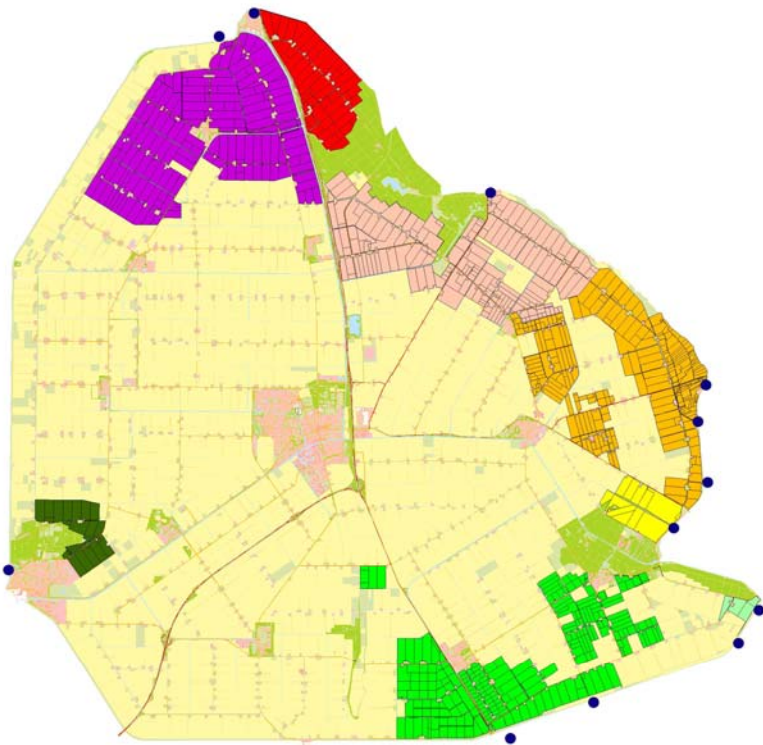


# Evaluatie wateraanvoer in de Noordoostpolder

Opdrachtgever: Waterschap Zuiderzeeland





# Evaluatie wateraanvoer in de Noordoostpolder

april 2006

Opdrachtgever: Waterschap Zuiderzeeland  
Uitvoerder: FutureWater

Begeleiders: B. Brouwer (Waterschap Zuiderzeeland)  
B. Warmolts (Waterschap Zuiderzeeland)  
D. van den Bersselaar (Waterschap Zuiderzeeland)

Auteurs: W. Immerzeel (FutureWater)  
H.G. Graafstal (FutureWater)  
R. Loeve (FutureWater)



## Voorwoord

Wateraanvoer speelt een belangrijke rol in de waterhuishouding van de Noordoostpolder. Het aangevoerde water wordt onder andere gebruikt voor droogtebestrijding, doorspoeling en peilhandhaving. De wateraanvoer is ongeveer 10% van de totale hoeveelheid water (neerslag, kwel, wateraanvoer), echter het is niet bekend hoeveel wateraanvoer noodzakelijk is voor droogtebestrijding, peilhandhaving en het handhaven van een goede waterkwaliteit. Waterschap Zuiderzeeland heeft met deze studie een eerste stap gezet naar een betere kwantificatie van de benodigde hoeveelheden wateraanvoer in de Noordoostpolder.

De studie is tot stand gekomen met behulp van belangrijke bijdragen van Mw. B. Brouwer, Dhr. B. Warmolts en Dhr. D. van den Bersselaar werkzaam bij Waterschap Zuiderzeeland. Daarnaast hebben Dhr. M. Oudendijk en Dhr. H. van Dijk (Waterschap Zuiderzeeland) een enorme hoeveelheid waterkwantiteit- en kwaliteitgegevens geleverd. Allen worden bedankt voor de prettige en waardevolle samenwerking.

FutureWater  
Generaal Foulkesweg 28  
6703 BS Wageningen  
tel: 0317 460050  
email: [info@futurewater.nl](mailto:info@futurewater.nl)  
web: [www.futurewater.nl](http://www.futurewater.nl)



## Samenvatting

Wateraanvoer is een belangrijke component van de waterbalans van de Noordoostpolder. Het water wordt aangevoerd voor onder andere droogtebestrijding, nachtvorst, doorspoeling en peilhandhaving. De hoeveelheid water die in de Noordoostpolder wordt ingelaten is aanzienlijk (10% van de totale hoeveelheid water). Het is echter nog niet bekend hoeveel water noodzakelijk is voor droogtebestrijding, peilhandhaving en handhaving van goede waterkwaliteit in de huidige situatie. De doelstelling van deze studie is om te bepalen wat de hoeveelheid wateraanvoer voor droogtebestrijding in de huidige situatie is per wateraanvoergebied in de Noordoostpolder voor verschillende jaren voor de landbouwkundige productie. Daarnaast is de landbouwkundige schade bepaald bij een inlaatstop. De doorspoelbehoefte voor de parameter chloride is bepaald voor een representatieve watergang onder bepaalde waterkwaliteitsnormen.

De volgende methoden zijn gebruikt om de doelstellingen te verwezenlijken; data analyse van beschikbare gegevens voor de gehele Noordoostpolder, analyse van droogtebestrijding van de wateraanvoergebieden in de Noordoostpolder met behulp van FutureView en waterkwaliteitsmodellering (chloride) van een representatieve watergang met behulp van een oppervlaktewatermodel.

Na analyses van de gegevens is geconstateerd dat Waterschap Zuiderzeeland beperkt rekening houdt met de neerslag bij de wateraanvoer in het zomerhalfjaar. Hiervoor zijn een aantal redenen aangevoerd die vooral operationeel van aard zijn: het duurt lang voordat een lege wateraanvoersloot weer vol is en de meest schadegevoelige functies zitten aan het eind van de wateraanvoersloten.

De waterbalans van de Noordoostpolder van het droogste jaar (2003) in de droogste maand (augustus) laat zien dat er nog een aanzienlijke hoeveelheid water wordt uitgemalen. Dit is een indicatie dat de hoeveelheid water dat uitgemalen wordt rechtstreeks afkomstig is van de wateraanvoer.

De hoeveelheid water noodzakelijk voor droogtebestrijding per wateraanvoergebied in de huidige situatie varieert van 2% tot 41% in het droge jaar 2003. Deze hoeveelheid is slechts een klein percentage van de totale huidige wateraanvoer. Opmerkelijk is dat zelfs in het natte jaar 1998 er nog steeds een kleine wateraanvoerbehoefte bestaat voor droogtebestrijding.

