binnen het meetbereik van de set te komen is het sloot- en grondwater verdunt met demiwater. EC metingen van het onverdunde sloot- en grondwater gaven een indicatie voor de verdunningsfactor. De chlorideconcentratie in het bemonsterde sloot- en grondwater is de gemeten chlorideconcentratie in de verdunde oplossing maal de verdunningsfactor:

$$\text{chlorideconcentratie monster} = \text{chlorideconcentratie verdunning} \cdot \text{verdunningsfactor} \quad 2.4$$

$$\text{verdunningsfactor} = \frac{(\text{hoeveelheid monsterwater} + \text{hoeveelheid demiwater})}{\text{hoeveelheid monsterwater}} \quad 2.5$$

#### *Bodemvocht*

Voor het bepalen van de chlorideconcentratie in bodemvocht zijn twee verschillende methodes gebruikt. De eerste methode (met schudden en centrifugeren) is niet geschikt voor elke grondsoort. De tweede methode (zonder schudden en centrifugeren) is geschikt voor elke grondsoort maar tijdrovender dan de eerste methode.

Omdat de chloride test set alleen geschikt is voor water, kan de chlorideconcentratie in bodemvocht niet direct met deze set worden vastgesteld. Om de benodigde 5 ml vocht voor de chlorideconcentratiemeting te verkrijgen, is het bodemvocht verdunt met demiwater.

-met schudden en centrifugeren-

Ongeveer 6 cm<sup>3</sup> bodem (exacte gewicht bekend) wordt volledig 'opgelost' in 30 ml demiwater. Om de bodem uiteen te laten vallen kan het noodzakelijk zijn de monsters te schudden in een schudmachine (maximaal een nacht). Dit is afhankelijk van de grondsoort. Vervolgens worden de monsters gecentrifugeerd (2800 G: minimaal een uur) zodat een heldere vloeistof wordt verkregen waarvan de chlorideconcentratie kan worden bepaald met de chloride test set.

Om de verdunning van bodemvocht met demiwater (vergelijking 2.6) vast te stellen is het vochtgehalte (g vocht/g bodem) van de bodem bepaald (vergelijking 2.7). Hiervoor is een afgewogen hoeveelheid bodem 24 uur gedroogd op 104 °C. Het gewichtsverlies van het monster staat voor de hoeveelheid vocht in de bodem.

$$\text{verdunningsfactor} = \frac{(\text{gewicht demiwater} + (\text{vochtgehalte} \cdot \text{gewicht bodem}))}{(\text{vochtgehalte} \cdot \text{gewicht bodem})} \quad 2.6$$

$$\text{vochtgehalte} = \frac{(\text{gewicht voor drogen} - \text{gewicht na drogen})}{\text{gewicht voor drogen}} \quad 2.7$$

Na het meten van de chlorideconcentratie in de verdunning volgt uit vergelijking 2.4 de chlorideconcentratie van het bodemvocht. Voor het bepalen van de verdunningsfactor van het bodemvocht dient vergelijking 2.6 gebruikt te worden.

-zonder schudden en centrifugeren-

Aan ongeveer 6 cm<sup>3</sup>, zeer fijn verdeelde bodem (exacte gewicht bekend) wordt 30 ml demiwater toegevoegd. Na het toevoegen van demiwater aan de bodem, wordt het monster met rust gelaten (minimaal een maand). Via diffusie mengt het bodemvocht zich met het demiwater. Verondersteld is dat op een bepaald moment het demiwater volledig met het bodemvocht is vermengd en dat de chlorideconcentratie in het hele monster gelijk is. De chlorideconcentratie van de heldere vloeistof wordt vervolgens bepaald met de chloride test set.

Voor het bepalen van de verdunningsfactor (vergelijking 2.6) wordt dezelfde werkwijze toegepast als bij de eerste methode (met schudden en centrifugeren). De chlorideconcentratie in het bodemvocht volgt uit het vermenigvuldigen van de verdunningsfactor met de gemeten chlorideconcentratie van het monster (vergelijking 2.4).

### 2.3.3 Beschrijving van locaties

#### *Locatie 1*

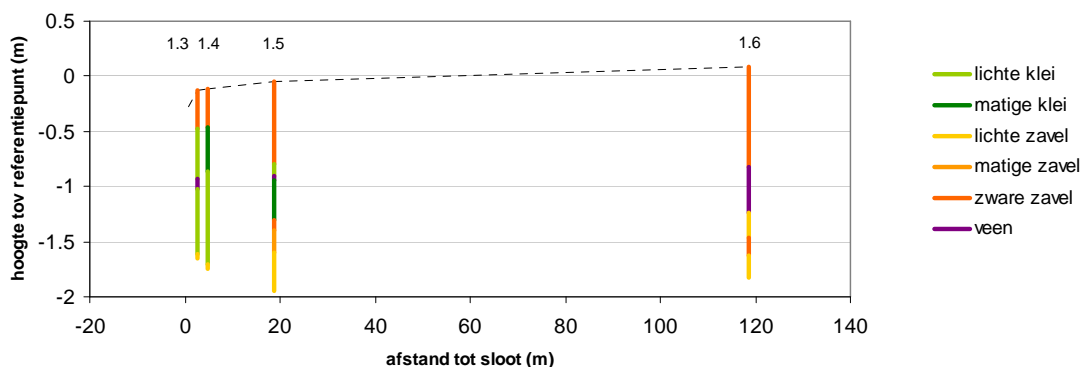
Het landbouwperceel (aardappelen) ligt ten westen van het dorp Brouwershaven. Tussen de sloot en het perceel ligt een 16 m brede ecologische bufferzone (figuur 2.7). Op deze meetlocatie zijn monsters genomen van de bodem, het grond- en slootwater. De monsterlocaties komen overeen met de prikstoklocaties en liggen op een lijn loodrecht op de sloot. Gegevens over de grondwater- en bodemmonsters zijn gegeven in tabel 2.3. In figuur 2.8 is de bodemopbouw van de prikstoklocaties gegeven. Op 25 januari en 10 mei 2007 zijn de grondwaterstanden op de prikstoklocaties en het slootpeil gemeten. Deze waarnemingen zijn weergegeven in figuur 2.9. De buisdrainage ligt parallel aan de sloot. Het maaiveld ligt op een gemiddelde hoogte van -1,4 m NAP (Stevens & De Veen, 2007). Meer informatie over locatie 1 is gegeven in het rapport van Stevens & De Veen (2007).



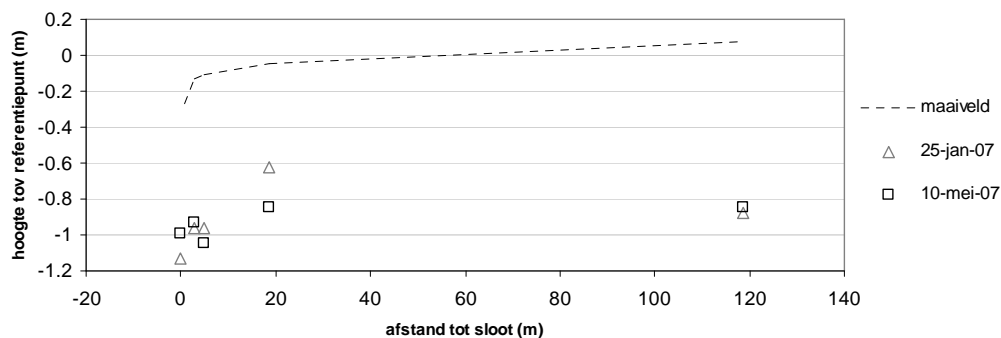
Figuur 2.7: Locatie 1. Aan de linkerkant, ter hoogte van de terreinwagen bevindt zich de sloot. Tussen de sloot en het perceel met aardappelen (rechts) bevindt zich een 16 m brede ecologische bufferzone. Prikstoklocatie 1.3 en 1.4 liggen in de bufferzone; meetpunten 1.5 en 1.6 in het aangrenzende landbouwperceel.

Tabel 2.3: Gegevens over locatie van grondwater- en bodemmonsters en de diepte van bodemmonsters op perceel 1.

| prikstoklocatienummer | afstand tot midden<br>van sloot<br>(m) | monsternummer |            | monsterdiepte<br>(m -mv) |
|-----------------------|--|---------------|------------|--------------------------|
|                       |  | grondwater    | bodemvocht |                          |
| 1.3                   | 2,75                                   | 1.3           | 1.3.1      | 0,20 - 0,40              |
|                       |  |               | 1.3.2      | 0,40 - 0,55              |
|                       |  |               | 1.3.3      | 0,70 - 0,85              |
| 1.4                   | 4,75                                   | 1.4           | 1.4.1      | 0,15 - 0,30              |
|                       |  |               | 1.4.2      | 0,40 - 0,55              |
|                       |  |               | 1.4.3      | 0,65 - 0,80              |
| 1.5                   | 18,75                                  | 1.5           | 1.5.1      | 0,15 - 0,30              |
|                       |  |               | 1.5.2      | 0,50 - 0,65              |
|                       |  |               | 1.5.3      | 0,65 - 0,80              |
| 1.6                   | 118,75                                 | 1.6           | 1.6.1      | 0,15 - 0,30              |
|                       |  |               | 1.6.2      | 0,40 - 0,55              |
|                       |  |               | 1.6.3      | 0,70 - 0,85              |



Figuur 2.8: Bodemopbouw van 4 prikstoklocaties op locatie 1 (overgenomen uit Stevens & De Veen (2007)).



Figuur 2.9: Gemeten grondwaterstanden en slootpeilen (uiterst links) op 25 januari en 10 mei 2007 op perceel 1.

### **Locatie 27**

Locatie 27 ligt in natuurgebied 'Kapelse Moer' (figuur 2.10), ten oosten van het dorp Kapelle. Op de locatie is relatief veel reliëf (box 1). Het maaiveld ligt gemiddeld op -1,1 m NAP (Stevens & De Veen, 2007). In dit natuurgebied zijn grondmonsters genomen op twee prikstoklocaties. Daarnaast zijn op twee andere punten (niet-prikstoklocaties) grondwater- en bodemmonsters genomen. Deze laatste twee punten liggen vlak in de buurt van de prikstokraai maar de precieze coördinaten ontbreken. Daarnaast mist voor deze twee punten informatie over de hoogte van het maaiveld. In tabel 2.4 zijn voor de vier meetpunten de gegevens over de locatie en dieptes van de grondmonsters gegeven. In tabel 2.5 is de bodemopbouw van de vier punten gegeven. Omdat niet bekend is hoe de grondwaterstand in het de winter en het voorjaar van 2007 is bepaald, zijn de resultaten hiervan niet gegeven. De stijghoogte in het veenpakket is hoger dan de freatische grondwaterstand in het pakket erboven (waargenomen op 11 mei 2007). Waarschijnlijk is bij het bepalen van de grondwaterstand doorgeboord tot in het veenpakket waardoor niet de freatische grondwaterstand in het kleipakket maar de stijghoogte in het veenpakket is gemeten (figuur 2.6). Nadere informatie over locatie 27 is te vinden in het rapport van Stevens & De Veen (2007).



Figuur 2.10: Kapelse Moer met aan de linkerkant het Kanaal door Zuid Beverland (zout)  
(bron: <http://www.panoramio.com/photo/96368>).

#### Box 1: Gebiedsbeschrijving van de Yerseke en Kapelse Moer.

De Yerseke en Kapelse Moer behoort tot de oudste kernen van Zeeland, die in de twaalfde eeuw al zijn bedijkt. Het oudland Yerseke en Kapelse Moer vormt een van de laatste stukken authentiek Zeeuws polderlandschap. Aan de ligging van de slootjes is het oude, kleinschalige verkavelingspatroon nog herkenbaar. Tot in de 16e eeuw werd in de Yerseke Moer zout gewonnen door het zoute veen te delven en te verbranden. De ontstane putten werden daarna weer gedempt met uitgegraven klei. Dit moernerer gaf een vrij regelmatig hobbelig terrein. Dit reliëf is nog steeds herkenbaar. Ook de kreekruggen zorgen voor reliëf. De kreek zelf zijn dichtgeslibd met zandige grond. De Kapelse Moer bestaat uit binnendijs gelegen grasland met veedrinkputten.

Bron: website ministerie van LNV, natura 2000 gebieden  
(<http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=gebnat2000&groep=10&id=VR9802068>)

Tabel 2.4: Gegevens over locatie van grondwater- en bodemonsters en de diepte van bodemonsters op perceel 27.

| prikstoklocatie-<br>nummer | niet-prikstok-<br>locatienummer | afstand tot<br>sloot<br>(m) | monsternummer |            | monsterdiepte |
|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------|------------|---------------|
|                            |                                 |                             | grondwater    | bodemvocht | (m-mv)        |
| 27.4                       |                                 | 5                           |               | 27.4.1     | 0,10 - 0,20   |
|                            |                                 |                             |               | 27.4.2     | 0,20 - 0,30   |
| 27.7                       |                                 | 35                          |               | 27.7.1     | 0,10 - 0,20   |
|                            |                                 |                             |               | 27.7.2     | 0,20 - 0,30   |
|                            | 27.1                            | 5                           | 27.1          |            |               |
|                            |                                 |                             |               | 27.1.1     | 0,10 - 0,20   |
|                            |                                 |                             |               | 27.1.2     | 0,20 - 0,30   |
|                            | 27.2                            | 15                          | 27.2          |            |               |
|                            |                                 |                             |               | 27.2.1     | 0,20 - 0,30   |
|                            |                                 |                             |               | 27.2.2     | 0,40 - 0,45   |

Tabel 2.5: Bodemopbouw van de 4 meetlocaties op locatie 27.

| prikstoklocatie-<br>nummer | niet-prikstoklocatie-<br>nummer | diepte    | grondsoort   |
|----------------------------|---------------------------------|-----------|--------------|
|                            |                                 | (m-mv)    |              |
| 27.4                       |                                 | 0,0 - 0,1 | zware zavel  |
|                            |                                 | 0,1 - 1,0 | matige klei  |
|                            |                                 | 1,0 - 1,6 | veen         |
|                            |                                 | 1,6 - 1,8 | lichte klei  |
|                            |                                 | 1,8 - 3,3 | matige zavel |
| 27.7                       |                                 | 0,0 - 0,1 | lichte klei  |
|                            |                                 | 0,1 - 0,5 | matige klei  |
|                            |                                 | 0,5 - 1,6 | veen         |
|                            |                                 | 1,6 - 1,8 | lichte klei  |
|                            |                                 | 1,8 - 1,9 | matige zavel |
|                            | 27.1                            | 0,0 - 1,0 | zware klei   |
|                            |                                 | 1,0 - 1,2 | veen         |
|                            | 27.2                            | 0,0 - 0,3 | zware zavel  |
|                            |                                 | 0,3 - 0,5 | zware klei   |
|                            |                                 | 0,5 - 1,0 | veen         |

### 2.3.4 Weerssituatie

Neerslag en verdamping hebben grootte invloed op de vorming van regenwaterlenzen in het grondwater en de beweging van bodemvocht in de onverzadigde zone.

April 2007 is de geschiedenis ingegaan als een zeer warme en droge maand. In een periode van 45 dagen (22 maart – 6 mei) is nauwelijks of geen neerslag gevallen in Nederland waardoor een uitzonderlijk groot neerslagtekort ontstond voor de tijd van het jaar (zie box 2).

In figuur 2.11 zijn de neerslagdagwaarden gegeven van het KNMI neerslagstation Kerkwerpe, Schouwen-Duiveland (<http://www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/nsl-download.cgi>). Op 7 mei valt na een lange, droge periode de eerste neerslag. Op 10 en 11 mei zijn de bodem- en watermonsters genomen op locatie 1 en 27.

Box 2: KNMI seizoenoverzicht : lente 2007.

Lente 2007 (maart, april, mei): extreem zacht, zeer zonnig en de normale hoeveelheid neerslag

Met in De Bilt een gemiddelde temperatuur van 11,7 °C tegen een langjarig gemiddelde van 8,9 °C was de lente de zachtste sinds tenminste het begin van de regelmatige waarnemingen in 1706.

(...)

Van de afzonderlijke maanden deze lente, was de gemiddelde temperatuur in april opvallend hoog. April eindigde met 13,1 °C tegen 8,3 °C normaal als veruit de zachtste in drie eeuwen. Maar ook maart was zeer zacht; met een gemiddelde temperatuur van 8,0 °C tegen 5,8 °C normaal was deze maand goed voor een gedeelde zesde plaats in de rij van zachtste maartmaanden sinds 1901. Ook mei was warm met een gemiddelde temperatuur van 14,1 °C tegen 12,7 °C normaal.

(...)

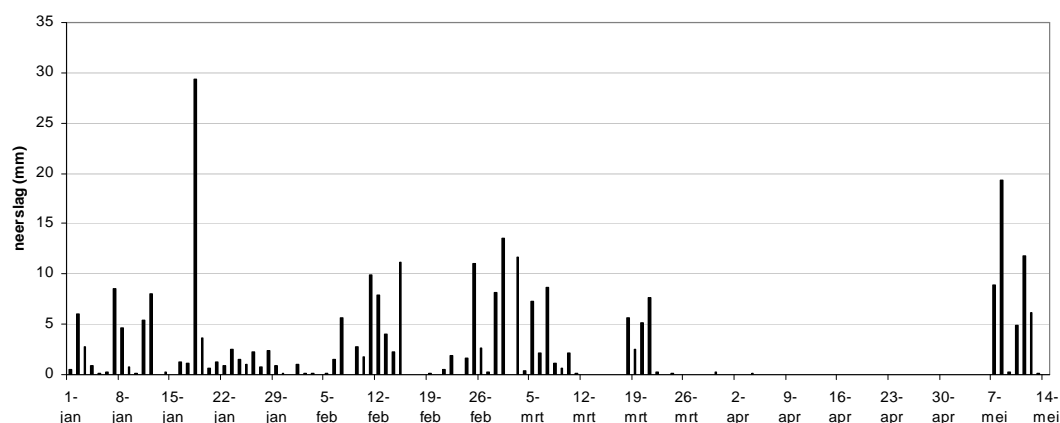
Met gemiddeld over het land 173 mm neerslag tegen normaal 166 mm had de lente vrijwel de normale hoeveelheid neerslag. In maart viel met 69 mm neerslag vrijwel de normale hoeveelheid neerslag van 65 mm. De meeste neerslag viel aan het begin van die maand. In het tijdvak van 22 maart tot en met 6 mei 2007 is er in vrijwel het gehele land geen of nauwelijks neerslag gevallen. Gemiddeld over het land was april hierdoor record droog met 0,4 mm tegen 44 mm normaal. De lengte van het droge tijdvak, 45 dagen, was uniek voor tenminste de laatste honderd jaar. Het gebrek aan neerslag in combinatie met het vaak zonnige en (zeer) warme weer leidde in april tot een voor de tijd van het jaar uitzonderlijk groot "neerslagtekort". Vanaf 7 mei was het uitermate wisselvallig en regionaal zeer nat.

(...)

Met gemiddeld over het land 662 uren zonneschijn tegen 485 normaal kan de lente als zeer zonnig worden gekarakteriseerd.

Bron: website KNMI: seizoenoverzicht lente 2007

[http://www.knmi.nl/klimatologie/maand\\_en\\_seizoenoverzichten/seizoen/len07.html](http://www.knmi.nl/klimatologie/maand_en_seizoenoverzichten/seizoen/len07.html)



Figuur 2.11: Dagwaarden van neerslag (mm) gemeten op het KNMI neerslagmeetstation Kerkwerpe (Schouwen-Duiveland) in de periode van 1 januari tot 14 mei 2007.

### 2.3.5 Resultaten

De chlorideconcentratie in de bodemvochtmonsters zijn volgens de eerste methode (met schudden en centrifugeren) bepaald. Tijdens het bepalen van de chlorideconcentratie met de chloride test set bleek dat enkele monsters van perceel 27 zeer moeilijk te analyseren waren. Na het centrifugeren bleven deze bodemvochtmonsters troebel. Het sediment in de monsters reageerde vervolgens met de chemicaliën van de chloride test set waardoor een zeer troebel en viskeus geheel ontstond waarin het kleuromslagpunt moeilijk te bepalen was. Na aanleiding hiervan is de tweede methode bedacht en getest (zonder schudden en centrifugeren). Aan het eind van dit deelhoofdstuk zullen resultaten van de tweede methode met de eerste methode worden vergeleken.

Voor het bepalen van de chlorideconcentratie in het sloot- en grondwater diende het te testen water verdund te worden met demiwater (zie methode). Voor het vaststellen van de verdunningsfactor is gebruik gemaakt van de gemeten EC waarden van de monsters. Uit de gemeten EC en chlorideconcentraties van de grondwatermonsters blijkt dat er tussen deze twee variabelen (in deze range) een vrij lineaire relatie bestaat (bijlage 1, figuur b1.1). Deze relatie tussen EC en chlorideconcentratie is ook gevonden in de bodemvochtmonsters (bijlage 1, figuren b1.2, b1.3 en b1.4). De relatie is voor bodemvocht minder overtuigend dan dat voor grondwater.

### **Locatie 1**

Uit tabel 2.6 blijkt dat het zoutgehalte in het grondwater van locatie 1 varieert van zoet (meetpunten 1.5 en 1.6) tot zout (meetpunten 1.3 en 1.4). Vanaf de prikstoklocatie bij de sloot (1.3) tot aan meetpunt 1.5 neemt de chlorideconcentratie in grondwater af, waarna de concentratie weer toeneemt nabij meetpunt 1.6. De chlorideconcentratie van het zoute slootwater ligt binnen de range van gemeten concentraties in het grondwater.

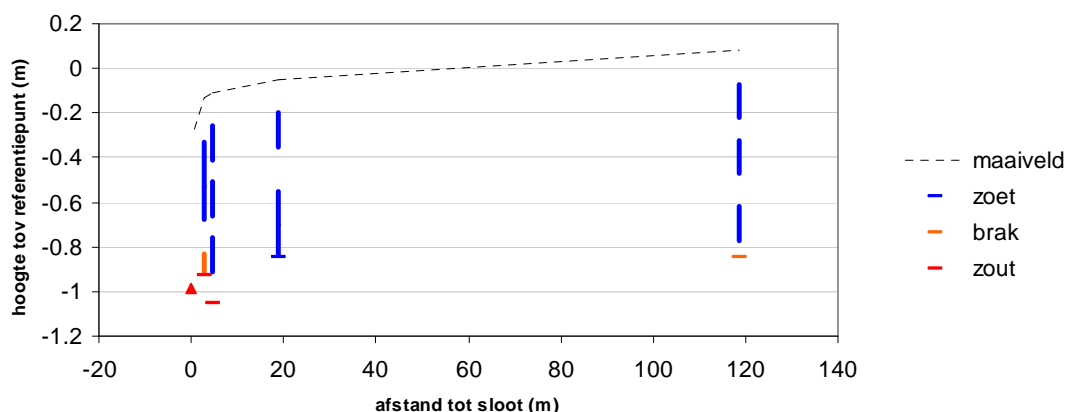
Bij een deel van de bodemvochtmonsters is de chlorideconcentratie niet precies vastgesteld. Van deze 7 monsters lag de chlorideconcentratie van de verdunde oplossing beneden de ondergrens van de chloride test set. De verschillende waarden voor de chlorideconcentratie van deze monsters in tabel 2.6 is het gevolg van de verdunningsfactor (vergelijking 2.6) dat voor ieder monster verschillend was.

Op één punt is brak bodemvocht aangetroffen; de overige monsters bleken zoet (figuur 2.12). Uit tabel 2.6 blijkt dat voor dit punt (monsternummer 1.3.3) het mogelijk is dat in plaats van het bodemvocht de chlorideconcentratie in het bovenste grondwater is gemeten. De grondwaterstand op dit meetpunt (0,80 m -mv) ligt binnen de monsterdiepte van monster 1.3.3 (0,70-0,85 m -mv). Op meetpunt 1.3 zijn de hoogste chlorideconcentraties in het bodemvocht aangetroffen. Opvallend is dat het bodemvocht op deze meetlocatie bovenin het profiel (0,20 - 0,40 m -mv) zouter is dan het bodemvocht eronder (0,40 - 0,55 m -mv). Dit kan mogelijk het gevolg zijn van de onnauwkeurigheid bij het bepalen van de chlorideconcentratie in het bodemvocht. Uit tabel 2.6 volgt dat er voor locatie 1 een verband bestaat tussen de chlorideconcentratie in het grondwater en het bodemvocht net boven de grondwaterstand.

Tabel 2.6: Gemeten chlorideconcentraties in bodemvocht, grond- en slootwater op perceel 1 (10 mei 2007).

| prikstoklocatienummer | monsternummer | monsterdiepte (m-mv) | chlorideconcentratie (mg Cl <sup>-</sup> /l) |            |            |
|-----------------------|---------------|----------------------|--|------------|------------|
|                       |               |                      | slootwater                                   | grondwater | bodemvocht |
| sloot                 |               |                      | 3600   |            |            |
| 1.3                   | 1.3           | 0,80                 |  | 9800       |            |
|                       | 1.3.1         | 0,20 - 0,40          |  |            | 530        |
|                       | 1.3.2         | 0,40 - 0,55          |  |            | 400        |
|                       | 1.3.3         | 0,70 - 0,85          |  |            | 1900       |
| 1.4                   | 1.4           | 0,94                 |  | 6000       |            |
|                       | 1.4.1         | 0,15 - 0,30          |  |            | < 120      |
|                       | 1.4.2         | 0,40 - 0,55          |  |            | < 80       |
|                       | 1.4.3         | 0,65 - 0,80          |  |            | 320        |
| 1.5                   | 1.5           | 0,80                 |  | 70         |            |
|                       | 1.5.1         | 0,15 - 0,30          |  |            | < 80       |
|                       | 1.5.2         | 0,50 - 0,65          |  |            | < 60       |
|                       | 1.5.3         | 0,65 - 0,80          |  |            | < 50       |
| 1.6                   | 1.6           | 0,93                 |  | 1150       |            |
|                       | 1.6.1         | 0,15 - 0,30          |  |            | < 100      |
|                       | 1.6.2         | 0,40 - 0,55          |  |            | < 80       |
|                       | 1.6.3         | 0,70 - 0,85          |  |            | 150        |





Figuur 2.12: Verdeling van chlorideconcentratie (uitgedrukt in zoet, brak en zout) in perceel 1 op 10 mei 2007. Lijnen geven de chlorideconcentratie in het bodemvocht; ruiten de concentratie in het grondwater en slootwater (uiterst links).

### Locatie 27

Het opgepompte grondwater van locatie 27.1 en 27.2 bleek respectievelijk zout en brak (tabel 2.7). Het opgepompte grondwater is waarschijnlijk afkomstig uit het veenpakket en niet uit het kleipakket erboven waardoor niet het bovenste grondwater is bemonsterd.

Bij het vaststellen van de chlorideconcentratie in het bodemvocht ontstonden problemen voor de monsters van perceel 27. Door de troebelheid van de monsters kon de chlorideconcentratie van het verdunde bodemvocht niet goed worden bepaald. Ter controle van de gemeten chlorideconcentraties is daarom gekeken naar het verband tussen EC waarde en chlorideconcentratie van het verdunde bodemvocht. Uit figuur b1.3 in bijlage 1 blijkt dat twee bodemvochtmonsters (27.1.1 en 27.1.2) afwijken van het vrij lineaire verband tussen EC en chloride. De gemeten chlorideconcentratie is lager dan op grond van de EC verwacht zou worden. Waarschijnlijk zijn de gemeten chlorideconcentraties niet correct. In een latere test (vergelijken van de eerste en de tweede methode voor het bepalen van chlorideconcentratie in bodemvocht, zie blz 18) met het bodemmonster van 27.1.2 zijn hogere chlorideconcentraties gemeten (1200 mg Cl<sup>-</sup>/l ipv 200 mg Cl<sup>-</sup>/l). Omdat de chlorideconcentratie van het bodemvocht in de bodemmonsters van locatie 27.1 waarschijnlijk niet correct is vastgesteld, zullen deze resultaten buiten beschouwing worden gelaten.

Tabel 2.7: Gemeten chlorideconcentratie in bodemvocht, grond- en slootwater op perceel 27 (11 mei 2007).

| prikstoklocatie-<br>nummer | niet-prikstoklocatie-<br>nummer | monsternummer | monsterdiepte<br>(m-mv) | chlorideconcentratie (mg Cl <sup>-</sup> /l) |            |
|----------------------------|---------------------------------|---------------|-------------------------|--|------------|
|                            |                                 |               |                         | grondwater                                   | bodemvocht |
| 27.4                       |                                 | 27.4.1        | 0,10 - 0,20             |  | 220        |
|                            |                                 | 27.4.2        | 0,20 - 0,30             |  | 490        |
| 27.7                       |                                 | 27.7.1        | 0,10 - 0,20             |  | 990        |
|                            |                                 | 27.7.2        | 0,20 - 0,30             |  | 1190       |
|                            | 27.1                            | 27.1          |                         | 3900   |            |
|                            |                                 | 27.1.1        | 0,10 - 0,20             |  | < 50       |
|                            |                                 | 27.1.2        | 0,20 - 0,30             |  | 200        |
|                            | 27.2                            | 27.2          |                         | 2200   |            |
|                            |                                 | 27.2.1        | 0,20 - 0,30             |  | 1200       |
|                            |                                 | 27.2.2        | 0,40 - 0,45             |  | 1380       |

Uit tabel 2.7 volgt dat voor de drie meetlocaties (27.2, 27.4 en 27.7) geldt dat de chlorideconcentratie in het bodemvocht toeneemt met de diepte. Op locatie 27.4 is alleen zoet bodemvocht aangetroffen. Op locatie 27.7 is zoet en brak bodemvocht gemeten. Op locatie 27.2 is alleen brak bodemvocht aangetroffen. Uit de metingen kan worden geconcludeerd dat de chlorideconcentratie in het bodemvocht ruimtelijk sterk varieert.

***Vergelijking tussen eerste en tweede methode voor het bepalen van de chlorideconcentratie in bodemvocht***

Na het bepalen van de chlorideconcentratie in de bodemvochtmonsters bleek dat de eerste methode (met schudden en centrifugeren) niet geschikt is voor bodemmonsters met een zeer hoog lutum en organisch stofgehalte. Door het schudden van de bodemvochtmonsters kwamen er deeltjes vrij die na het ‘oplossen’ van de bodem zeer moeilijk of niet tot bezinken konden worden gebracht. Bij de tweede methode (zonder schudden en centrifugeren) blijft het te bemonsteren water helder.

Om te testen of de tweede methode (zonder schudden en centrifugeren) betrouwbare resultaten opleverde, zijn van vier bodemmonsters de chlorideconcentratie in het bodemvocht bepaald met zowel de eerste als de tweede methode. De bodemvochtmonsters, waarvan de chlorideconcentratie is bepaald met behulp van de tweede methode, zijn 41 dagen na inzetten geanalyseerd. Het bodemvochtmonster van 27.2.2, dat volgens de eerste methode zou worden getest, was te troebel om de chlorideconcentratie te kunnen bepalen.

De resultaten van de test zijn gegeven in tabel 2.8. Uit de tabel blijkt dat de verschillen tussen de eerste en tweede methode klein zijn.

Tabel 2.8: Resultaten van chloridebepaling in bodemvocht met de eerste (met schudden en centrifugeren) en de tweede (zonder schudden en centrifugeren) methode.

| <b>monsternummer</b> | <b>1<sup>e</sup> methode</b><br>(Cl <sup>-</sup> mg/l) | <b>2<sup>e</sup> methode</b><br>(Cl <sup>-</sup> mg/l) |
|----------------------|--|--|
| 1.4.2                | < 70   | < 70   |
| 1.4.3                | 270  | 240  |
| 27.1.2               | 1200   | 1170   |
| 27.2.2               | -  | 1650   |

**2.3.6 Discussie en conclusie**

***Methode***

De Aquamerck® chloride test set is ontwikkeld om de chlorideconcentratie in water te bepalen. Bij deze methode wordt getitreerd naar een kleuromslagpunt waarbij 1 druppel titreervloeistof staat voor minimaal 6 mg Cl<sup>-</sup>/l. Voor sterk verdunde oplossingen is de chloride test set onnauwkeurig: door de verdunning staat 1 druppel titreervloeistof voor 6 mg Cl<sup>-</sup>/l maal de verdunningsfactor. De verdunningsfactor van de bodemvochtmonsters varieerde tussen 6 en 22. Voor de sloot- en grondwatermonsters lag de verdunningsfactor tussen 1 en 62. Uit de experimenten is gebleken dat de chloride test set geen goede resultaten geeft voor troebele watermonsters.

Het bepalen van de chlorideconcentratie in bodemvocht met de eerste (met schudden en centrifugeren) en de tweede (zonder schudden en centrifugeren) leverde in de test met drie bodemmonsters vrijwel dezelfde resultaten op. Een nadeel van de eerste methode is dat het niet kan worden toegepast op elke grondsoort; een nadeel van de tweede methode is dat het tijdrovend is om een monster in te zetten (zeer fijn verdelen van de bodem) en de resultaten niet direct beschikbaar zijn.

Samenvattend is de Aquamerck® chloride test set geschikt om snel de chlorideconcentratie in een oplossing te kunnen schatten. Ook voor het schatten van de chlorideconcentratie in bodemvocht kan de set worden gebruikt mits de vloeistof waarvan de chlorideconcentratie bepaald moet worden helder is.

### ***Locaties***

Het is met de huidige gegevens over de locatie 1 en 27 niet mogelijk om de resultaten van de twee systemen met elkaar te vergelijken. Opvallend is echter wel dat de chlorideconcentratie in monsters van het bodemvocht van locatie 27 over het algemeen hoger is dan in de monsters van het bodemvocht van locatie 1 terwijl op locatie 1 het grondwater op sommige plekken zouter is dan op locatie 27. Door welke mechanismen (verstuiving van zeewater, beregening met brak water, inundatie, capillaire opstijging, grondwaterfluctuaties) het zout in de onverzadigde zone terecht is gekomen, is voor beide locaties niet bekend.

De invloed van de weerssituatie (neerslag- en verdampingspatroon) op de gemeten chlorideconcentraties kan niet uit de resultaten worden bepaald. De verdamping op locatie 1 is in de droge periode (22 maart tot en met 6 mei 2007) waarschijnlijk lager geweest dan op locatie 27: met uitzondering van de ecologische bufferzone stond er op locatie 1 geen gewas; locatie 27 was begroeid met gras.

Voor locatie 1 is in de grondwatermonsters een sterke toename van de chlorideconcentratie richting de sloot gevonden. Dit zou kunnen samenhangen met zoute kwel richting de sloot (slootpeil is lager dan de grondwaterstand in het aangrenzende perceel, figuur 2.12). Opvallend is dat op enige afstand van de sloot de chlorideconcentratie in het grondwater weer toeneemt. Dit zou verband kunnen houden met de bodemopbouw op prikstoklocatie 1.6. De bodemopbouw van dit punt wijkt af van dat van de andere meetpunten: de weerstandbiedende klei laag ontbreekt (figuur 2.8). Dat de bodem weerstand kan bieden tegen grondwaterstroming blijkt uit de hoge grondwaterstand die is gemeten op 25 januari 2007 op prikstoklocatie 1.5 (figuur 2.9). Dit is ook het punt waarop 10 mei 2007 zoet grondwater is aangetroffen en zich een zoet regenwaterlens heeft gevormd. Naast de bodemopbouw zou de buisdrainage (niet werkende buisdrainage) hierop ook invloed kunnen hebben gehad. Uit de grondwater- en bodemmonsters van locatie 1 is gebleken dat er voor deze locatie een verband bestaat tussen de chlorideconcentratie in het grondwater en het bodemvocht net boven de grondwaterstand: de chlorideconcentratie in het bodemvocht neemt toe bij een stijging van de chlorideconcentratie van het grondwater. Op locatie 1 is op alle meetpunten zoet bodemvocht in de wortelzone gemeten.

Uit de resultaten voor locatie 27 blijkt dat voor deze locatie de chlorideconcentratie in de wortelzone ruimtelijk varieert. Op deze locatie is zoet en brak bodemvocht in de wortelzone gemeten. De gemeten waarden liggen beneden de drempelwaarde voor opbrengstreductie van gras.

### **2.3.7 Aanbevelingen**

De betrouwbaarheid van de resultaten zou kunnen toenemen als gekozen wordt voor een andere analysemethode dan de Aquamerck® chloride test set. Deze methode moet niet gevoelig zijn voor de kleur van het water. Bij de chloridebepaling in het bodemvocht zou de betrouwbaarheid van de resultaten tevens toe kunnen nemen als de bodemmonsters over een kleinere diepte worden genomen (bijvoorbeeld 5 cm ipv 20 cm) en de verhouding tussen demiwater/bodemvocht wordt verkleind.



## 3 Modelstudie

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de modelstudie. Met het softwareprogramma Hydrus-2D is op perceelsschaal een 2D zout kwelsysteem nagebootst. Doel van de modelstudie is om na te gaan welke invloed een aantal geselecteerde parameters hebben op de chlorideconcentratie in de wortelzone en het ondiepe grondwater. Voor deze modelstudie is een basismodel gemaakt van een zout kwelsysteem. Via aanpassingen aan dit basismodel is de invloed van de parameters op de chlorideconcentratie in de wortelzone en het ondiepe grondwater onderzocht, zowel bij stationaire als niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. In de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarde is gerekend met het neerslagoverschot (constante waarde). In de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is gerekend met dagwaarden voor neerslag en verdamping. Het vermoeden bestaat dat de dynamiek van een zout kwelsysteem door de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden beter benaderd wordt dan door die met stationaire bovenrandvoorwaarden.

### 3.2 Methode

#### 3.2.1 Hydrus-2D

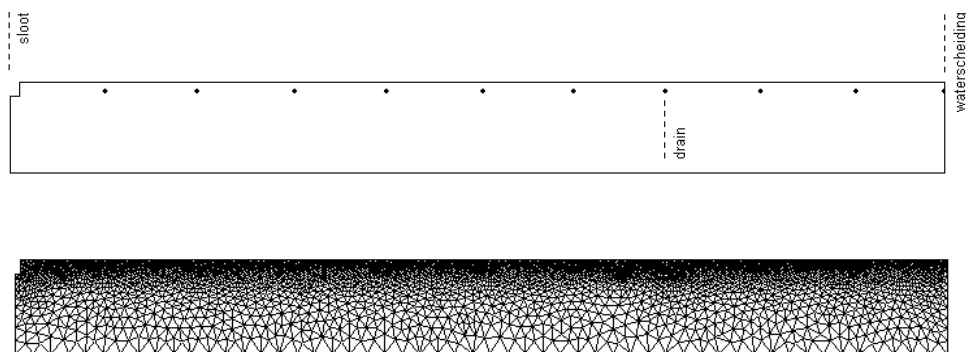
In de modelstudie is gebruikt gemaakt van het softwareprogramma Hydrus-2D versie 2.05 (Šimůnek *et al.*, 1999). Hydrus-2D is een programma waarmee water-, warmte- en stoftransport in zowel de verzadigde als onverzadigde zone 2D kan worden gesimuleerd. Het model houdt geen rekening met dichtheidsstroming. De ruimtelijke discretisatie in Hydrus-2D is gebaseerd op de eindige elementenmethode. Hierdoor kan een elementennetwerk in ieder gewenste vorm worden gegenereerd. In bijlage 2 is een korte beschrijving gegeven van Hydrus-2D. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar Šimůnek *et al.*, (1999).

#### 3.2.2 Basismodel

Het basismodel is een model dat in zekere mate representatief wordt geacht voor de zoute kwelsystemen in de provincie Zeeland. Het basismodel is een generiek model en niet direct gebaseerd op één van de meetlocaties in de provincie Zeeland.

#### *Ruimtelijke discretisatie*

In het model wordt de waterstroming en het chloridetransport van waterscheiding tot het midden van de sloot gemodelleerd (figuur 3.1). De afstand tussen waterscheiding in het perceel en het midden van de sloot is 100 m. De onderrand van het model ligt 10 m beneden het maaiveld. Verondersteld is dat in een zout kwelsysteem op 10 m diepte neerslag geen invloed heeft op de chlorideconcentratie. De buisdrainage ligt parallel aan de sloot en daarmee loodrecht op het gemodelleerde vlak. Omdat de rekentijd beïnvloed wordt door de grootte van het kleinste element, is de drain gemodelleerd als een driehoek ipv een cirkel. Het zwaartepunt van de drains ligt op 0,90 m -mv. Het diepste punt van de drain ligt op 0,92 m -mv. De drainafstand is 10 m waarbij de eerste drain op 10 m van de linkermodelrand ligt. De laatste drain ligt in de rechter zijrand van het model (figuur 3.1). De (halve) sloot is gemodelleerd als een rechthoek. De breedte van de halve sloot is 0,5 m; de diepte 1,5 m. Het basismodel bestaat uit 6119 knooppunten en 11728 elementen. De grootte van de elementen neemt toe met de diepte (figuur 3.1). Het fijnere netwerk tussen de drains en het maaiveld is noodzakelijk om de chlorideconcentratie in de wortelzone goed te modelleren. De kleinste elementen bevinden zich rond de drains.



Figuur 3.1: Het basismodel. In de bovenste figuur is de betekenis gegeven van randen van het model; in de onderste figuur het elementennetwerk.

### Modelparameters

In het basismodel zijn vier bodemlagen opgenomen. De bodemopbouw wordt karakteristiek geacht voor een groot deel van de provincie Zeeland (Oude Essink & Vernes, 2005). Gegevens over de bodemlagen zijn gegeven in tabel 3.1. De waarden voor de verticale doorlatendheid zijn standaardwaarden die door TNO in het programma REGIS worden gehanteerd. Voor de eerste drie bodemlagen is verondersteld dat de horizontale doorlatendheid gelijk is aan 10 maal de verticale doorlatendheid. Voor het modelleren van waterstroming in de onverzadigde zone dient de relatie tussen bodemvochtgehalte, drukhoogte en doorlatendheid van de bodem bekend te zijn. In Hydrus-2D worden deze relaties (waterretentie- en waterdoorlatendheidscurve) beschreven met het Van Genuchten – Mualem model. Voor de vier bodemlagen zijn de waarden voor  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $l$  en  $n$  van het Van Genuchten-Mualem model (tabel 3.1) ontleend aan de Staringreeks (Wösten *et al.*, 2001).

Tabel 3.1: Gegevens over de 4 bodemlagen in het basismodel.

| laag | diepte<br>(m -mv) | formatie    | bodem-<br>soort | Kverzadigd           |                    | Staring<br>classificatie | $\theta_r$<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | $\theta_s$<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | $\alpha$<br>(1/m) | $l$<br>(-) | $n$<br>(-) |
|------|-------------------|-------------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------------------|---|---|-------------------|------------|------------|
|      |                   |             |                 | horizontaal<br>(m/d) | verticaal<br>(m/d) |                          |   |   |                   |            |            |
| 1    | 0,0 - 1,8         | Walcheren   | zavel           | 0,4                  | 0,04               | O9                       | 0,01  | 0,46  | 0,94              | -1,382     | 1,400      |
| 2    | 1,8 - 2,4         | Hollandveen | veen            | 0,5                  | 0,05               | O17                      | 0,01  | 0,86  | 1,23              | -1,592     | 1,276      |
| 3    | 2,4 - 4,6         | Wormer      | klei            | 0,046                | 0,0046             | O12                      | 0,01  | 0,56  | 0,95              | -4,295     | 1,158      |
| 4    | 4,6 - 10,0        | Wormer      | zand            | 2,5                  | 2,5                | O1                       | 0,01  | 0,36  | 2,24              | 0,000      | 2,286      |

In de simulatie met niet-stationaire bovenrandvoorwaarde is gewasverdamping gesimuleerd. De actuele gewasverdamping wordt met het Feddes gewasopnamereductiemodel berekend uit de opgelegde potentiële gewasverdamping. Omdat het gewasopnamereductiemodel de potentiële gewasverdamping bij natte condities (te) sterk reduceert (mondelinge mededeling Piet Groenendijk, Alterra), zijn de standaard parameterwaarden van het model aangepast. In het aangepaste model kan de potentiële verdampingsflux alleen bij droogte worden gereduceerd. In bijlage 3 zijn de aangepaste waarden vermeld. In het basismodel zijn de wortels van het gewas homogeen over de bovenste 50 cm de bodem verdeeld.

Verondersteld is dat chloride zich gedraagt als een conservatieve stof. In het basismodel kan chloride niet opgenomen worden door planten. De waarden voor de longitudinale en transversale dispersielengte zijn in het basismodel voor elke bodemlaag gelijk gekozen. Voor de longitudinale dispersielengte is een waarde van 0,1 m opgegeven; voor de transversale dispersielengte een waarde van 0,01 m. De diffusieconstante voor chloride is gelijk gesteld aan  $8,6 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/d. De overige modelparameters in Hydrus-2D hebben betrekking op de numerieke oplossingsmethode. Deze parameterwaarden zijn gegeven in bijlage 3.

### ***Randvoorwaarden***

In het basismodel kan water het systeem binnenkomen via de onderrand, bovenrand en sloot. Het water kan uit het systeem verdwijnen via de onderrand, bovenrand, drains en sloot. Op de onderrand is een drukhoogte opgelegd van 9,25 m. Dit komt overeen met een stijghoogte van 0,75 m –mv. Aan de knooppunten van de slootbodembodem is een drukhoogte opgelegd van 0,0 m. In het basismodel is het slootpeil hiermee gelijk aan de slootdiepte (1,5 m –mv). Aan de drains is een ‘seepage face’ randvoorwaarde toegekend (bijlage 2, tabel b2.1). Voor de zijranden geldt een ‘no flow’ randvoorwaarde. Aan de knooppunten op de bovenrand is een ‘atmospheric’ randvoorwaarde (bijlage 2, tabel b2.1) toegekend. Alleen met deze randvoorwaarde kan bodem- en gewasverdamping worden gesimuleerd. In het model met stationaire bovenrandvoorwaarde is geen verdamping gesimuleerd. In het model met niet-stationaire bovenrandvoorwaarde is alleen gewasverdamping gesimuleerd, geen bodemverdamping. Meer over de invoer van het stationaire en niet-stationaire model is in het volgende hoofdstuk gegeven (3.2.3 stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden).

Chloride kan het systeem binnenkomen via de onderrand, bovenrand en sloot. In het basismodel kan via de onderrand, drains en sloot chloride uit het systeem verdwijnen. Aan de onderrand is een ‘third type’ randvoorwaarde (bijlage 2, tabel b2.2) voor stoffentransport opgelegd met een concentratie van 8000 mg Cl<sup>-</sup>/l. Dit betekent dat als er water via de onderrand het systeem instroomt, de chlorideconcentratie van dat water 8000 mg Cl<sup>-</sup>/l bedraagt. Ook aan de knooppunten op de slootbodembodem is de ‘third type’ randvoorwaarde (0 mg Cl<sup>-</sup>/l) opgelegd. Deze randvoorwaarde heeft alleen invloed op de chlorideverdeling in het systeem als slootwater infiltreert in het perceel. Aan de drains kon geen randvoorwaarde voor stoffentransport worden toegekend (bijlage 2, tabel b2.3). Aan de knooppunten op de bovenrand is de ‘third type’ randvoorwaarde (10 mg Cl<sup>-</sup>/l) opgelegd. In het basismodel is aangenomen dat de chlorideconcentratie in neerslag gelijk is aan 10 mg Cl<sup>-</sup>/l. Chloride kan het systeem niet verlaten via bodem- of plantverdamping

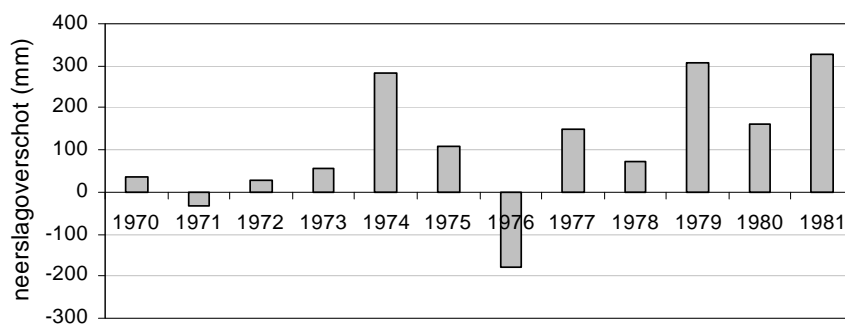
### ***Beginvoorwaarden***

Er zijn simulaties uitgevoerd met stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. De beginvoorwaarden van deze simulaties verschillen van elkaar. Bij de simulatie met stationaire bovenrandvoorwaarde is de initiële grondwaterstand gelijk gesteld aan de stijghoogte op de onderrand (0,75 m –mv). Initieel bevindt er zich geen chloride in het systeem. In de simulatie met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is gebruik gemaakt van de modelresultaten van de simulatie met stationaire bovenrandvoorwaarden. De drukhoogte- en chlorideverdeling (in evenwichtssituatie) van de simulatie met stationaire bovenrandvoorwaarden zijn als beginconditie geïmporteerd in het model met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden.

### **3.2.3 Stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden**

De invloed van de geselecteerde parameters op de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater en de wortelzone zijn getest met stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden.

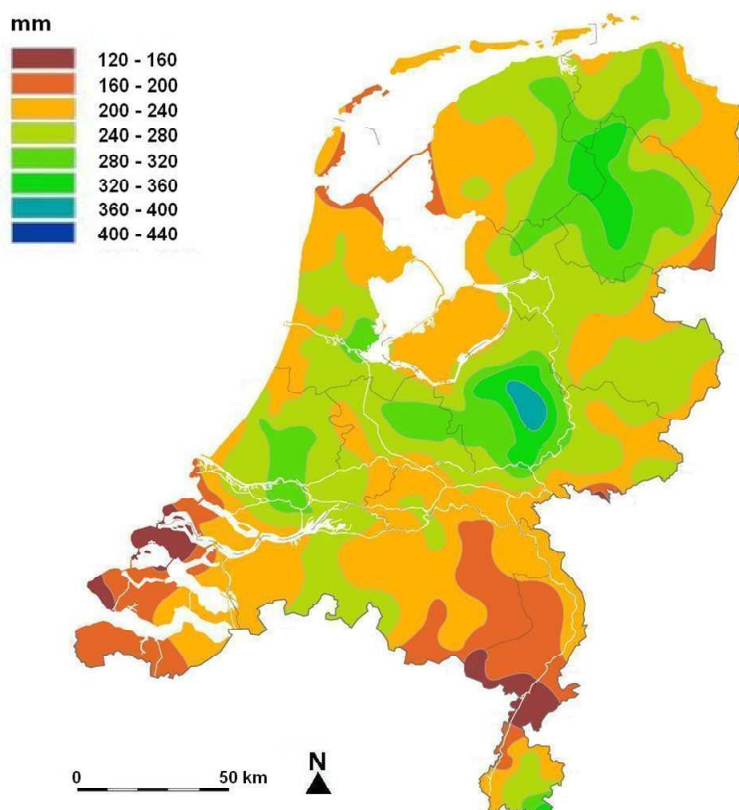
In de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is gerekend met dagwaarden voor neerslag en Makkink referentiegwasverdamping uit de periode 1 januari 1970 t/m 31 december 1981. In deze periode varieerden de berekende jaarsommen van het neerslagoverschot sterk (figuur 3.2). De neerslaggegevens zijn afkomstig van het KNMI neerslagstation Kerkwerpe (Schouwen-Duiveland). Omdat verdampingsgegevens van het KNMI meetstation Vlissingen (Walcheren) niet beschikbaar waren, is de Makkink referentiegwasverdamping berekend uit verdampingsgegevens van het KNMI meetstation Eelde (Groningen). Hiervoor is gebruik gemaakt van de gegevens uit tabel 3.2. Voor de jaren 2001 en 2002 verschillen de jaarsommen voor de Makkink referentiegwasverdamping van de twee KNMI meetstations respectievelijk een factor 1,11 en een factor 1,12. Om potentiële gewasverdampingsgegevens te verkrijgen voor deze modelstudie, is de beschikbare tijdreeks van de Makkink referentiegwasverdamping van Eelde vermenigvuldigd met een factor 1,11. In de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden wordt jaarrond bodem- en gewasverdamping van grasland nagebootst.



Figuur 3.2: Geschatte jaarsommen voor neerslagoverschot (neerslagoverschot = neerslag - Makkink referentiegewasverdamping) berekend met neerslaggegevens van het KNMI neerslagstation Kerkwerve en de benaderde Makkink referentiegewasverdamping voor het KNMI meetstation Vlissingen.

Tabel 3.2: KNMI Makkink referentiegewasverdamingsgegevens van het meetstation Eelde en Vlissingen (Groenendijk *et al.*, 2006)

| KNMI meetstation | Makkink referentiegewasverdamping (mm) |      |
|------------------|--|------|
|                  | 2001                                   | 2002 |
| Eelde            | 552                                    | 545  |
| Vlissingen       | 617                                    | 605  |



Figuur 3.3: Gemiddeld jaarlijks neerslagoverschot in de periode 1971-2000 (Bron: [http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/neerslagoverschot\\_jaar.html](http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/neerslagoverschot_jaar.html))



Voor de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden is uitgegaan van het neerslagoverschot. Uit figuur 3.3 blijkt dat de gemiddelde hoeveelheid neerslagoverschot in de provincie Zeeland ruimtelijk varieert. Voor de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarde is uitgegaan van 150 mm neerslagoverschot per jaar. Dit komt neer op 0,41 mm neerslag per dag zonder verdamping.

### 3.2.4 Aanpassingen op het basismodel

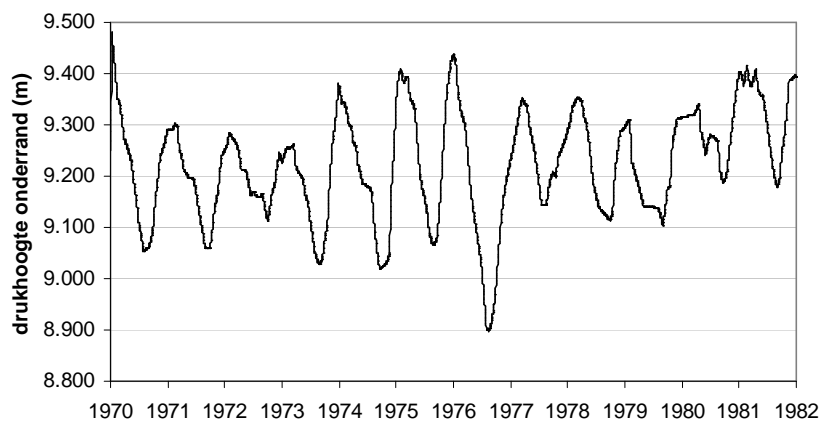
In afzonderlijke simulaties zijn aanpassingen aan het basismodel gemaakt om de invloed van individuele parameters te testen op de chlorideconcentratie in het bodemvocht en het ondiepe grondwater. Een overzicht van de 33 aanpassingen die zijn getest zijn gegeven in tabel 3.3.

Omdat niet alle aanpassingen in het elementennetwerk van het basismodel konden worden doorgevoerd, zijn voor een aantal aanpassingen nieuwe elementennetwerken gegenereerd. Het betreft aanpassing 1, 2, 4, 5, 7, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31 en 32.

In aanpassing 10 en 11 is de verzadigde doorlatendheid van de bovenste 3 bodemlagen aangepast. Deze aanpassing heeft betrekking op zowel de horizontale als de verticale doorlatendheid. In aanpassing 12 zijn lokaal de bodemeigenschappen gewijzigd. In aanpassing 13 is de anisotropie in de doorlatendheid van de bovenste 3 bodemlagen opgeheven. De horizontale verzadigde doorlatendheid is gelijk aan de verticale verzadigde doorlatendheid.

In aanpassing 17 is de drukhoogte op de onderrand afgeleid uit peilbuiswaarnemingen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de beschikbare stijghoogtemeetreeksen van peilbuis B42E0164 filter 1 (24 waarnemingen per jaar). Deze peilbuis bevindt zich ten noordoosten van het dorp Noordwelle (Schouwen-Duiveland) nabij perceel 11 (het perceel dat oorspronkelijk als uitgangspunt voor de modelstudie gold). Het filter van de peilbuis bevindt zich waarschijnlijk in de zandige afzetting van Wormer op een diepte van 13 tot 14 m -mv. Om de grilligheid uit de tijdreeks weg te filteren is gebruik gemaakt van een lopend gemiddeld over 5 waarnemingen. De gemeten stijghoogtes in de periode 1 januari 1970 en 31 december 1981 zijn omgezet naar drukhoogtes met een gemiddelde waarde van 9,22 m. Om de tijdreeks compleet te maken zijn de ontbrekende tussenliggende waarden verkregen door middel van interpolatie.

In aanpassing 18 en 19 is het neerslagoverschot gewijzigd. Voor de simulatie met niet-stationaire bovenrandvoorwaarde is de potentiële gewasverdamping zo aangepast dat, als de actuele gewasverdamping gelijk is aan de potentiële gewasverdamping, het neerslagoverschot met een factor 0,66 (aanpassing 18) en 1,33 (aanpassing 19) wijzigt.



Figuur 3.3 Drukhoogteverloop op de onderrand in aanpassing 17.

Tabel 3.3: Overzicht van aanpassingen aan het basismodel

| nummer | wijziging in:                          | aanpassing   |
|--------|--|--|
| 1      | draindiepte                            | aangepast van 0,9 m -mv naar 0,6 m -mv   |
| 2      | draindiepte                            | aangepast van 0,9 m -mv naar 1,2 m -mv   |
| 3      | drainafstand                           | aangepast van 10 m naar 20 m   |
| 4      | slootafstand                           | aangepast van 200 m naar 100 m   |
| 5      | slootpeil                              | aangepast van 1,5 m -mv naar 2,0 m -mv   |
| 6      | slootpeil                              | aangepast van 1,5 m -mv naar 1,0 m -mv   |
| 7      | slootpeil                              | aangepast van een constant slootpeil van 1,5 m -mv naar een variabel slootpeil van 1,5 m -mv (1 apr - 30 sept) en 2,0 m -mv (1 okt - 31 mrt)   |
| 8      | Cl <sup>-</sup> concentratie onderrand | aangepast van 8000 mg Cl <sup>-</sup> /l naar 5000 mg Cl <sup>-</sup> /l   |
| 9      | Cl <sup>-</sup> concentratie onderrand | aangepast van 8000 mg Cl <sup>-</sup> /l naar 14000 mg Cl <sup>-</sup> /l  |
| 10     | weerstand eerste 3 bodemlagen          | K <sub>verzadigd</sub> van de bovenste 3 bodemlagen gehalveerd   |
| 11     | weerstand eerste 3 bodemlagen          | K <sub>verzadigd</sub> van de bovenste 3 bodemlagen verdubbeld   |
| 12     | weerstand eerste 3 bodemlagen          | aangepaste bodemeigenschappen over 20 m (van 5 m tot 25 m afstand van de sloot) waarbij de eigenschappen de bovenste 2 bodemlagen zijn vervangen door de eigenschappen van de 3 <sup>e</sup> bodemlaag   |
| 13     | weerstand eerste 3 bodemlagen          | geen anisotropie in de bovenste 3 bodemlagen   |
| 14     | drukhoogte onderrand                   | aangepast van 9,25 m naar 9,50 m   |
| 15     | drukhoogte onderrand                   | aangepast van 9,25 m naar 9,75 m   |
| 16     | drukhoogte onderrand                   | aangepast van 9,25 m naar 9,00 m   |
| 17     | drukhoogte onderrand                   | aangepast van een constante drukhoogte van 9,25 m naar een variabele drukhoogte met een gemiddelde drukhoogte van 9,22 m   |
| 18     | neerslagoverschot                      | stationair: aangepast van 150 mm/jaar naar 100 mm/jaar<br>niet-stationair: potentiële gewasverdamping aangepast naar 1,06-Makkink referentiegewasverdamping in plaats van de Makkink referentiegewasverdamping   |
| 19     | neerslagoverschot                      | stationair: aangepast van 150 mm/jaar naar 200 mm/jaar<br>niet-stationair: potentiële gewasverdamping aangepast naar 0,94-Makkink referentiegewasverdamping in plaats van de Makkink referentiegewasverdamping   |
| 20     | dispersielengte                        | aangepast van 0,10 m (longitudinaal) en 0,01 m (transversaal) naar 0,20 m en 0,02 m  |
| 21     | dispersielengte                        | aangepast van 0,10 m (longitudinaal) en 0,01 m (transversaal) naar 0,01 m en 0,001 m   |
| 22     | maaiveldverloop en draindiepte         | het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij, op een afstand van 50 m van de sloot, zich het hoogste punt van een 0,4 m hoge heuvel bevindt. de drains liggen 0,9 m beneden maaiveld   |
| 23     | maaiveldverloop en draindiepte         | het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij op 25 m afstand van de sloot zich het hoogste punt van een 0,4 m hoge heuvel, en op 75 m afstand van de sloot zich het laatste punt van een 0,4 m diep dal bevindt. de drains liggen 0,9 m beneden maaiveld |
| 24     | maaiveldverloop en draindiepte         | het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij op 25 m afstand van de sloot zich het laagste punt van een 0,4 m diep dal, en op 75 m afstand van de sloot zich het hoogste punt van een 0,4 m hoge heuvel bevindt. de drains liggen 0,9 m beneden maaiveld |
| 25     | maaiveldverloop en draindiepte         | het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij, op 50 m afstand van de sloot, zich het laagste punt van een 0,4 m diep dal bevindt. drains liggen 0,9 m beneden maaiveld   |
| 26     | Cl <sup>-</sup> concentratie neerslag  | aangepast van 10 mg Cl <sup>-</sup> /l naar 20 mg Cl <sup>-</sup> /l   |
| 27     | maaiveldverloop                        | het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij op 25 m afstand van de sloot zich het hoogste punt van een 0,4 m hoge heuvel, en op 75 m afstand van de sloot zich het laatste punt van een 0,4 m diep dal bevindt  |
| 28     | maaiveldverloop                        | het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij op 25 m afstand van de sloot zich het laagste punt van een 0,4 m diep dal, en op 75 m afstand van de sloot zich het hoogste punt van een 0,4 m hoge heuvel bevindt.   |
| 29     | randvoorwaarde bovenrand               | aangepaste bovenrandvoorwaarde over 20 m (van 5 m tot 25 m afstand van de sloot) waarbij de 'atmospheric' bovenrandvoorwaarde vervangen door een 'no flow' randvoorwaarde.   |
| 31     | positie onderrand                      | aangepast van 10 m -mv naar 4,6 m -mv  |
| 32     | positie onderrand                      | aangepast van 10 m -mv naar 30 m -mv   |
| 33     | Cl <sup>-</sup> concentratie neerslag  | aangepast van 10 Cl <sup>-</sup> /l naar 70 mg Cl <sup>-</sup> /l  |

In aanpassing 22 t/m 25 is naast het maaiveldverloop ook de draindiepte aangepast. Dat wil zeggen dat de drains in deze aanpassingen op een andere positie in het elementennetwerk liggen dan in het basismodel. In aanpassing 27 en 28 is alleen het maaiveldverloop gewijzigd (zie ook de figuren in bijlage 4). In aanpassing 29 is de bovenrandvoorwaarde lokaal gewijzigd. Over een afstand van 20 m worden geen waterfluxen over de bovenrand gesimuleerd. De aanpassing bootst een situatie na waarbij een deel van het perceel bebouwd is.

In aanpassing 33 is de chlorideconcentratie in neerslag gewijzigd van 10 mg Cl<sup>-</sup>/l naar 70 mg Cl<sup>-</sup>/l. In de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden neemt de chlorideconcentratie in de bodem toe ten gevolge van verdamping. In de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden is hiermee geen rekening gehouden: hoewel er gerekend wordt met het neerslagoverschot is aan het neerslagoverschot de chlorideconcentratie van neerslag meegegeven. In aanpassing 33 is de chlorideconcentratie in neerslag aangepast naar een waarde dat compenseert voor de gevolgen van verdamping.

Eén van de doelen van de modelstudie was om te onderzoeken hoe de onverzadigde zone de vorming van regenwaterlenzen in het ondiepe grondwater beïnvloed. Omdat een passend MOCDENS3D model voor de simulatie van dichtheidsafhankelijke en niet-dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming ontbrak, is gezocht naar een ander middel om de vraag te beantwoorden. Hierbij is getracht om het basismodel in Hydrus-2D zo aan te passen dat de onverzadigde zone een verwaarloosbare invloed heeft door 1) de parameters van het Van Genuchten - Mualem model aan te passen en door 2) het maaiveld te verlagen. Gepoogd is om de parameters van het Van Genuchten - Mualem model zo te veranderen dat de doorlatendheid in de onverzadigde zone groter is dan de doorlatendheid in de verzadigde zone, zodat de weerstand voor waterstroming in de onverzadigde zone zeer klein zou worden. Uit tests met aangepaste parameterwaarden bleek dat deze aanpassing ook invloed had op de doorlatendheid van de bodem in de verzadigde zone. Het verlagen van het maaiveld leidde in de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden tot nagenoeg gelijke resultaten als het basismodel. In de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden leidde het verlaagde maaiveld tot het vastlopen van Hydrus-2D en werd veel oppervlakkige afstroming gesimuleerd.

### 3.2.5 Simulaties

Met het basismodel en de aanpassingen op het basismodel zijn 66 simulaties doorgerekend. Een overzicht van de simulaties met het basismodel is gegeven in tabel 3.4. Het doel van de extra simulaties met het basismodel was om 1) de invloed van de initiële conditie op de modelresultaten vast te stellen en om 2) de snelheid te bepalen waarmee het systeem zich aan een gewijzigde situatie aanpast (drainafstand van 10 m naar 20 m). Voor het jaar 1975 berekent het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden een neerslagoverschot van 106 mm. Uit de beschikbare tijdreeksen (1930-2003) is gebleken dat in termen van neerslagoverschot 1975 een redelijk gemiddeld jaar is. Het berekende neerslagoverschot van 106 mm is desalniettemin aan de lage kant.

De simulaties met de aanpassingen op het basismodel zijn gegeven in tabel 3.5. Hierbij staat 0 voor het basismodel. Aanpassing 7 (variabel slootpeil) en 17 (variabele drukhoogte onderrand) zijn niet doorgerekend met stationaire bovenrandvoorwaarden. Omdat in deze aanpassingen een niet-stationaire randvoorwaarde is opgelegd kan geen evenwichtssituatie worden bereikt. Als gevolg van een fout in de opgelegde onderrandvoorwaarde voor stoffentransport, zijn voor aanpassing 7 (variabel slootpeil) ook geen modelresultaten met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden beschikbaar. Aanpassing 29 (bebouwing) geeft bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden irreële modelresultaten (chlorideconcentratie loopt op tot 1000000 mg Cl<sup>-</sup>/l) en is daarom buiten beschouwing gelaten. Aanpassing 32 (onderrand 30 m-mv) is in verband met convergentieproblemen slechts 2 jaar doorgerekend met stationaire bovenrandvoorwaarden. Aanpassing 12 (lokaal slecht doorlatende bodem) en 13 (isotropie) zijn in verband met numerieke problemen niet met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden doorgerekend. Aanpassing 33 (chlorideconcentratie neerslag 70 mg Cl<sup>-</sup>/l) is alleen van toepassing op de simulatie met stationaire bovenrandvoorwaarden en daarom niet doorgerekend met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden.

Tabel 3.4: Simulaties met het basismodel. Het nummer in de kolom 'geïmporteerde initiële condities' verwijst naar de modelresultaten van een simulatie welke als initiële conditie is geïmporteed. Simulatie 107, 108 en 109 zijn uitgevoerd om de snelheid te bepalen waarin het basismodel zich aanpast na een gewijzigde drainafstand. Simulatie 101, 102, 103 en 106 zijn uitgevoerd om de gevoeligheid van het basismodel voor de initiële condities te bepalen.

| <b>stationaire bovenrandvoorwaarden</b>      |                                  |   |
|--|----------------------------------|---|
| nummer                                       | geïmporteerde initiële condities | omschrijving  |
| 0  | -                                | basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden: 150 mm neerslagoverschot per jaar.   |
| 101  | -                                | basismodel met initiële chlorideconcentratie van 8000 mg Cl <sup>-</sup> /l in plaats van 0 mg Cl <sup>-</sup> /l en stationaire bovenrandvoorwaarden: 150 mm neerslagoverschot per jaar. |
| 104  | -                                | basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden: 106 mm neerslagoverschot per jaar.   |
| 107  | 0                                | basismodel met aangepaste drainafstand (20 m ipv 10 m) en stationaire bovenrandvoorwaarden: 150 mm neerslagoverschot per jaar.  |
| 108  | 104                              | basismodel met aangepaste drainafstand (20 m ipv 10 m) en stationaire bovenrandvoorwaarden: 106 mm neerslagoverschot per jaar.  |
| <b>niet-stationaire bovenrandvoorwaarden</b> |                                  |   |
| nummer                                       | geïmporteerde initiële condities | omschrijving  |
| 102  | 0                                | basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: 12-1975.  |
| 103  | 0                                | basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: 3-(1970-1975).  |
| 106  | 104                              | basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: 12-1975.  |
| 109  | 106                              | basismodel met aangepaste drainafstand (20 m ipv 10 m) en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: 5-1975.  |

Tabel 3.5: Overzicht van simulaties met aanpassingen op het basismodel. Het nummer in de kolom 'initiële condities bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden' verwijst naar de modelresultaten van een simulatie met stationaire bovenrandvoorwaarden welke als initiële conditie zijn geïmporteed in een simulatie met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. Het getal 0 staat voor het basismodel.

| <b>aanpassing</b> | <b>stationaire bovenrandvoorwaarde</b> | <b>niet-stationaire bovenrandvoorwaarden</b> | <b>initiële condities bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden</b> |
|-------------------|--|--|---|
| 0                 | x                                      | x  | 0   |
| 1                 | x                                      | x  | 1   |
| 2                 | x                                      | x  | 2   |
| 3                 | x                                      | x  | 3   |
| 4                 | x                                      | x  | 4   |
| 5                 | x                                      | x  | 5   |
| 6                 | x                                      | x  | 6   |
| 7                 |  |  |   |
| 8                 | x                                      | x  | 8   |
| 9                 | x                                      | x  | 9   |
| 10                | x                                      | x  | 10  |
| 11                | x                                      | x  | 11  |
| 12                | x                                      |  |   |
| 13                | x                                      |  |   |
| 14                | x                                      | x  | 14  |
| 15                | x                                      | x  | 15  |
| 16                | x                                      | x  | 16  |
| 17                |  | x  | 0   |
| 18                | x                                      | x  | 18  |
| 19                | x                                      | x  | 19  |
| 20                | x                                      | x  | 20  |
| 21                | x                                      | x  | 21  |
| 22                | x                                      | x  | 22  |
| 23                | x                                      | x  | 23  |
| 24                | x                                      | x  | 24  |
| 25                | x                                      | x  | 25  |
| 26                | x                                      | x  | 26  |
| 27                | x                                      | x  | 27  |
| 28                | x                                      | x  | 28  |
| 29                | x                                      |  |   |
| 31                | x                                      | x  | 31  |
| 32                | x                                      |  |   |
| 33                | x                                      |  |   |

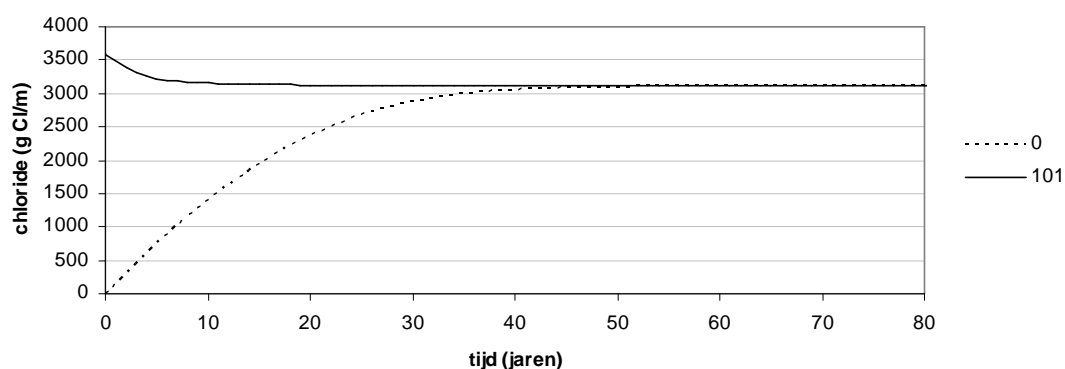
### 3.3 Resultaten

In dit onderdeel zullen de resultaten van de modelstudie worden besproken die betrekking hebben op het beantwoorden van de onderzoeksvragen. Hierbij zal in hoofdstuk 3.3.1 (basismodel) ingegaan worden op de resultaten van simulaties met het basismodel. De simulaties met aanpassingen op het basismodel zullen worden besproken in hoofdstukken 3.3.2 (aanpassingen op het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden) en 3.3.3 (aanpassingen op het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden). Een compleet overzicht van de belangrijkste modelresultaten is gegeven in bijlage 4 t/m 6. In deze bijlagen staan ook gegevens vermeld over de massabalansfouten die per simulatie zijn opgetreden. Voor sommige simulaties zijn de fouten redelijk groot. In dit hoofdstuk zal verder geen aandacht aan deze fouten worden besteed.

#### 3.3.1 Basismodel

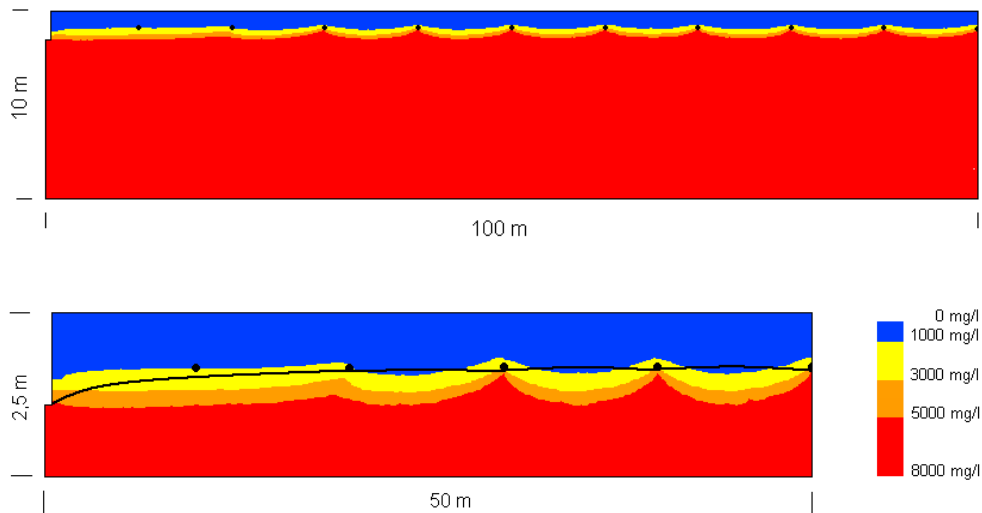
##### *Stationaire bovenrandvoorwaarden*

In de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden is verondersteld dat een model in evenwicht verkeert wanneer de totale hoeveelheid chloride in het systeem niet meer verandert. Uit simulatie 0 (basismodel) en 101 (basismodel, initieel zout) is gebleken dat bij een initiële chlorideconcentratie van 8000 mg Cl<sup>-</sup>/l deze evenwichtsituatie sneller wordt bereikt dan bij een initiële zoet systeem (figuur 3.4). Bij het initiële zoute systeem werd een evenwichtsituatie na 33 jaar bereikt; bij het initieel zoete systeem na 78 jaar.

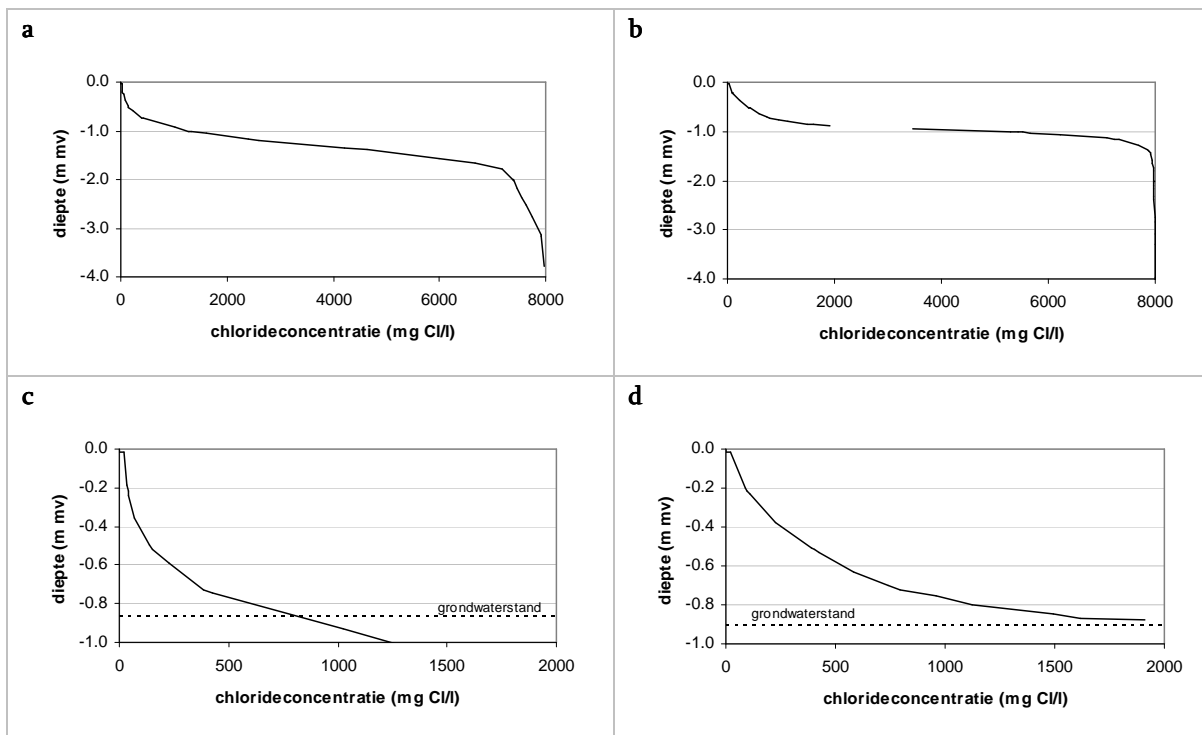


Figuur 3.4: Modelresultaten van het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden bij een initieel zoet (0 mg Cl<sup>-</sup>/l) en initieel zout (8000 mg Cl<sup>-</sup>/l) zout systeem: totale hoeveelheid chloride in het systeem uitgezet tegen de tijd.

Uit figuren 3.5 en 3.6 blijkt dat bij stationaire bovenrandvoorwaarden een zoet regenwaterlens alleen tussen de drains wordt gemodelleerd. In evenwichtsituatie is midden tussen drains de dikte van de zoet regenwaterlens 4 cm en de dikte van de brak regenwaterlens 35 cm. Door het potentiaalverschil tussen de grondwaterstand rond de drains (0,91 m -mv) en de stijghoogte op de onderrand (0,75 m -mv), wordt kwel naar de drains gesimuleerd. Hierdoor ligt het grensvlak zoet/brak (1000 mg Cl<sup>-</sup>/l) en brak/zout (3000 mg Cl<sup>-</sup>/l) rond de drains gelijk of hoger dan de grondwaterstand en ontbreken daarmee regenwaterlensen. Ondanks het stijghoogteverschil tussen de onderrand (0,75 m -mv) en de grondwaterstand tussen de drains (0,87 m -mv), is echter wel een regenwaterlens tussen de drains berekend. Uit figuur 3.5 blijkt dat in het basismodel de grondwaterstand tot circa 20 meter in het perceel (tweede drain) wordt beïnvloed door het slootpeil. Hierdoor is geen zoet regenwaterlens gesimuleerd in het gebied tussen de sloot en de tweede drain. Uit figuur 3.5 blijkt dat in het gebied het grensvlak brak/zout (3000 mg Cl<sup>-</sup>/l) zich beneden de grondwaterstand bevindt en hierdoor een brak regenwaterlens aanwezig is.