De hoeveelheid water noodzakelijk voor peilhandhaving is gemiddeld twee keer zo groot als de hoeveelheid water noodzakelijk voor droogtebestrijding. Er is dus drie keer zoveel water nodig om een bepaalde hoeveelheid water voor droogtebestrijding in te zetten.

De doorspoelbehoefte voor chloride is afhankelijk de gehanteerde praktijknormen. Hoe lager de toegestane chlorideconcentratie in het oppervlaktewater, des te meer wateraanvoer is nodig voor het doorspoelen. De doorspoelbehoefte onder de praktijknorm van  $600 \text{ mg l}^{-1}$  is nul. Wordt de norm van  $300 \text{ mg l}^{-1}$  gehanteerd dat neemt de doorspoelbehoefte toe. Grote hoeveelheden water zouden moeten worden aangevoerd om de norm van  $200 \text{ mg l}^{-1}$  te garanderen. De discussie welk praktijknorm te handhaven is een zeer relevante, aangezien al het water dat voor doorspoelen wordt ingelaten weer moet worden uitgemalen met (energie-) kosten tot gevolg.

In het natte jaar 1998 en gemiddelde jaar 2000 was circa 25% van de totale wateraanvoer noodzakelijk voor droogtebestrijding, peilhandhaving en doorspoeling van de wateraanvoergebieden. De overige 75% van de wateraanvoer werd aangevoerd om: (i) praktijknorm lager dan  $300 \text{ mg l}^{-1}$

(Waterbeheersplan) te handhaven vanwege gewoonterecht, (ii) doorspoeling voor niet wateraanvoergebieden, (iii) volledig vullen van de lege wateraanvoersloten na een inlaatstop kost circa drie dagen, daarom is het wateraanvoersysteem minder flexibel en (iv) extra wateraanvoer als veiligheidsmarge tegen hoge schadeclaims van functies met een hoge kans op droogteschade (kassen, aardbeien) die vaak aan het eind van de aanvoersloten zijn gelokaliseerd. In deze 75% zit ook de hoeveelheid water die wordt aangevoerd terwijl er geen behoefte aan is. In het droge jaar 2003 was circa 85% van het aangevoerde water noodzakelijk voor droogtebestrijding, peilhandhaving en doorspoeling van de wateraanvoergebieden.

De berekende droogteschade voor de wateraanvoergebieden onder de huidige wateraanvoer is gering. Als er geen wateraanvoer in de Noordoostpolder zou zijn zal de droogteschade toenemen in de wateraanvoergebieden. Als gemiddelde van alle wateraanvoergebieden in de Noordoostpolder neemt de gemiddelde droogteschade slechts met 3% toe, echter in bepaalde gebieden zal de maximale droogteschade tot 13% toenemen zonder wateraanvoer in het droge jaar 2003. Hierbij moet niet vergeten worden dat al zijn de percentages extra schade bij een totale inlaatstop gering, de totale schade in euro per hectare aanzienlijk kan zijn bij hoogwaardige landbouw. Voor glastuinbouw kan de maximale extra droogteschade oplopen tot meer dan €29.000,- per hectare in het droge jaar 2003.



# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>11</b>
1.1	Doelstelling	11
<b>2</b>	<b>METHODEN</b>	<b>13</b>
2.1	Studiegebied	13
2.2	FutureView	14
2.2.1	Introductie	14
2.2.2	Rekeneenheden	16
2.2.3	Ontwatering	17
2.2.4	Droogtestress	19
2.2.5	Infiltratie	19
2.2.6	Droogteberekening	20
2.2.7	Nachtvorstberekening	20
2.2.8	Scenario's	21
2.3	Gegevens	21
2.3.1	Wateraanvoer	21
2.3.2	Waterafvoer	25
2.3.3	Kwel	26
2.3.4	Meteorologie	29
2.3.5	Bodem	30
2.3.6	Waterkwaliteit	31
2.4	Doorspoelbehoefte	35
2.4.1	Duflow	35
2.4.2	Mixed cell	36
2.4.3	Vergelijking Duflow en Mixed cell	36
<b>3</b>	<b>RESULTATEN</b>	<b>37</b>
3.1	Analyse water aan- en afvoer	37
3.2	Wateraanvoer voor droogtebestrijding	40
3.2.1	Huidige situatie	40
3.2.2	Scenario geen wateraanvoer voor droogtebestrijding	44
3.3	Wateraanvoer voor nachtvorstbestrijding	50
3.4	Gemaalkosten als gevolg van wateraanvoer	51
3.5	Doorspoelbehoefte	51
3.6	Gedifferentieerde wateraanvoer	56
<b>4</b>	<b>CONCLUSIES</b>	<b>61</b>
<b>5</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>63</b>
	<b>BIJLAGEN</b>	<b>65</b>
	<b>BIJLAGE 1: ACHTERGROND SWAP</b>	<b>67</b>
	<b>BIJLAGE 2: INFILTRATIEWEERSTAND</b>	<b>73</b>
	<b>BIJLAGE 3: GEGEVENS PER INLAAT</b>	<b>75</b>
	<b>BIJLAGE 4: DOORSPOELBEHOEFTE</b>	<b>77</b>
	<b>BIJLAGE 5: GEGEVENS PER AANVOERGEBIED</b>	<b>83</b>