Figuur 3.5: Modelresultaten van het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideverdeling in evenwichtsituatie. Onderste figuur is een detail van de bovenste figuur. De lijn in de onderste figuur geeft de positie van de grondwaterspiegel aan.

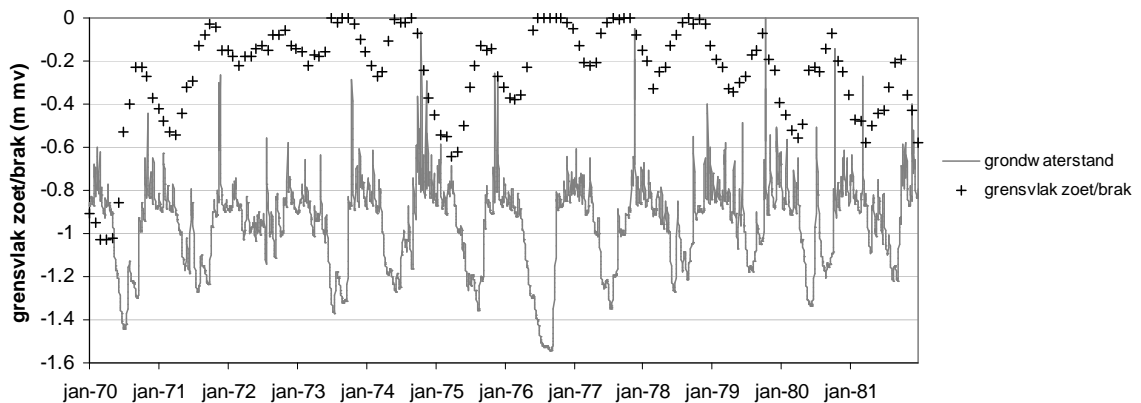


Figuur 3.6: Modelresultaten van het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratieverloop in de diepte op 65 m (tussen drains; figuren a en c (figuur a is detail van figuur c)) en 70 m (op drain; figuur b en d (figuur b is detail van figuur d)) van de sloot.

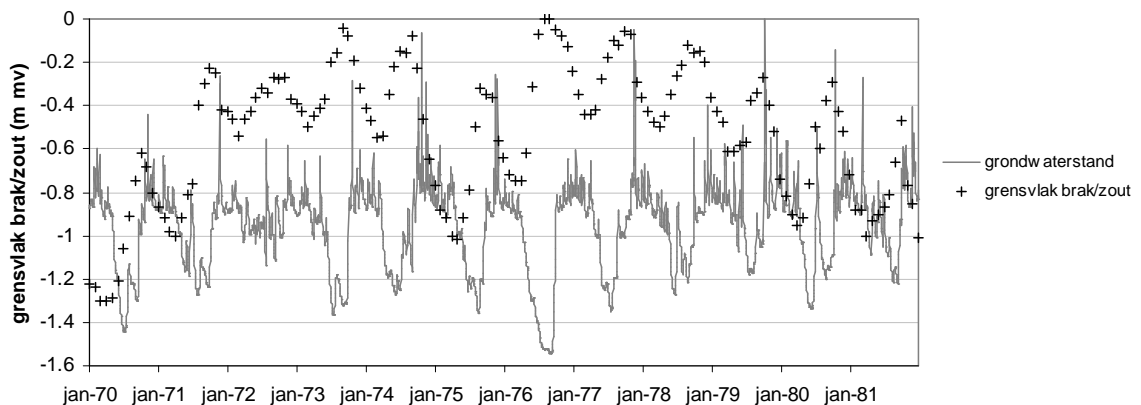
In de modelstudie is de wortelzone gedefinieerd als de bovenste 50 cm van het bodemprofiel. In het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden is over de gehele lengte van het perceel zoet bodemvocht in de wortelzone gesimuleerd (figuur 3.5 en 3.6).

### ***Niet-stationaire bovenrandvoorwaarden***

In deze paragraaf worden de modelresultaten van het basismodel besproken met neerslag -en verdampingsgegevens uit de periode 1970 t/m 1981. De initiële condities zijn overgenomen uit het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden. De aanwezigheid van een zoet of brak regenwaterlens wordt bepaald door de grondwaterstand en de positie van het grensvlak zoet/brak en brak/zout. Uit figuur 3.7 volgt dat alleen in de eerste 4 maanden van 1970 een zoet regenwaterlens tussen de drains is gesimuleerd: na april 1970 bevindt het grensvlak zoet/brak zich boven de grondwaterstand. In de winters van 1970, 1971, 1975, 1980 en 1981 zijn brak regenwaterlenzen tussen de drains gemodelleerd (figuur 3.8). In een periode met een lage grondwaterstanden verplaatst het grensvlak zoet/brak en brak/zout zich richting het maaiveld. Zodra de grondwaterstand na een periode met lage grondwaterstanden weer stijgt (grondwaterstijging is het gevolg van neerslag), veranderd de positie van de grensvlakken onmiddellijk.

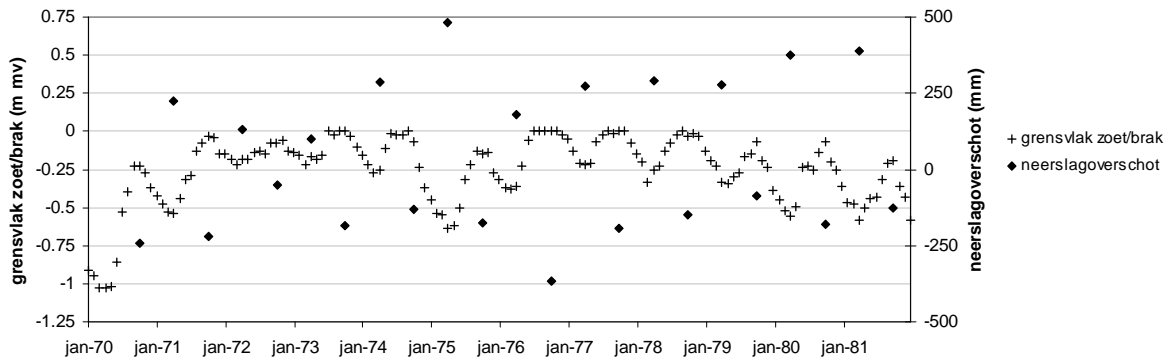


Figuur 3.7: Modelresultaten van basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: positie grensvlak zoet/brak (1000 mg Cl<sup>-</sup>/l; 65 m van de sloot) en de grondwaterstand in de periode 1 januari 1970 t/m 31 december 1981. In de eerste 4 maanden van 1970 ligt het grensvlak beneden de grondwaterstand waardoor een zoet regenwaterlens is gesimuleerd.



Figuur 3.8: Modelresultaten van basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: positie grensvlak brak/zout (3000 mg Cl<sup>-</sup>/l; 65 m van de sloot) en de grondwaterstand in de periode 1 januari 1970 t/m 31 december 1981. In de winter van 1970, 1971, 1975, 1980 en 1981 zijn brak regenwaterlenzen gesimuleerd.

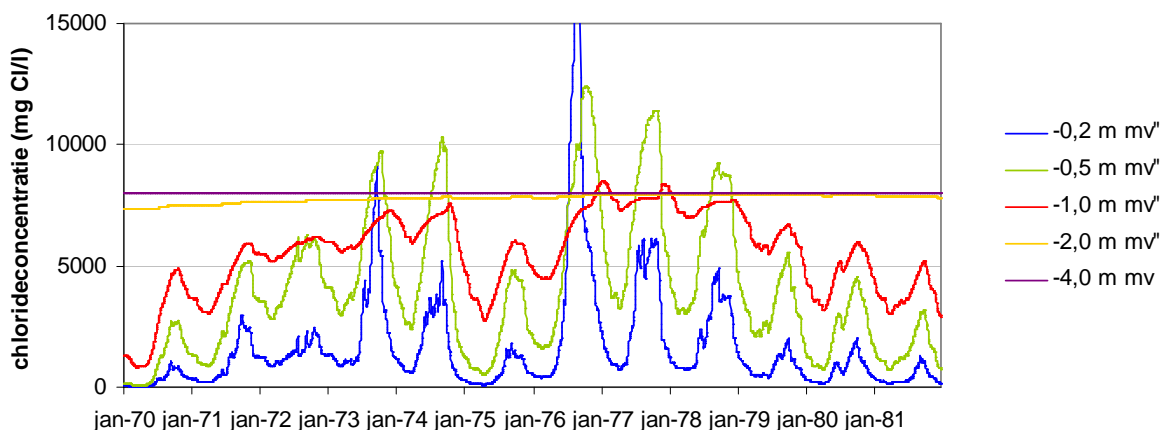
Uit figuur 3.9 blijkt dat de positie van het grensvlak zoet/brak (1000 mg Cl<sup>-</sup>/l) gerelateerd is aan het neerslagoverschot. Het neerslagoverschot in de winterperiode bepaald hoe ver het grensvlak naar beneden verplaatst; het neerslagtekort in de zomerperiode bepaald of het hele profiel brak of zout wordt (chlorideconcentratie in grondwater en bodemvocht >1000 mg Cl<sup>-</sup>/l). De positie van het grensvlak wordt ook bepaald door zijn positie in het verleden: hoewel het neerslagtekort in de zomer van 1975 groter is dan in 1974 komt het grensvlak zoet/brak in 1975 niet tot aan maaiveld. Het grensvlak zoet/brak wordt in de winterperiode van 1974-1975 dieper gesimuleerd dan 1973-1974 in dezelfde periode.



Figuur 3.9: Modelresultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: neerslagoverschot en positie van grensvlak zoet/brak (65 m van de sloot; tussen drains) in de tijd. Het neerslagoverschot is berekend uit neerslaggegevens en de Makkink referentiegrasverdamming per half jaar (oktober t/m maart en april t/m september).

In figuur 3.10 is het verloop van de chlorideconcentratie in de tijd op vijf dieptes gegeven. Uit deze figuur blijkt dat de chlorideconcentratie in de wortelzone sterk varieert voor de gesimuleerde periode. Met uitzondering van een korte periode in de zomer van 1976, is de chlorideconcentratie op 20 cm beneden het maaiveld lager dan op 50 cm beneden het maaiveld. Op 50 cm -mv varieert de chlorideconcentratie tussen 86 mg Cl<sup>-</sup>/l (winter 1970) en 12400 mg Cl<sup>-</sup>/l (zomer 1976). Op 20 cm -mv liggen de berekende chlorideconcentraties tussen 24 mg Cl<sup>-</sup>/l (winter 1970) en 21700 mg Cl<sup>-</sup>/l (zomer 1976). De chlorideconcentratie in de wortelzone neemt toe in de zomerperiode en neemt af in de winterperiode. Uit figuur 3.10 blijkt dat in tien van de twaalf zomers zout bodemvocht op 50 cm -mv is gesimuleerd. In de zomer van 1970 en 1981 blijft het bodemvocht op 50 cm -mv brak. Op 20 cm -mv is voor deze zomers van 1970 en 1981 zoet bodemvocht berekend. In de zomers van 1973, 1974, 1976, 1977 en 1978 is zout bodemvocht op 20 cm -mv gesimuleerd.

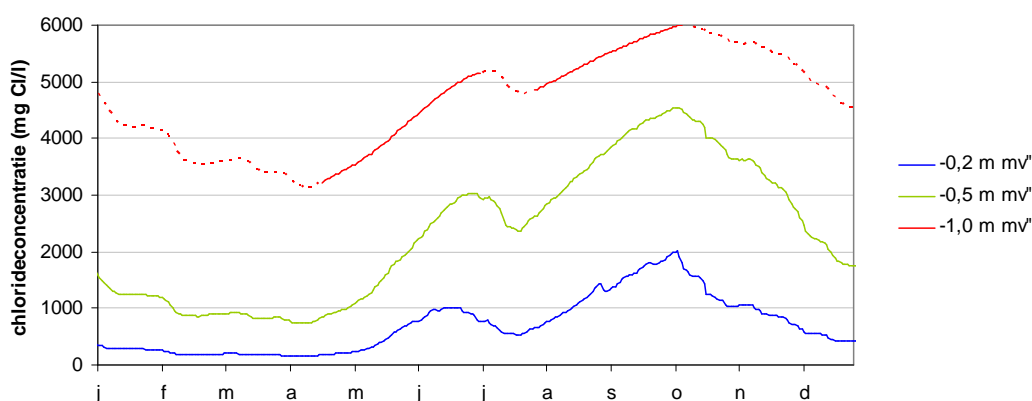
Uit de modelresultaten blijkt dat voor het basismodel de neerslag geen invloed heeft op de chlorideconcentratie op 4 m beneden het maaiveld (figuur 3.10). Op 2 m beneden het maaiveld is de invloed van neerslag op de chlorideconcentratie gering en zijn seizoenspatronen bijna te verwaarlozen. Op 1 m beneden het maaiveld is de chlorideconcentratie onderhevig aan sterke seizoenschommelingen. Uit figuur 3.11 blijkt dat de chlorideconcentratie op deze diepte stijgt als de grondwaterstand dieper dan 1 m -mv komt te liggen.



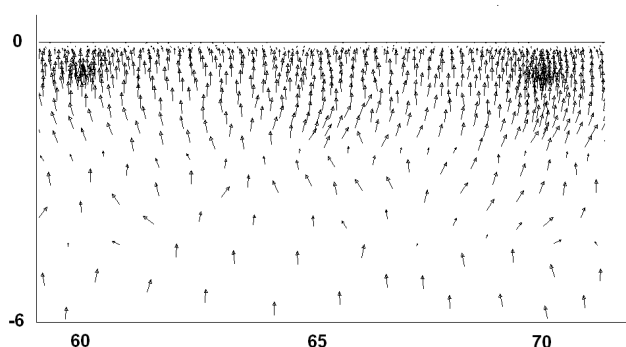
Figuur 3.10: modelresultaten van basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden; chlorideconcentratieverloop op verschillende dieptes (65 m afstand van de sloot).



In het basismodel kan een sterke stijging van de chlorideconcentratie in de onverzadigde zone veroorzaakt worden door een tweetal mechanismen: capillaire opstijging van grondwater en 'indikking' van bodemvocht ten gevolge van gewasverdamping (water wordt opgenomen in tegenstelling tot chloride waardoor de chlorideconcentratie in het bodemvocht stijgt). De hoge chlorideconcentratie op 20 cm -mv in de zomer van 1976 (21700 mg Cl/l) is het gevolg van 'indikking' van het bodemvocht. Door 'indikking' van het bodemvocht worden in de onverzadigde zone chlorideconcentraties gesimuleerd die hoger zijn dan de chlorideconcentratie op de onderrand ( $> 8000 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ ). Figuur 3.12 toont dat in de zomerperiode capillaire opstijging van het grondwater plaatsvindt.



Figuur 3.11: Modelresultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratieverloop in 1980 op verschillende dieptes op 65 m afstand van de sloot (tussen drains). De stippellijn duidt de periode aan waarop de grondwaterstand hoger is dan -1,0 m mv (verzadigde zone). De doorgetrokken lijnen staan voor de chlorideconcentratie in de onverzadigde zone.

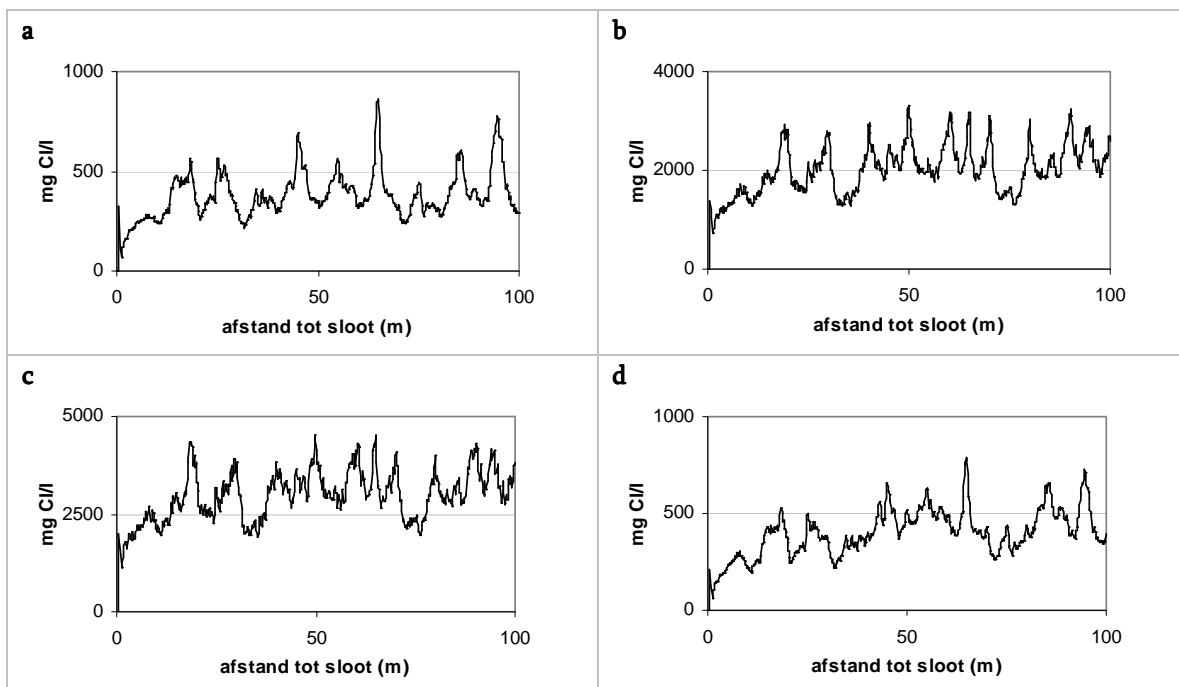


Figuur 3.12: Modelresultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden; richting van de waterfluxen eind juli 1976 met op de x-as de afstand tot de sloot (m) en op de y-as de afstand tot het maaiveld (m)

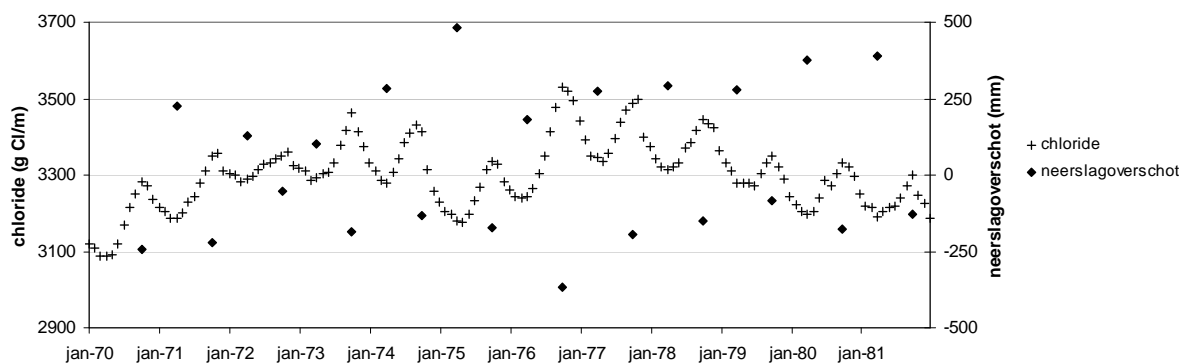
Uit figuur 3.13 blijkt dat de berekende chlorideconcentratie van het bodemvocht op 50 cm -mv niet op elke positie gelijk is. De grote ruimtelijke variatie in chloridewaarden is mogelijk toe te schrijven aan de grofheid van het elementennetwerk nabij het maaiveld: de afstand tussen de knooppunten ligt in de onverzadigde zone tussen de 15 en 25 cm. Door het verfijnen van het netwerk verdwijnen mogelijk de grote verschillen. In figuur 3.13a is overigens duidelijk de invloed van de drains op de (lage) chlorideconcentratie zichtbaar als tien pieken. In figuren b en c is dit patroon niet terug te vinden.

De totale hoeveelheid chloride in het systeem is in figuur 3.14 uitgezet tegen het neerslagoverschot. Uit deze figuur blijkt dat, op uitzondering van de eerste maanden van 1970, de totale hoeveelheid chloride in het systeem groter is dan in de simulatie met stationaire bovenrandvoorwaarden ( $3119 \text{ g Cl}^-/\text{m}$ ). Evenals de positie van het grensvlak zoet/brak (figuur 3.9), is ook de totale hoeveelheid chloride in het systeem gekoppeld aan het neerslagoverschot. Bij een negatief neerslagoverschot (zomer) neemt de totale hoeveelheid chloride in het systeem toe: bij een positief neerslagoverschot (winter) neemt de

hoeveelheid chloride in het systeem af. Daar waar de positie van het grensvlak zoet/brak begrensd werd door het maaiveld, is aan de hoeveelheid chloride in het systeem geen bovengrens. Ook voor de totale hoeveelheid chloride in het systeem geldt dat het beïnvloed wordt door de aanwezige hoeveelheid chloride in het verleden.



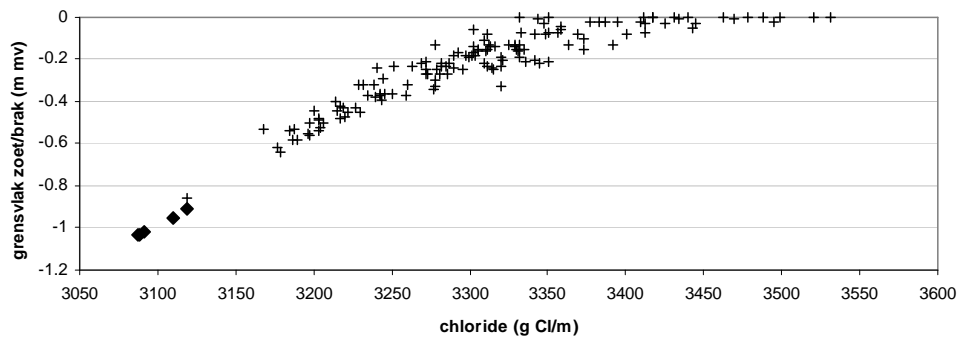
Figuur 3.13: Modelresultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideverdeling in bodemvocht op 50 cm -mv. Figuur a geeft de berekende situatie voor maart 1980, figuur b voor juni 1980, figuur c voor september 1980 en figuur d voor december 1980.



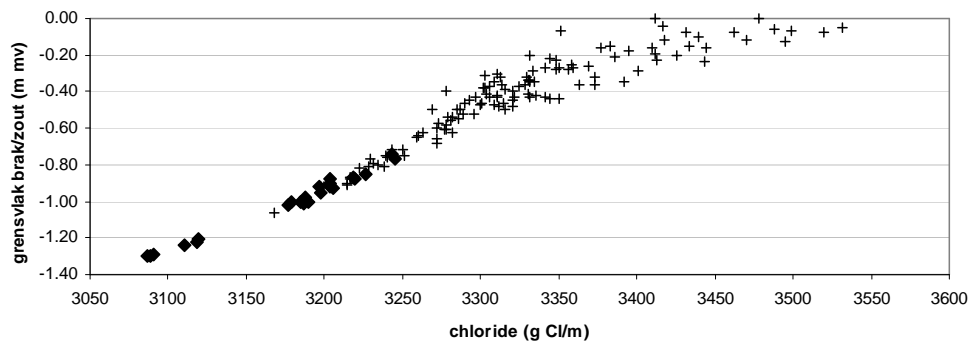
Figuur 3.14: Modelresultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: het neerslagoverschot en de totale hoeveelheid chloride in het systeem in de tijd. Het neerslagoverschot is berekend uit neerslaggegevens en de Makkink referentiegewasverdamming per half jaar (oktober t/m maart en april t/m september).

In figuur 3.15 is de positie van het grensvlak zoet/brak ( $1000 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ ) ten opzichte van het maaiveld uitgezet tegen de totale hoeveelheid chloride in het systeem. In figuur 3.16 is hetzelfde gedaan voor het grensvlak brak/zout ( $3000 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ ). Uit de twee figuren blijkt dat er voor het basismodel min of meer een verband bestaat tussen de posities van de grensvlakken en de totale hoeveelheid chloride in het systeem. Omdat de dikte van de een zoet of brak regenwaterlens afhankelijk is van de positie van het grensvlak en de grondwaterstand, is er voor het basismodel geen duidelijk verband gevonden tussen de totale hoeveelheid chloride in het systeem en de dikte van zoet en brak regenwaterlensen (figuur 3.17). Ook tussen de totale hoeveelheid water en chloride in het systeem lijkt geen direct verband te bestaan

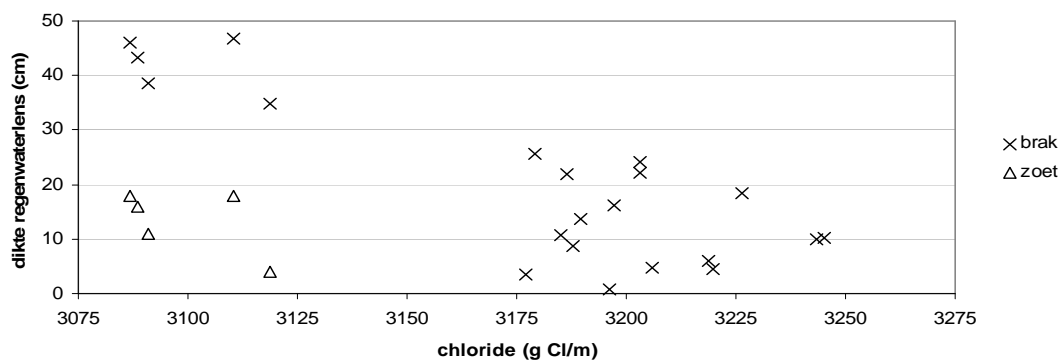
(figuur 3.18). Echter, wanneer de punten van figuur 3.18 aan elkaar verbonden worden met een lijn worden ovalen zichtbaar (richting: tegen de klok). In figuur 3.18 zijn de punten van 1975 verbonden met een lijn. Er is dus een vertraagde reactie van de totale hoeveelheid chloride in het systeem op de totale hoeveelheid water in het systeem. Door de stijging van de grondwaterstand zal de totale hoeveelheid chloride in het systeem afnemen door de geringere invloed van kwel op het ondiepe grondwater (afname potentiaalverschil tussen freatisch grondwater en stijghoogte onderrand) en de toename van uitspoeling van chloride. Uit grafiek 3.18 blijkt dat deze reactie wordt vertraagd en de bodem als een buffer werkt.



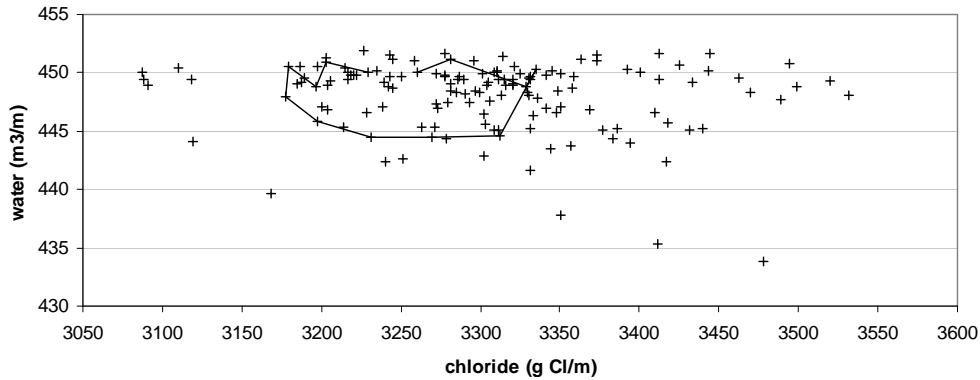
Figuur 3.15: Modelresultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: positie grensvlak zoet/brak (65 m afstand van de sloot; tussen drains) als functie van de totale hoeveelheid chloride in het systeem. De ruiten geven aan dat het grensvlak zich beneden de grondwaterstand bevindt (januari - april 1970; de kruizen dat het grensvlak zich in de onverzadigde zone bevindt.



Figuur 3.16: Modelresultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: positie grensvlak brak/zout (65 m afstand van de sloot; tussen drains) als functie van de totale hoeveelheid chloride in het systeem. De ruiten geven aan dat het grensvlak zich beneden de grondwaterstand bevindt (januari - april 1970; de kruizen dat het grensvlak zich in de onverzadigde zone bevindt.



Figuur 3.17: Modelresultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: dikte van zoet en brak regenwaterlens als functie van de totale hoeveelheid chloride in het systeem.

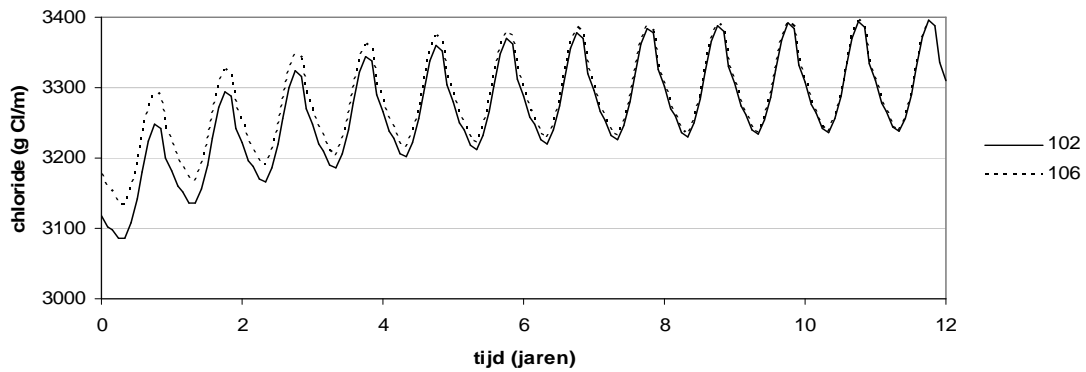


Figuur 3.18: Modelresultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: totale hoeveelheid water in het systeem als functie van de totale hoeveelheid chloride in het systeem. De punten van 1975 zijn verbonden met elkaar door middel van een lijn; de richting is tegen de klok in.

### ***Beginvoorwaarden***

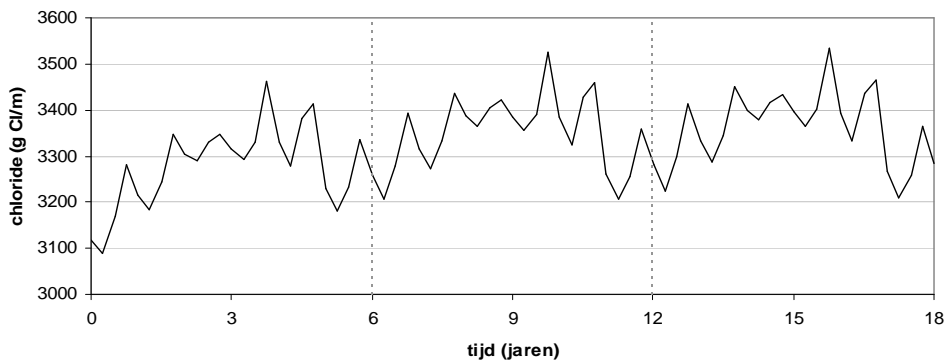
Uit de resultaten van het basismodel met stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is gebleken dat de gesimuleerde chlorideconcentraties in de wortelzone en het ondiepe grondwater met stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden van elkaar afwijken. De berekende chlorideconcentratie in de simulatie met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden komen niet overeen met de uitkomsten van het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden. In de simulatie met stationaire bovenrandvoorwaarden wordt de chlorideconcentratie in de wortelzone en ondiepe grondwater onderschat ten opzicht van resultaten van de simulatie met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. Omdat de modelresultaten van het model met stationaire bovenrandvoorwaarden zijn gebruikt als beginvoorwaarde voor het model met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden, is onderzocht hoe de beginvoorwaarden de uitkomsten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden beïnvloeden.

Een mogelijke oorzaak van de verschillen tussen de twee simulaties is dat het neerslagoverschot in het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden kleiner is dan de 150 mm (figuur 3.2) dat als invoer voor het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden diende. Over de periode 1970-1981 is gemiddeld 108 mm neerslagoverschot berekend met het basismodel. Om na te gaan of het verschil tussen de modelresultaten wordt veroorzaakt door het verschil in neerslagoverschot zijn simulaties 102 (12-1975: initieel 150 mm neerslagoverschot per jaar) en 106 (12-1975: initieel 106 mm neerslagoverschot per jaar) uitgevoerd (tabel 3.4). Hydrus-2D berekent voor het basismodel in 1975 een neerslagoverschot van 106 mm. Voor simulatie 106 zijn de initiële condities geïmporteerd uit simulatie 104 (stationaire bovenrandvoorwaarden: 106 mm neerslagoverschot/jaar). Hierdoor komt voor simulatie 106 het neerslagoverschot in de initiële condities overeen met de opgelegde bovenrandvoorwaarde (neerslag- en verdampingsgegevens van 1975). In simulatie 102 zijn de modelresultaten van het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden gebruikt (150 mm neerslagoverschot/jaar). Uit figuur 3.19 blijkt dat bij een gelijk neerslagoverschot de modelresultaten van simulaties met stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden van elkaar afwijken (simulatie 106). De berekende totale hoeveelheid chloride is bij stationaire bovenrandvoorwaarden lager dan bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. Grafiek 3.19 toont dat de modelresultaten van simulatie 102 sterker worden beïnvloed door de beginvoorwaarden dan de resultaten van simulatie 106.



Figuur 3.19: Modelresultaten van simulatie 102 en 106 (tabel 3.4): totale hoeveelheid chloride in het systeem in de tijd bij verschillende initiële condities.

Om de invloed te schatten van de initiële condities op de modelresultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden, is simulatie 103 (3-1970-1975: initieel 150 mm neerslagoverschot per jaar) uitgevoerd. Door het herhalen van dezelfde reeks van invoergegevens wordt zichtbaar of de initiële condities in de modelresultaten van het basismodel beïnvloeden. In de reeks van invoergegevens van simulatie 103 zijn de neerslag- en potentiële verdampingsgegevens van 1970 t/m 1975 driemaal achter elkaar gezet. Uit figuur 3.20 blijkt dat als gevolg van de beginvoorwaarden in de eerste serie een lagere waarde voor de totale hoeveelheid chloride wordt berekend dan voor de daaropvolgende series. Het verschil tussen de tweede en derde serie is klein in vergelijking met de resultaten van de eerste serie. De initiële condities voor de tweede (3260 g Cl<sup>-</sup>/m) en derde serie (3281 g Cl<sup>-</sup>/m) zijn vrijwel gelijk in tegenstelling tot de eerste serie (3119 g Cl<sup>-</sup>/m).

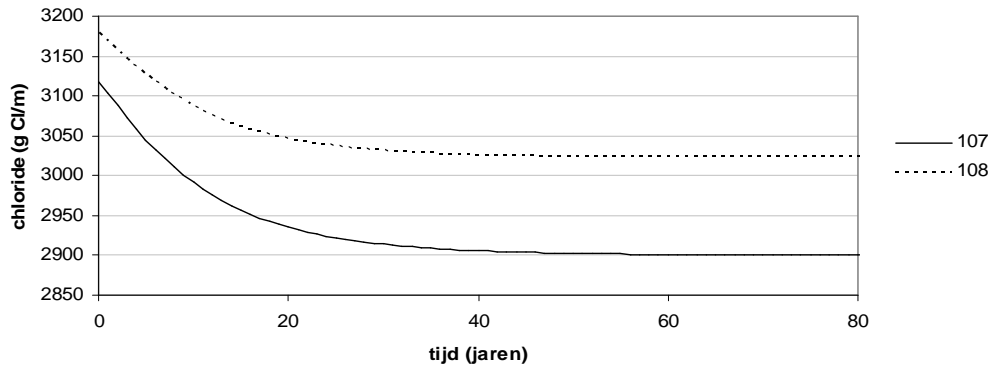


Figuur 3.20: Modelresultaten van simulatie 103 (tabel 3.4): totale hoeveelheid chloride uitgezet tegen de tijd

### ***Aanpassingssnelheid***

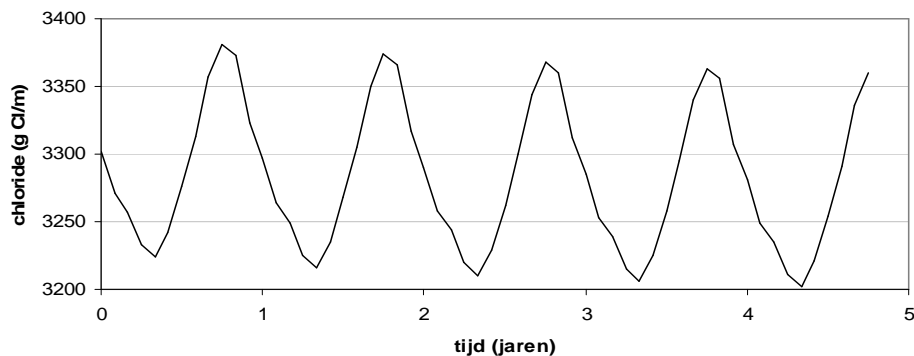
In beperkte mate is getest hoe snel het basismodel zich kan aanpassen aan een wijziging in het systeem. Dat wil zeggen hoe snel een aanpassing zich uit in gewijzigde chlorideconcentraties in de wortelzone en het ondiepe grondwater. In simulatie 107, 108 en 109 is de drainafstand aangepast van 10 m naar 20 m (tabel 3.4). Omdat het verkrijgen van gegevens over regenwaterlenzen bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden tijdrovend is, is gekeken naar de invloed van de aanpassing op de totale hoeveelheid chloride in het systeem.

Uit de uitkomsten van simulatie 107 (stationaire bovenrandvoorwaarden: 150 mm neerslagoverschot per jaar) en 108 (stationaire bovenrandvoorwaarden: 106 mm neerslagoverschot per jaar) blijkt dat bij stationaire bovenrandvoorwaarden het aanpassen aan een nieuwe situatie veel tijd kost (figuur 3.21). Voor de twee simulaties wordt een evenwichtsituatie (totale hoeveelheid chloride constant) rond 65 jaar bereikt. Bij stationaire bovenrandvoorwaarden lijkt de aanpassingssnelheid hiermee niet afhankelijk van de hoeveelheid neerslagoverschot. In simulatie 107 neemt de totale hoeveelheid chloride in het systeem af van 3119 g Cl<sup>-</sup>/m naar 2901 g Cl<sup>-</sup>/m; in simulatie 108 neemt de hoeveelheid af van 3179 g Cl<sup>-</sup>/m naar 3023 g Cl<sup>-</sup>/m. Het bodemvocht in de wortelzone blijft over de gehele periode zoet.

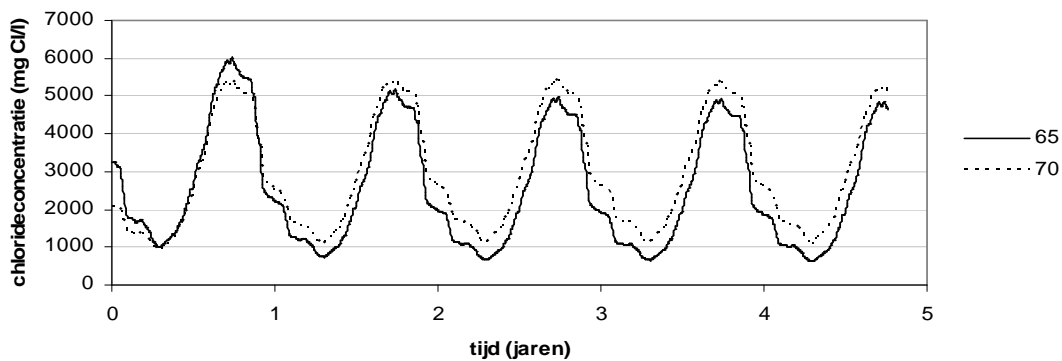


Figuur 3.21: Modelresultaten van simulatie 107 en 108: verloop van totale hoeveelheid chloride in de tijd na aangepaste drainafstand.

In simulatie 109 (5-1975: initieel 12-1975) zijn slechts vijf jaren doorgerekend met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. In de resultaten is een afname in de totale hoeveelheid chloride zichtbaar (figuur 3.22). De seizoenen hebben in de gesimuleerde periode een grotere invloed op de hoeveelheid chloride in het systeem dan de aangepaste drainafstand. Ook in de wortelzone (figuur 3.23) heeft in de periode van vijf jaar de bovenrandvoorwaarden meer invloed op de chlorideconcentratie in het bodemvocht dan de aangepaste drainafstand. In de gesimuleerde periode veroorzaakt de aanpassing een kleine afname van de chlorideconcentratie in het bodemvocht op 50 cm -mv. Na 5 jaar is er nog geen evenwichtssituatie bereikt.



Figuur 3.22: Modelresultaten van simulatie 109: verloop van totale hoeveelheid chloride in de tijd na aangepaste drainafstand.



Figuur 3.23: Modelresultaten van simulatie 109: verloop van de chlorideconcentratie in de tijd op 50 cm -mv op 65 en 70 m afstand van de sloot na aangepaste drainafstand. In deze simulatie is de drain op 70 m afstand van de sloot niet (meer) actief.

### 3.3.2 Aanpassingen op het basismodel met stationaire bovenrandvoorwaarden

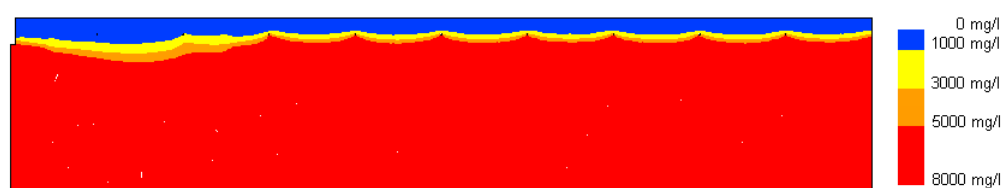
Doel van de simulaties met aanpassingen op het basismodel is om te bepalen welke parameters de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater en de wortelzone beïnvloeden. In deze paragraaf worden de modelresultaten van de aanpassingen met stationaire bovenrandvoorwaarden besproken. Hierbij zal alleen ingegaan worden op resultaten die betrekking hebben op regenwaterlenzen en chlorideconcentratie van het bodemvocht in de wortelzone. In bijlage 4 en 5 zijn de belangrijkste modelresultaten van de aanpassingen met stationaire bovenrandvoorwaarden gegeven.

#### *Ondiep grondwater*

In het basismodel met stationaire randvoorwaarden zijn regenwaterlenzen gesimuleerd tussen waterafvoerende drains (figuur 3.5). Dit geldt ook voor de meeste aanpassingen op het basismodel. Uitzondering hierop zijn aanpassing 1 (draindiepte 0,6 m -mv), 12 (lokaal slecht doorlatende bodem) en 16 (drukhoogte onderrand 9,00 m). Bij deze aanpassingen bevindt zich ook zoet grondwater beneden een waterafvoerende drain. In aanpassing 22 (maaiveld en drain bol), 23 (maaiveld en drain bol hol), 24 (maaiveld en drain hol bol) vallen drains droog waartussen zich een zoet regenwaterlens vormt. Bij aanpassingen 1 (draindiepte 0,6 m -mv), 16 (drukhoogte onderrand 9,00 m), 22 (maaiveld en drain bol) en 24 (maaiveld en drain hol bol) treedt, door het stijghoogteverschil tussen onderrand en freatisch grondwater, (lokaal) wegzijging op in plaats van kwel. De chlorideverdeling van de hierboven genoemde aanpassingen zijn gegeven in figuren 3.24 t/m 3.29. Uit figuur 3.30 blijkt dat bij het afdekken van het maaiveld (aanpassing 29: bebouwing) de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater gelijk wordt aan het diepe grondwater.



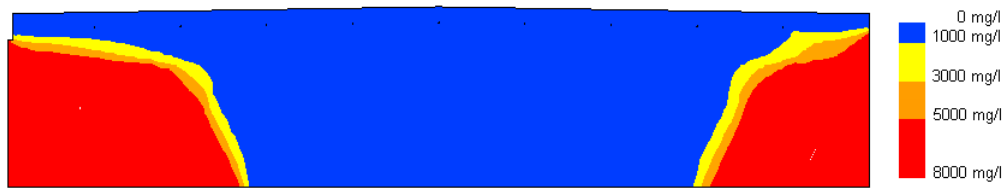
Figuur 3.24: Modelresultaten van aanpassing 1 (draindiepte 0,6 m -mv) met stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideverdeling in evenwichtssituatie.



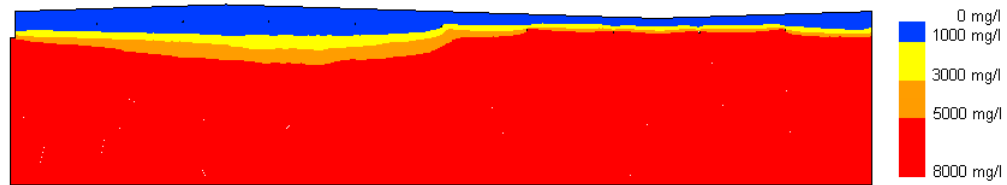
Figuur 3.25: Modelresultaten van aanpassing 12 (lokaal slecht doorlatende bodem) met stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideverdeling in evenwichtssituatie.



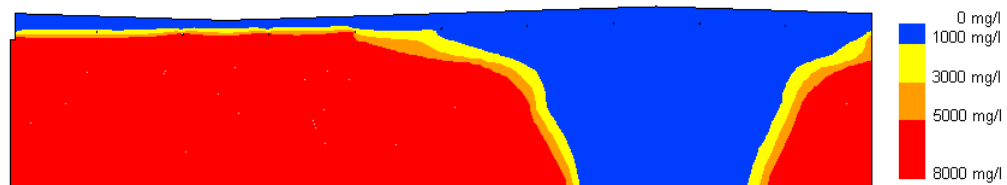
Figuur 3.26: Modelresultaten van aanpassing 16 (drukhoogte onderrand 9,00 m) met stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideverdeling in evenwichtssituatie.



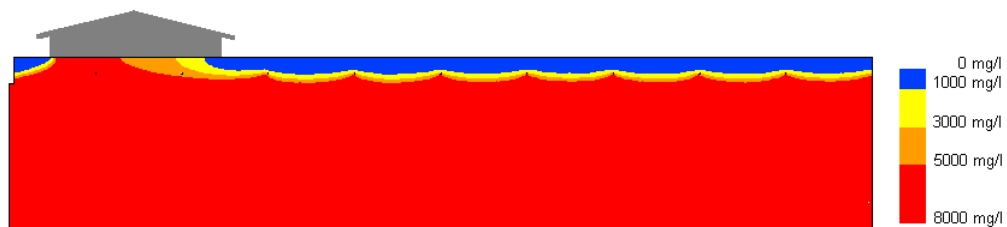
Figuur 3.27: Modelresultaten van aanpassing 22 (maai veld en drain bol) met stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideverdeling in evenwichtsituatie.



Figuur 3.28: Modelresultaten van aanpassing 23 (maai veld en drain bol hol) met stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideverdeling in evenwichtsituatie.



Figuur 3.29: Modelresultaten van aanpassing 24 (maai veld en drain hol bol) met stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideverdeling in evenwichtsituatie.



Figuur 3.30: Modelresultaten van aanpassing 29 (bebouwing) met stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideverdeling in evenwichtsituatie.

In tabel 3.6 zijn de diktes van zoet en brak regenwaterlenzen tussen drains gegeven bij stationaire bovenrandvoorwaarden. Voor drie aanpassingen zijn (lokaal) geen regenwaterlenzen gesimuleerd. Het betreft aanpassingen 15 (drukhoogte onderrand 9,75 m), 25 (maai veld en drain hol) en 29 (bebouwing). Door het potentiaalverschil tussen freatisch grondwater en de stijghoogte op de onderrand ligt voor aanpassing 15 (drukhoogte onderrand 9,75 m) en 25 (maai veld en drain hol) het grensvlak brak/zout (3000 mg Cl<sup>-</sup>/l) in de onverzadigde zone.

Tabel 3.6 toont dat de chlorideconcentratie in neerslag geen invloed op de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater bij de geteste concentraties van 20 en 70 mg Cl<sup>-</sup>/l (aanpassing 26 en 33). Uit aanpassing 4 (slootafstand 100 m) volgt dat de slootafstand weinig invloed heeft op de dikte van de regenwaterlenzen. De resultaten van aanpassing 5 (slootpeil 2,0 m -mv) en 6 (slootpeil 1,0 m -mv) tonen dat het slootpeil invloed heeft op de grondwaterstand nabij de sloot en hierdoor of drains nabij de sloot waterafvoerend worden. Lokaal wordt hierdoor de dikte van de lenzen beïnvloed (bijlage 4). Uit de resultaten van aanpassing 27 (maai veld bol hol) en 28 (maai veld hol bol) blijkt dat het verloop van het maai veld bij ongewijzigde draindiepte nagenoeg geen invloed heeft op de dikte van de regenwaterlenzen.



Uit tabel 3.6 volgt dat bij het verlagen van de verzadigde doorlatendheid van de bodem de dikte van regenwaterlenzen toeneemt (aanpassing 10, 12 en 13). De oorzaak hiervan is de stijging van de grondwaterstand tussen de drains. Uit tabel 3.6 blijkt dat de dispersielengte invloed heeft op de positie van het grensvlak zoet/brak (1000 mg Cl<sup>-</sup>/l). Bij een afname van de dispersielengte wordt een dikkere zoet regenwaterlens tussen drains gesimuleerd. Tabel 3.6 toont dat de dikte van regenwaterlenzen toeneemt bij het vergroten van de drainafstand (aanpassing 20). Uit de resultaten van het basismodel, aanpassing 31 (onderrand 4,6 m -mv) en 32 (onderrand 30 m -mv) in bijlage 4 en 5 blijkt dat positie van de onderrand de stroming van water in het systeem beïnvloed. Bij een toename van de dikte van de bodem stijgt de kwelintensiteit over de onderrand bij stationaire bovenrandvoorwaarden. Voor aanpassing 31 (onderrand 4,6 m -mv) zijn dikkere zoet en brak regenwaterlenzen berekend dan voor het basismodel (onderrand 10 m -mv). Hieruit blijkt dat de positie van de onderrand invloed heeft op de chlorideconcentratie van het ondiepe grondwater bij stationaire bovenrandvoorwaarden. Uit de resultaten van aanpassing 8 (chlorideconcentratie onderrand 5000 mg Cl<sup>-</sup>/l) en 9 (chlorideconcentratie onderrand 14000 mg Cl<sup>-</sup>/l) blijkt dat bij een toename van de chlorideconcentratie van het diepe grondwater de positie van de grensvlakken zoet/brak en brak/zout richting maaiveld verschuift. Bij een toename van het neerslagoverschot neemt de dikte van de regenwaterlenzen toe (aanpassing 18 en 19). Oorzaak hiervan is de stijging van de grondwaterstand tussen de drains.

Tabel 3.6: Modelresultaten van aanpassingen met stationaire bovenrandvoorwaarden: dikte van brak en zoet regenwaterlenzen tussen drains. Indien niet anders vermeld, betreft het resultaten op 65 m van de sloot.

| aanpassing<br>nummer | omschrijving   | dikte regenwaterlenzen tussen drains (cm) |      |                                    |      |
|----------------------|--|---|------|------------------------------------|------|
|                      |  | zoet (<1000 mg Cl <sup>-</sup> /l)        |      | brak (<3000 mg Cl <sup>-</sup> /l) |      |
| 0                    | basismodel   |   | 4    |                                    | 35   |
| 1                    | draindiepte 0,6 m -mv                                      |   | >200 |                                    | >200 |
| 2                    | draindiepte 1,2 m -mv                                      |   | 0    |                                    | 5    |
| 3                    | drainafstand 20 m  | 70 m:                                     | 44   | 70 m:                              | 80   |
| 4                    | slootafstand 100 m   | 25 m:                                     | 17   | 25 m:                              | 46   |
| 5                    | slootpeil 2,0 m -mv  |   | 1    |                                    | 35   |
| 6                    | slootpeil 1,0 m -mv  |   | 5    |                                    | 36   |
| 7                    | variabel slootpeil   |   |      |                                    |      |
| 8                    | chlorideconcentratie onderrand 5000 mg Cl <sup>-</sup> /l  |   | 28   |                                    | 53   |
| 9                    | chlorideconcentratie onderrand 14000 mg Cl <sup>-</sup> /l |   | 0    |                                    | 16   |
| 10                   | weerstand bodem verdubbeld                                 |   | 31   |                                    | 65   |
| 11                   | weerstand bodem gehalveerd                                 |   | 0    |                                    | 13   |
| 12                   | lokaal slecht doorlatende bodem                            | 15 m:                                     | 74   | 15 m:                              | 133  |
|                      |  | 65 m:                                     | 4    | 65 m:                              | 34   |
| 13                   | isotropie  |   | 73   |                                    | 165  |
| 14                   | drukhoogte onderrand 9,50 m                                |   | 0    |                                    | 5    |
| 15                   | drukhoogte onderrand 9,75 m                                |   | 0    |                                    | 0    |
| 16                   | drukhoogte onderrand 9,00 m                                |   | >200 |                                    | >200 |
| 17                   | variabele drukhoogte onderrand                             |   |      |                                    |      |
| 18                   | neerslagoverschot verlaagd                                 |   | 0    |                                    | 16   |
| 19                   | neerslagoverschot verhoogd                                 |   | 22   |                                    | 51   |
| 20                   | dispersielengte 0,20/0,02 m                                |   | 0    |                                    | 34   |
| 21                   | dispersielengte 0,01/0,001 m                               |   | 13   |                                    | 35   |
| 22                   | maaiveld en drain bol                                      | 55 m;                                     | >200 | 55 m:                              | >200 |
| 23                   | maaiveld en drain bol hol                                  | 25 m:                                     | 62   | 25 m:                              | 118  |
|                      |  | 75 m:                                     | 0    | 75 m:                              | 4    |
| 24                   | maaiveld en drain hol bol                                  | 25 m:                                     | 0    | 25 m:                              | 3    |
|                      |  | 75 m:                                     | >200 | 75 m:                              | >200 |
| 25                   | maaiveld en drain hol                                      | 55 m:                                     | 0    | 55 m:                              | 0    |
| 26                   | chlorideconcentratie neerslag 20 mg Cl <sup>-</sup> /l     |   | 3    |                                    | 35   |
| 27                   | maaiveld bol hol   | 25 m:                                     | 14   | 25 m:                              | 42   |
|                      |  | 75 m:                                     | 13   | 75 m:                              | 42   |
| 28                   | maaiveld hol bol   | 25 m:                                     | 10   | 25 m:                              | 40   |
|                      |  | 75 m:                                     | 5    | 75 m:                              | 33   |
| 29                   | bebouwing  | 15 m:                                     | 0    | 15 m;                              | 0    |
|                      |  | 65 m:                                     | 3    | 65 m:                              | 35   |
| 31                   | onderrand 4,6 m -mv  |   | 32   |                                    | 50   |
| 32                   | onderrand 30 m -mv   |   |      |                                    |      |
| 33                   | chlorideconcentratie neerslag 70 mg Cl <sup>-</sup> /l     |   | 4    |                                    | 35   |

Uit tabel 3.6 en figuren 3.24 t/m 3.30 volgt dat bij stationaire bovenrandvoorwaarden het afdekken van het maaiveld de grootste invloed heeft op de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater gevolgd door drukhoogte op de onderrand en draandiepte. Bodemeigenschappen (doorlatendheid, dispersielengte) hebben een grotere invloed op de dikte van regenwaterlenzen dan drainafstand, positie van onderrand, chlorideconcentratie van diepe grondwater en neerslagoverschot. De chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater wordt in (zeer) geringe mate beïnvloed door de chlorideconcentratie in neerslag, slootafstand, slootpeil en het maaiveldverloop.

### ***Wortelzone***

In de modelstudie is de wortelzone gedefinieerd als de bovenste 50 cm van het bodemprofiel. In het basismodel en 28 van de 30 aanpassingen is over de gehele lengte van het perceel zoet bodemvocht in de wortelzone gesimuleerd bij stationaire bovenrandvoorwaarden. Brak bodemvocht in de wortelzone is voor aanpassing 15 (drukhoogte onderrand 9,75 m) berekend. Zout bodemvocht is lokaal gesimuleerd voor aanpassing 29 (bebouwing).

### **3.3.3 Aanpassingen op het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden**

In deze paragraaf worden de modelresultaten van de aanpassingen met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden besproken. Hierbij zal alleen ingegaan worden op resultaten die betrekking hebben op regenwaterlenzen in het ondiepe grondwater en chlorideconcentratie van het bodemvocht.

In bijlage 6 zijn aanvullende modelresultaten van de aanpassingen met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden gegeven. In deze bijlage is onderscheid gemaakt tussen een droog (1976), gemiddeld (1976-1981) en een nat (1981) jaar. De modelresultaten in bijlage 6 hebben geen betrekking op de onderzoeksvragen in deze studie en zullen daarom hier niet behandeld worden.

### ***Ondiep grondwater***

Om vast te stellen of er een regenwaterlens wordt gesimuleerd zijn gegevens nodig over de grondwaterstand en de positie van het grensvlak zoet/brak of brak/zout. Het vergaren van gegevens over de positie van het grensvlakken is zeer tijdrovend omdat informatie niet direct uit de uitvoerbestanden van Hydrus-2D kan worden gehaald. De positie kan alleen grafisch worden bepaald met behulp van de 'graphical user interface' van Hydrus-2D. Bij het interpreteren van de modelresultaten is daarom gebruik gemaakt van de gegevens over de totale hoeveelheid chloride in het systeem in plaats van de dikte van regenwaterlenzen. Uit de resultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is gebleken dat er voor het basismodel een verband bestaat tussen de totale hoeveelheid chloride in het systeem en de positie van het grensvlakken zoet/brak (1000 mg Cl<sup>-</sup>/l) en brak/zout (3000 mg Cl<sup>-</sup>/l) (figuren 3.15 en 3.16). Bij een toename van de totale hoeveelheid chloride in het systeem verschuiven de grensvlakken richting het maaiveld. Bij het analyseren van de modelresultaten is de grondwaterstand buiten beschouwing gelaten. Omdat de grondwaterstand en de exacte positie van het grensvlak zoet/brak en brak/zout niet meegenomen zijn in de analyse, kan slechts gestede worden of er zoet en brak regenwaterlenzen zijn gesimuleerd.

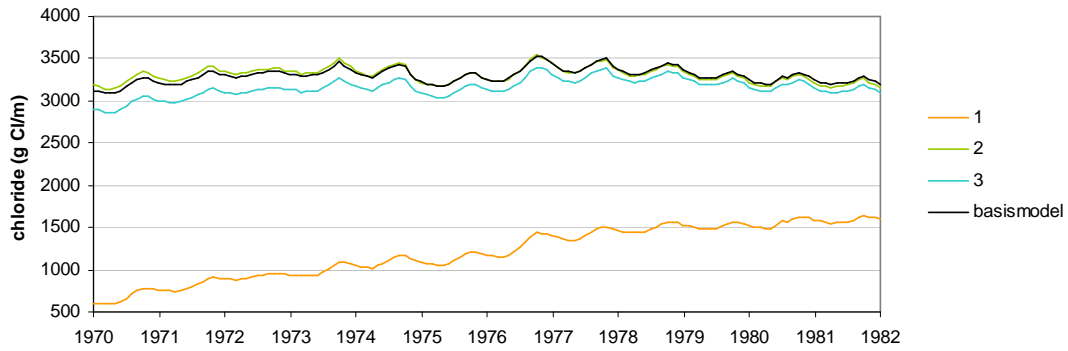
In figuren 3.31 t/m 3.40 is het verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd weergegeven voor het basismodel en de aanpassingen met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. Uit de figuren blijkt dat enkele aanpassingen zich anders gedragen dan het basismodel en de overige aanpassingen. De totale hoeveelheid chloride in het systeem neemt voor aanpassingen 1 (draandiepte 0,6 m -mv), 16 (drukhoogte onderrand 9,00 m), 22 (maaiveld en drain bol), 24 (maaiveld en drain hol bol) ieder jaar toe terwijl bij het basismodel vanaf 1977 een lichte daling is te zien. Hieruit volgt dat over de gehele periode van twaalf jaar de modelresultaten van deze vier aanpassingen worden beïnvloed door de beginvoorwaarden. Voor de vier aanpassingen is bij stationaire bovenrandvoorwaarden (lokaal) wegzijging over de onderrand gemodelleerd. Uit de toename van de hoeveelheid chloride in het systeem bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden blijkt dat er ook kwel over de onderrand wordt gesimuleerd.

Voor alle aanpassingen met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden geldt dat de beginvoorwaarden de modelresultaten tijdelijk beïnvloeden. In tabel 3.7 is per aanpassing een schatting gemaakt voor de lengte van deze periode.

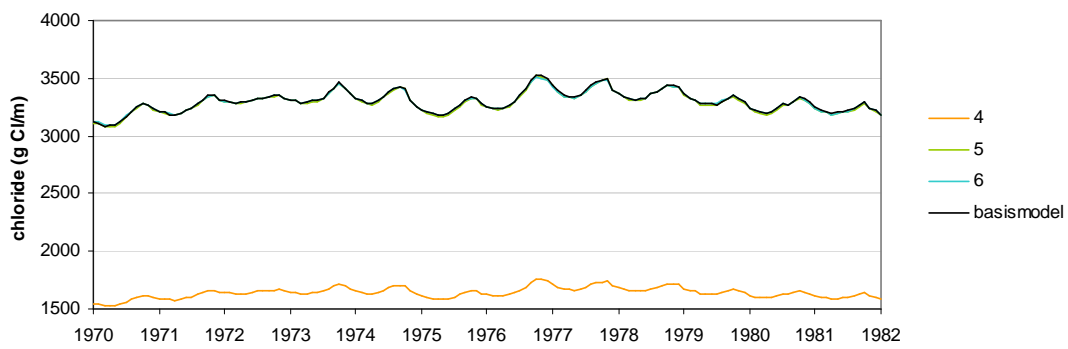
Uit de figuren 3.31 t/m 3.40 blijkt dat de totale hoeveelheid chloride in het systeem voor enkele aanpassingen sterk overeenkomt met het basismodel. Dit geldt voor aanpassingen 2 (draindiepte 1,2 m -mv), 5 (slootpeil 2,0 m -mv), 6 (slootpeil 1.0 m -mv), 17 (variabele drukhoogte onderrand), 25 (maaiveld en drain hol), 26 (chlorideconcentratie neerslag 20 mg Cl<sup>-</sup>/l), 27 (maaiveld bol hol) en 28 (maaiveld hol bol). Voor zes aanpassingen is de totale hoeveelheid chloride in het systeem hoger dan in het basismodel: 9 (chlorideconcentratie onderrand 14000 mg Cl<sup>-</sup>/l), 11 (weerstand bodem gehalveerd), 14 (drukhoogte onderrand 9,50 m), 15 (drukhoogte onderrand 9,75 m), 18 (neerslagoverschot verminderd) en 20 (dispersielengte 0,20/0,02 m). Voor de twaalf overige aanpassingen is de totale hoeveelheid chloride in het systeem (vermoedelijk ook zonder invloed van de beginvoorwaarden) lager: 1 (draindiepte 0,6 m -mv), 3 (drainafstand 20 m), 4 (slootafstand 100 m), 8 (chlorideconcentratie onderrand 5000 mg Cl<sup>-</sup>/l), 10 (weerstand bodem verdubbeld), 16 (drukhoogte onderrand 9,00 m), 19 (neerslagoverschot vermeerderd), 21 (dispersielengte 0,01/0,001 m), 22 (maaiveld en drain bol), 23 (maaiveld en drain bol hol), 24 (maaiveld en drain hol bol) en 31 (onderrand 4,6 m -mv). Voor aanpassing 4 (slootafstand 100 m) en 31 (onderrand 4,6 m -mv) wijken de afmetingen van het perceel sterk af van het basismodel waardoor voor deze aanpassingen de totale hoeveelheid chloride lager is dan voor het basismodel.

Uit de gegevens over de aanpassingen met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is per aanpassing een schatting gemaakt of regenwaterlenzen kunnen worden gesimuleerd (zonder invloed van de beginvoorwaarden). Hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen lenzen die constant, periodiek of zelden (bij een nat winter/voorjaar) worden gemodelleerd. In tabel 3.7 zijn de resultaten gegeven. Voor het basismodel wordt verwacht dat brak regenwaterlenzen kunnen worden gesimuleerd maar dat het grensvlak zoet/brak (1000 mg Cl<sup>-</sup>/l) zich immer boven de grondwaterspiegel bevindt. Zoet regenwaterlenzen worden verwacht bij aanpassing 1 (draindiepte 0,6 m -mv), 3 (drainafstand 20 m), 16 (drukhoogte onderrand 9,00 m), 19 (neerslagoverschot vermeerderd), 21 (dispersielengte 0,01/0,001 m), 22 (maaiveld en drain bol), 23 (maaiveld en drain bol hol), 24 (maaiveld en drain hol bol) en 31 (onderrand 4,6 m -mv). Verwacht wordt dat regenwaterlenzen ontbreken voor aanpassing 2 (draindiepte 1,2 m -mv), 14 (drukhoogte onderrand 9,50 m), 15 (drukhoogte onderrand 9,75 m) en 20 (dispersielengte 0,20/0,02 m).

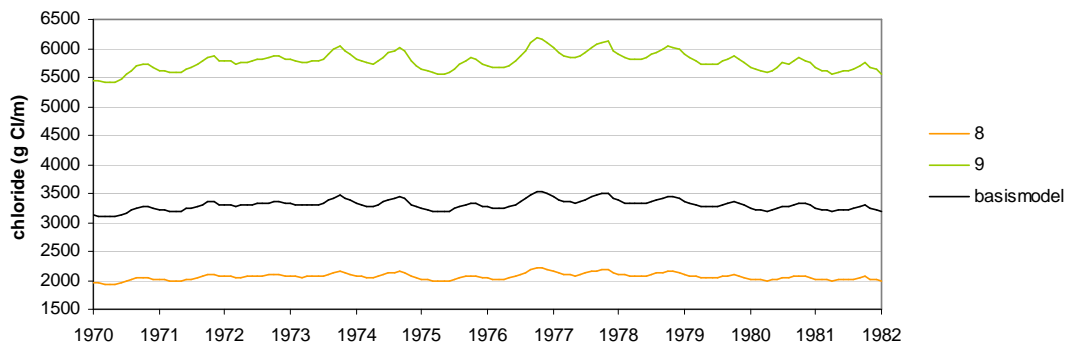
Samengevat wordt verwacht dat neerslagoverschot, draindiepte, drukhoogte onderrand, dispersielengte en drainafstand van de geteste parameters de meeste invloed op de chlorideconcentratie hebben bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. Met uitzondering van de dispersielengte beïnvloeden deze parameters het stijghoogteverschil tussen onderrand en freatisch grondwater. Het stijghoogteverschil bepaald de invloed van de zoute kwel op het ondiepe grondwater. Bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden wordt verwacht dat chlorideconcentratie in het diepe grondwater, doorlatendheid van de bodem en positie van de onderrand minder invloed hebben op de vorming van neerslaglenzen dan de eerder genoemde parameters. Verwacht wordt dat chlorideconcentratie in neerslag, maaiveldverloop, variabele drukhoogte op de onderrand, slootpeil en slootafstand een minimale invloed hebben op de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater.



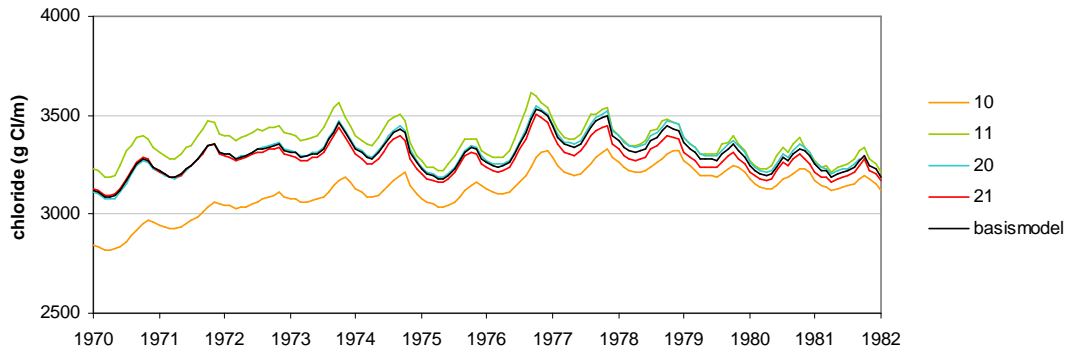
Figuur 3.31: Modelresultaten van aanpassing 1 (draindiepte 0,6 m -mv), 2 (draindiepte 1,2 m -mv) en 3 (drainafstand 20 m) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd.



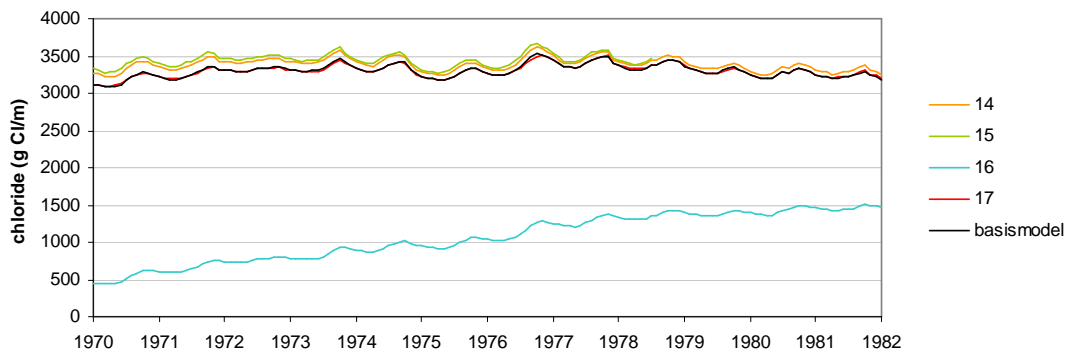
Figuur 3.32: Modelresultaten van aanpassing 4 (slootafstand 100 m), 5 (slootpeil 2,0 m -mv) en 6 (slootpeil 1.0 m -mv) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd.



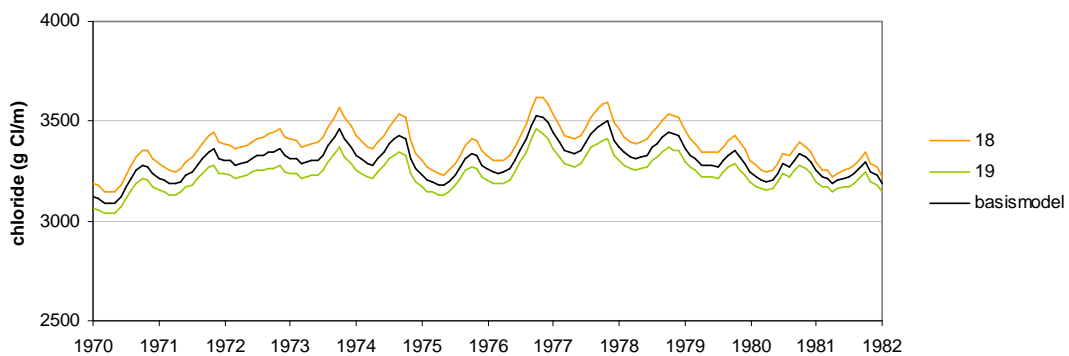
Figuur 3.33: Modelresultaten van aanpassing 8 (chlorideconcentratie onderrand 5000 mg Cl<sup>-</sup>/l) en 9 (chlorideconcentratie onderrand 14000 mg Cl<sup>-</sup>/l) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd.



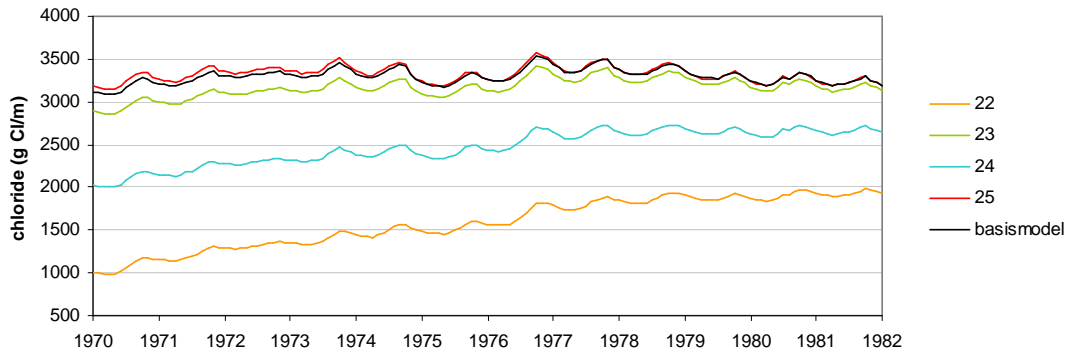
Figuur 3.34: Modelresultaten van aanpassing 10 (weerstand bodem verdubbeld), 11 (weerstand bodem gehalveerd), 20 (dispersielengte 0,2/0,02 m) en 21 (dispersielengte 0,01/0,001 m) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd.



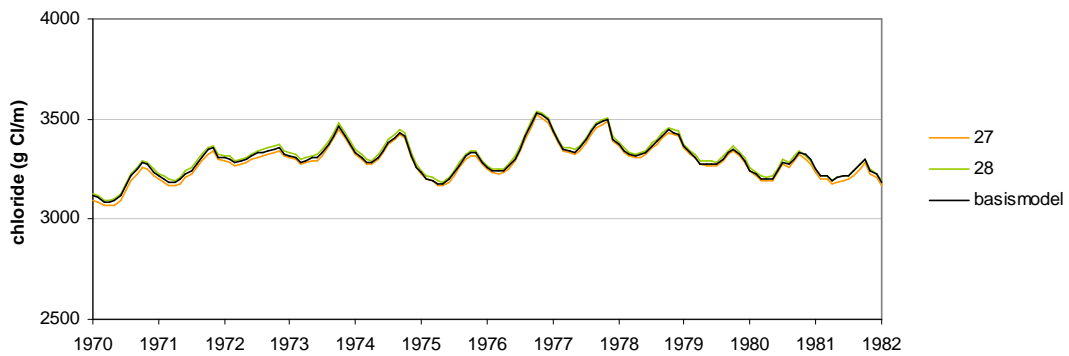
Figuur 3.35: Modelresultaten van aanpassing 14 (drukhoogte onderrand 9,50 m), 15 (drukhoogte onderrand 9,75 m), 16 (drukhoogte onderrand 9,00) en 17 (variabele drukhoogte onderrand) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd.



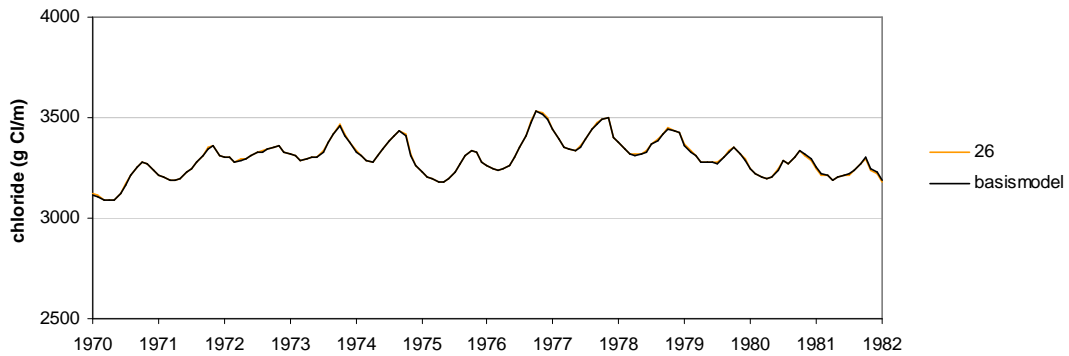
Figuur 3.36: Modelresultaten van aanpassing 18 (neerslagoverschot verminderd) en 19 (neerslagoverschot vermeerderd) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd.



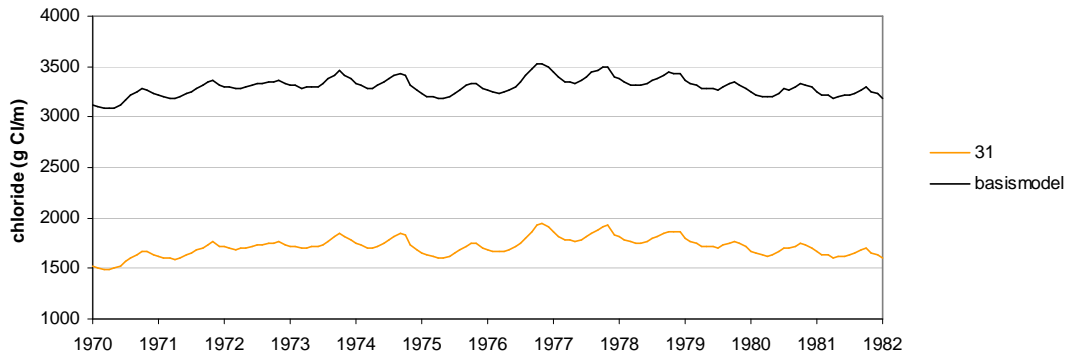
Figuur 3.37: Modelresultaten van aanpassing 22 (maaiveld en drain bol), 23 (maaiveld en drain bol hol) en 24 (maaiveld en drain hol bol) en 25 (maaiveld en drain hol) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd.



Figuur 3.38: Modelresultaten van aanpassing 27 (maaiveld bol hol) en 28 (maaiveld hol bol) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd.



Figuur 3.39: Modelresultaten van aanpassing 26 (chlorideconcentratie neerslag 20 mg Cl<sup>-</sup>/l) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd.



Figuur 3.40: Modelresultaten van aanpassing 31 (onderrand 4,6 m -mv) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: verloop van de totale hoeveelheid chloride in de tijd.