# Tabellen

Tabel 1. Oppervlakte wateraanvoergebieden. ....	13
Tabel 2. Grenswaarden drainageweerstand. ....	18
Tabel 3. Verschillende drainagesystemen die ontleend zijn aan STONE. ....	19
Tabel 4. Oppervlakte (%) per wateraanvoergebied waar naast infiltratie ook beregning plaatsvindt. ....	20
Tabel 5. Aantal dagen met nachtvorst. ....	21
Tabel 6. Wateraanvoer per wateraanvoergebied in millimeter per jaar. ....	23
Tabel 7. Het aantal primaire en secundaire eindstuwputten met bijbehorend aanvoerdebiet. ....	25
Tabel 8. Waterafvoer via de gemalen Vissering, Smeenge en Buma in duizend kubieke meter en millimeter ..... 26	26
Tabel 9. Jaarlijkse kwel per wateraanvoergebied. ....	28
Tabel 10. Seizoenneerslag voor station Emmeloord van 1995 tot en met 2003. ....	29
Tabel 11. Oppervlaktewaterkwaliteit wateraanvoer per wateraanvoergebied ..... 34	34
Tabel 12. Waterbalans voor de Noordoostpolder in duizend kubieke meter per jaar. ....	38
Tabel 13. Waterbalans voor de Noordoostpolder in duizend kubieke meter per maand voor het jaar 2003. ....	39
Tabel 14. Extra droogteschade bij het scenario geen wateraanvoer voor de wateraanvoergebieden..... 46	46
Tabel 15. Extra droogteschade zonder wateraanvoer in euro per hectare voor verschillend landgebruik. ....	48
Tabel 16. Samenvatting FutureView resultaten per wateraanvoergebied. ....	49
Tabel 17. Indicatie van de kosten per dag per wateraanvoerpunt als het water niet nodig is en moet worden uitgemalen. ....	51
Tabel 18. Chlorideconcentraties eerste watervoerend pakket (=kwel) en aangevoerde water. ....	52
Tabel 19. Doorspoelbehoefte van een representatieve watergang per wateraanvoergebied met verschillende kwelintensiteiten onder verschillende praktijknormen zonder rekening te houden met het neerslagoverschot..... 54	54
Tabel 20. Gemiddelde jaarlijkse doorspoelbehoefte per wateraanvoergebied rekening houdend met het neerslagoverschot..... 55	55
Tabel 21. Gemiddelde gedifferentieerde wateraanvoer per wateraanvoergebied voor een nat (1998), gemiddeld (2000) en droog (2003) jaar. ....	57
Tabel 22. Invoergegevens voor vergelijking Duflow en Mixed cell. ....	78

# Figuren

Figuur 1. Noordoostpolder met wateraanvoer (hevels en inlaten) en afvoer (gemalen).....	13
Figuur 2. Wateraanvoergebieden in de Noordoostpolder.....	14
Figuur 3. Schematische weergave van het SWAP model (Van Dam et al., 1997).....	15
Figuur 4. FutureView rekeneenheden.....	17
Figuur 5. Interactie van het bodemwater met het openwatersysteem in SWAP.....	18
Figuur 6. Wateraanvoer onderverdeeld per inlaatpunt in duizend kubieke meter per jaar.....	22
Figuur 7. Fruitteelt in wateraanvoergebieden.....	23
Figuur 8. Wateraanvoer per wateraanvoergebied in millimeter per jaar.....	24
Figuur 9. Schematische weergave van wateraanvoer en stuwputten.....	24
Figuur 10. Kwelkaart volgens Bastiaanssen en Zwart (2005).....	26
Figuur 11. Locatie grondwaterpeilbuizen.....	27
Figuur 12. Stijghoogte verloop peilbuis 16CP0021.....	27
Figuur 13. Jaarlijkse kwel voor de rekeneenheden van de wateraanvoergebieden.....	28
Figuur 14. Jaarlijkse neerslag Noordoostpolder.....	29
Figuur 15. Bodemkaart Noordoostpolder.....	30
Figuur 16. Gemiddelde chlorideconcentratie eerste watervoerende pakket (Royal Haskoning, 2003).....	32
Figuur 17. Natuurlijke achtergrondgehalten (P90) chlorideconcentratie (Witteveen+Bos, 2004).....	33
Figuur 18. Chlorideconcentratie (P90) oppervlaktewater.....	34
Figuur 19. Waterbalans voor de Noordoostpolder in millimeter per jaar.....	38
Figuur 20. Wateraanvoerbehoefte (infiltratie, droogteberekening en nachtvorstberekening) voor de huidige situatie in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).....	40
Figuur 21. Droogteschade voor de huidige situatie in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).....	41
Figuur 22. Gemiddelde grondwaterstand van april tot en met september voor de huidige situatie in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).....	42
Figuur 23. Maandelijkse waterbalans in 1998 voor wateraanvoergebied Kadoelen.....	43
Figuur 24. Maandelijkse waterbalans in 2003 voor wateraanvoergebied Kadoelen.....	43
Figuur 25. Maandelijkse waterbalans in 1998 voor wateraanvoergebied Lemsterweg-Rutten.....	44
Figuur 26. Maandelijkse waterbalans in 2003 voor wateraanvoergebied Lemsterweg-Rutten.....	44
Figuur 27. Droogteschade voor het scenario zonder wateraanvoer in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).....	45
Figuur 28. Gemiddelde grondwaterstand van april tot en met september voor het scenario zonder wateraanvoer in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).....	46
Figuur 29. Extra droogteschade voor het scenario zonder wateraanvoer t.o.v. huidige situatie in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).....	47
Figuur 30. Maandelijkse waterbalans in 1998 voor fruitteelt gebieden (5 dagen nachtvorst).....	50
Figuur 31. Maandelijkse waterbalans in 2003 voor fruitteelt gebieden (21 dagen nachtvorst).....	50
Figuur 32. Chlorideconcentratie in een representatieve watergang op verschillende afstanden vanaf het inlaatpunt onder verschillende praktijknormen voor wateraanvoergebied Blokzijl.....	53
Figuur 33. Aanvoerhoeveelheid tegen chlorideconcentratie in een representatieve watergang met verschillende kwelintensiteiten voor wateraanvoergebied Urk.....	53
Figuur 34. Wateraanvoerbehoefte in wateraanvoergebieden ten opzichte van werkelijk aanvoer (1998).....	58
Figuur 35. Wateraanvoerbehoefte in wateraanvoergebieden ten opzichte van werkelijk aanvoer (2000).....	59
Figuur 36. Wateraanvoerbehoefte in wateraanvoergebieden ten opzichte van werkelijk aanvoer (2003).....	59
Figuur 37. Overview of the main processes included in the soil-water-crop module (left) and detailed crop growth module (right) of SWAP-WOFOST.....	67
Figuur 38. Dagelijkse infiltratie (mm/dag) bij verschillende infiltratieweerstanden.....	73
Figuur 39. Cumulatieve droogtestress (mm) bij verschillende infiltratieweerstanden.....	73
Figuur 40. Relatie droogtestress en infiltratie.....	74
Figuur 41. Vergelijking Duflo en Mixed cell voor de referentiesituatie.....	79
Figuur 42. Vergelijking Duflo en Mixed cell voor een situatie met hoge kwelintensiteit.....	79
Figuur 43. Vergelijking Duflo en Mixed cell voor een situatie met hoge kwel chlorideconcentratie.....	80
Figuur 44. Vergelijking Duflo en Mixed cell voor een situatie met een hoog aanvoerdebiet.....	80
Figuur 45. Vergelijking Duflo en Mixed cell voor een situatie met lage aanvoer chlorideconcentratie.....	81



# 1 Inleiding

Naast waterafvoer zorgt Waterschap Zuiderzeeland ook voor aanvoer van water van buiten de polder. De aanvoer van water kan nodig zijn voor (Waterschap Zuiderzeeland, 2001):

- tegengaan droogteschade landbouw (beregening en infiltratie)
- glastuinbouw en andere gevoelige teelten
- veedrenking
- doorspoeling voor betere waterkwaliteit (nachtvorst- en droogteberegening fruitteelt)
- natuurgebieden.