Tabel 3.7: Geschatte uitkomsten voor aanpassingen op het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden waarbij beginvoorwaarden een minimale invloed hebben op de resultaten. In de kolom 'invloed initiële condities' is een schatting gegeven voor de lengte van de periode waarin de beginvoorwaarden de modelresultaten beïnvloeden. In de kolom 'regenwaterlenzen' is een schatting gegeven of regenwaterlenzen tussen de drains (zelden, periodiek, permanent) voor de betreffende aanpassing worden gesimuleerd vanaf de periode dat beginvoorwaarden een minimale invloed hebben op de modelresultaten.

| aanpassing<br>nummer | omschrijving   | invloed initiële<br>condities (jaren) | regenwaterlenzen |      |
|----------------------|--|---------------------------------------|------------------|------|
|                      |  |                                       | zoet             | brak |
| 0                    | basismodel   | 6                                     | nee              | ja   |
| 1                    | draindiepte 0,6 m -mv                                      | > 12                                  | ja               | ja   |
| 2                    | draindiepte 1,2 m -mv                                      | 6                                     | nee              | nee  |
| 3                    | drainafstand 20 m  | 6                                     | ja               | ja   |
| 4                    | slootafstand 100 m   | 6                                     | nee              | ja   |
| 5                    | slootpeil 2,0 m -mv  | 6                                     | nee              | ja   |
| 6                    | slootpeil 1,0 m -mv  | 6                                     | nee              | ja   |
| 7                    | variabel slootpeil   |                                       |                  |      |
| 8                    | chlorideconcentratie onderrand 5000 mg Cl <sup>-</sup> /l  | 6                                     | ?                | ja   |
| 9                    | chlorideconcentratie onderrand 14000 mg Cl <sup>-</sup> /l | 6                                     | nee              | ?    |
| 10                   | weerstand bodem verdubbeld                                 | 12                                    | ?                | ja   |
| 11                   | weerstand bodem gehalveerd                                 | 6                                     | nee              | ?    |
| 12                   | lokaal slecht doorlatende bodem                            |                                       |                  |      |
| 13                   | isotropie  |                                       |                  |      |
| 14                   | drukhoogte onderrand 9,50 m                                | 3                                     | nee              | nee  |
| 15                   | drukhoogte onderrand 9,75 m                                | 3                                     | nee              | nee  |
| 16                   | drukhoogte onderrand 9,00 m                                | > 12                                  | ja               | ja   |
| 17                   | variabele drukhoogte onderrand                             | 6                                     | nee              | ja   |
| 18                   | neerslagoverschot verlaagd                                 | 6                                     | nee              | ?    |
| 19                   | neerslagoverschot verhoogd                                 | 6                                     | ja               | ja   |
| 20                   | dispersielengte 0,20/0,02 m                                | 6                                     | nee              | nee  |
| 21                   | dispersielengte 0,01/0,001 m                               | 6                                     | ja               | ja   |
| 22                   | maaiveld en drain bol                                      | > 12                                  | ja               | ja   |
| 23                   | maaiveld en drain bol hol                                  | 6                                     | ja               | ja   |
| 24                   | maaiveld en drain hol bol                                  | > 12                                  | ja               | ja   |
| 25                   | maaiveld en drain hol                                      | 6                                     | nee              | ja   |
| 26                   | chlorideconcentratie neerslag 20 mg Cl <sup>-</sup> /l     | 6                                     | nee              | ja   |
| 27                   | maaiveld bol hol   | 6                                     | nee              | ja   |
| 28                   | maaiveld hol bol   | 6                                     | nee              | ja   |
| 29                   | bebouwing  |                                       |                  |      |
| 31                   | onderrand 4,6 m -mv  | 6                                     | ja               | ja   |
| 32                   | onderrand 30 m -mv   |                                       |                  |      |
| 33                   | chlorideconcentratie neerslag 70 mg Cl <sup>-</sup> /l     |                                       |                  |      |

### **Wortelzone**

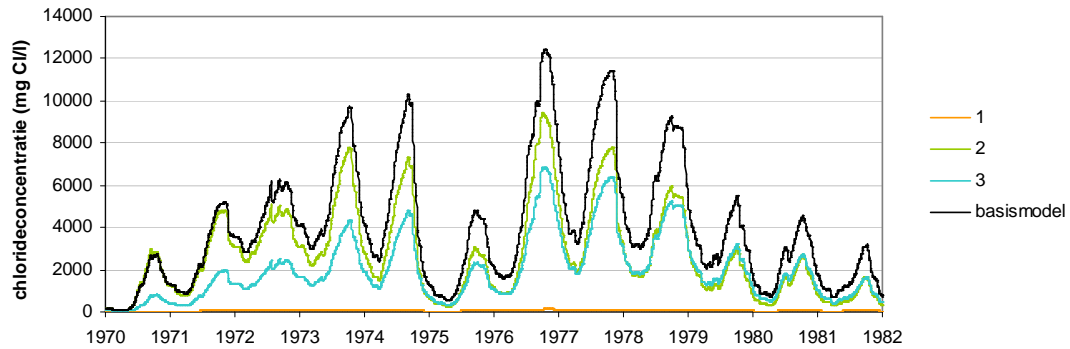
In figuren 3.41 t/m 3.50 is het verloop van de chlorideconcentratie in de tijd op 50 cm -mv tussen drains gegeven. De figuren geven het verloop van de chlorideconcentratie op één punt in de wortelzone. Uit figuur 3.13 is gebleken dat voor het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden de ruimtelijke verschillen in de chlorideconcentratie op 50 cm -mv groot kunnen zijn. Dit betekent dat enige onzekerheid zit in de resultaten van het basismodel en de aanpassingen op het basismodel met betrekking tot de chlorideconcentratie op 50 cm -mv.

Uit de resultaten van het basismodel is gebleken dat de chlorideconcentratie in de wortelzone in de tijd sterk fluctueert bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. Uit figuren 3.41 t/m 3.50 volgt dat dit ook geldt voor de meeste aanpassingen op het basismodel. Uitzondering hierop zijn aanpassing 1 (draindiepte 0,6 m -mv), 16 (drukhoogte onderrand 9,00 m), 22 (maaiveld en drain bol) en 24 (maaiveld en drain hol bol). Bij deze aanpassingen blijft de chlorideconcentratie op 50 cm -mv beneden 400 mg Cl<sup>-</sup>/l. Het ondiepe grondwater is voor deze vier aanpassingen (lokaal) zoet over de gehele gemodelleerde periode. Uit tabel 3.7 volgt dat de resultaten van deze aanpassingen waarschijnlijk over de hele periode worden beïnvloed door de initiële condities.

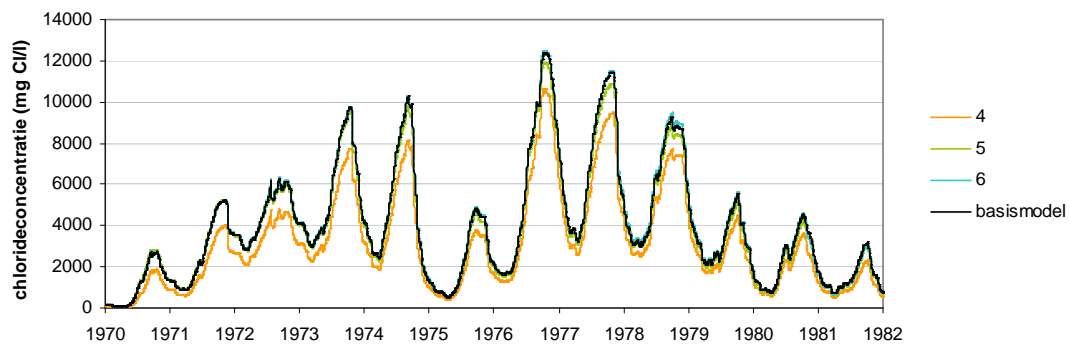
Uit figuren 3.41 t/m 3.50 blijkt dat voor zeven aanpassingen de chlorideconcentratie op 50 cm -mv nagenoeg overeenkomt met het basismodel als de beginvoorwaarden geen invloed meer hebben op de modelresultaten. Het betreft aanpassingen 5 (slootpeil 2,0 m -mv), 6 (slootpeil 1,0 m -mv), 10 (weerstand bodem verdubbeld), 11 (weerstand bodem gehalveerd), 17 (variabele drukhoogte onderrand), 25 (maaiveld en drain hol) en 26 (chlorideconcentratie neerslag 20 mg Cl<sup>-</sup>/l). Voor aanpassingen 27 (maaiveld bol hol) en 28 (maaiveld hol bol) is de chlorideconcentratie op de 'heuvels' gelijk aan het basismodel. Voor de 'dalen' is in beide aanpassingen een lagere chlorideconcentratie in de zomerperiode berekend (figuur 3.48). Een lagere chlorideconcentratie dan in het basismodel is voor 12 van de 26 aanpassingen berekend: 1 (draindiepte 0,6 m -mv), 2 (draindiepte 1,2 m -mv), 3 (drainafstand 20 m), 4 (slootafstand 100 m), 8 (chlorideconcentratie onderrand 5000 mg Cl<sup>-</sup>/l), 16 (drukhoogte onderrand 9,00 m), 19 (neerslagoverschot vermeerderd), 21 (dispersielengte 0,01/0,001 m), 22 (maaiveld en drain bol), 23 (maaiveld en drain bol hol), 24 (maaiveld en drain hol bol), 31 (onderrand 4,6 m -mv). Voor vijf aanpassingen is een hogere chlorideconcentratie gesimuleerd: 9 (chlorideconcentratie onderrand 14000 mg Cl<sup>-</sup>/l), 14 (drukhoogte onderrand 9,50 m), 15 (drukhoogte onderrand 9,75 m), 18 (neerslagoverschot verminderd), 20 (dispersielengte 0,20/0,02 m).

Uit de resultaten volgt dat aanpassingen die de invloed van kwel op het ondiepe grondwater sterk verminderen de grootste invloed hebben op de chlorideconcentratie in de wortelzone. Deze aanpassingen hebben betrekking op de drukhoogte op de onderrand en de draindiepte (aanpassing 1, 16, 22, 24). Uit de fluctuatie van de chlorideconcentratie in de tijd en uit aanpassingen 18 (neerslagoverschot verminderd) en 19 (neerslagoverschot vermeerderd) volgt dat het neerslagoverschot de chlorideconcentratie op 50 cm -mv sterk beïnvloed. Bij een toename van het neerslagoverschot daalt de chlorideconcentratie in de wortelzone. Daarnaast zijn de dispersielengte, chlorideconcentratie van het diepe grondwater, drainafstand, draindiepte, positie van de onderrand en het maaiveldverloop (dikte van de onverzadigde zone) belangrijke parameters. Opvallend is dat een afname van de chlorideconcentratie bij zowel een toename (aanpassing 2) als een afname (aanpassing 27 en 28) van de dikte van de onverzadigde zone in de resultaten zichtbaar is. Een verklaring hiervoor ontbreekt. In de situatie dat het aanpassen van de drukhoogte op de onderrand niet leidt tot wegzijging over de onderrand, heeft het aanpassen van de drukhoogte nauwelijks invloed op de chlorideconcentratie in de wortelzone. Uit de figuren blijkt dat ook de invloed van de volgende parameters klein is: doorlatendheid van de bodem, slootpeil, slootafstand en chlorideconcentratie in neerslag.

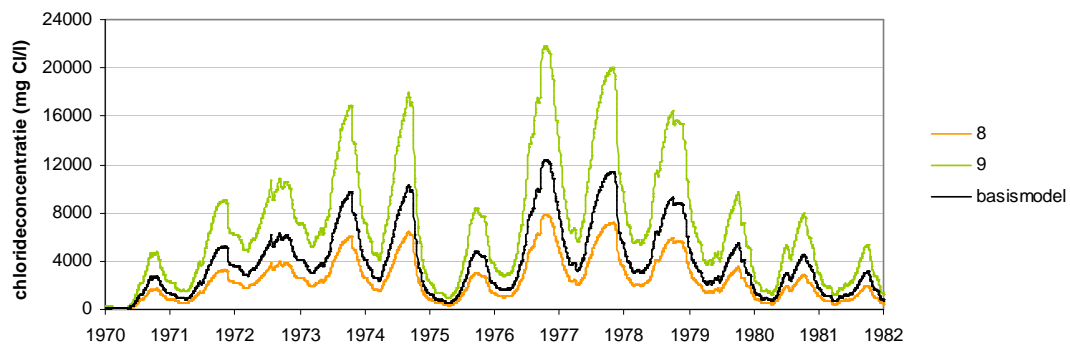




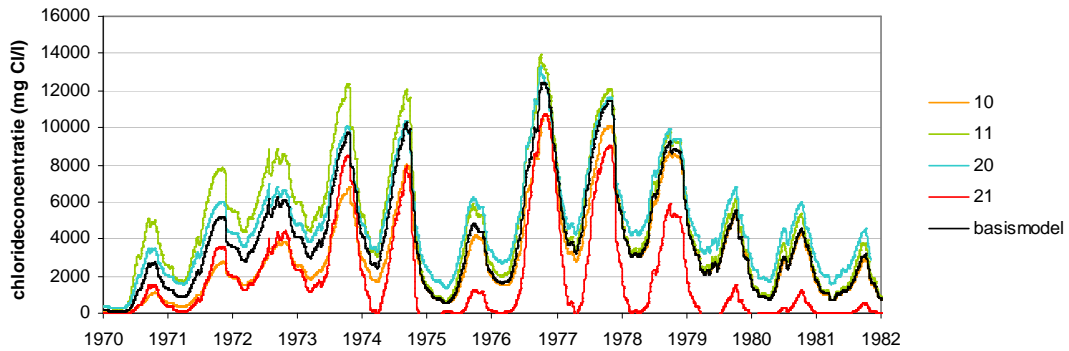
Figuur 3.41: Modelresultaten van aanpassing 1 (draindiepte 0,6 m -mv), 2 (draindiepte 1,2 m -mv) en 3 (drainafstand 20 m) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratie op 50 cm -mv (basismodel en aanpassing 1 en 2 op 65 m van de sloot; aanpassing 3 op 70 m van de sloot).



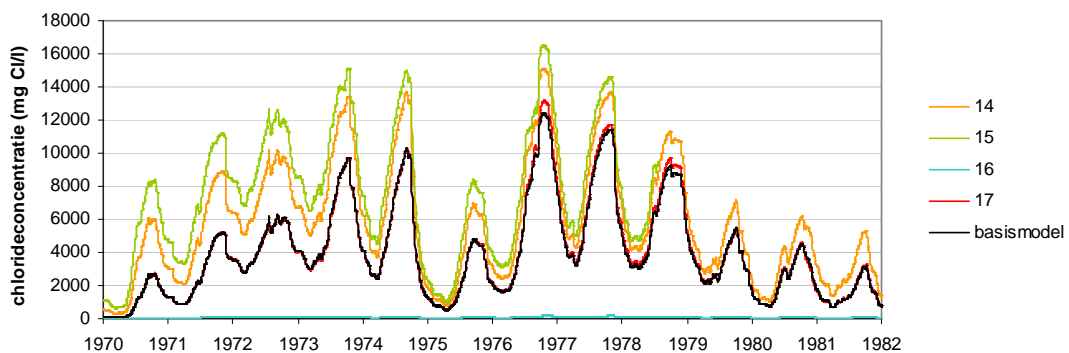
Figuur 3.42: Modelresultaten van aanpassing 4 (slootafstand 100 m), 5 (slootpeil 2,0 m -mv) en 6 (slootpeil 1.0 m -mv) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratie op 50 cm -mv (basismodel en aanpassing 5 en 6 op 65 m van de sloot; aanpassing 4 op 25 m van de sloot).



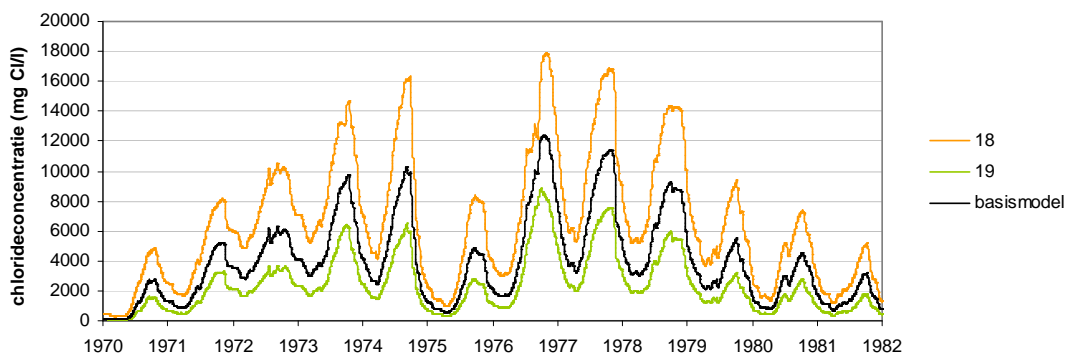
Figuur 3.43: Modelresultaten van aanpassing 8 (chlorideconcentratie onderrand 5000 mg Cl<sup>-</sup>/l) en 9 (chlorideconcentratie onderrand 14000 mg Cl<sup>-</sup>/l) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratie op 50 cm -mv (65 m van de sloot).



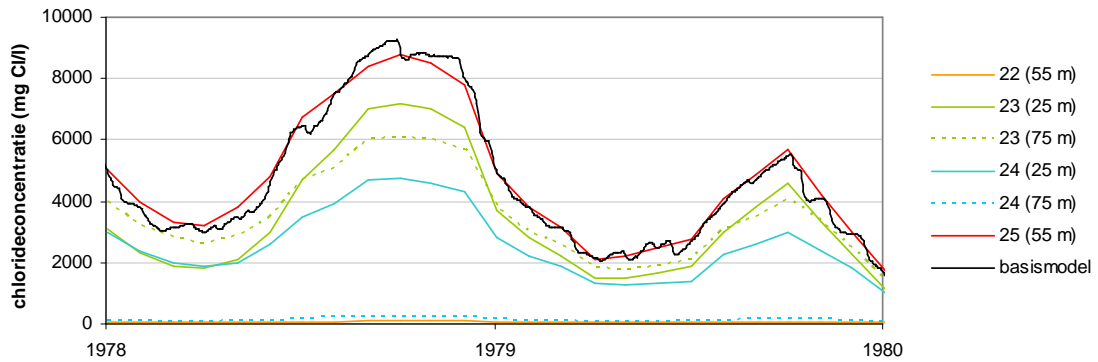
Figuur 3.44: Modelresultaten van aanpassing 10 (weerstand bodem verdubbeld), 11 (weerstand bodem gehalveerd), 20 (dispersielengte 0,2/0,02 m) en 21 (dispersielengte 0,01/0,001 m) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratie op 50 cm -mv (65 m van de sloot).



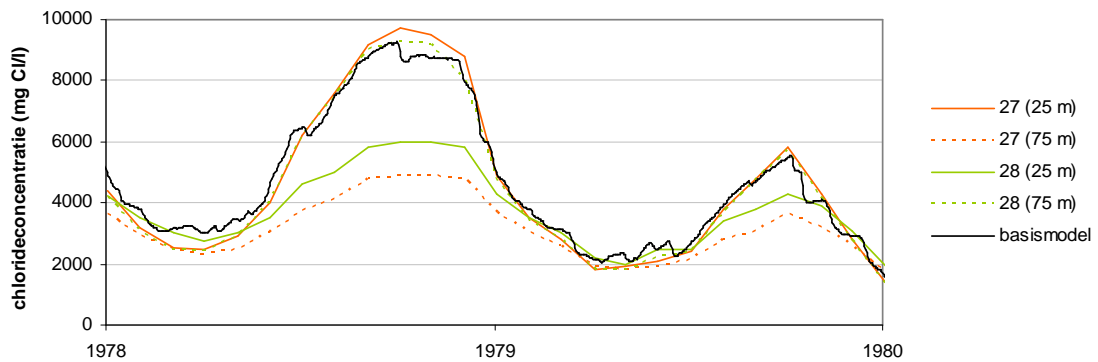
Figuur 3.45: Modelresultaten van aanpassing 14 (drukhoogte onderrand 9,50 m), 15 (drukhoogte onderrand 9,75 m), 16 (drukhoogte onderrand 9,00) en 17 (variabele drukhoogte onderrand) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratie op 50 cm -mv (65 m van de sloot).



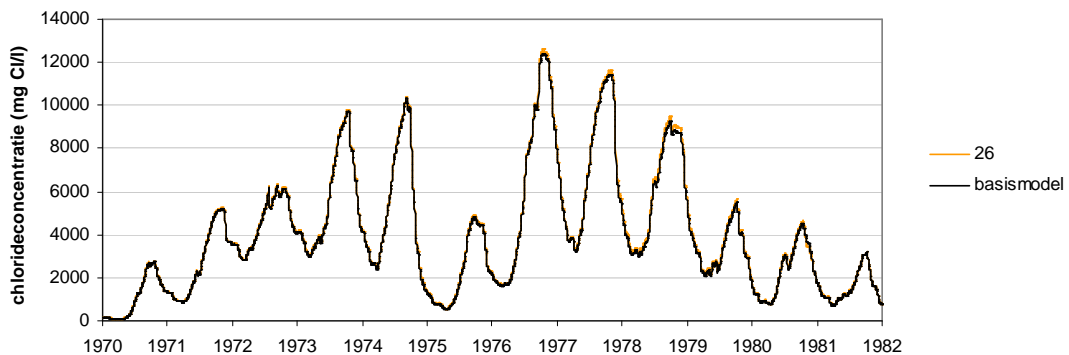
Figuur 3.46: Modelresultaten van aanpassing 18 (neerslagoverschot verminderd) en 19 (neerslagoverschot vermeerderd) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratie op 50 cm -mv (65 m van de sloot).



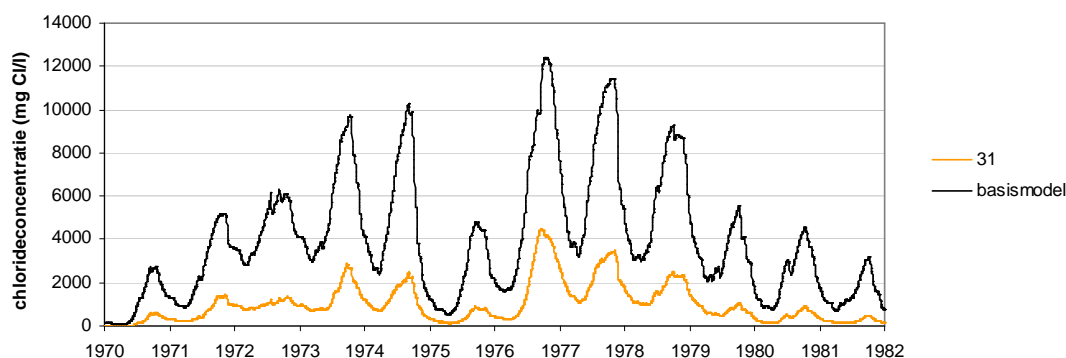
Figuur 3.47: Modelresultaten van aanpassing 22 (maaiveld en drain bol), 23 (maaiveld en drain bol hol), 24 (maaiveld en drain hol bol) en 25 (maaiveld en drain hol) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratie op 50 cm -mv (basismodel op 65 m van de sloot; aanpassing 22 en 25 op 55 m van de sloot; aanpassingen 23 en 24 op 25 m en 75 m van de sloot).



Figuur 3.48: Modelresultaten van aanpassing 27 (maaiveld bol hol) en 28 (maaiveld hol bol) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratie op 50 cm -mv (basismodel op 65 m van de sloot; aanpassing 27 en 28 op 25 m en 75 m van de sloot).



Figuur 3.49: Modelresultaten van aanpassing 26 (chlorideconcentratie neerslag 20 mg Cl<sup>-</sup>/l) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratie op 50 cm -mv (65 m van de sloot).



Figuur 3.50: Modelresultaten van aanpassing 31 (onderrand 4,6 m -mv) met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden: chlorideconcentratie op 50 cm -mv (65 m van de sloot).

### 3.4 Discussie en conclusie

Uit de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden is gebleken dat de dikte van regenwaterlenzen bij deze bovenrandvoorwaarden sterk wordt beïnvloed door het stijghoogteverschil tussen de onderrand en het freatische grondwater tussen drains. Belangrijke parameters die hiermee samenhangen zijn drukhoogte onderrand, draindiepte en doorlatendheid van de bodem. Daarnaast bleek het afdekken van het maaiveld en de dispersielengte een grote invloed op de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater te hebben. Voor het basismodel en de meeste aanpassingen op het basismodel zijn regenwaterlenzen tussen waterafvoerende drains gesimuleerd.

Bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden wordt verwacht dat de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater vooral bepaald wordt door het neerslagoverschot, draindiepte, drukhoogte onderrand, dispersielengte en drainafstand. Uit de resultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is gebleken dat de positie van het grensvlak zoet/brak (1000 mg Cl<sup>-</sup>/l) sterk beïnvloed wordt door het neerslagoverschot. Bij een negatief neerslagoverschot verplaats het grensvlak zich richting maaiveld. Voor de aanpassingen op het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is niet vastgesteld of regenwaterlenzen zijn gemodelleerd. Voor het basismodel is vastgesteld dat in de winterperiode van 1970, 1971, 1975, 1980 en 1981 brak regenwaterlenzen zijn gesimuleerd. Uit de resultaten van het basismodel bleek dat er voor het basismodel een verband bestaat tussen de positie van het grensvlak tussen drains en de totale hoeveelheid chloride in het systeem. Bij het analyseren van de modelgegevens van de aanpassingen op het basismodel is daarom slechts gekeken naar de totale hoeveelheid chloride in het systeem.

De chlorideconcentratie op 50 cm -mv bleek bij stationaire bovenrandvoorwaarden niet sterk te worden beïnvloed door de aanpassingen op het basismodel. Voor 28 van de 30 aanpassingen op het basismodel en het basismodel werd zoet (<1000 mg Cl<sup>-</sup>/l) bodemvocht in de wortelzone berekend. Het afdekken van het maaiveld leidde tot zout (>3000 mg Cl<sup>-</sup>/l) bodemvocht; een drukhoogte van 9,75 m ipv 9,25 m op de onderrand resulteerde in brak (1000 - 3000 mg Cl<sup>-</sup>/l) bodemvocht op 50 cm -mv.

Uit de resultaten van het basismodel met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is gebleken dat de chlorideconcentratie in het bodemvocht op 50 cm -mv in ruimte en tijd sterk varieert. De grote ruimtelijk variatie wordt mogelijk veroorzaakt door de afmetingen van de elementen in de onverzadigde zone. Met het basismodel is voor de zomerperioden brak tot zout bodemvocht op 50 cm -mv gesimuleerd; voor de winterperioden zoet tot zout. Uit de aanpassingen op het basismodel is gebleken dat bij zoet ondiep grondwater het bodemvocht in de onverzadigde zone gedurende het hele jaar zoet blijft. Dit is gerelateerd aan de drukhoogte op de onderrand en de draindiepte. Belangrijke parameters voor de chlorideconcentratie op 50 cm -mv bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden zijn:

neerslagoverschot, chlorideconcentratie van diep grondwater, dispersielengte, positie onderrand, draindiepte en de dikte van de onverzadigde zone (maaiveldverloop). Uit de resultaten is geen duidelijk verband gevonden tussen chlorideconcentratie op 50 cm -mv en de dikte van de onverzadigde zone: zowel bij afname als toename van de dikte van de onverzadigde zone is een afname in de chlorideconcentratie gesimuleerd.

Uit de resultaten is gebleken dat nagenoeg dezelfde parameters grote invloed hebben op de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater en de wortelzone bij stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. In de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is het neerslagoverschot echter van groter belang dan bij stationaire bovenrandvoorwaarden. Bij stationaire bovenrandvoorwaarden is de doorlatendheid van de bodem van groter belang dan bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. Slootafstand, slootpeil en chlorideconcentratie in neerslag hebben een te verwaarlozen invloed op de modelresultaten bij stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden.

Bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is de fluctuatie van de chlorideconcentratie in de onverzadigde zone sterker dan in de verzadigde zone. Voor het basismodel is op 2 m -mv (verzadigde zone) de invloed van neerslag op de chlorideconcentratie bijna te verwaarlozen. Stijging van de chlorideconcentratie in het bodemvocht wordt in het basismodel vooral veroorzaakt door capillaire opstijging van grondwater en door opname van bodemvocht door planten waardoor de chlorideconcentratie in het resterende bodemvocht stijgt.

In de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden zijn de resultaten van de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden geïmporteerd als beginvoorwaarde. Uit de modelstudie is gebleken dat de resultaten van simulaties met stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden sterk van elkaar afwijken. De chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater en de wortelzone wordt onderschat in simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden. Hierdoor worden de modelresultaten van de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden voor een bepaalde periode beïnvloed door de initiële condities. Voor het basismodel is geschat dat na zes jaar de invloed de begincondities te verwaarlozen is. Geschat is dat voor vier aanpassingen op het basismodel de beginvoorwaarden de modelresultaten langer dan twaalf jaar beïnvloeden. Het betreft aanpassingen waarbij bij stationaire bovenrandvoorwaarden (lokaal) wegzijging over de onderrand is gesimuleerd in plaats van kwel. Door de invloed van de beginvoorwaarden op de modelresultaten van simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden is enige voorzichtigheid bij het analyseren van de resultaten geboden. Het is daarom aan te bevelen om de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden met een langere tijdreeks van verdampings- en neerslaggegevens door te rekenen.

Door enkele aannames in het basismodel en in de aanpassingen op het basismodel zijn de resultaten mogelijk niet geheel representatief voor de werkelijke situatie in het veld. Een belangrijke tekortkoming in de modelstudie is het ontbreken van dichtheidstroming door de keuze voor Hydrus-2D. Daarnaast is uit de modelstudie gebleken dat de positie van de onderrand de waterstroming en de chlorideverdeling in het systeem beïnvloed. De keuze voor de positie van de onderrand in het basismodel is gebaseerd op de diepte waarop regenwater geen invloed meer zou hebben op de chlorideconcentratie in het grondwater. Hierdoor is geen rekening gehouden met de gevolgen die de positie van de onderrand heeft op de resultaten. Naast de positie van de onderrand is mogelijk ook de drukhoogteverdeling op de onderrand niet correct. In het basismodel is geen rekening gehouden met de invloed van slootpeil en freatisch grondwaterstand op de stijghoogteverdeling in het diepe grondwater. Over de hele lengte van de onderrand is dezelfde drukhoogte toegekend. Modelresultaten tonen dat in de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden de potentiële verdamping (Makkink referentiegewasverdamping) nauwelijks gereduceerd is. Hierdoor is de verdamping voor grasland overschat. Tot slot is de invloed van regionale grondwaterstroming op de chlorideverdeling in het grondwater niet meegenomen door de keuze voor een 'no-flow' randvoorwaarde op de zijranden.

### **3.5 Aanbevelingen**

Om de kwaliteit en bruikbaarheid van de resultaten van deze modelstudie met Hydrus-2D te bepalen, zouden enkele simulaties met een ander simulatieprogramma moeten worden uitgevoerd. Door de modelresultaten van beide runs met elkaar te vergelijken kan worden geconcludeerd hoe realistisch de modelresultaten van Hydrus-2D zijn. De code moet water- en stoffentransport 2D tegelijk in de verzadigde en onverzadigde zone kunnen simuleren en daarbij rekening houdend met dichtheidsverschillen. Een voorbeeld van zo'n programma is SUTRA.

## 4 Conclusie

Door het ontbreken van een passend grondwaterstromingsmodel kan geen antwoord worden gegeven op de vraag hoe de onverzadigde zone de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater beïnvloed. In Hydrus-2D kan de onverzadigde zone niet worden 'uitgeschakeld'. Vermoedelijk vertraagt de onverzadigde zone de invloed van neerslag en verdamping op de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater. Bij neerslag verschuift het grensvlak zoet/brak en brak/zout zich richting het grondwater maar het is niet te verwachten dat één hevige bui in een zoet of brak regenwaterlens resulteert. Dit wordt mogelijk wel bij een grondwaterstromingsmodel gesimuleerd. Bij zoet grondwater op en onder de drains heeft de onverzadigde zone overigens geen invloed op de vorming van de regenwaterlensen. De wortelzone blijft in deze situatie het hele jaar zoet: het grensvlak zoet/brak bevindt zich in de verzadigde zone.

Uit de modelstudie is gebleken dat de resultaten van simulaties met stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden van elkaar verschillen. De chlorideconcentratie in de wortelzone en het ondiepe grondwater wordt onderschat in de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden. Het vermoeden bestaat dat de dynamiek van een zout kwelsysteem door de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden beter benaderd wordt dan door die met stationaire bovenrandvoorwaarden. Uit de resultaten van de aanpassingen op het basismodel is gebleken dat bij niet-stationaire bovenrandvoorwaarden de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater het sterkst wordt beïnvloed door draandiepte, drukhoogte onderrand, neerslagoverschot, dispersielengte en drainafstand. De chlorideconcentratie in de wortelzone wordt sterk beïnvloed door de drukhoogte op de onderrand, draandiepte, neerslagoverschot, chlorideconcentratie van diep grondwater, dispersielengte, positie onderrand en de dikte van de onverzadigde zone (maaiveldverloop). Uit de modelresultaten van de simulaties met stationaire bovenrandvoorwaarden is gebleken dat het afdekken van het maaiveld leidt tot chlorideconcentraties in de wortelzone en het ondiepe grondwater die gelijk zijn aan de chlorideconcentratie in het diepe grondwater. Slootafstand, slootpeil en chlorideconcentratie in neerslag hebben een te verwaarlozen invloed op de chlorideconcentratie in de wortelzone en het ondiepe grondwater bij stationaire en niet-stationaire bovenrandvoorwaarden.

Uit de resultaten van de chlorideconcentratiebepaling in bodemvocht, sloot- en grondwater is gebleken dat de ruimtelijk verschillen in chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater en bodemvocht mogelijk beïnvloed worden door de bodemopbouw en de afstand tot een sloot.





## 5 Aanbevelingen

Uit de resultaten van de veld- en modelstudie is gebleken dat de resultaten elkaar gedeeltelijk tegenspreken. De resultaten van de veldstudie suggereren dat de bodemopbouw invloed heeft op de chlorideconcentratie in het bodemvocht en het ondiepe grondwater. Deze waarnemingen worden tegengesproken door de modelresultaten van de simulaties met niet-stationaire bovenrandvoorwaarden. Voor een beter begrip van de processen in een zout kwelsysteem is het daarom aan te bevelen om naast modelstudies ook onderzoek te doen in het veld. Het is raadzaam om met een modelstudie na te gaan of dichtheidstroming de chlorideconcentratie in de wortelzone en het ondiepe grondwater beïnvloed. Indien dichtheidstroming een belangrijke rol speelt, wordt aanbevolen om voor de modelstudie een softwarepakket te kiezen waarin rekening gehouden wordt met dichtheidsverschillen. Een voorbeeld van een pakket is SUTRA. Door, onder andere, te kiezen voor een andere analysemethode dan de Aquamerck® chloride test set, zou de chlorideconcentratie in bodemvocht, sloot- en grondwater nauwkeuriger kunnen worden bepaald. Het lab beschikt over apparatuur voor ion chromatografie waarbij de chlorideconcentratie in een oplossing zeer nauwkeurig kan worden vastgesteld.



## Literatuur

- Aquatische ecologie en waterkwaliteit & Waterhuishouding. 2004. *Practical Hydrology and Waterquality*. collegedictaat. Wageningen Universiteit, Wageningen.
- Groenendijk, P., J. Kroes, L. Renaud & D. Walvoort. 2006. *SWAP/ANIMO Course. Soil Water and Nutrients*. cursusmap. Alterra, Wageningen.
- Leijnse, A., 2004. *Groundwater flow and transport phenomena*. collegedictaat. Wageningen Universiteit, Wageningen.
- Oude Essink, G.H.P..1998. *MOC3D adapted to simulate 3D density-dependent groundwater flow*. In: Proceedings of the Modflow '98 Conference, Golden, CO, USA.
- Oude Essink, G.H.P..1999. *Simulating density dependent groundwater flow: the adapted MOC3D*. In: Proceedings of the 15<sup>th</sup> Salt Water Intrusion Meeting, Ghent, Belgium, May 1998.
- Oude Essink, G.H.P..2001. *Density Dependent Groundwater Flow*. collegedictaat. Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Oude Essink, G.H.P. & R.W. Vernes. 2005. *Onderzoek naar de verzilting en verzoeting van het freatisch grondwater in de provincie Zeeland. Onderzoek naar de dynamiek van regenwaterlenzen in landelijke gebieden*. projectvoorstel. TNO, Utrecht.
- Richards, L. (Ed). 1954. *Agriculture Handbook No. 60*, US Department of Agriculture, USA.
- Roest, C.W.J., P.J.T. van Bakel & A.A.M.F.R. Smit. 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.
- Šimůnek, J., M. Šejna & M. Th van Genuchten. 1999. *Hydrus-2D softwarepakket*. U.S. Salinity Laboratory.
- Stevens, S. & B. de Veen. 2007. *Regenwaterlenzen in de Provincie Zeeland*. TNO, Utrecht.
- Stuyfzand, P.J..1993. *Hydrochemistry and hydrology of costal dunes of the Western Netherlands*. proefschrift. Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot & J. Stolte, 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks, vernieuwde uitgave 2001*. Alterra-rapport 153. Alterra, Wageningen.



## **Bijlage**

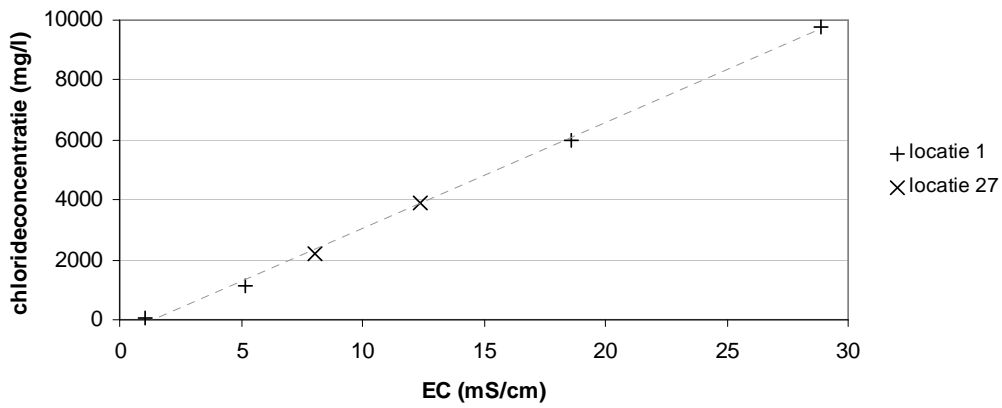


## **Bijlage 1**

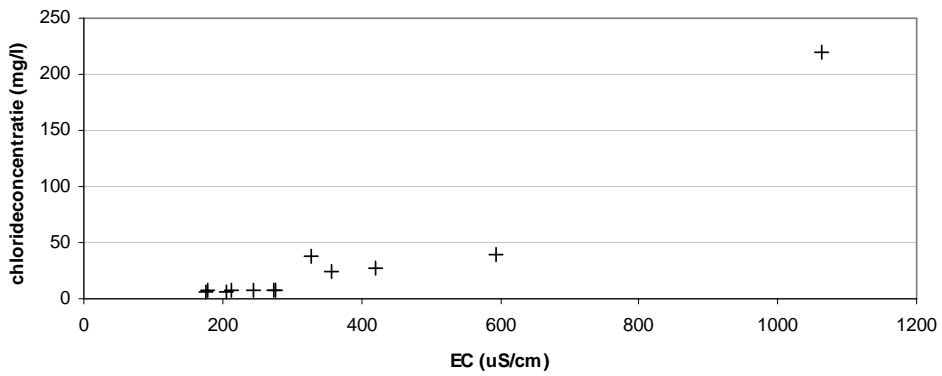
Relatie tussen chlorideconcentratie en EC in grondwater- en bodemvochtmonsters.