De waterbalans voor de Noordoostpolder laat zien dat er op jaarbasis gemiddeld 140 mm water wordt aangevoerd (Waterschap Zuiderzeeland, 2001). Dit is ongeveer 10% van de totale hoeveelheid water (neerslag, kwel, wateraanvoer) die de Noordoostpolder binnenkomt. De wateraanvoer uitgedrukt in millimeters voor de wateraanvoergebieden is gemiddeld circa 640 mm. De hoeveelheid wateraanvoer in de Noordoostpolder is hoog in vergelijking met Zuidelijk en Oostelijk Flevoland waar ongeveer 30 mm water wordt ingelaten.

Het is duidelijk dat de hoeveelheid water die de Noordoostpolder wordt ingelaten aanzienlijk is. Het is echter niet bekend met welke minimale hoeveelheid water voldaan zou kunnen worden om droogteschade tegen te gaan in de wateraanvoergebieden en optimale landbouwkundige productie te realiseren. Daarnaast is het onduidelijk hoeveel water ingelaten dient te worden om de waterkwaliteit in de Noordoostpolder op peil te houden. Over het algemeen heerst het "gevoel" dat er onnodig veel wordt ingelaten, en dus ook weer wordt uitgemalen, wat extra energiekosten met zich meebrengt. Eenduidige kwantitatieve gegevens over dit "gevoel" zijn niet beschikbaar. In het Waterbeheersplan 2002-2005: Water in beweging (Waterschap Zuiderzeeland, 2001) wordt aangegeven dat een evaluatie van de wateraanvoer wenselijk is.

## 1.1 Doelstelling

De doelstelling van deze studie is (i) bepaling van de hoeveelheid wateraanvoer voor een optimale landbouwkundige productie in de huidige situatie per wateraanvoergebied voor een droog, gemiddeld en nat jaar. (ii) Bepaling van de (extra) landbouwkundige schade bij een inlaatstop. (iii) bepaling van de doorspoelbehoefte voor een representatieve watergang om bepaalde waterkwaliteitsnormen te behalen. Dit laatste punt zal worden uitgevoerd bij verschillende kwelintensiteiten, verschillende chlorideconcentraties van de kwel en bij verschillende chlorideconcentraties van de wateraanvoer.

Een nevendoelstelling is om deze studie zo in te richten dat een eventuele studie naar de wateropgave droogte hierop kan aansluiten.

Om deze doelstellingen te verwezenlijken zijn de volgende methoden gebruikt:

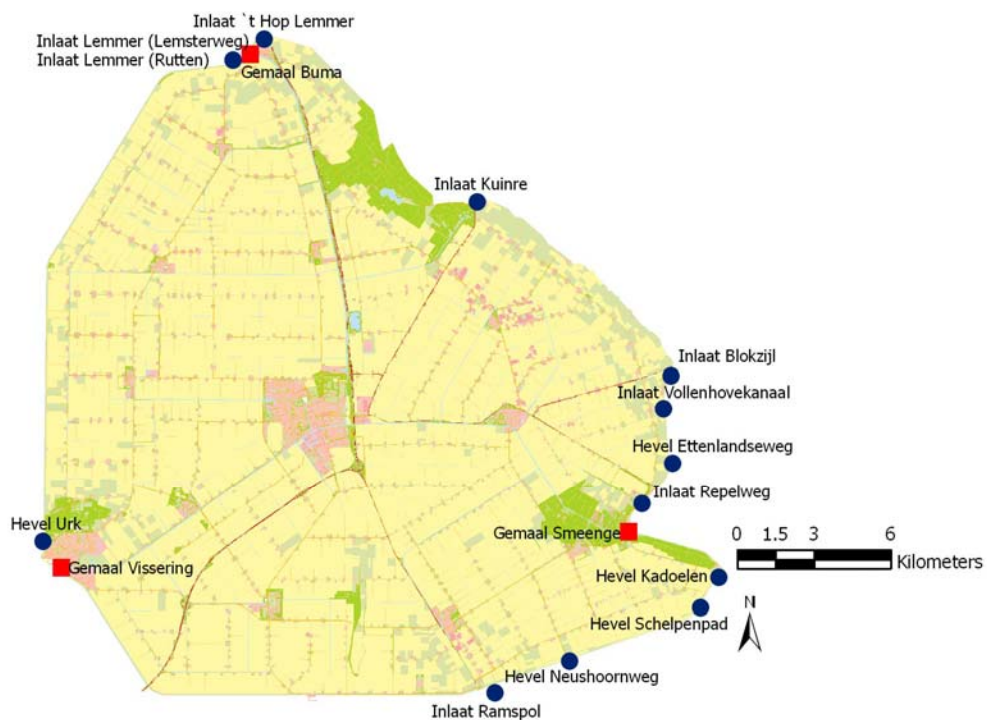
- Data analyse
- FutureView
- Oppervlaktewatermodel voor waterkwaliteitsmodelleringen (chloride).



## 2 Methoden

### 2.1 Studiegebied

In de Noordoostpolder wordt op 12 locaties, via inlaten en hevels, water aangevoerd. Drie aanvoerpunten; Hevel Schelpenpad, Hevel Neushoornweg en Inlaat Vollenhovekanaal, worden alleen gebruikt voor doorspoeling van de afvoertochten. Afvoer van overtollig water vindt plaats via drie gemalen. Figuur 1 geeft de locaties van de inlaten, hevels en gemalen voor de Noordoostpolder weer.