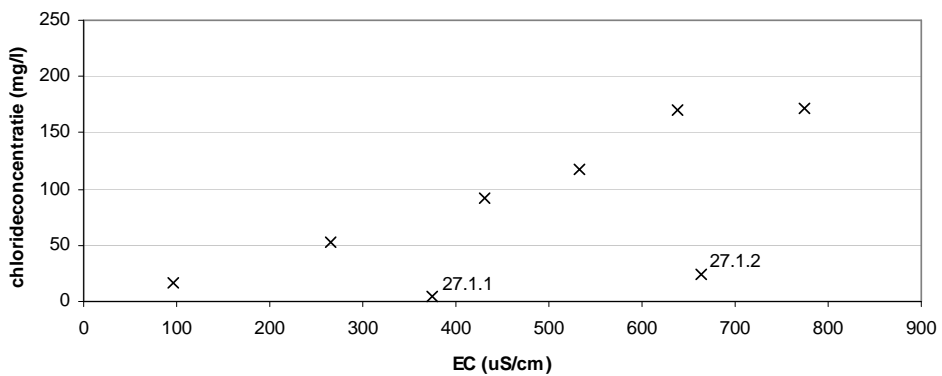




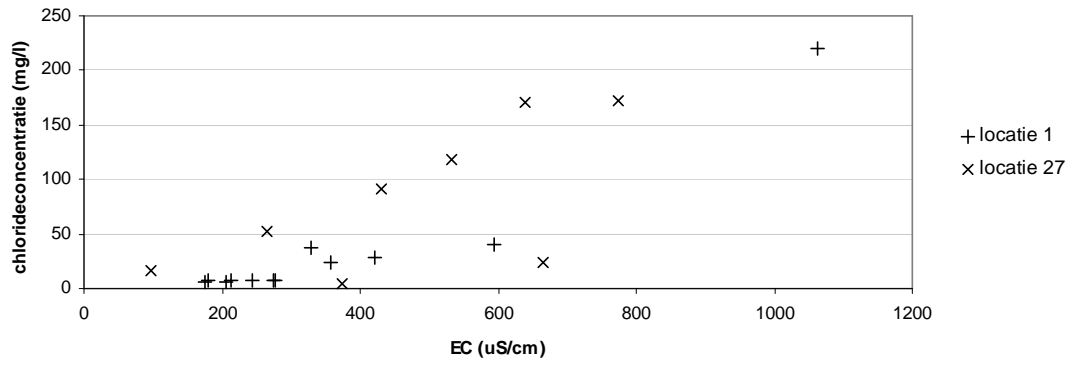
Figuur b1.1: Relatie tussen EC en chlorideconcentratie in grondwatermonsters van locatie 1 en 27. Trendlijn ( $R^2: 0,9982$ ): chlorideconcentratie (mg/l) =  $354,08 \cdot EC$  (mS/cm) - 529,78.



Figuur b1.2: Relatie tussen EC en chlorideconcentratie in bodemvochtmonsters van locatie 1.



Figuur b1.3: Relatie tussen EC en chlorideconcentratie in bodemvochtmonsters van locatie 27.



Figuur b1.4: Relatie tussen EC en chlorideconcentratie in bodemvochtmonsters van locatie 1 en 27.

## **Bijlage 2**

Hydrus-2D



## Hydrus-2D

Hydrus-2D versie 2.05 (Šimůnek *et al.*, 1999) is een softwarepakket waarmee water-, warmte- en stoffentransport in zowel de verzadigde als onverzadigde zone 2D kan worden gesimuleerd. De ruimtelijke discretisatie in Hydrus-2D is gebaseerd op de eindige elementenmethode. Hierdoor kan een elementennetwerk in ieder gewenste vorm worden gegenereerd.

### Waterstroming

Voor het simuleren van de 2D waterstroming wordt de Richards' vergelijking opgelost (Leijnse, 2004):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ K_x(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_z(h) \left( \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S(h) \quad \text{b2.1}$$

|          |  |
|----------|--|
| $\theta$ | volumetrisch vochtgehalte [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]                        |
| $t$      | tijd [d]   |
| $x$      | x coördinaat [m]   |
| $z$      | z coördinaat, positief in opwaartse richting [m]                             |
| $h$      | drukhoogte [m]   |
| $K$      | doorlatendheid [m/d]   |
| $S$      | bodemvochtonttrekking door plantwortels [ $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{d}$ ] |

De relatie tussen drukhoogte ( $h$ ), bodemvochtgehalte ( $\theta$ ) en doorlatend ( $K$ ) kan in Hydrus-2D beschreven worden met het Van Genuchten - Mualem model. Het is op verschillende manieren mogelijk een ruimtelijke verdeling in bodemfysische eigenschappen te simuleren.

In Hydrus-2D kan op een versimpelde manier gewas- en bodemverdamping worden gemodelleerd. Omdat er geen gewasgroei-simulatiemodel in Hydrus-2D aanwezig is, moeten tijdreeksen voor potentiële gewas- en bodemverdamping worden ingevoerd. Voor het berekenen van de actuele gewasverdamping kunnen de Feddes en S-shape wateropnamereductiemodellen worden gebruikt. De actuele bodemverdamping is een functie van de potentiële bodemverdamping en de vochtcondities. De ruimtelijke verdeling van plantenwortels is constant in tijd. Plantopname kan alleen worden gesimuleerd met een 'atmospheric' randvoorwaarde. Hydrus-2D kent 9 typen randvoorwaarden voor waterstroming, zie tabel b2.1. Aan niet-randknooppunten kan een constante flux worden toegekend.

Tabel b2.1: Randvoorwaarden voor waterstroming

| Naam              | Beschrijving  |
|-------------------|---|
| no flux           | geen stroming over de rand  |
| constant flux     | constante flux over de rand   |
| constant pressure | constante drukhoogte op de rand   |
| variable flux     | tijdsafhankelijke flux over de rand   |
| variable pressure | tijdsafhankelijke drukhoogte op de rand   |
| free drainage     | drukhoogte afhankelijke flux over de onderrand bij vrije drainage   |
| deep drainage     | drukhoogte afhankelijke flux over de onderrand berekend met een vergelijking  |
| seepage face      | drukhoogte ( $h$ ) afhankelijke fluxrandvoorwaarde: $h > 0$ stroming over de rand, $h < 0$ geen stroming over de rand |
| atmospheric       | begrensdrukhoogte ( $h$ ) bovenrandvoorwaarde, $h_{min} < h < h_{max}$ , met neerslag en verdampingsfluxen            |

### Stoffentransport

Het stoffentransport in de verzadigde en onverzadigde zone wordt opgelost met de convectie-dispersie vergelijking. Voor transport van inerte opgeloste stoffen kan deze vergelijking vereenvoudigd worden tot (Leijnse, 2004):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta C) = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}\left(\theta D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\theta D_{xz} \frac{\partial C}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\theta D_{zx} \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\theta D_{zz} \frac{\partial C}{\partial z}\right)}_{\text{dispersie en diffusie}} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}(q_x C)}_{\text{convectie}} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial z}(q_z C)}_{\text{convectieve opname}} - SC$$

b2.2  
↓

- $C$       stofconcentratie in bodemvocht [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]  
 $D$       dispersiecoëfficiënt [ $\text{cm}^2/\text{d}$ ]  
 $q$       waterfluxdichtheid [ $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{d}$ ]

Bij het simuleren van reactief transport wordt vergelijking b2.2 uitgebreid met extra termen voor adsorptie, desorptie, productie en/of afbraak van stoffen. In vergelijking 2 zijn de processen dispersie en diffusie samengevoegd in 1 term. De dispersiecoëfficiënten ( $D$ ) van deze term worden in Hydrus-2D berekend met de volgende vergelijkingen (Šimůnek *et al.*, 1999):

$$\begin{aligned} \theta D_{xx} &= \alpha_L \frac{q_x^2}{|q|} + \alpha_T \frac{q_z^2}{|q|} + \theta D_w \tau_w \\ \theta D_{zz} &= \alpha_L \frac{q_z^2}{|q|} + \alpha_T \frac{q_x^2}{|q|} + \theta D_w \tau_w \\ \theta D_{xz} &= \theta D_{zx} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{q_x q_z}{|q|} \end{aligned} \quad \text{b2.3}$$

- $\alpha_L$       longitudinale dispersielengte [m]  
 $\alpha_T$       transversale dispersielengte [m]  
 $D_w$       moleculaire diffusieconstante in water [ $\text{m}^2/\text{d}$ ]  
 $\tau_w$       tortuositeitsfactor [-]  
 $|q|$       absolute waarde van  $q$ :  $|q| = \sqrt{q_x^2 + q_z^2}$  [m/d]

De tortuositeitsfactor wordt berekend met de vergelijkingen van Millington en Quirk, waarbij een afname van het volumetrisch vochtgehalte ( $\theta$ ) leidt tot een afname van de waarde voor de tortuositeitsfactor. De longitudinale en transversale dispersielengtes ( $\alpha_L$ ,  $\alpha_T$ ) en de moleculaire diffusieconstante in water ( $D_w$ ) zijn parameters die opgegeven moeten worden. Voor het oplossen van een probleem met stoffentransport kan uit verschillende numerieke oplossingsmethoden worden gekozen.

De opname van opgeloste stoffen via plantwortels is een functie van de vochtonttrekking door de plant (vergelijking b2.2). De massa die verdwijnt uit het systeem is gelijk aan de concentratie opgeloste stof in het bodemvocht maal de wateropname door de plant. Door middel van een bovengrenskoncentratie kan de opname van opgeloste stof worden beperkt; wanneer de concentratie in het bodemvocht boven de bovengrenswaarde stijgt, wordt voor de vrachtberekening de bovengrenswaarde gebruikt.

In Hydrus-2D zijn 4 typen randvoorwaarden voor stoffentransport opgenomen (tabel b2.2). De 'no flux' randvoorwaarde voor stoffentransport is gekoppeld aan de 'no flux' randvoorwaarde voor waterstroming. Door middel van de 'first' en 'third type' randvoorwaarden voor stoffentransport kunnen aan inkomende waterfluxen concentraties of fluxen worden toegekend. Een tijdsafhankelijke flux- of concentratierandvoorwaarde kan worden gekoppeld aan tijdsafhankelijke drukhoogte- of fluxrandvoorwaarden voor waterstroming en aan de 'atmospheric' bovenrandvoorwaarde (tabel b2.3). De 'volatile type' randvoorwaarde is een speciale randvoorwaarde voor gastransport tussen bodem en atmosfeer. Aan inkomende waterfluxen op niet-randknooppunten kan een concentratie worden toegekend.

Tabel b2.2: Randvoorwaarden voor stoffentransport

| <b>Naam</b>   | <b>Beschrijving</b>                                    |
|---------------|--|
| no flux       | geen stoffentransport over de rand                     |
| first type    | Dirichlet concentratierandvoorwaarde                   |
| third type    | Cauchy fluxrandvoorwaarde                              |
| volatile type | aangepaste Cauchy fluxrandvoorwaarde voor gastransport |

#### *Warmtetransport*

Voor het modelleren van het warmtetransport wordt de convectie-dispersie vergelijking voor warmte opgelost. Hiermee wordt de conductie en convectie van warmte met stromend water gesimuleerd. In Hydrus-2D wordt geen rekening gehouden met onttrekking van warmte aan de bodem door verdamping van water (latente warmte).

De invloed van temperatuur aan maaiveld op de bodemtemperatuur kan worden gesimuleerd met de 'atmospheric' randvoorwaarde voor waterstroming. Naast het invoeren van een tijdreeks kunnen temperatuursfluctuaties gedurende een dag of een jaar ook gemodelleerd worden met een sinusfunctie. Aan tijdsafhankelijke waterfluxen kunnen (tijdsafhankelijke) temperaturen worden toegekend (tabel b2.3).

Tabel b2.3: Overzicht van de mogelijkheden om randvoorwaarden voor waterstroming te koppelen aan randvoorwaarden voor stoffen- en warmtetransport. In de tabel is aangegeven per type randvoorwaarde voor waterstroming of er een tijdreeks (●) of een constante waarde (○) voor stoffen- en warmtetransport aan de rand opgelegd kan worden.

| <b>waterstroming</b> | <b>stoffentransport</b> | <b>warmtetransport</b> |
|----------------------|-------------------------|------------------------|
| no flux              | -                       | -                      |
| constant flux        | ○                       | -                      |
| constant pressure    | ○                       | -                      |
| variable flux        | ●                       | ●                      |
| variable pressure    | ●                       | ●                      |
| free drainage        | -                       | -                      |
| deep drainage        | -                       | -                      |
| seepage face         | -                       | -                      |
| atmospheric          | ●                       | ●                      |





## **Bijlage 3**

Modelparameters basismodel



**Geometry Information**

Length units m  
Type of Flow Vertical plane

**Time discretization**

Time units d  
Initial time step 0,1  
Minimum time step 0,01  
Maximum time step 1

**Iteration Criteria**

Maximum number of iterations 30  
Water content tolerance 1e-5  
Pressure head tolerance 1e-6

**Time step control**

Lower optimal iteration range 3  
Upper optimal iteration range 7  
Lower time step multiplication factor 1,3  
Upper time step multiplication factor 0,7

**Internal interpolation tables**

Lower limit of the tension interval 1e-10  
Upper limit of the tension interval 1

**Soil Hydraulic Model**

Hydraulic Model Van Genuchten-Mualem  
Hysteresis No Hysteresis

**Solute transport**

Time weighting scheme Crank-Nicholson scheme  
Space weighting scheme Galerkin Finite Elements  
Stability criterion 2  
Use tortuosity factor v

**Root Water Uptake Model**

Water Uptake Reduction Model Feddes  
Solute Stress Model No Solute Stress

**Root Water Uptake Parameters**

P0 1  
P0pt 1  
P2H -2  
P2L -8  
P3 -80  
r2H 0,005  
r2L 0,001



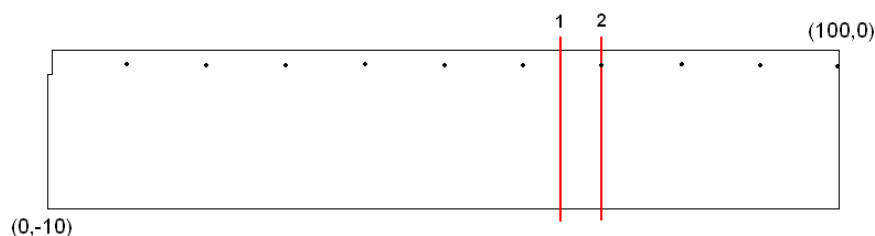
## **Bijlage 4**

Stationaire bovenrandvoorwaarden  
Modelresultaten per aanpassing



0

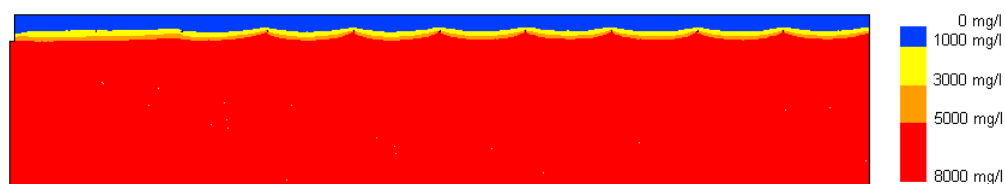
omschrijving: basismodel



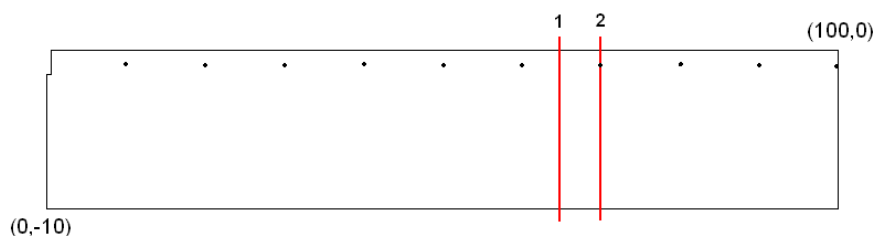
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,87            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,50            | -0,40 |
|   | 1000 mg/l              | -0,91            | -0,74 |
|   | 5000 mg/l              | -1,41            | -0,97 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,04             | -     |
|   | brak                   | 0,35             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,0 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $3,6 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 18,7                           | 148                 |
| sloot     | -11,4                          | -68,5               |
| drains    | -22,2                          | -80,2               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,1                           | 0,2                 |



**omschrijving:** gewijzigde draaindiepte: draaindiepte is aangepast van 0,9 m beneden maaiveld naar 0,6 m beneden maaiveld



|   |                        | 1                | 2        |
|---|------------------------|------------------|----------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70       |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op       |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00     |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,63            | -0,63    |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | < -10,00         | < -10,00 |
|   | 1000 mg/l              | < -10,00         | < -10,00 |
|   | 5000 mg/l              | < -10,00         | < -10,00 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | > 9,37           | > 9,37   |
|   | brak                   | > 9,37           | > 9,37   |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $3,5 \cdot 10^3$ |          |
|   | drain                  | $1,0 \cdot 10^1$ |          |

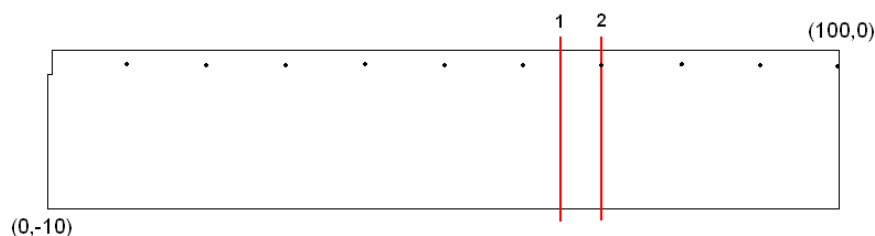
### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 15,0                           | 0,2                 |
| onderrand | -1,6                           | 50,8                |
| sloot     | -12,8                          | -44,7               |
| drains    | -0,6                           | 0,0                 |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,0                            | -6,2                |





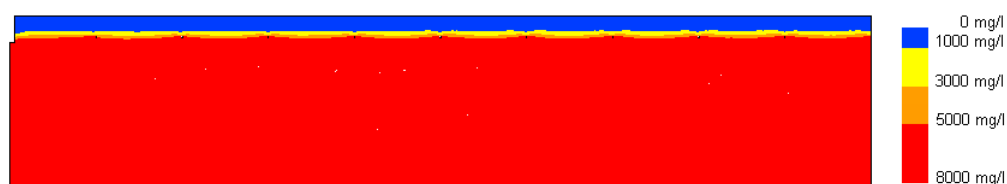
**omschrijving:** gewijzigde draindiepte: draindiepte is aangepast van 0,9 m beneden maaiveld naar 1,2 m beneden maaiveld



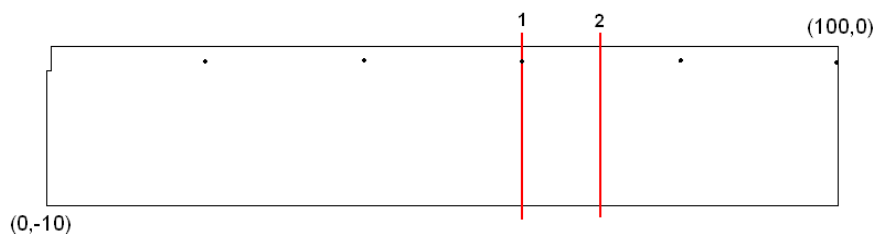
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -1,11            | -1,13 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,50            | -0,57 |
|   | 1000 mg/l              | -0,86            | -0,91 |
|   | 5000 mg/l              | -1,32            | -1,20 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | -     |
|   | brak                   | 0,05             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $7,3 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $6,2 \cdot 10^3$ |       |

### water- en chloridebalans (na 100 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,2                 |
| onderrand | 45,9                           | 369                 |
| sloot     | -9,3                           | -68,5               |
| drains    | -51,6                          | -321                |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,2                            | 19,3                |



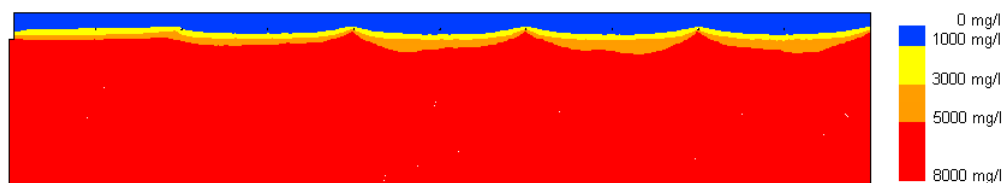
**omschrijving:** gewijzigde drainafstand: drainsafstand is aangepast van 10 m naar 20 m



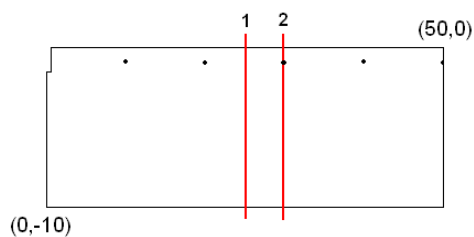
|   |                        | 1                | 2      |
|---|------------------------|------------------|--------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 60               | 70     |
|   | tussen of op een drain | op               | tussen |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00   |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,89            | -0,81  |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,53            | -0,80  |
|   | 1000 mg/l              | -0,82            | -1,25  |
|   | 5000 mg/l              | -1,08            | -2,20  |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | 0,44   |
|   | brak                   | -                | 0,80   |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $5,8 \cdot 10^3$ |        |
|   | drain                  | $2,6 \cdot 10^3$ |        |

#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,2                 |
| onderrand | 14,8                           | 120                 |
| sloot     | -11,5                          | -66,7               |
| drains    | -18,2                          | -46,8               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,2                            | -6,8                |



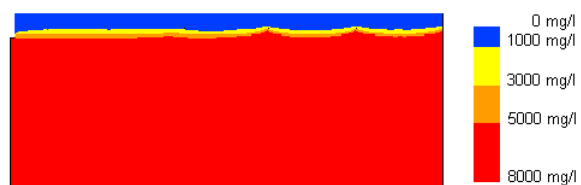
omschrijving: gewijzigde slootafstand: slootafstand aangepast van 200 m naar 100 m



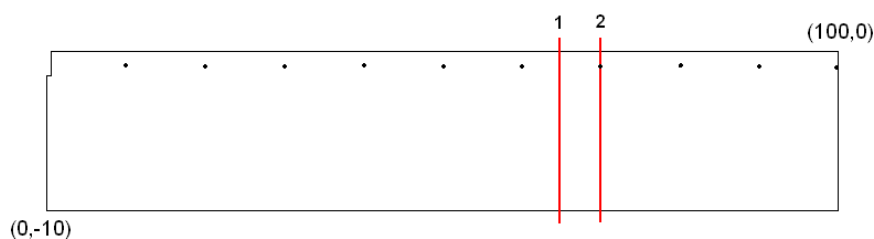
|   |                        | 1                   | 2     |
|---|------------------------|---------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 25                  | 30    |
|   | tussen of op een drain | tussen              | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00                | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,89               | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,64               | -0,43 |
|   | 1000 mg/l              | -1,06               | -0,77 |
|   | 5000 mg/l              | -1,50               | -1,03 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,17                | -     |
|   | brak                   | 0,46                | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | 5,6·10 <sup>3</sup> |       |
|   | drain                  | 3,1·10 <sup>3</sup> |       |

#### water- en chloridebalans (na 100 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 7,4                            | 0,0                 |
| onderrand | 10,6                           | 85,5                |
| sloot     | -11,0                          | -62,3               |
| drains    | -7,0                           | -21,9               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,1                           | -1,3                |



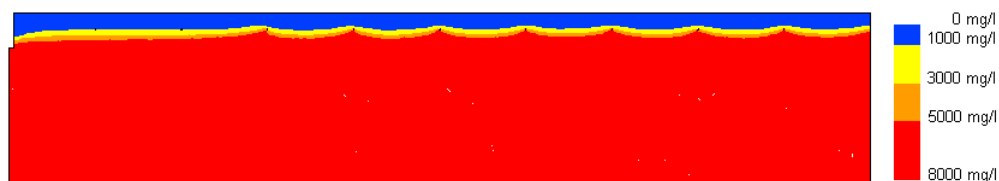
**omschrijving:** gewijzigde slootpeil: slootpeil aangepast van 1,5 m beneden maaiveld naar 2,0 meter beneden maaiveld



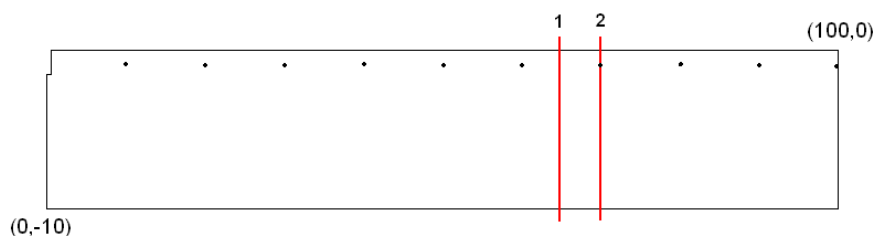
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,87            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,48            | -0,38 |
|   | 1000 mg/l              | -0,88            | -0,73 |
|   | 5000 mg/l              | -1,39            | -0,97 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,01             | -     |
|   | brak                   | 0,35             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $7,0 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $3,7 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 100 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 26,3                           | 211                 |
| sloot     | -20,4                          | -143                |
| drains    | -20,7                          | -76,5               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,1                            | 8,7                 |



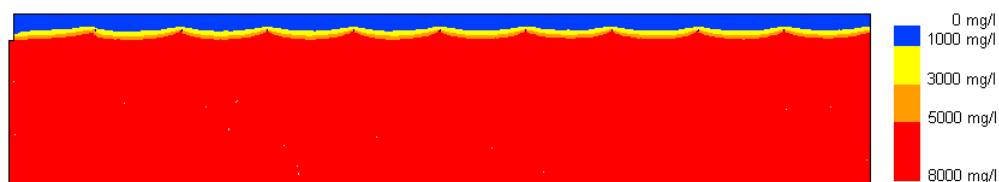
**omschrijving:** gewijzigde slootpeil: slootpeil is aangepast van 1,5 m beneden maaiveld naar 1,0 meter beneden maaiveld



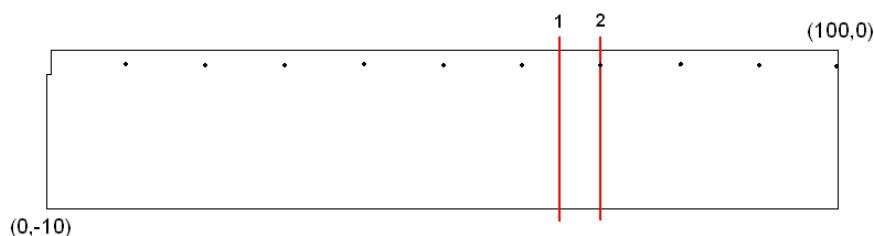
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,87            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,51            | -0,41 |
|   | 1000 mg/l              | -0,92            | -0,74 |
|   | 5000 mg/l              | -1,41            | -0,98 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,05             | -     |
|   | brak                   | 0,36             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $5,5 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $3,6 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 100 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 14,7                           | 117                 |
| sloot     | -3,6                           | -19,7               |
| drains    | -26,1                          | -94,8               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,0                            | -3,0                |



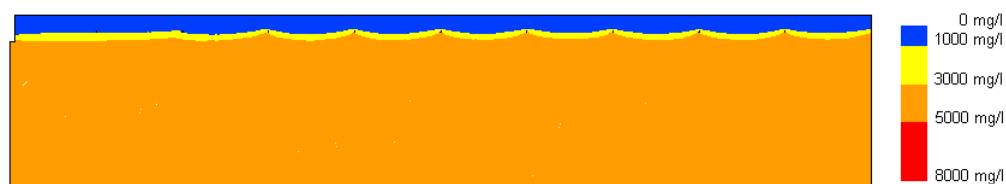
**omschrijving:** gewijzigde chlorideconcentratie onderrand: de chlorideconcentratie van het diepe grondwater is aangepast van 8000 mg/l naar 5000 mg/l



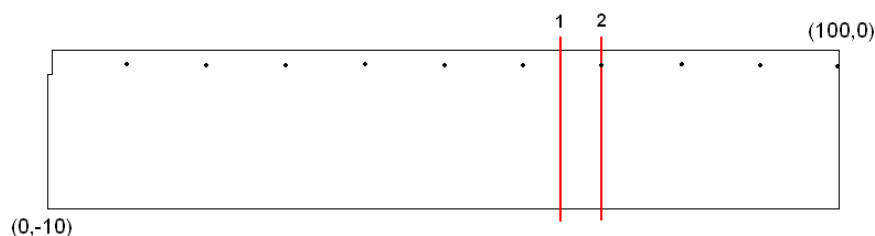
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,87            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,57            | -0,50 |
|   | 1000 mg/l              | -1,15            | -0,82 |
|   | 5000 mg/l              |                  |       |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,28             | -     |
|   | brak                   | 0,53             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $3,7 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $2,3 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 100 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 18,7                           | 93,9                |
| sloot     | -11,4                          | -42,8               |
| drains    | -22,2                          | -50,3               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,1                           | -0,8                |



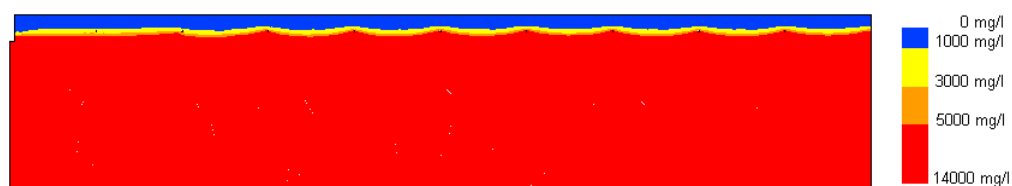
**omschrijving:** gewijzigde chlorideconcentratie onderrand: de chlorideconcentratie van het diepe grondwater is aangepast van 8000 mg/l naar 14000 mg/l



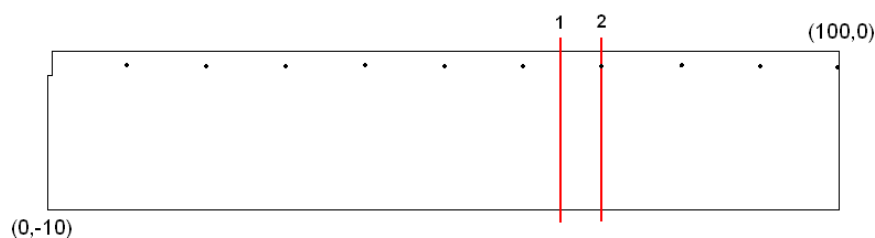
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,87            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,37            | -0,31 |
|   | 1000 mg/l              | -0,78            | -0,65 |
|   | 5000 mg/l              | -1,20            | -0,90 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | -     |
|   | brak                   | 0,16             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $1,0 \cdot 10^4$ |       |
|   | drain                  | $6,3 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 100 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 18,7                           | 262                 |
| sloot     | -11,4                          | -119                |
| drains    | -22,2                          | -141                |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,1                           | -2,1                |



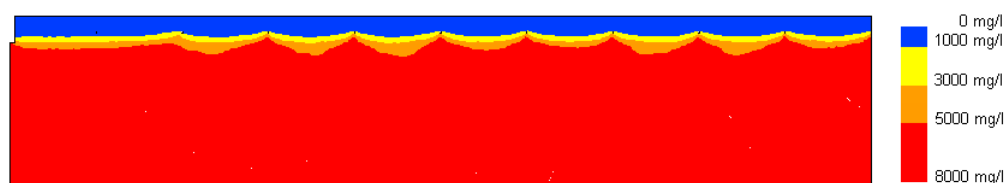
**omschrijving:** gewijzigde bodemeigenschappen: weerstand van de bovenste 3 bodemlagen is verdubbeld



|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,85            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,70            | -0,54 |
|   | 1000 mg/l              | -1,16            | -0,86 |
|   | 5000 mg/l              | -1,77            | -1,16 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,31             | -     |
|   | brak                   | 0,65             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $4,2 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $1,9 \cdot 10^3$ |       |

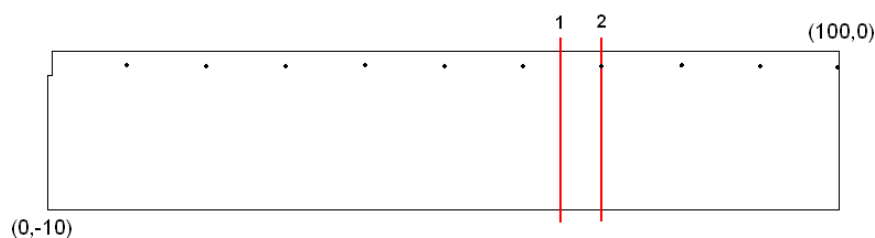
#### water- en chloridebalans (na 200 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 8,3                            | 66,0                |
| sloot     | -6,4                           | -26,6               |
| drains    | -16,8                          | -32,7               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,1                           | -6,9                |





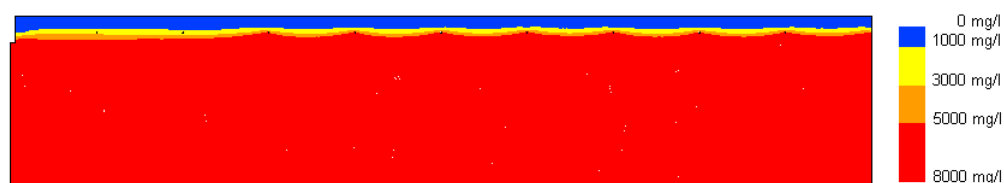
**omschrijving:** gewijzigde bodemeigenschappen: weerstand van de bovenste 3 bodemlagen is gehalveerd



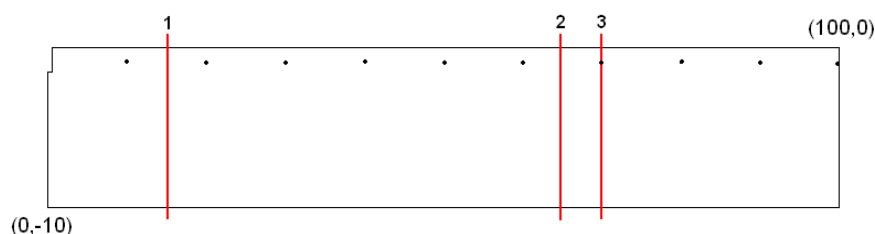
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,88            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,32            | -0,32 |
|   | 1000 mg/l              | -0,72            | -0,67 |
|   | 5000 mg/l              | -1,15            | -0,90 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | -     |
|   | brak                   | 0,13             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $7,1 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $5,5 \cdot 10^3$ |       |

### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 39,3                           | 318                 |
| sloot     | -21,4                          | -152                |
| drains    | -32,8                          | -180                |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,4                           | 13,9                |



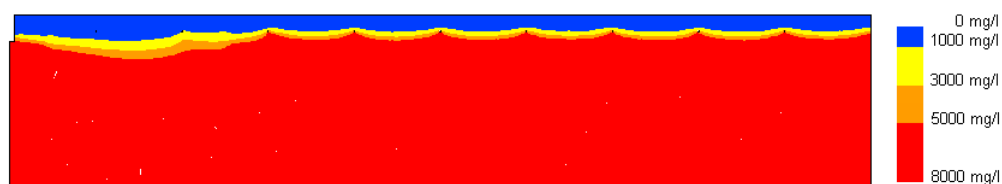
**omschrijving:** gewijzigde bodemeigenschappen: over een afstand van 20 m (van 5 m tot 25 m afstand van de sloot) zijn de eigenschappen de bovenste 2 bodemlagen vervangen door de eigenschappen van de 3<sup>e</sup> bodemlaag (klei)



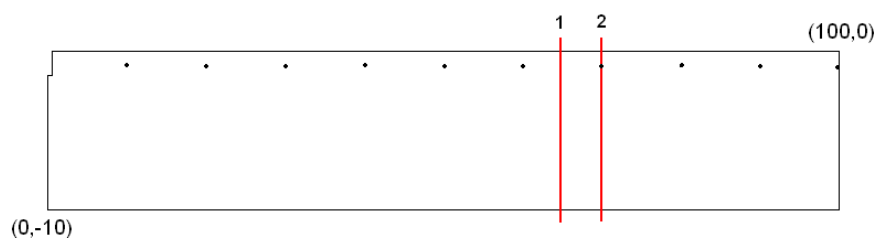
|   |                        | 1                | 2      | 3     |
|---|------------------------|------------------|--------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 15               | 65     | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | tussen | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00   | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,74            | -0,87  | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,83            | -0,50  | -0,32 |
|   | 1000 mg/l              | -1,48            | -0,91  | -0,74 |
|   | 5000 mg/l              | -2,60            | -1,40  | -0,97 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,74             | 0,04   | -     |
|   | brak                   | 1,33             | 0,34   | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,0 \cdot 10^3$ |        |       |
|   | drain                  | $3,5 \cdot 10^3$ |        |       |

#### water- en chloridebalans (na 134 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 16,4                           | 131                 |
| sloot     | -7,6                           | -45,3               |
| drains    | -23,7                          | -83,8               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,2                            | -1,7                |



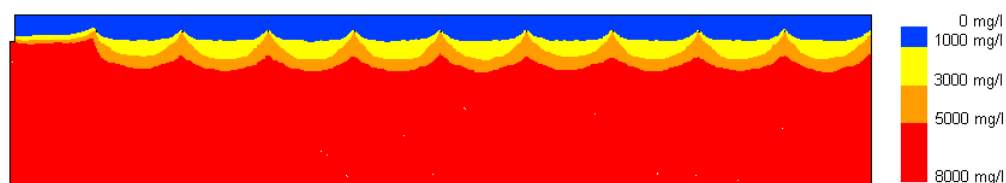
omschrijving: gewijzigde bodemeigenschappen: geen anisotropie in de bovenste 3 bodemlagen ipv 1/10



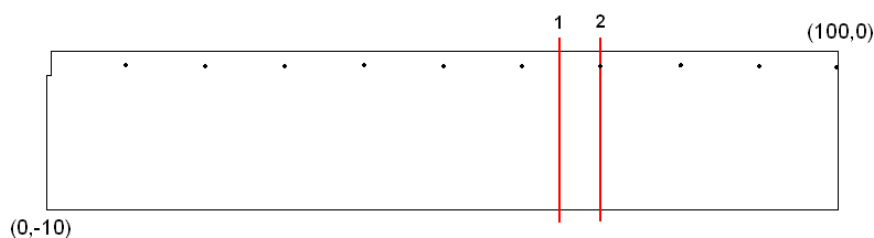
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,77            | -0,90 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -1,02            | -0,62 |
|   | 1000 mg/l              | -1,50            | -0,87 |
|   | 5000 mg/l              | -3,15            | -2,40 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,73             | -     |
|   | brak                   | 1,65             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,0 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $2,3 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 250 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,2                 |
| onderrand | 7,3                            | 58                  |
| sloot     | -4,0                           | -24,2               |
| drains    | -18,2                          | -41,6               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,0                            | 7,3                 |



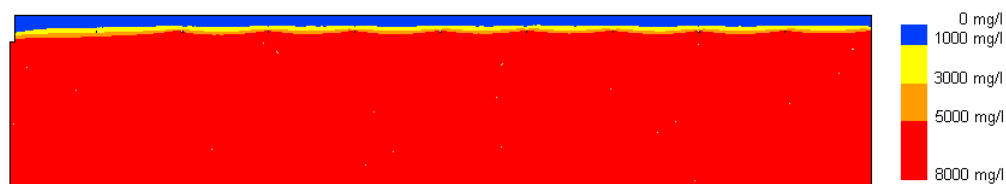
omschrijving: gewijzigde drukhoogte onderrand: drukhoogte onderrand aangepast van 9,25 m naar 9,50 m



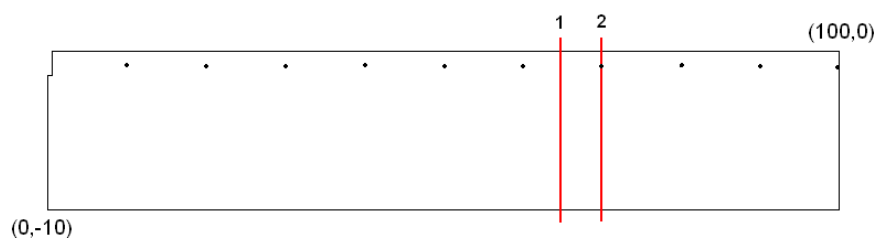
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,83            | -0,89 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,23            | -0,27 |
|   | 1000 mg/l              | -0,62            | -0,64 |
|   | 5000 mg/l              | -1,07            | -0,90 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | -     |
|   | brak                   | 0,05             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $7,1 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $5,9 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 41,6                           | 327                 |
| sloot     | -13,8                          | -97                 |
| drains    | -42,7                          | -249                |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,9                            | 19,3                |