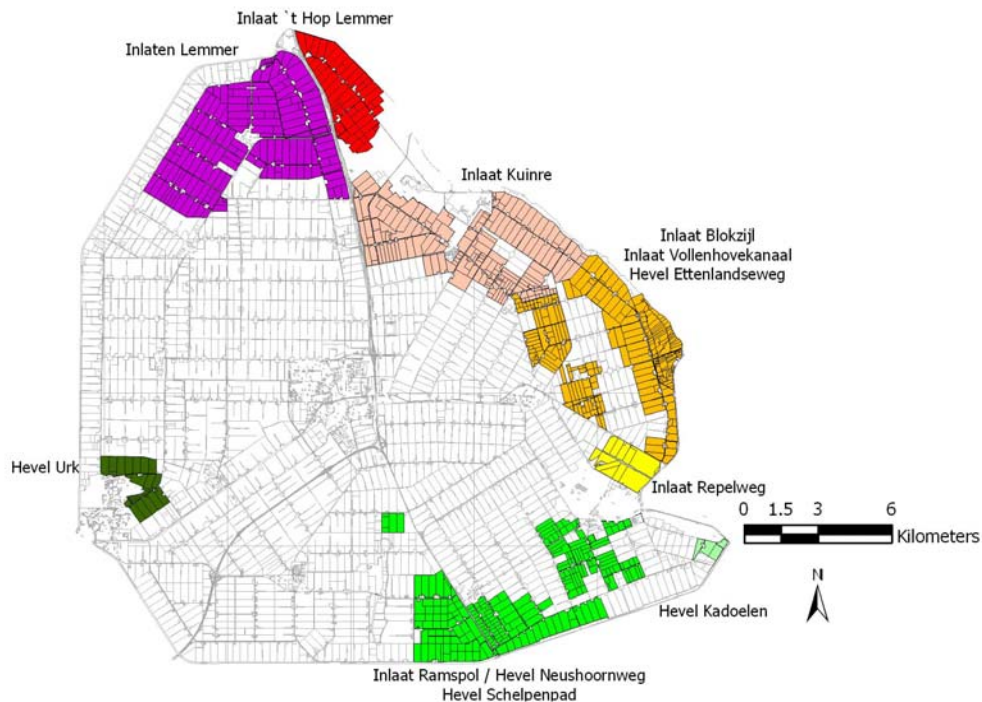


Figuur 1. Noordoostpolder met wateraanvoer (hevels en inlaten) en afvoer (gemalen).

Tabel 1. Oppervlakte wateraanvoergebieden.

Wateraanvoergebied	Oppervlakte ha
Inlaat Blokzijl/Hevel Ettenlandseweg/Vollenhovekanaal	2.039
Inlaat Kuinre	2.299
Inlaat Lemsterhop	824
Inlaat Lemmer (Lemsterweg/Rutten)	2.786
Inlaat Urk	366
Ramspol/Neushoornweg/Schelpenpad	1.889 <sup>a</sup>
Hevel Kadoelen	71
Inlaat Repelweg	496
Totaal	10.770

<sup>a</sup>. Oppervlakte inclusief de fruitteeltgebieden is 2181 ha.



*Figuur 2. Wateraanvoergebieden in de Noordoostpolder.*

Figuur 2 laat de wateraanvoergebieden met bijbehorende inlaatpunt(en) zien. De wateraanvoergebieden bevinden zich over het algemeen op de zandgronden, waar infiltratie en beregening nodig is voor het tegengaan van droogteschade in de landbouw. Tabel 1 geeft de oppervlakte van de wateraanvoergebieden weer. Wateraanvoergebieden Lemmer (Lemsterweg) en Lemmer (Rutten) zijn samen gevoegd omdat voor een aantal jaren alleen de totale wateraanvoer van Lemmer (Lemsterweg en Rutten) bekend is.

## 2.2 FutureView

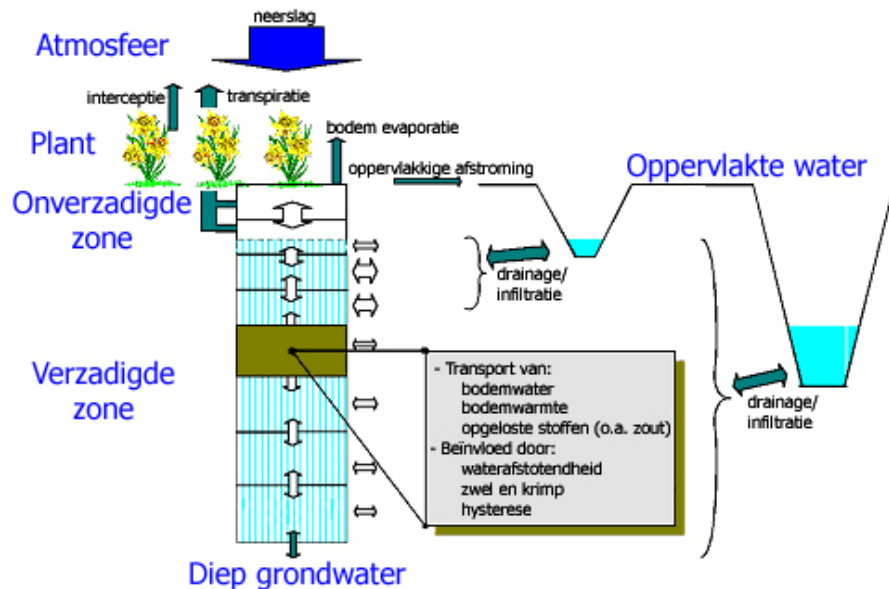
### 2.2.1 Introductie

De FutureView methode wordt ingezet om een beter inzicht te verkrijgen in de ruimtelijke spreiding van de noodzakelijke hoeveelheid wateraanvoer voor droogtebestrijding. Deze methode is uitermate geschikt omdat het gebruik maakt van een aantal ruimtelijk beschikbare gegevens in een standaard formaat (bijvoorbeeld AHN, Stiboka bodemkaart) omdat niet overal van alle relevante parameters metingen beschikbaar zijn. Daarnaast is het mogelijk door de inzet van FutureView om scenario analyses uit te voeren: wat is het effect als er minder of geen water wordt aangevoerd.

De FutureView methode is volledig gebaseerd op het SWAP (Soil, Water, Atmosphere and Plant) model met een actieve koppeling naar een database. FutureView maakt gebruik van rekeneenheden, waarbij een rekeneenheid is gedefinieerd als een homogeen gebied voor wat betreft streefpeil, hoogte, drooglegging, grondgebruik, bodem, drainageweerstanden etc. Elke rekeneenheid vormt zo één SWAP kolom.



Het SWAP model simuleert transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de onverzadigde en verzadigde zone. SWAP is ontwikkeld door Wageningen Universiteit en Alterra-Groene Ruimte. De eerste versie van het SWAP model werd al in 1978 ontwikkeld (Feddes et al., 1978) en sindsdien is het model veelvuldig toegepast en zijn diverse verbeteringen aangebracht. Figuur 3 laat schematisch de werking van het SWAP model zien voor de processen in bodem-water-atmosfeer. Extra informatie kan worden gevonden in Bijlage 1: Achtergrond SWAP en een uitgebreidere beschrijving kan gevonden worden in Kroes en Van Dam (2003).



Figuur 3. Schematische weergave van het SWAP model (Van Dam et al., 1997).

In het verleden werd voor drainagesystemen vaak gebruik gemaakt van zogenaamde steady-state methoden, waarbij met behulp van een aantal aannames en vereenvoudigingen een redelijke schatting van de gewenste drainage kon worden bepaald. De drainage vergelijkingen van onder andere Hooghoudt (1940) en Ernst (1956) worden wereldwijd toegepast.

Het nadeel van een steady-state aanpak is de vele vereenvoudigingen en vooral het ontbreken van enige dynamiek in de tijd. Met een model kan deze dynamiek uitstekend gesimuleerd worden en kunnen bovendien andere interacties, zoals met de vegetatie, worden meegenomen.

Het basis concept van ontwatering in het SWAP model berust, evenals bij de interactie van het diepe grondwater met het freatisch grondwater, op de verschillen in stijghoogten en een bepaalde weerstand:

$$q_{drain} = \frac{\phi_{gwl} - \phi_{drain}}{R_{drain}}$$

- met
- $q_{drain}$  : de flux vanuit de bodem naar de drain (cm d<sup>-1</sup>)
  - $\phi_{gwl}$  : de diepte van de grondwaterspiegel (cm)
  - $\phi_{drain}$  : de stijghoogte in de drain (cm)
  - $R_{drain}$  : de drainageweerstand (d).

De modelaanpak voor de ontwatering en afwatering is uitgebreider dan hier beschreven. Zo wordt de drainageweerstand gesplitst in een weerstand vanuit de bodem naar het drainagesysteem (buis, greppel of sloot) en de intreeweerstand van het drainagesysteem zelf. Uiteraard is de afstand tussen de verschillende drains een andere belangrijke factor die de totale drainage dynamiek bepaalt. Voor deze studie is voor de drainageafstand 12 meter gebruikt. Voor een volledige beschrijving van de representatie van de drainage in het SWAP model wordt verwezen naar Kroes en Van Dam (2003).

In SWAP zijn een aantal opties beschikbaar om gewasgroei te modelleren, waarbij de gewasgroei afhankelijk is van een veelheid aan factoren die complex met elkaar samenhangen. De hier toegepaste methode is gebaseerd op de concepten zoals beschreven door Doorenbos and Kassam (1979), waarbij de aanname is dat de relatieve groei gelijk is aan de verhouding van de actuele over de potentiële verdamping. Dit kan worden aangevuld met een gevoeligheidsfactor die aangeeft dat een plant gedurende bepaalde groeistadia gevoeliger is voor droogte- of natschade dan gedurende andere perioden. Deze aanpak kan mathematisch worden weergegeven als:

$$1 - \frac{Y_{act}}{Y_{pot}} = K_y \left( 1 - \frac{ET_{act}}{ET_{pot}} \right)$$

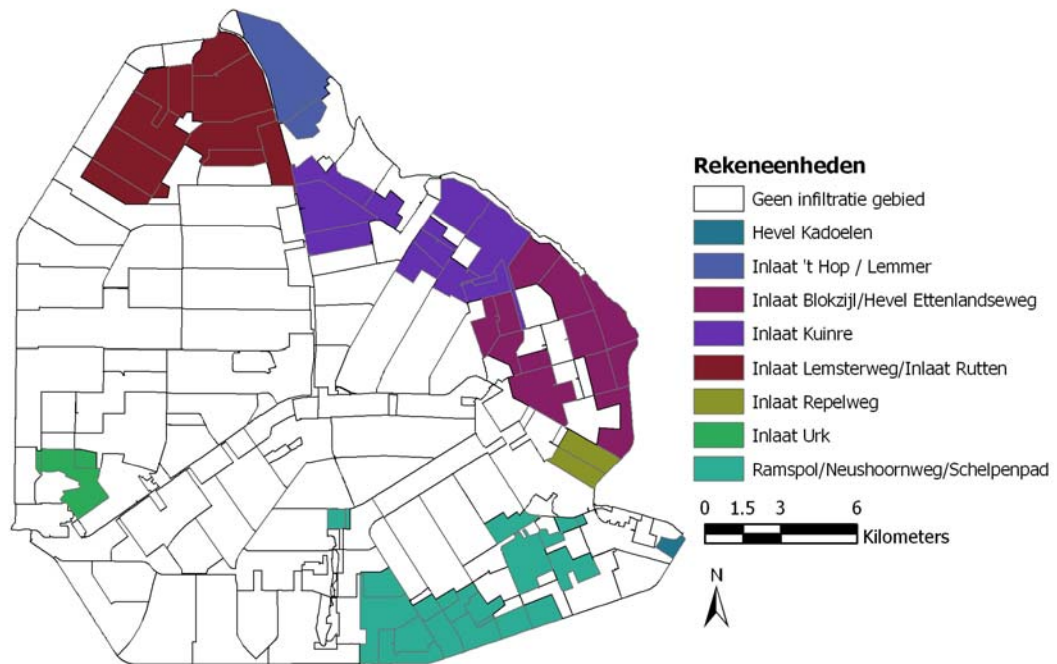
met  $Y_{act}$  : actuele opbrengst (kg ha<sup>-1</sup>)  
 $Y_{pot}$  : potentiële opbrengst (kg ha<sup>-1</sup>)  
 $K_y$  : gevoeligheidsconstante (-)  
 $ET_{act}$  : actuele evapotranspiratie (mm)  
 $ET_{pot}$  : potentiële evapotranspiratie (mm)

De FutureView methode is in het verleden toegepast om soortgelijke vraagstukken zoals deze te analyseren. Een verdere beschrijving van het SWAP model kan worden gevonden in diverse andere rapporten, publicaties en websites (<http://www.swap.alterra.nl>).