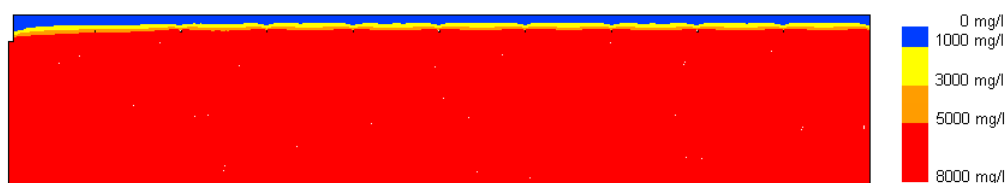
omschrijving: gewijzigde drukhoogte onderrand: drukhoogte onderrand aangepast van 9,25 m naar 9,75 m



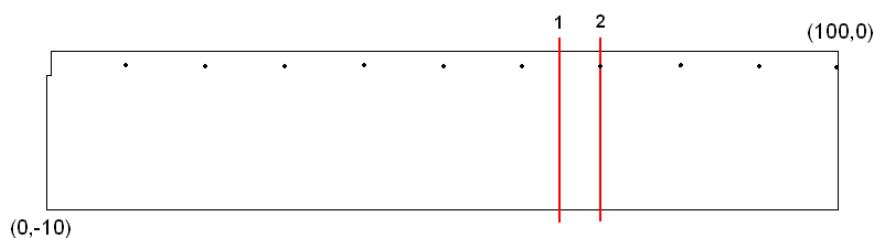
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,79            | -0,88 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,07            | -0,25 |
|   | 1000 mg/l              | -0,47            | -0,60 |
|   | 5000 mg/l              | -0,89            | -0,90 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | -     |
|   | brak                   | -                | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $7,6 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $6,8 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,2                 |
| onderrand | 64,8                           | 530                 |
| sloot     | -16,1                          | -127                |
| drains    | -63,6                          | -434                |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,8                            | 29,7                |



**omschrijving:** gewijzigde drukhoogte onderrand: drukhoogte onderrand aangepast van 9,25 m naar 9,0 m



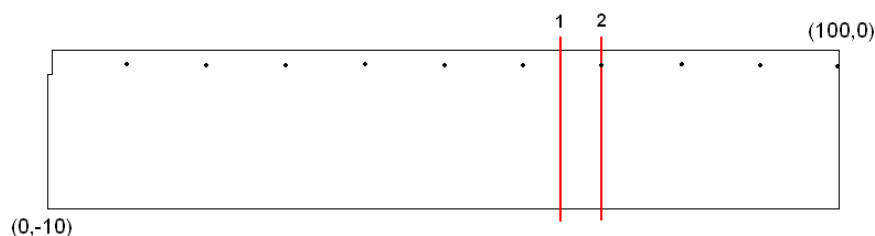
|   |                        | 1                | 2        |
|---|------------------------|------------------|----------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70       |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op       |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00     |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,92            | -0,92    |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | < -10,00         | < -10,00 |
|   | 1000 mg/l              | < -10,00         | < -10,00 |
|   | 5000 mg/l              | < -10,00         | < -10,00 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | > 9,08           | > 9,08   |
|   | brak                   | > 9,08           | > 9,08   |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $2,4 \cdot 10^3$ |          |
|   | drain                  | $1,0 \cdot 10^1$ |          |

#### water- en chloridebalans (na 250 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,2                 |
| onderrand | -3,0                           | 26,5                |
| sloot     | -8,6                           | -20,4               |
| drains    | -3,4                           | 0,0                 |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,0                            | -6,1                |



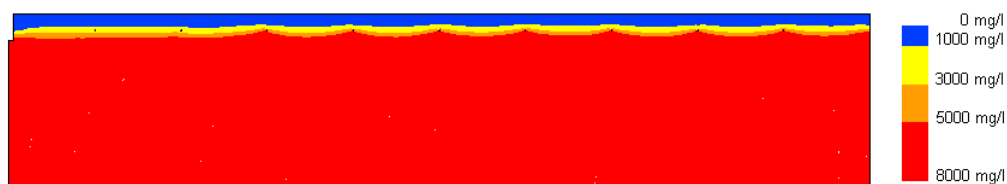
omschrijving: gewijzigd neerslagoverschot: neerslagoverschot aangepast van 150 mm per jaar naar 100 mm per jaar



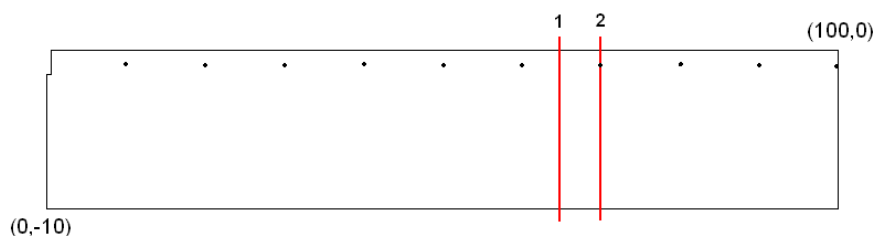
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,88            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,20            | -0,21 |
|   | 1000 mg/l              | -0,70            | -0,64 |
|   | 5000 mg/l              | -1,28            | -0,93 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | -     |
|   | brak                   | 0,16             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,7 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $4,7 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 10,0                           | 0,1                 |
| onderrand | 19,5                           | 156                 |
| sloot     | -11,0                          | -72,9               |
| drains    | -18,4                          | -87,0               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,0                            | 4,2                 |



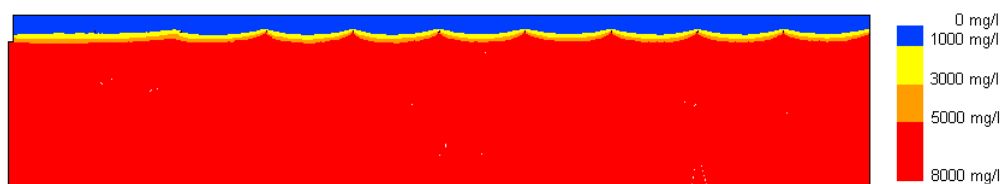
omschrijving: gewijzigd neerslagoverschot: neerslagoverschot aangepast van 150 mm per jaar naar 200 mm per jaar



|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,86            | -0,90 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,69            | -0,53 |
|   | 1000 mg/l              | -1,08            | -0,82 |
|   | 5000 mg/l              | -1,55            | -1,00 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,22             | -     |
|   | brak                   | 0,51             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $5,4 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $2,8 \cdot 10^3$ |       |

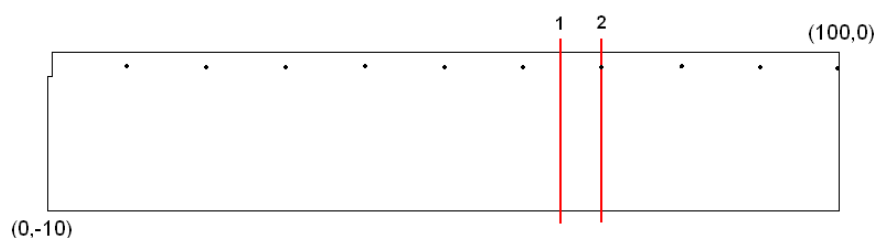
#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 19,9                           | 0,2                 |
| onderrand | 17,9                           | 143                 |
| sloot     | -11,8                          | -63,8               |
| drains    | -26,0                          | -73,7               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,0                            | -5,7                |





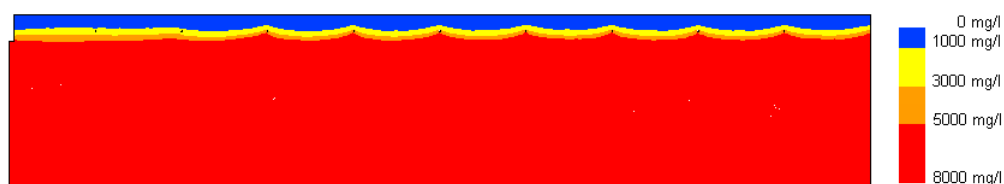
**omschrijving:** gewijzigde bodemeigenschappen: dispersielengte aangepast van 0,10 m (longitudinaal) en 0,01 m (transversaal) naar 0,20 m en 0,02 m



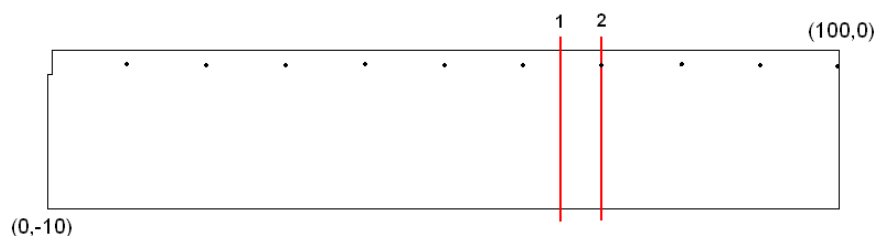
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,87            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,25            | -0,05 |
|   | 1000 mg/l              | -0,83            | -0,60 |
|   | 5000 mg/l              | -1,43            | -1,03 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | -     |
|   | brak                   | 0,34             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $5,9 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $3,7 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,2                 |
| onderrand | 18,7                           | 150                 |
| sloot     | -11,4                          | -66,8               |
| drains    | -22,2                          | -81,6               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,1                            | -1,4                |



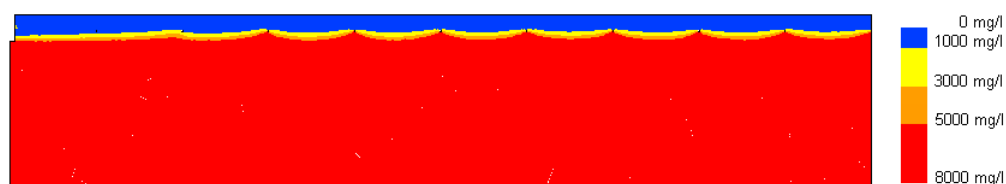
**omschrijving:** gewijzigde bodemeigenschappen: dispersielengte aangepast van 0,10 m (longitudinaal) en 0,01 m (transversaal) naar 0,01 m en 0,001 m



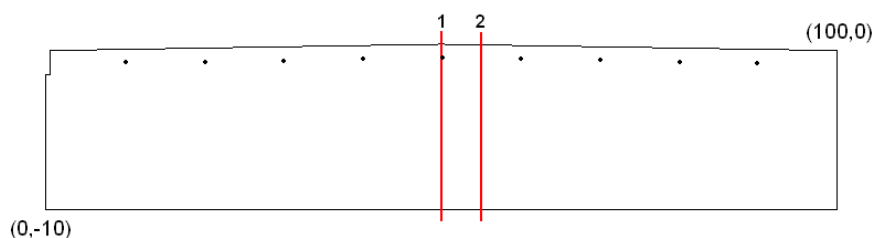
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,87            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,75            | -0,78 |
|   | 1000 mg/l              | -1,00            | -0,90 |
|   | 5000 mg/l              | -1,42            | -0,96 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,13             | -     |
|   | brak                   | 0,35             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,2 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $3,4 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,2                 |
| onderrand | 18,7                           | 150                 |
| sloot     | -11,4                          | -71,1               |
| drains    | -22,2                          | -78,4               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,5                            | -0,2                |



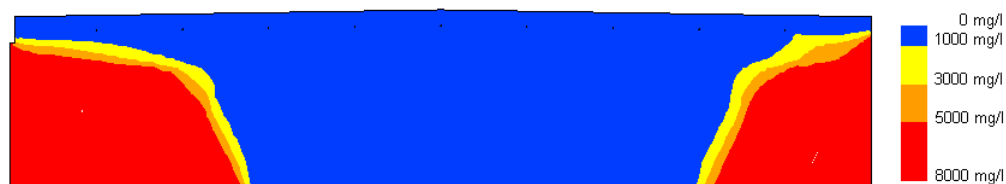
**omschrijving:** gewijzigd maaiveldverloop en draandiepte: het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij, op een afstand van 50 m van de sloot, zich het hoogste punt van een 0,4 m hoge heuvel bevindt. de drains liggen 0,9 m beneden maaiveld



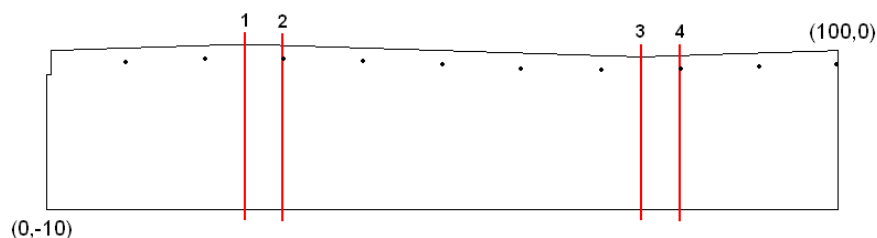
|   |                        | 1                | 2        |
|---|------------------------|------------------|----------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 50               | 55       |
|   | tussen of op een drain | op               | tussen   |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,40             | 0,36     |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,66            | -0,66    |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | < -10,00         | < -10,00 |
|   | 1000 mg/l              | < -10,00         | < -10,00 |
|   | 5000 mg/l              | < -10,00         | < -10,00 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | > 9,34           | > 9,34   |
|   | brak                   | > 9,34           | > 9,34   |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $3,6 \cdot 10^3$ |          |
|   | drain                  | $9,3 \cdot 10^2$ |          |

#### water- en chloridebalans (na 200 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,2                 |
| onderrand | 4,5                            | 64                  |
| sloot     | -13,0                          | -46,7               |
| drains    | -6,4                           | -6,0                |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,1                           | -11,1               |



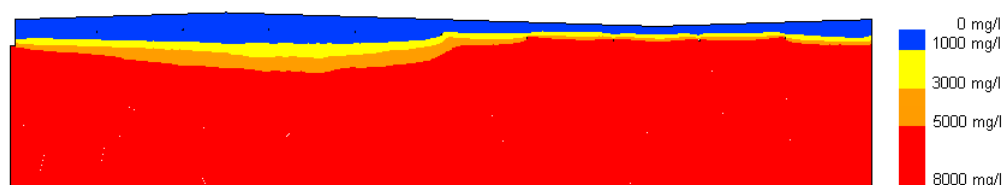
**omschrijving:** gewijzigd maaiveldverloop en draandiepte: het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij op 25 m afstand van de sloot zich het hoogste punt van een 0,4 m hoge heuvel, en op 75 m afstand van de sloot zich het laatste punt van een 0,4 m diep dal bevindt. de drains liggen 0,9 m beneden maaiveld



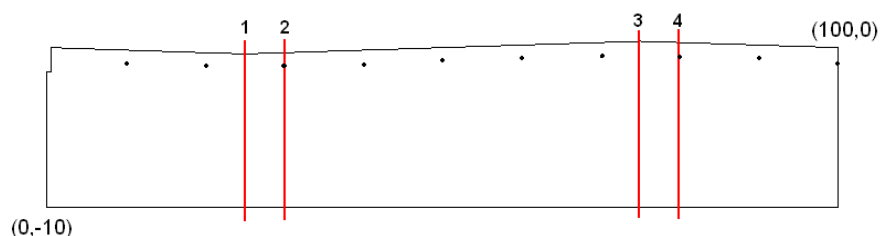
|   |   | 1                   | 2          | 3               | 4           |
|---|---|---------------------|------------|-----------------|-------------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]                       | 25                  | 30         | 75              | 80          |
|   | tussen of op een drain maaiveld [m tov ref] | tussen<br>0,40      | op<br>0,32 | tussen<br>-0,40 | op<br>-0,32 |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |   | -0,80               | -0,78      | -1,11           | -1,24       |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l                                    | -1,01               | -1,00      | -0,48           | -0,60       |
|   | 1000 mg/l                                   | -1,41               | -1,38      | -0,87           | -0,94       |
|   | 5000 mg/l                                   | -2,85               | -2,88      | -1,29           | -1,22       |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet  | 0,62                | 0,60       | -               | -           |
|   | brak  | 1,18                | 1,20       | 0,04            | -           |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                                       | 4,6·10 <sup>3</sup> |            |                 |             |
|   | drain                                       | 5,4·10 <sup>3</sup> |            |                 |             |

#### water- en chloridebalans (na 193 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 26,0                           | 207                 |
| sloot     | -12,6                          | -58                 |
| drains    | -28,3                          | -150                |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,3                            | 1,1                 |



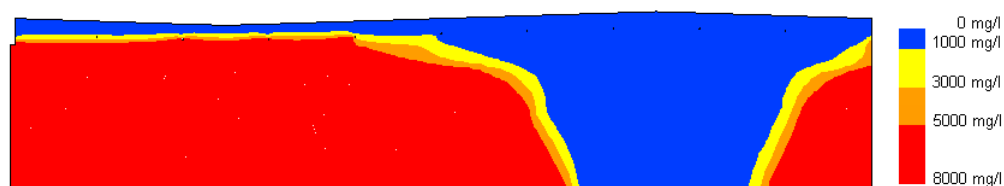
**omschrijving:** gewijzigd maaiveldverloop en draandiepte: het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij op 25 m afstand van de sloot zich het laagste punt van een 0,4 m diep dal, en op 75 m afstand van de sloot zich het hoogste punt van een 0,4 m hoge heuvel bevindt. de drains liggen 0,9 m beneden maaiveld



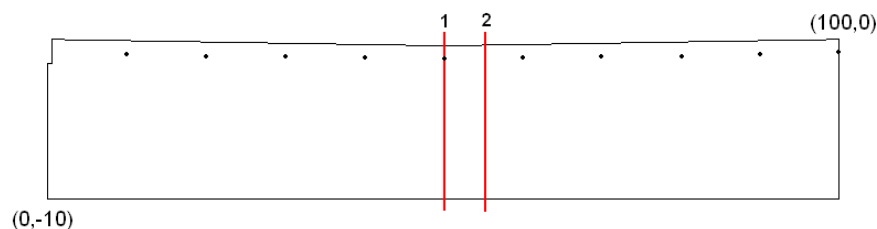
|   |                        | 1                | 2     | 3        | 4        |
|---|------------------------|------------------|-------|----------|----------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 25               | 30    | 75       | 80       |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    | tussen   | op       |
|   | maaiveld [m tov ref]   | -0,40            | -0,32 | 0,40     | 0,32     |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -1,12            | -1,25 | -0,71    | -0,72    |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,50            | -0,60 | < -10,00 | < -10,00 |
|   | 1000 mg/l              | -0,89            | -0,93 | < -10,00 | < -10,00 |
|   | 5000 mg/l              | -1,31            | -1,22 | < -10,00 | < -10,00 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | -     | > 9,29   | > 9,28   |
|   | brak                   | 0,03             | -     | > 9,29   | > 9,28   |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,6 \cdot 10^3$ |       |          |          |
|   | drain                  | $4,2 \cdot 10^3$ |       |          |          |

#### water- en chloridebalans (na 200 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,2                 |
| onderrand | 20,9                           | 170                 |
| sloot     | -9,8                           | -65,0               |
| drains    | -26,0                          | -111                |
| berging   | 0,0                            | 0,1                 |
| fout      | 0,5                            | 7,1                 |



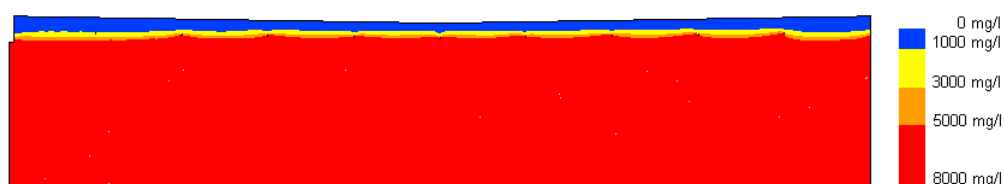
**omschrijving:** gewijzigd maaiveldverloop en draandiepte: het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij, op 50 m afstand van de sloot, zich het laagste punt van een 0,4 m diep dal bevindt. drains liggen 0,9 m beneden maaiveld



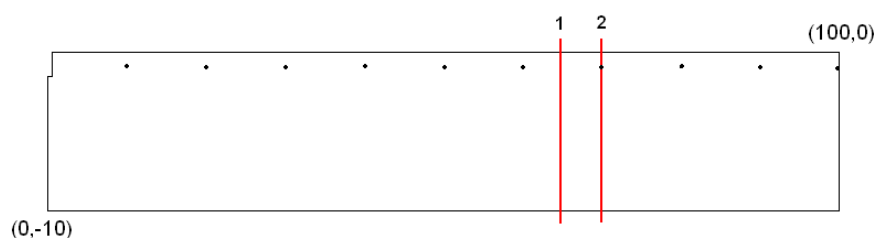
|   |                        | 1                | 2      |
|---|------------------------|------------------|--------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 50               | 55     |
|   | tussen of op een drain | op               | tussen |
|   | maaiveld [m tov ref]   | -0,40            | -0,36  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -1,32            | -1,16  |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,67            | -0,55  |
|   | 1000 mg/l              | -1,02            | -0,90  |
|   | 5000 mg/l              | -1,30            | -1,31  |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | -      |
|   | brak                   | -                | -      |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,6 \cdot 10^3$ |        |
|   | drain                  | $5,9 \cdot 10^3$ |        |

#### water- en chloridebalans (na 100 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 38,4                           | 305                 |
| sloot     | -11,0                          | -72,1               |
| drains    | -42,3                          | -246                |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,0                            | 12,8                |



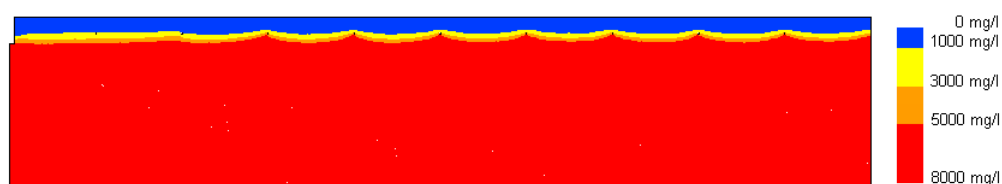
**omschrijving:** gewijzigde chlorideconcentratie neerslag: aangepaste chlorideconcentratie in neerslag van 10 mg/l naar 20 mg/l



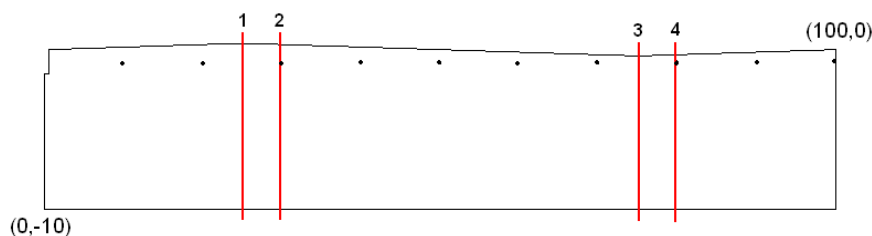
|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,87            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,48            | -0,39 |
|   | 1000 mg/l              | -0,90            | -0,90 |
|   | 5000 mg/l              | -1,42            | -0,96 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,03             | -     |
|   | brak                   | 0,35             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,0 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $3,6 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 100 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,3                 |
| onderrand | 18,7                           | 150                 |
| sloot     | -11,4                          | -68,4               |
| drains    | -22,2                          | -80,7               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,1                           | -0,8                |



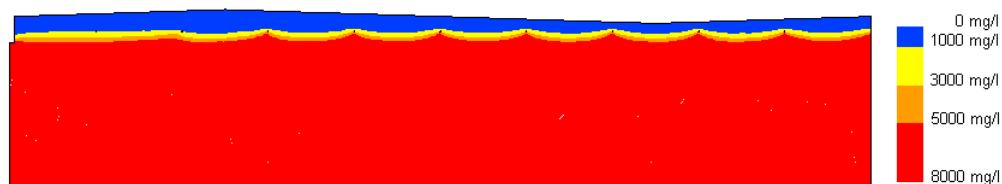
**omschrijving:** gewijzigd maaiveldverloop: het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij op 25 m afstand van de sloot zich het hoogste punt van een 0,4 m hoge heuvel, en op 75 m afstand van de sloot zich het laatste punt van een 0,4 m diep dal bevindt



|   |                        | 1                | 2     | 3      | 4     |
|---|------------------------|------------------|-------|--------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 25               | 30    | 75     | 80    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    | tussen | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,40             | 0,32  | -0,40  | -0,32 |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,88            | -0,92 | -0,87  | -0,92 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,62            | -0,41 | -0,57  | -0,41 |
|   | 1000 mg/l              | -1,02            | -0,76 | -1,00  | -0,76 |
|   | 5000 mg/l              | -1,43            | -1,00 | -1,50  | -1,00 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,14             | -     | 0,13   | -     |
|   | brak                   | 0,42             | -     | 0,42   | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,1 \cdot 10^3$ |       |        |       |
|   | drain                  | $3,5 \cdot 10^3$ |       |        |       |

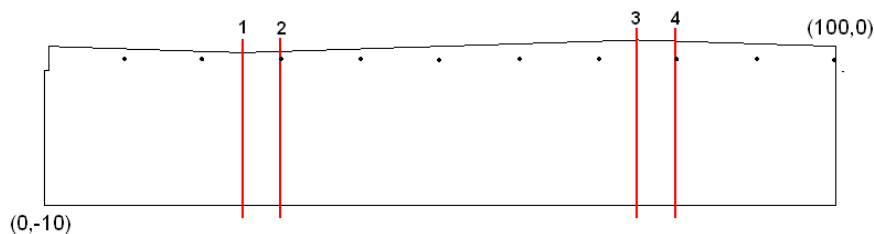
#### water- en chloridebalans (na 100 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 18,9                           | 150                 |
| sloot     | -11,9                          | -72,2               |
| drains    | -21,9                          | -76,8               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,0                            | -1,6                |





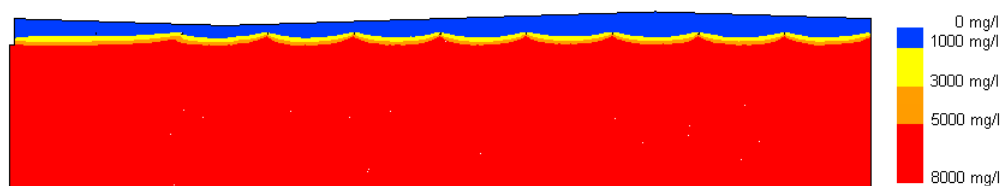
**omschrijving:** gewijzigd maaiveldverloop: het maaiveldverloop is aangepast van vlakke situatie naar een situatie waarbij op 25 m afstand van de sloot zich het laagste punt van een 0,4 m diep dal, en op 75 m afstand van de sloot zich het hoogste punt van een 0,4 m hoge heuvel bevindt.



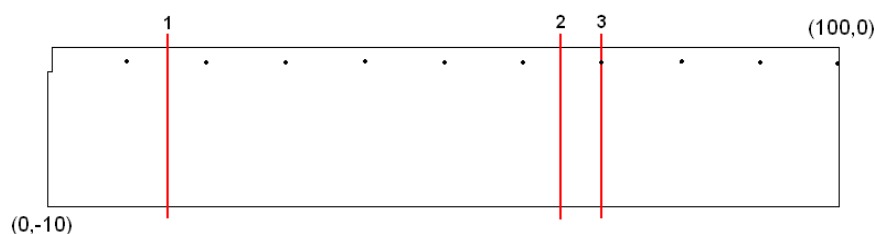
|   |                        | 1                | 2     | 3      | 4     |
|---|------------------------|------------------|-------|--------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 25               | 30    | 75     | 80    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    | tussen | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | -0,40            | -0,32 | 0,40   | 0,32  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,88            | -0,92 | -0,87  | -0,93 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,60            | -0,40 | -0,51  | -0,42 |
|   | 1000 mg/l              | -0,98            | -0,76 | -0,92  | -0,74 |
|   | 5000 mg/l              | -1,48            | -1,00 | -1,40  | -0,98 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,10             | -     | 0,05   | -     |
|   | brak                   | 0,40             | -     | 0,33   | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,2 \cdot 10^3$ |       |        |       |
|   | drain                  | $3,7 \cdot 10^3$ |       |        |       |

#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 20,0                           | 158                 |
| sloot     | -12,1                          | -75,0               |
| drains    | -22,8                          | -83,0               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | 0,1                            | -0,3                |



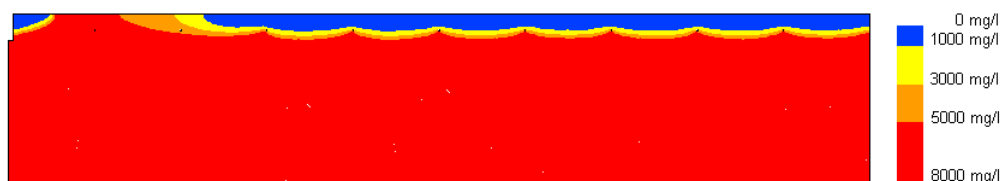
**omschrijving:** gewijzigde eigenschappen bovenrand: over 20 m (van 5 m tot 25 m afstand van de sloot) is de 'atmospheric' bovenrandvoorwaarde vervangen door een 'no flow' randvoorwaarde.



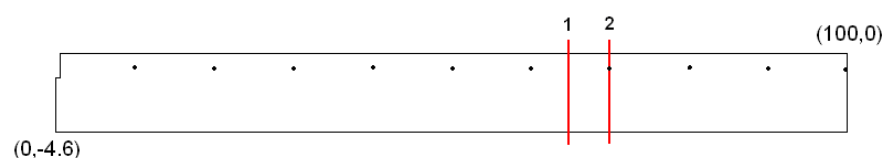
|   |                        | 1                | 2      | 3     |
|---|------------------------|------------------|--------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 15               | 65     | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | tussen | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00   | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -1,00            | -0,87  | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -                | -0,52  | -0,40 |
|   | 1000 mg/l              | -                | -0,90  | -0,74 |
|   | 5000 mg/l              | -0,62            | -1,42  | -0,98 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | -                | 0,03   | -     |
|   | brak                   | -                | 0,35   | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $7,8 \cdot 10^3$ |        |       |
|   | drain                  | $3,7 \cdot 10^3$ |        |       |

#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 11,9                           | 0,1                 |
| onderrand | 19,5                           | 157                 |
| sloot     | -10,5                          | -82                 |
| drains    | -20,9                          | -77,3               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,1                           | 3,8                 |



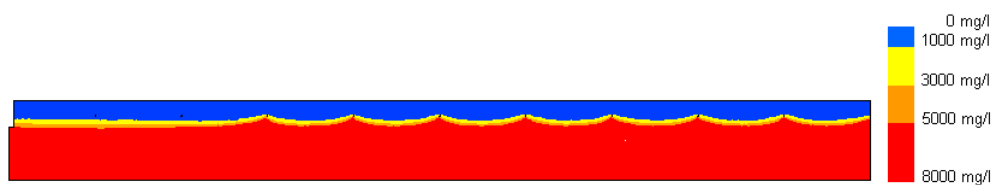
**omschrijving:** gewijzigde positie onderrand: positie onderrand aangepast van -10 m naar -4,6 m tov maaiveld



|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,88            | -0,92 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,88            | -0,62 |
|   | 1000 mg/l              | -1,20            | -0,90 |
|   | 5000 mg/l              | -1,52            | -1,01 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,32             | -     |
|   | brak                   | 0,50             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $5,0 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $2,7 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 132 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 15,0                           | 0,1                 |
| onderrand | 14,7                           | 118                 |
| sloot     | -10,9                          | -55,3               |
| drains    | -18,8                          | -50,5               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,1                           | -12,5               |



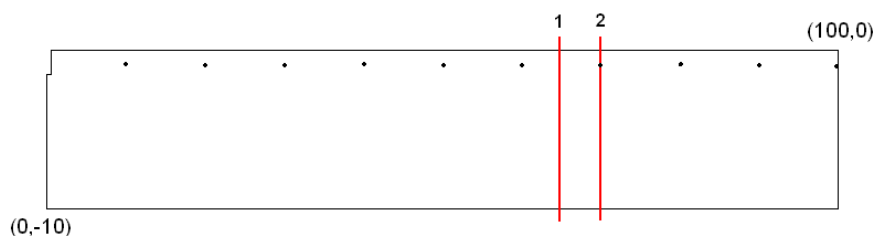
---

**omschrijving:** gewijzigde positie onderrand: positie onderrand aangepast van -10 m naar -30 m tov maaiveld

**waterbalans (na 2 jaar)**

|           | <b>water [m<sup>3</sup>/m/jaar]</b> |
|-----------|-------------------------------------|
| neerslag  | 14,9                                |
| onderrand | 18,5                                |
| sloot     | -11,8                               |
| drains    | -21,7                               |
| berging   | 0,0                                 |
| fout      | -0,1                                |

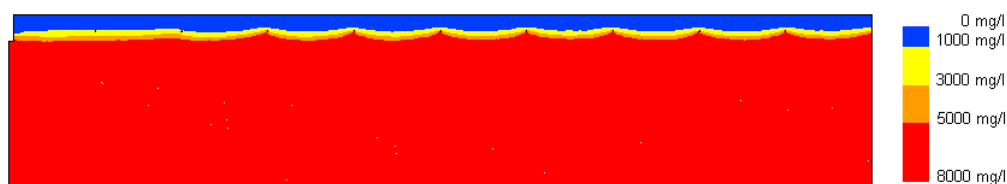
**omschrijving:** gewijzigde chlorideconcentratie neerslag: aangepaste chlorideconcentratie in neerslag van 10 mg/l naar 70 mg/l



|   |                        | 1                | 2     |
|---|------------------------|------------------|-------|
| <b>positie</b>                          | afstand tot sloot [m]  | 65               | 70    |
|   | tussen of op een drain | tussen           | op    |
|   | maaiveld [m tov ref]   | 0,00             | 0,00  |
| <b>grondwaterstand [m tov ref]</b>      |                        | -0,87            | -0,91 |
| <b>Cl concentratiegrens [m tov ref]</b> | 150 mg/l               | -0,38            | -0,30 |
|   | 1000 mg/l              | -0,90            | -0,74 |
|   | 5000 mg/l              | -1,42            | -0,98 |
| <b>dikte regenwaterlens [m]</b>         | zoet                   | 0,03             | -     |
|   | brak                   | 0,35             | -     |
| <b>chlorideconcentratie [mg/l]</b>      | sloot                  | $6,0 \cdot 10^3$ |       |
|   | drain                  | $3,7 \cdot 10^3$ |       |

#### water- en chloridebalans (na 150 jaar)

|           | water [m <sup>3</sup> /m/jaar] | chloride [g/m/jaar] |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| neerslag  | 14,9                           | 1,0                 |
| onderrand | 18,7                           | 158                 |
| sloot     | -11,4                          | -68,4               |
| drains    | -22,2                          | -81,2               |
| berging   | 0,0                            | 0,0                 |
| fout      | -0,1                           | 0,1                 |





## **Bijlage 5**

Stationaire bovenrandvoorwaarden  
Modelresultaten per onderwerp





Tabel b5.1: Waterbalans stationaire bovenrandvoorwaarden

| aanpassing | neerslag               | onderrand              | sloot                  | drains                 | berging                | fout                   | procentuele fout |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|
|            | m <sup>3</sup> /m/jaar | m <sup>3</sup> /m/jaar | m <sup>3</sup> /m/jaar | m <sup>3</sup> /m/jaar | m <sup>3</sup> /m/jaar | m <sup>3</sup> /m/jaar | %                |
| 0          | 14,9                   | 18,7                   | -11,4                  | -22,2                  | 0,0                    | 0,1                    | 0,4              |
| 1          | 15,0                   | -1,6                   | -12,8                  | -0,6                   | 0,0                    | 0,0                    | -0,1             |
| 2          | 14,9                   | 45,9                   | -9,3                   | -51,6                  | 0,0                    | 0,2                    | 0,3              |
| 3          | 14,9                   | 14,8                   | -11,5                  | -18,2                  | 0,0                    | 0,2                    | 0,7              |
| 4          | 7,4                    | 10,6                   | -11,0                  | -7,0                   | 0,0                    | -0,1                   | -0,4             |
| 5          | 14,9                   | 26,3                   | -20,4                  | -20,8                  | 0,0                    | 0,1                    | 0,1              |
| 6          | 14,9                   | 14,7                   | -3,6                   | -26,1                  | 0,0                    | 0,0                    | 0,1              |
| 8          | 14,9                   | 18,7                   | -11,4                  | -22,2                  | 0,0                    | -0,1                   | -0,4             |
| 9          | 14,9                   | 18,7                   | -11,4                  | -22,2                  | 0,0                    | -0,1                   | -0,4             |
| 10         | 14,9                   | 8,3                    | -6,4                   | -16,8                  | 0,0                    | -0,1                   | -0,3             |
| 11         | 14,9                   | 39,3                   | -21,4                  | -32,8                  | 0,0                    | -0,4                   | -0,8             |
| 12         | 14,9                   | 16,4                   | -7,6                   | -23,7                  | 0,0                    | 0,2                    | 0,5              |
| 13         | 14,9                   | 7,3                    | -4,0                   | -18,2                  | 0,0                    | 0,0                    | -0,1             |
| 14         | 14,9                   | 41,6                   | -13,8                  | -42,7                  | 0,0                    | 0,9                    | 1,6              |
| 15         | 14,9                   | 64,8                   | -16,1                  | -63,6                  | 0,0                    | 0,8                    | 1,0              |
| 16         | 14,9                   | -3,0                   | -8,6                   | -3,4                   | 0,0                    | 0,0                    | -0,3             |
| 18         | 10,0                   | 19,5                   | -11,0                  | -18,4                  | 0,0                    | 0,0                    | 0,0              |
| 19         | 19,9                   | 17,9                   | -11,8                  | -26,0                  | 0,0                    | 0,0                    | 0,0              |
| 20         | 14,9                   | 18,7                   | -11,4                  | -22,2                  | 0,0                    | 0,1                    | 0,2              |
| 21         | 14,9                   | 18,7                   | -11,4                  | -22,2                  | 0,0                    | 0,5                    | 1,3              |
| 22         | 14,9                   | 4,5                    | -13,0                  | -6,4                   | 0,0                    | -0,1                   | -0,7             |
| 23         | 14,9                   | 26,0                   | -12,6                  | -28,3                  | 0,0                    | 0,3                    | 0,7              |
| 24         | 14,9                   | 20,9                   | -9,8                   | -26,0                  | 0,0                    | 0,5                    | 1,4              |
| 25         | 14,9                   | 38,4                   | -11,0                  | -42,3                  | 0,0                    | 0,0                    | 0,0              |
| 26         | 14,9                   | 18,7                   | -11,4                  | -22,2                  | 0,0                    | -0,1                   | -0,4             |
| 27         | 14,9                   | 18,9                   | -11,9                  | -21,9                  | 0,0                    | 0,0                    | 0,0              |
| 28         | 14,9                   | 20,0                   | -12,1                  | -22,8                  | 0,0                    | 0,1                    | 0,3              |
| 29         | 11,9                   | 19,5                   | -10,5                  | -20,9                  | 0,0                    | -0,1                   | -0,4             |
| 31         | 15,0                   | 14,7                   | -10,9                  | -18,8                  | 0,0                    | -0,1                   | -0,3             |
| 32         | 14,9                   | 18,5                   | -11,8                  | -21,7                  | 0,0                    | 0,1                    | 0,1              |
| 33         | 14,9                   | 18,7                   | -11,4                  | -22,2                  | 0,0                    | 0,1                    | 0,4              |