### 2.2.2 Rekeneenheden

Voor de model berekeningen van de FutureView methode is het noodzakelijk de Noordoostpolder te schematiseren in homogene rekeneenheden. Er wordt van uit gegaan dat een rekeneenheid uniform is voor de hydrologie, bodem en management. Het gebruik van rekeneenheden in modelstudies is standaard in de hydrologie en er wordt ook wel naar verwezen als *hydrological response units of homogeneous sub-areas* (Droogers and Bastiaanssen, 2002).

Omdat het modelinstrumentarium in de toekomst mogelijk wordt toegepast in een vervolg studie is de gehele Noordoostpolder geschematiseerd in rekeneenheden. Als basis voor de rekeneenheden zijn de afwateringsdeelgebieden genomen. Deze gebieden zijn waar nodig verder onderverdeeld met behulp van de begrenzingen van de wateraanvoergebieden. Daarnaast zijn een aantal rekeneenheden met een gering oppervlakte samengevoegd. In totaal zijn er in de Noordoostpolder op deze wijze 186 rekeneenheden gedefinieerd. Van de 186 rekeneenheden zijn er 64 als wateraanvoer gebied aangemerkt (inclusief fruitteelt gebieden). De oppervlakten van de rekeneenheden variëren van 2 tot 990 hectare met een gemiddelde oppervlakte van 378 hectare.



*Figuur 4. FutureView rekeneenheden*

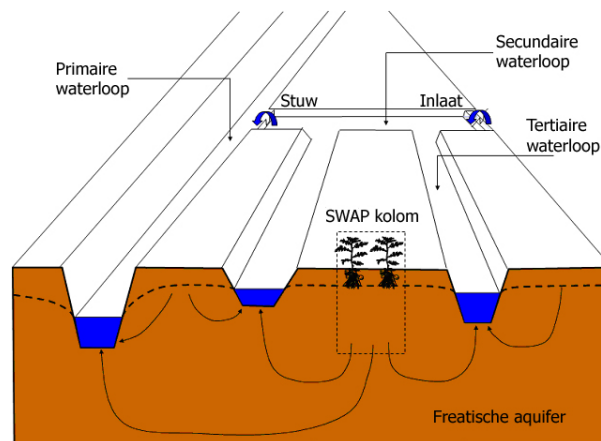
Na het vaststellen van de rekeneenheden zijn een aantal modelparameters vastgesteld voor de rekeneenheden:

- De gemiddelde maaiveldhoogte op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).
- Het gemiddelde winter- en zomerpeil op basis van de door het waterschap vastgestelde peilvakken.
- De gemiddelde drooglegging in de zomer en de winter.
- Aan de hand van de Staringreeks (Wösten et al., 2001) zijn de bodemeenheden van de STIBOKA 1:50000 bodemkaart vertaald naar bodemfysische eigenschappen die van belang zijn voor het model. Per rekeneenheid zijn deze bodemfysische klassen toegekend.
- Gemiddelde kwel/wegzijing op basis van Bastiaanssen en Zwart (2005).
- Het dichtstbijzijnde meteorologische station.

Een aantal belangrijke aannames en parameters zal verder worden toegelicht.

### 2.2.3 Ontwatering

De interactie met het oppervlaktewater voor drainage en infiltratie wordt in SWAP gerepresenteerd met behulp van drie verschillende ontwateringssystemen (Figuur 5). SWAP simuleert niet de volledige hydro-dynamische stroming in het oppervlaktewater zelf, maar gaat ervan uit dat in een deelgebied het openwaterpeil constant is.



*Figuur 5. Interactie van het bodemwater met het openwatersysteem in SWAP.*

Belangrijke eigenschappen die drainage bepalen zijn zomer- en winterpeilen, drainageweerstanden en slootafstanden. De peilen zijn per peilgebied bekend en gebruikt in FutureView. Voor de overige gegevens is gebruikt gemaakt van het STONE model. Het model STONE is gezamenlijk ontwikkeld door de instituten RIVM, RIZA en Alterra om beleidsvragen van de Ministeries van VROM, V&W en LNV ten aanzien van het mestbeleid te kunnen beantwoorden. De hydrologische aspecten van STONE zijn samengesteld op basis van het SWAP model. Er is een landelijke database voor STONE gemaakt ten behoeve van de berekeningen voor de WaterSysteemVerkenningen (Kroon et al., 2001).

De belangrijkste gegevens uit de STONE database die gebruikt zijn, zijn slootafstanden en drainageweerstanden. De drainageweerstanden zijn geoptimaliseerd in STONE en om niet realistische modelsimulaties te voorkomen zijn de maximale weerstanden van het primaire, secundaire en tertiaire drainage systeem begrensd. Ook de gebruikte slootafstanden zijn begrensd. De waarden zijn weergegeven in Tabel 2.

*Tabel 2. Grenswaarden drainageweerstanden.*

Drainagesysteem	Drainageweerstand
Primair	0-300 dagen
Secundair	0-2000 dagen
Tertiair	0-1000 dagen

Voor de berekeningen in SWAP zijn naast deze drie grotere drainagesystemen twee andere systemen onderscheiden: buisdrainage en maaiveld drainage (zie Tabel 3). Voor elk drainagesysteem zijn drainageweerstanden en ontwateringsbases onderscheiden. De combinatie van deze drie variabelen bepaalt in welke mate een bepaald drainagemiddel bijdraagt aan de drainage. Voor het primaire, secundaire en tertiaire systeem zijn deze gebaseerd op de methode zoals beschreven door De Lange (Kroon et al., 2001). Voor de buisdrainage is een weerstand van 100 dagen als standaard genomen.

*Tabel 3. Verschillende drainagesystemen die ontleend zijn aan STONE.*

Drainagesysteem	Betekenis
Primair	Waterlopen 3 - 6 meter en waterlopen breder dan 6 meter
Secundair	Waterlopen smaller dan 3 meter
Tertiair	Greppels en droogvallende waterlopen
Buisdrainage	Buisdrainagesysteem
Maaiveld drainage	Oppervlakte drainage

Bij hoge grondwaterstanden gaat het maaiveld als drainagemiddel fungeren. Daarom wordt voor de berekeningen met SWAP een vijfde drainagemiddel onderscheiden: de maaiveld drainage. Bij een grondwaterstand van 30 cm onder maaiveld draagt al een redelijk deel van het maaiveld bij aan deze vorm van drainage. De weerstand bij deze diepte is relatief laag en naar schatting 30 dagen. Voor de ontwateringsbasis is een diepte van 30 cm onder maaiveld gekozen (Kroon et al., 2001).