Tabel b5.2: Chloridebalans stationaire bovenrandvoorwaarden

| aanpassing | neerslag               | onderrand              | sloot                  | drains                 | berging                | fout                   | procentuele fout |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|
|            | m <sup>3</sup> /m/jaar | m <sup>3</sup> /m/jaar | m <sup>3</sup> /m/jaar | m <sup>3</sup> /m/jaar | m <sup>3</sup> /m/jaar | m <sup>3</sup> /m/jaar | %                |
| 0          | 149                    | 148000                 | -68500                 | -80200                 | 0                      | -150                   | -0,1             |
| 1          | 150                    | 50800                  | -44700                 | -6                     | 0                      | -6160                  | -12,1            |
| 2          | 150                    | 369000                 | -68500                 | -321000                | 0                      | 19300                  | 5,2              |
| 3          | 150                    | 120000                 | -66700                 | -46800                 | 0                      | -6820                  | -5,7             |
| 4          | 75                     | 85500                  | -62300                 | -21900                 | 0                      | -1340                  | -1,6             |
| 5          | 149                    | 211000                 | -143000                | -76500                 | 0                      | 8690                   | 4,1              |
| 6          | 149                    | 117000                 | -19700                 | -94800                 | 0                      | -2960                  | -2,5             |
| 8          | 149                    | 93900                  | -42800                 | -50300                 | 0                      | -880                   | -0,9             |
| 9          | 149                    | 262000                 | -118900                | -141300                | 0                      | -2100                  | -0,8             |
| 10         | 149                    | 66000                  | -26600                 | -32700                 | 0                      | -6900                  | -10,4            |
| 11         | 148                    | 318000                 | -152000                | -180000                | 0                      | 13900                  | 4,4              |
| 12         | 149                    | 131000                 | -45300                 | -83800                 | 0                      | -1730                  | -1,3             |
| 13         | 150                    | 58000                  | -24200                 | -41600                 | 0                      | 7300                   | 12,6             |
| 14         | 148                    | 327000                 | -97000                 | -249000                | 0                      | 19300                  | 5,9              |
| 15         | 153                    | 530000                 | -127000                | -434000                | 0                      | 29700                  | 5,6              |
| 16         | 150                    | 26500                  | -20400                 | -34                    | 0                      | -6100                  | -22,9            |
| 18         | 100                    | 156000                 | -72900                 | -87000                 | 0                      | 4180                   | 2,7              |
| 19         | 200                    | 143000                 | -63800                 | -73700                 | 0                      | -5700                  | -4,0             |
| 20         | 150                    | 150000                 | -66800                 | -81600                 | 0                      | -1380                  | -0,9             |
| 21         | 153                    | 150000                 | -71100                 | -78400                 | 0                      | -160                   | -0,1             |
| 22         | 153                    | 64000                  | -46700                 | -5980                  | 0                      | -11100                 | -17,3            |
| 23         | 149                    | 207000                 | -58000                 | -150000                | 0                      | 1088                   | 0,5              |
| 24         | 151                    | 170000                 | -65000                 | -111000                | 100                    | 7100                   | 4,2              |
| 25         | 149                    | 305000                 | -72100                 | -246000                | 0                      | 12800                  | 4,2              |
| 26         | 298                    | 150000                 | -68400                 | -80700                 | 0                      | -790                   | -0,5             |
| 27         | 149                    | 150000                 | -72200                 | -76800                 | 0                      | -1600                  | -1,1             |
| 28         | 148                    | 158000                 | -75000                 | -83000                 | 0                      | -310                   | -0,2             |
| 29         | 118                    | 157000                 | -82000                 | -77300                 | 0                      | 2820                   | 1,8              |
| 31         | 151                    | 118000                 | -55300                 | -50500                 | 0                      | -12500                 | -10,6            |
| 32         |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                  |
| 33         | 1040                   | 148000                 | -68400                 | -81200                 | 0                      | 100                    | 0,1              |

Tabel b5.3: Verdeling van water en chloride bij stationaire bovenrandvoorwaarden

| aanpassing | water                |                   | chloride       |                |
|------------|----------------------|-------------------|----------------|----------------|
|            | onderrand / neerslag | onderrand / sloot | drains / sloot | drains / sloot |
| 0          | 1,3                  |                   | 1,9            | 1,2            |
| 1          | -0,1                 | 0,1               | 0,0            | 0,0            |
| 2          | 3,1                  |                   | 5,5            | 4,7            |
| 3          | 1,0                  |                   | 1,6            | 0,7            |
| 4          | 1,4                  |                   | 0,6            | 0,4            |
| 5          | 1,8                  |                   | 1,0            | 0,5            |
| 6          | 1,0                  |                   | 7,2            | 4,8            |
| 7          |                      |                   |                |                |
| 8          | 1,3                  |                   | 1,9            | 1,2            |
| 9          | 1,3                  |                   | 1,9            | 1,2            |
| 10         | 0,6                  |                   | 2,7            | 1,2            |
| 11         | 2,6                  |                   | 1,5            | 1,2            |
| 12         | 1,1                  |                   | 3,1            | 1,8            |
| 13         | 0,5                  |                   | 4,6            | 1,7            |
| 14         | 2,8                  |                   | 3,1            | 2,6            |
| 15         | 4,3                  |                   | 3,9            | 3,4            |
| 16         | -0,2                 | 0,3               | 0,4            | 0,0            |
| 17         |                      |                   |                |                |
| 18         | 2,0                  |                   | 1,7            | 1,2            |
| 19         | 0,9                  |                   | 2,2            | 1,2            |
| 20         | 1,3                  |                   | 1,9            | 1,2            |
| 21         | 1,3                  |                   | 1,9            | 1,1            |
| 22         | 0,3                  |                   | 0,5            | 0,1            |
| 23         | 1,7                  |                   | 2,2            | 2,6            |
| 24         | 1,4                  |                   | 2,7            | 1,7            |
| 25         | 2,6                  |                   | 3,8            | 3,4            |
| 26         | 1,3                  |                   | 1,9            | 1,2            |
| 27         | 1,3                  |                   | 1,8            | 1,1            |
| 28         | 1,3                  |                   | 1,9            | 1,1            |
| 29         | 1,6                  |                   | 2,0            | 0,9            |
| 31         | 1,0                  |                   | 1,7            | 0,9            |
| 32         | 1,2                  |                   | 1,8            |                |
| 33         | 1,3                  |                   | 1,9            | 1,2            |



## **Bijlage 6**

Resultaten niet-stationaire bovenrandvoorwaarden  
Modelresultaten per onderwerp



Tabel b6.1: Waterbalans van 1976 (droog)

| <b>aanpassing</b> | <b>potentiele neerslag (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>potentiele verdamping (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>actuele neerslag (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>actuele verdamping (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>onderrand (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>sloot (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>drains (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>berging (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>fout (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>procentuele fout (%)</b> |
|-------------------|--|--|---|---|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 0                 | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -65,5                                       | 44,3                               | -7,1                           | -18,9                           | -0,2                             | -0,6                          | -0,7                        |
| 1                 | 48,6   | -66,3  | 48,5                                      | -65,5                                       | 34,1                               | -8,4                           | -7,7                            | 0,1                              | -0,5                          | -0,6                        |
| 2                 | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -65,5                                       | 60,6                               | -6,2                           | -36,3                           | -0,5                             | -0,1                          | -0,1                        |
| 3                 | 48,4   | -66,3  | 48,4                                      | -65,5                                       | 41,1                               | -7,3                           | -15,6                           | -0,3                             | -0,4                          | -0,5                        |
| 4                 | 24,1   | -33,0  | 24,1                                      | -32,4                                       | 22,2                               | -6,7                           | -6,7                            | -0,1                             | -0,1                          | -0,2                        |
| 5                 | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -65,3                                       | 52,3                               | -16,3                          | -17,9                           | -0,2                             | -0,5                          | -0,5                        |
| 6                 | 48,4   | -66,3  | 48,4                                      | -65,7                                       | 39,1                               | 0,6                            | -22,0                           | -0,1                             | 0,2                           | 0,2                         |
| 7                 |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 8                 | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -65,5                                       | 44,1                               | -7,1                           | -19,1                           | -0,2                             | -0,1                          | -0,1                        |
| 9                 | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -65,5                                       | 44,1                               | -7,1                           | -19,1                           | -0,2                             | -0,1                          | -0,1                        |
| 10                | 48,5   | -66,3  | 48,4                                      | -59,6                                       | 27,5                               | -2,9                           | -11,8                           | -0,4                             | -0,6                          | -0,8                        |
| 11                | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -66,3                                       | 65,6                               | -16,7                          | -31,0                           | 0,1                              | 0,4                           | 0,3                         |
| 12                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 13                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 14                | 48,4   | -66,3  | 48,4                                      | -66,0                                       | 60,6                               | -9,7                           | -32,5                           | -0,1                             | -0,3                          | -0,3                        |
| 15                | 48,4   | -66,3  | 48,4                                      | -66,2                                       | 78,2                               | -12,2                          | -47,6                           | 0,0                              | -0,1                          | -0,1                        |
| 16                | 48,5   | -66,4  | 48,5                                      | -64,5                                       | 29,8                               | -4,4                           | -8,6                            | -0,3                             | -0,1                          | -0,1                        |
| 17                | 48,4   | -66,4  | 48,5                                      | -64,9                                       | 40,4                               | -5,7                           | -17,2                           | 0,0                              | -0,5                          | -0,6                        |
| 18                | 48,4   | -70,5  | 48,4                                      | -69,0                                       | 46,2                               | -6,7                           | -17,8                           | -0,2                             | -0,4                          | -0,4                        |
| 19                | 48,5   | -62,2  | 48,5                                      | -61,8                                       | 42,0                               | -7,5                           | -20,5                           | -0,2                             | 0,0                           | 0,0                         |
| 20                | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -65,5                                       | 44,4                               | -7,0                           | -18,7                           | -0,2                             | -1,0                          | -1,1                        |
| 21                | 48,5   | -66,3  | 48,5                                      | -65,5                                       | 44,0                               | -7,1                           | -19,2                           | -0,2                             | 0,0                           | 0,0                         |
| 22                | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -64,4                                       | 35,5                               | -8,8                           | -9,6                            | -0,2                             | -0,5                          | -0,6                        |
| 23                | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -65,0                                       | 48,8                               | -8,7                           | -22,5                           | -0,3                             | -0,2                          | -0,2                        |
| 24                | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -64,9                                       | 45,4                               | -6,3                           | -21,7                           | -0,2                             | -0,2                          | -0,2                        |
| 25                | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -65,9                                       | 57,4                               | -7,0                           | -32,4                           | -0,1                             | 0,0                           | 0,0                         |
| 26                | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -65,5                                       | 44,1                               | -7,1                           | -19,1                           | -0,2                             | -0,1                          | -0,1                        |
| 27                | 48,5   | -66,4  | 48,4                                      | -64,8                                       | 43,9                               | -7,9                           | -18,6                           | -0,2                             | -0,3                          | -0,3                        |
| 28                | 48,4   | -66,4  | 48,4                                      | -65,1                                       | 45,0                               | -7,7                           | -19,3                           | -0,1                             | -0,6                          | -0,6                        |
| 29                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 30                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 31                | 48,7   | -66,4  | 48,7                                      | -65,0                                       | 38,6                               | -5,8                           | -16,0                           | -0,2                             | 0,1                           | 0,2                         |
| 32                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 33                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |

Tabel b6.2: Waterbalans van 1981 (nat)

| <b>aanpassing</b> | <b>potentiele neerslag (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>potentiele verdamping (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>actuele neerslag (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>actuele verdamping (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>onderrand (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>sloot (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>drains (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>berging (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>fout (m<sup>3</sup>/m)</b> | <b>procentuele fout (%)</b> |
|-------------------|--|--|---|---|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 0                 | 86,6   | -54,5  | 86,1                                      | -54,5                                       | 23,3                               | -11,6                          | -42,3                           | -0,9                             | 0,0                           | 0,0                         |
| 1                 | 86,8   | -54,5  | 85,8                                      | -54,5                                       | 9,0                                | -13,5                          | -25,9                           | -0,8                             | -0,1                          | -0,1                        |
| 2                 | 86,6   | -54,5  | 86,6                                      | -54,5                                       | 45,4                               | -9,8                           | -66,8                           | -0,9                             | 0,1                           | 0,1                         |
| 3                 | 86,6   | -54,5  | 86,2                                      | -54,5                                       | 16,8                               | -12,4                          | -35,1                           | -0,9                             | -0,1                          | -0,1                        |
| 4                 | 43,1   | -27,1  | 42,9                                      | -27,1                                       | 13,0                               | -11,1                          | -17,0                           | -0,5                             | -0,1                          | -0,1                        |
| 5                 | 86,6   | -54,5  | 86,0                                      | -54,5                                       | 30,7                               | -21,1                          | -40,6                           | -0,9                             | 0,5                           | 0,4                         |
| 6                 | 86,6   | -54,5  | 86,0                                      | -54,5                                       | 18,9                               | -3,5                           | -45,9                           | -0,9                             | 0,0                           | 0,0                         |
| 7                 |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 8                 | 86,6   | -54,5  | 86,0                                      | -54,5                                       | 23,3                               | -11,6                          | -42,4                           | -0,9                             | 0,2                           | 0,2                         |
| 9                 | 86,6   | -54,5  | 86,0                                      | -54,5                                       | 23,3                               | -11,6                          | -42,4                           | -0,9                             | 0,2                           | 0,2                         |
| 10                | 86,7   | -54,5  | 83,9                                      | -54,5                                       | 12,7                               | -6,2                           | -33,1                           | -0,9                             | -1,8                          | -1,8                        |
| 11                | 86,6   | -54,5  | 86,6                                      | -54,5                                       | 43,5                               | -21,7                          | -53,5                           | -0,9                             | 0,6                           | 0,5                         |
| 12                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 13                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 14                | 86,6   | -54,5  | 86,0                                      | -54,5                                       | 42,9                               | -14,0                          | -59,4                           | -0,9                             | 0,0                           | 0,0                         |
| 15                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 16                | 86,6   | -54,5  | 86,1                                      | -54,5                                       | 6,1                                | -8,9                           | -27,8                           | -0,9                             | 0,0                           | 0,0                         |
| 17                | 86,6   | -54,6  | 86,0                                      | -54,5                                       | 30,6                               | -12,3                          | -48,9                           | -0,9                             | 0,0                           | 0,0                         |
| 18                | 86,6   | -58,0  | 86,0                                      | -58,0                                       | 24,8                               | -11,2                          | -40,8                           | -0,9                             | 0,2                           | 0,2                         |
| 19                | 86,6   | -51,1  | 86,1                                      | -51,1                                       | 21,9                               | -11,9                          | -44,0                           | -0,9                             | 0,0                           | 0,0                         |
| 20                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 21                | 86,6   | -54,5  | 86,0                                      | -54,5                                       | 23,3                               | -11,6                          | -42,3                           | -0,9                             | 0,1                           | 0,1                         |
| 22                | 86,6   | -54,5  | 86,2                                      | -54,5                                       | 11,9                               | -13,3                          | -29,1                           | -1,0                             | -0,1                          | -0,1                        |
| 23                | 86,6   | -54,5  | 86,1                                      | -54,5                                       | 28,5                               | -13,5                          | -45,6                           | -0,9                             | 0,0                           | 0,0                         |
| 24                | 86,6   | -54,5  | 86,2                                      | -54,5                                       | 25,3                               | -10,2                          | -45,5                           | -0,9                             | -0,3                          | -0,2                        |
| 25                | 86,6   | -54,5  | 86,0                                      | -54,5                                       | 40,0                               | -11,2                          | -59,4                           | -0,9                             | 0,2                           | 0,2                         |
| 26                | 86,6   | -54,5  | 86,0                                      | -54,5                                       | 23,3                               | -11,6                          | -42,4                           | -0,9                             | 0,2                           | 0,2                         |
| 27                | 86,6   | -54,5  | 85,8                                      | -54,5                                       | 23,8                               | -12,1                          | -41,3                           | -0,9                             | -0,8                          | -0,7                        |
| 28                | 86,6   | -54,5  | 86,1                                      | -54,5                                       | 24,3                               | -12,1                          | -42,0                           | -0,9                             | -0,9                          | -0,8                        |
| 29                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 31                | 87,0   | -54,5  | 86,4                                      | -54,5                                       | 19,9                               | -10,8                          | -40,1                           | -1,0                             | 0,1                           | 0,1                         |
| 32                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |
| 33                |  |  |   |   |                                    |                                |                                 |                                  |                               |                             |



Tabel b6.3: Waterbalans van 1976 t/m 1981 (gemiddeld)

| <b>aanpassing</b> | <b>potentiele neerslag (m<sup>3</sup>/m/jaar)</b> | <b>potentiele verdamping (m<sup>3</sup>/m/jaar)</b> | <b>actuele neerslag (m<sup>3</sup>/m/jaar)</b> | <b>actuele verdamping (m<sup>3</sup>/m/jaar)</b> | <b>onderrand (m<sup>3</sup>/m/jaar)</b> | <b>sloot (m<sup>3</sup>/m/jaar)</b> | <b>drains (m<sup>3</sup>/m/jaar)</b> | <b>berging (m<sup>3</sup>/m/jaar)</b> | <b>fout (m<sup>3</sup>/m/jaar)</b> | <b>procentuele fout (%)</b> |
|-------------------|---|---|--|--|---|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 0                 | 70,1  | -56,4   | 69,9   | -56,2  | 29,5                                    | -10,1                               | -32,6                                | -0,1                                  | -0,3                               | -0,3                        |
| 1                 | 70,3  | -56,3   | 70,0   | -56,2  | 17,3                                    | -11,7                               | -18,7                                | -0,1                                  | -0,5                               | -0,6                        |
| 2                 | 70,1  | -56,3   | 70,1   | -56,2  | 49,6                                    | -8,6                                | -54,7                                | -0,1                                  | 0,0                                | 0,0                         |
| 3                 | 70,1  | -56,3   | 69,8   | -56,2  | 24,4                                    | -10,6                               | -27,0                                | -0,1                                  | -0,2                               | -0,2                        |
| 4                 | 34,9  | -28,0   | 34,8   | -27,9  | 15,8                                    | -9,7                                | -13,0                                | -0,1                                  | 0,0                                | 0,1                         |
| 5                 | 70,1  | -56,4   | 69,8   | -56,2  | 37,1                                    | -19,4                               | -31,1                                | -0,1                                  | -0,1                               | -0,1                        |
| 6                 | 70,1  | -56,4   | 69,9   | -56,2  | 24,9                                    | -2,2                                | -36,3                                | -0,1                                  | 0,2                                | 0,2                         |
| 7                 |   |   |  |  |   |                                     |                                      |                                       |                                    |                             |
| 8                 | 70,1  | -56,4   | 70,0   | -56,2  | 29,4                                    | -10,1                               | -33,0                                | -0,1                                  | 0,1                                | 0,1                         |
| 9                 | 70,1  | -56,4   | 70,0   | -56,2  | 29,4                                    | -10,1                               | -33,0                                | -0,1                                  | 0,1                                | 0,1                         |
| 10                | 70,1  | -56,4   | 68,7   | -55,2  | 17,6                                    | -5,1                                | -24,7                                | -0,1                                  | -1,1                               | -1,3                        |
| 11                | 70,1  | -56,4   | 70,1   | -56,4  | 49,6                                    | -20,0                               | -43,7                                | -0,1                                  | 0,4                                | 0,4                         |
| 12                |   |   |  |  |   |                                     |                                      |                                       |                                    |                             |
| 13                |   |   |  |  |   |                                     |                                      |                                       |                                    |                             |
| 14                | 70,1  | -56,3   | 69,7   | -56,3  | 47,9                                    | -12,6                               | -48,2                                | -0,1                                  | -0,3                               | -0,3                        |
| 15                |   |   |  |  |   |                                     |                                      |                                       |                                    |                             |
| 16                | 70,1  | -56,3   | 70,0   | -56,0  | 13,8                                    | -7,4                                | -20,3                                | -0,1                                  | 0,1                                | 0,1                         |
| 17                | 70,1  | -56,4   | 70,0   | -56,1  | 30,5                                    | -9,9                                | -34,4                                | -0,1                                  | 0,1                                | 0,1                         |
| 18                | 70,1  | -59,9   | 70,0   | -59,7  | 31,2                                    | -9,7                                | -31,7                                | -0,1                                  | 0,1                                | 0,1                         |
| 19                | 70,1  | -52,8   | 69,8   | -52,7  | 27,8                                    | -10,4                               | -34,4                                | -0,1                                  | 0,1                                | 0,1                         |
| 20                |   |   |  |  |   |                                     |                                      |                                       |                                    |                             |
| 21                | 70,2  | -56,3   | 69,9   | -56,2  | 29,4                                    | -10,1                               | -33,0                                | -0,1                                  | 0,2                                | 0,2                         |
| 22                | 70,1  | -56,4   | 70,0   | -56,0  | 19,3                                    | -11,8                               | -21,3                                | -0,1                                  | 0,0                                | 0,0                         |
| 23                | 70,1  | -56,4   | 69,9   | -56,1  | 34,5                                    | -11,9                               | -36,3                                | -0,1                                  | 0,0                                | 0,0                         |
| 24                | 70,1  | -56,4   | 70,0   | -56,1  | 31,3                                    | -9,0                                | -36,1                                | -0,1                                  | 0,0                                | 0,0                         |
| 25                | 70,1  | -56,4   | 69,9   | -56,3  | 45,0                                    | -9,8                                | -48,4                                | -0,1                                  | -0,2                               | -0,1                        |
| 26                | 70,1  | -56,4   | 70,0   | -56,2  | 29,4                                    | -10,1                               | -33,0                                | -0,1                                  | 0,1                                | 0,1                         |
| 27                | 70,1  | -56,4   | 69,8   | -56,1  | 29,9                                    | -10,7                               | -32,1                                | -0,1                                  | -0,6                               | -0,6                        |
| 28                | 70,1  | -56,4   | 69,8   | -56,1  | 30,5                                    | -10,6                               | -32,9                                | -0,1                                  | -0,5                               | -0,5                        |
| 29                |   |   |  |  |   |                                     |                                      |                                       |                                    |                             |
| 31                | 70,4  | -56,4   | 70,3   | -56,1  | 25,6                                    | -9,1                                | -30,6                                | -0,1                                  | 0,2                                | 0,2                         |
| 32                |   |   |  |  |   |                                     |                                      |                                       |                                    |                             |
| 33                |   |   |  |  |   |                                     |                                      |                                       |                                    |                             |

Tabel b6.4: Chloridebalans van 1976 (droog)

| <b>aanpassing</b> | <b>neerslag (g/m)</b> | <b>onderrand (g/m)</b> | <b>sloot (g/m)</b> | <b>drains (g/m)</b> | <b>berging (g/m)</b> | <b>fout (g/m)</b> | <b>procentuele fout (%)</b> |
|-------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|
| 0                 | 484                   | 354200                 | -54240             | -128790             | -183000              | 10854             | 3,1                         |
| 1                 | 485                   | 270240                 | -51610             | -524                | -222600              | 3807              | 1,4                         |
| 2                 | 484                   | 484400                 | -48340             | -261000             | -191400              | 15436             | 3,2                         |
| 3                 | 484                   | 329000                 | -53760             | -92760              | -189500              | 6106              | 1,9                         |
| 4                 | 241                   | 177510                 | -50130             | -44940              | -91000               | 8124              | 4,6                         |
| 5                 | 484                   | 418200                 | -127080            | -121350             | -183700              | 12905             | 3,1                         |
| 6                 | 484                   | 312700                 | -6771              | -150300             | -171000              | 14550             | 4,6                         |
| 7                 |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 8                 | 484                   | 220460                 | -34090             | -81700              | -115000              | 9537              | 4,3                         |
| 9                 | 484                   | 617200                 | -95390             | -228200             | -321100              | 26190             | 4,2                         |
| 10                | 484                   | 219550                 | -20760             | -61280              | -160200              | 21723             | 9,9                         |
| 11                | 484                   | 525100                 | -129990            | -234700             | -179200              | 18040             | 3,4                         |
| 12                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 13                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 14                | 484                   | 484900                 | -75000             | -245100             | -182100              | 16247             | 3,3                         |
| 15                | 484                   | 625600                 | -96310             | -375400             | -176300              | 21400             | 3,4                         |
| 16                | 485                   | 236260                 | -24310             | -412                | -215800              | 3500              | 1,5                         |
| 17                | 484                   | 322900                 | -45270             | -113040             | -182100              | 16625             | 5,1                         |
| 18                | 484                   | 369500                 | -53740             | -134000             | -205700              | 22796             | 6,2                         |
| 19                | 485                   | 335900                 | -54900             | -126590             | -162600              | 7427              | 2,2                         |
| 20                | 484                   | 355600                 | -52240             | -127990             | -186300              | 10040             | 2,8                         |
| 21                | 485                   | 352200                 | -57840             | -130760             | -172600              | 8087              | 2,3                         |
| 22                | 484                   | 282500                 | -55280             | -15627              | -214700              | 2323              | 0,8                         |
| 23                | 484                   | 390100                 | -58260             | -156600             | -190400              | 14273             | 3,7                         |
| 24                | 484                   | 363000                 | -48400             | -119080             | -203200              | 6849              | 1,9                         |
| 25                | 484                   | 459500                 | -54480             | -243800             | -185500              | 23239             | 5,1                         |
| 26                | 969                   | 352700                 | -54550             | -130810             | -184100              | 15393             | 4,4                         |
| 27                | 484                   | 351500                 | -59950             | -133510             | -178700              | 19678             | 5,6                         |
| 28                | 484                   | 359700                 | -59550             | -133770             | -180800              | 13501             | 3,7                         |
| 29                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 31                | 487                   | 309100                 | -45920             | -102390             | -186800              | 25057             | 8,1                         |
| 32                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 33                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |

Tabel b6.5: Chloridebalans van 1981 (nat)

| <b>aanpassing</b> | <b>neerslag (g/m)</b> | <b>onderrand (g/m)</b> | <b>sloot (g/m)</b> | <b>drains (g/m)</b> | <b>berging (g/m)</b> | <b>fout (g/m)</b> | <b>procentuele fout (%)</b> |
|-------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|
| 0                 | 860                   | 186200                 | -74580             | -174700             | 64000                | -1534             | -0,8                        |
| 1                 | 857                   | 71200                  | -67340             | -1527               | -2400                | -684              | -0,9                        |
| 2                 | 865                   | 359700                 | -66860             | -364400             | 58900                | 7520              | 2,1                         |
| 3                 | 861                   | 134700                 | -74660             | -126800             | 68600                | -2650             | -2,0                        |
| 4                 | 429                   | 103900                 | -69270             | -62490              | 29100                | -1672             | -1,6                        |
| 5                 | 860                   | 245400                 | -152500            | -165000             | 63800                | 7420              | 3,0                         |
| 6                 | 860                   | 151500                 | -17420             | -186400             | 56500                | -4973             | -3,3                        |
| 7                 |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 8                 | 860                   | 116300                 | -46620             | -106200             | 37100                | -1225             | -1,0                        |
| 9                 | 860                   | 325700                 | -130400            | -295900             | 103600               | -3738             | -1,1                        |
| 10                | 839                   | 101200                 | -35880             | -109600             | 48500                | -4880             | -4,8                        |
| 11                | 865                   | 347700                 | -153800            | -259000             | 55800                | 8470              | 2,4                         |
| 12                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 13                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 14                | 860                   | 343200                 | -98800             | -315200             | 61300                | 8580              | 2,5                         |
| 15                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 16                | 861                   | 48200                  | -34540             | -1740               | -9900                | -2893             | -5,9                        |
| 17                | 860                   | 245100                 | -80690             | -210500             | 45700                | -446              | -0,2                        |
| 18                | 859                   | 198200                 | -77060             | -191500             | 68600                | 1090              | 0,5                         |
| 19                | 860                   | 175300                 | -71940             | -152200             | 53100                | -4980             | -2,8                        |
| 20                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 21                | 859                   | 186300                 | -76440             | -146300             | 44400                | -8790             | -4,7                        |
| 22                | 861                   | 94800                  | -70930             | -23520              | 1500                 | -2587             | -2,7                        |
| 23                | 860                   | 227700                 | -77080             | -205700             | 52900                | 1456              | 0,6                         |
| 24                | 862                   | 202200                 | -65350             | -152800             | 16400                | -1186             | -0,6                        |
| 25                | 859                   | 319800                 | -74980             | -309000             | 59200                | 4140              | 1,3                         |
| 26                | 1720                  | 186000                 | -74650             | -170400             | 59300                | -1909             | -1,0                        |
| 27                | 858                   | 190400                 | -79120             | -170800             | 61400                | -2677             | -1,4                        |
| 28                | 860                   | 194700                 | -79680             | -171700             | 60600                | -4643             | -2,4                        |
| 29                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 31                | 864                   | 159300                 | -66880             | -136600             | 58600                | -15210            | -9,5                        |
| 32                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |
| 33                |                       |                        |                    |                     |                      |                   |                             |

Tabel b6.6: Chloridebalans voor 1976 t/m 1981 (gemiddeld)

| <b>aanpassing</b> | <b>neerslag (g/m/jaar)</b> | <b>onderrand (g/m/jaar)</b> | <b>sloot (g/m/jaar)</b> | <b>drains (g/m/jaar)</b> | <b>berging (g/m/jaar)</b> | <b>fout (g/m/jaar)</b> | <b>procentuele fout (%)</b> |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 0                 | 700                        | 236150                      | -72555                  | -181148                  | 12250                     | 4593                   | 1,9                         |
| 1                 | 699                        | 136707                      | -67862                  | -1445                    | -69717                    | 1593                   | 1,2                         |
| 2                 | 701                        | 396533                      | -64703                  | -359700                  | 15667                     | 10763                  | 2,7                         |
| 3                 | 697                        | 195167                      | -73768                  | -131033                  | 6967                      | 1938                   | 1,0                         |
| 4                 | 348                        | 126422                      | -67737                  | -67912                   | 6400                      | 2470                   | 1,9                         |
| 5                 | 699                        | 297100                      | -149335                 | -171012                  | 12800                     | 9715                   | 3,3                         |
| 6                 | 699                        | 198850                      | -14116                  | -201883                  | 12367                     | 4083                   | 2,0                         |
| 7                 |                            |                             |                         |                          |                           |                        |                             |
| 8                 | 699                        | 147110                      | -45407                  | -114140                  | 8050                      | 3682                   | 2,5                         |
| 9                 | 699                        | 411933                      | -126990                 | -318200                  | 22517                     | 10015                  | 2,4                         |
| 10                | 687                        | 140858                      | -32963                  | -111513                  | 83                        | 2835                   | 2,0                         |
| 11                | 701                        | 397033                      | -153498                 | -272717                  | 14483                     | 13990                  | 3,5                         |
| 12                |                            |                             |                         |                          |                           |                        |                             |
| 13                |                            |                             |                         |                          |                           |                        |                             |
| 14                | 699                        | 383383                      | -95472                  | -313533                  | 12967                     | 11936                  | 3,1                         |
| 15                |                            |                             |                         |                          |                           |                        |                             |
| 16                | 700                        | 108023                      | -35065                  | -1437                    | -71933                    | -320                   | -0,3                        |
| 17                | 699                        | 243633                      | -71250                  | -189978                  | 10667                     | 6209                   | 2,5                         |
| 18                | 699                        | 249550                      | -73672                  | -204067                  | 17383                     | 10073                  | 4,0                         |
| 19                | 699                        | 222283                      | -71123                  | -162825                  | 9183                      | 1793                   | 0,8                         |
| 20                |                            |                             |                         |                          |                           |                        |                             |
| 21                | 699                        | 235367                      | -75953                  | -176760                  | 11133                     | 5499                   | 2,3                         |
| 22                | 700                        | 153217                      | -71390                  | -24106                   | -59350                    | 923                    | 0,6                         |
| 23                | 699                        | 276200                      | -76942                  | -210400                  | 2083                      | 8352                   | 3,0                         |
| 24                | 700                        | 250483                      | -64230                  | -155347                  | -34300                    | 2694                   | 1,1                         |
| 25                | 699                        | 359617                      | -72660                  | -313283                  | 14550                     | 11054                  | 3,1                         |
| 26                | 1399                       | 235383                      | -72685                  | -182952                  | 12900                     | 5929                   | 2,5                         |
| 27                | 697                        | 239150                      | -78192                  | -181735                  | 13550                     | 6509                   | 2,7                         |
| 28                | 698                        | 244183                      | -77002                  | -182628                  | 13583                     | 1148                   | 0,5                         |
| 29                |                            |                             |                         |                          |                           |                        |                             |
| 31                | 702                        | 204750                      | -65527                  | -156920                  | 13033                     | 3954                   | 1,9                         |
| 32                |                            |                             |                         |                          |                           |                        |                             |
| 33                |                            |                             |                         |                          |                           |                        |                             |

Tabel b6.7: Verdeling van water en chloride voor 1976 (droog)

| aanpassing | water                |                          |                | chloride       |
|------------|----------------------|--------------------------|----------------|----------------|
|            | onderrand / neerslag | verdamping /<br>neerslag | drains / sloot | drains / sloot |
| 0          | 0,9                  | -1,4                     | 2,7            | 2,4            |
| 1          | 0,7                  | -1,4                     | 0,9            | 0,0            |
| 2          | 1,3                  | -1,4                     | 5,8            | 5,4            |
| 3          | 0,8                  | -1,4                     | 2,1            | 1,7            |
| 4          | 0,9                  | -1,3                     | 1,0            | 0,9            |
| 5          | 1,1                  | -1,3                     | 1,1            | 1,0            |
| 6          | 0,8                  | -1,4                     | -38,0          | 22,2           |
| 7          |                      |                          |                |                |
| 8          | 0,9                  | -1,4                     | 2,7            | 2,4            |
| 9          | 0,9                  | -1,4                     | 2,7            | 2,4            |
| 10         | 0,6                  | -1,2                     | 4,0            | 3,0            |
| 11         | 1,4                  | -1,4                     | 1,9            | 1,8            |
| 12         |                      |                          |                |                |
| 13         |                      |                          |                |                |
| 14         | 1,3                  | -1,4                     | 3,4            | 3,3            |
| 15         | 1,6                  | -1,4                     | 3,9            | 3,9            |
| 16         | 0,6                  | -1,3                     | 2,0            | 0,0            |
| 17         | 0,8                  | -1,3                     | 3,0            | 2,5            |
| 18         | 1,0                  | -1,4                     | 2,7            | 2,5            |
| 19         | 0,9                  | -1,3                     | 2,7            | 2,3            |
| 20         | 0,9                  | -1,4                     | 2,7            | 2,5            |
| 21         | 0,9                  | -1,4                     | 2,7            | 2,3            |
| 22         | 0,7                  | -1,3                     | 1,1            | 0,3            |
| 23         | 1,0                  | -1,3                     | 2,6            | 2,7            |
| 24         | 0,9                  | -1,3                     | 3,5            | 2,5            |
| 25         | 1,2                  | -1,4                     | 4,6            | 4,5            |
| 26         | 0,9                  | -1,4                     | 2,7            | 2,4            |
| 27         | 0,9                  | -1,3                     | 2,3            | 2,2            |
| 28         | 0,9                  | -1,3                     | 2,5            | 2,2            |
| 29         |                      |                          |                |                |
| 31         | 0,8                  | -1,3                     | 2,8            | 2,2            |
| 32         |                      |                          |                |                |
| 33         |                      |                          |                |                |

Tabel b6.8: Verdeling van water en chloride voor 1981 (nat)

| aanpassing | water                |                          |                | chloride       |
|------------|----------------------|--------------------------|----------------|----------------|
|            | onderrand / neerslag | verdamping /<br>neerslag | drains / sloot | drains / sloot |
| 0          | 0,3                  | -0,6                     | 3,6            | 2,3            |
| 1          | 0,1                  | -0,6                     | 1,9            | 0,0            |
| 2          | 0,5                  | -0,6                     | 6,8            | 5,5            |
| 3          | 0,2                  | -0,6                     | 2,8            | 1,7            |
| 4          | 0,3                  | -0,6                     | 1,5            | 0,9            |
| 5          | 0,4                  | -0,6                     | 1,9            | 1,1            |
| 6          | 0,2                  | -0,6                     | 13,1           | 10,7           |
| 7          |                      |                          |                |                |
| 8          | 0,3                  | -0,6                     | 3,7            | 2,3            |
| 9          | 0,3                  | -0,6                     | 3,7            | 2,3            |
| 10         | 0,2                  | -0,6                     | 5,3            | 3,1            |
| 11         | 0,5                  | -0,6                     | 2,5            | 1,7            |
| 12         |                      |                          |                |                |
| 13         |                      |                          |                |                |
| 14         | 0,5                  | -0,6                     | 4,2            | 3,2            |
| 15         |                      |                          |                |                |
| 16         | 0,1                  | -0,6                     | 3,1            | 0,1            |
| 17         | 0,4                  | -0,6                     | 4,0            | 2,6            |
| 18         | 0,3                  | -0,7                     | 3,6            | 2,5            |
| 19         | 0,3                  | -0,6                     | 3,7            | 2,1            |
| 20         |                      |                          |                |                |
| 21         | 0,3                  | -0,6                     | 3,6            | 1,9            |
| 22         | 0,1                  | -0,6                     | 2,2            | 0,3            |
| 23         | 0,3                  | -0,6                     | 3,4            | 2,7            |
| 24         | 0,3                  | -0,6                     | 4,4            | 2,3            |
| 25         | 0,5                  | -0,6                     | 5,3            | 4,1            |
| 26         | 0,3                  | -0,6                     | 3,7            | 2,3            |
| 27         | 0,3                  | -0,6                     | 3,4            | 2,2            |
| 28         | 0,3                  | -0,6                     | 3,5            | 2,2            |
| 29         |                      |                          |                |                |
| 31         | 0,2                  | -0,6                     | 3,7            | 2,0            |
| 32         |                      |                          |                |                |
| 33         |                      |                          |                |                |

Tabel b6.9: Verdeling van water en chloride voor 1976 t/m 1981 (gemiddeld)

| aanpassing | water                |                          | chloride       |                |
|------------|----------------------|--------------------------|----------------|----------------|
|            | onderrand / neerslag | verdamping /<br>neerslag | drains / sloot | drains / sloot |
| 0          | 0,4                  | -0,8                     | 3,2            | 2,5            |
| 1          | 0,2                  | -0,8                     | 1,6            | 0,0            |
| 2          | 0,7                  | -0,8                     | 6,3            | 5,6            |
| 3          | 0,3                  | -0,8                     | 2,5            | 1,8            |
| 4          | 0,5                  | -0,8                     | 1,3            | 1,0            |
| 5          | 0,5                  | -0,8                     | 1,6            | 1,1            |
| 6          | 0,4                  | -0,8                     | 16,6           | 14,3           |
| 7          |                      |                          |                |                |
| 8          | 0,4                  | -0,8                     | 3,3            | 2,5            |
| 9          | 0,4                  | -0,8                     | 3,3            | 2,5            |
| 10         | 0,3                  | -0,8                     | 4,9            | 3,4            |
| 11         | 0,7                  | -0,8                     | 2,2            | 1,8            |
| 12         |                      |                          |                |                |
| 13         |                      |                          |                |                |
| 14         | 0,7                  | -0,8                     | 3,8            | 3,3            |
| 15         |                      |                          |                |                |
| 16         | 0,2                  | -0,8                     | 2,8            | 0,0            |
| 17         | 0,4                  | -0,8                     | 3,5            | 2,7            |
| 18         | 0,4                  | -0,9                     | 3,3            | 2,8            |
| 19         | 0,4                  | -0,8                     | 3,3            | 2,3            |
| 20         |                      |                          |                |                |
| 21         | 0,4                  | -0,8                     | 3,3            | 2,3            |
| 22         | 0,3                  | -0,8                     | 1,8            | 0,3            |
| 23         | 0,5                  | -0,8                     | 3,1            | 2,7            |
| 24         | 0,4                  | -0,8                     | 4,0            | 2,4            |
| 25         | 0,6                  | -0,8                     | 4,9            | 4,3            |
| 26         | 0,4                  | -0,8                     | 3,3            | 2,5            |
| 27         | 0,4                  | -0,8                     | 3,0            | 2,3            |
| 28         | 0,4                  | -0,8                     | 3,1            | 2,4            |
| 29         |                      |                          |                |                |
| 31         | 0,4                  | -0,8                     | 3,4            | 2,4            |
| 32         |                      |                          |                |                |
| 33         |                      |                          |                |                |