#### 2.2.4 Droogtestress

Zoals beschreven in paragraaf 2.2.1 is de landbouwkundige opbrengst een functie van de verhouding tussen actuele en potentiële verdamping en een gevoeligheidsfactor die aangeeft dat een plant gedurende bepaalde groeistadia gevoeliger is voor droogte- of natschade. De verdamping kan verder worden onderverdeeld in interceptie, bodemverdamping en gewastranspiratie. Reductie in gewastranspiratie ( $T$ ) leidt tot een verlaging van de opbrengst. Gewastranspiratie wordt beïnvloed door nutriënten, pesticiden, zouten en waterbeschikbaarheid. Voor deze studie zijn we geïnteresseerd in de reductie in gewastranspiratie als gevolg van een tekort aan water, echter zowel een overschot als een tekort aan water kan leiden tot transpiratiereductie. Het verschil in mm tussen actuele ( $T_{act}$ ) en potentiële ( $T_{pot}$ ) transpiratie als gevolg van watertekorten is gedefinieerd als droogtestress. Als het bodemvochtgehalte lager is dan de veldcapaciteit worden transpiratietekorten daarom aangemerkt als droogtestress. In de analyse zal de op deze manier bepaalde droogtestress worden gebruikt.

#### 2.2.5 Infiltratie

Voor de modellering met FutureView zijn de wateraanvoergebieden onderverdeeld in twee typen gebieden. Ten eerste gebieden waar water in de zomer wordt beregend en kunstmatig wordt geïnfiltreerd via de drainagebuizen door een hoog slootpeil in de aanvoersloten te handhaven. Ten tweede gebieden waar fruit wordt geteeld (Figuur 7). Om vorstschade te beperken worden deze gebieden in het vroege voorjaar tijdens nachtvorst beregend. Dit onderscheid vereist modelmatig een volstrekt andere benadering. Deze benaderingen zullen kort worden toegelicht.

Voor de wateraanvoergebieden geldt dat het peil wordt opgezet tot gemiddeld 60 cm onder maaiveld van 1 april tot 30 september. De drainagebuizen bevinden zich op een diepte van 100 cm onder maaiveld. Afhankelijk van de infiltratieweerstand van de drains en het vochttekort in de bodem zal er water infiltreren. Voor de niet-aanvoergebieden wordt het peil niet opgezet en treedt er geen kunstmatige infiltratie op. De werkelijk geïnfiltreerde hoeveelheid is erg gevoelig voor de drainageweerstanden van de drains. Om een realistische infiltratieweerstand vast te stellen is voor één specifieke rekeneenheid (plot\_125, hertentocht) een gevoeligheids analyse uitgevoerd. Deze rekeneenheid bevindt zich in één van de wateraanvoergebieden en heeft een jaarlijkse wegzijging van

ongeveer 250 mm en zou dus zonder infiltratie droogtegevoelig moeten zijn. De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor het droge jaar 2003 en is opgenomen in Bijlage 2: Infiltratieweerstand.

### 2.2.6 Droogteberekening

Naast wateraanvoer via kunstmatige infiltratie door de drainagebuizen vindt er ook droogteberekening plaats in de meeste wateraanvoergebieden. In Tabel 4 staan de oppervlakte percentages weergegeven per wateraanvoergebied waar naast kunstmatige infiltratie ook berekend wordt.

*Tabel 4. Oppervlakte (%) per wateraanvoergebied waar naast infiltratie ook berekening plaatsvindt.*

<b>Wateraanvoergebied</b>	<b>Berekening</b>
Blokszijl	65%
Lemsterhop	65%
Kadoelen	60%
Kuinre	80%
Lemsterweg / Rutten	90%
Ramspol	70%
Urk	80%
Repelweg	80%

Omdat de ruimtelijke differentiatie van rekeneenheden die ook berekend worden niet bekend is, worden de percentages toegepast per rekeneenheid. Er zijn twee simulaties uitgevoerd waarna de resultaten aan de hand van de oppervlakte percentages zijn gemiddeld.

Voor de droogteberekening heeft SWAP berekend dat er in de droge zomer van 2003 drie tot vier keer wordt berekend voor de meeste rekeneenheden wat goed overeenkomt met de praktijk. In het SWAP model is de optie toegepast waarbij berekend wordt als het vochtgehalte in de bodem op 10 cm diepte beneden een bepaalde grenswaarde komt. Omdat de eenheden onderling grote verschillen vertonen is dit kritische vochtgehalte per rekeneenheid vastgesteld en deze varieert tussen de 0,20 en 0,35 Vol%. Er is aangenomen dat er 30 mm per keer berekend wordt. Een aantal rekeneenheden met een relatief hoog grondwaterniveau ten gevolge van een grote kweldruk wordt niet berekend omdat er geen droogteverschijnselen in de wortelzone optreden.

### 2.2.7 Nachtvorstberekening

Voor die wateraanvoergebieden waar fruit wordt geteeld is er gekeken naar de temperaturen in het vroege voorjaar. Op alle dagen tussen 15 maart en 31 mei waar de minimum temperatuur lager is geweest dan 1°C wordt via sprinkler irrigatie 10 mm berekend om nachtvorstschade tegen te gaan. Dit geldt alleen voor de rekeneenheden waarvan het dominante landgebruik fruitteelt is.

Tabel 5 geeft het aantal dagen met nachtvorst weer per maand van 1994 tot en met 2003. Het aantal dagen varieert van 7 in 2000 tot 24 in 1996 met een gemiddelde van 14. Bij een conservatieve

schatting van 10 mm per nachtvorstberekening resulteert dit in een aanzienlijke watervraag in het vroege voorjaar.

*Tabel 5. Aantal dagen met nachtvorst.*

	maart	april	mei	totaal
1994	4	8	0	12
1995	8	5	1	14
1996	8	13	3	24
1997	3	11	1	15
1998	3	2	0	5
1999	1	8	0	9
2000	3	4	0	7
2001	4	7	0	11
2002	7	10	0	17
2003	10	11	0	21
Gemiddeld	5	8	1	14

### 2.2.8 Scenario's

Verschillende scenario's zijn gesimuleerd en geanalyseerd:

- De huidige situatie met inachtneming van bovenstaande aannames. De ruimtelijke distributie van infiltratie zijn voor een droog (2003), gemiddeld (2000) en nat (1998) jaar getoetst aan de werkelijk ingelaten hoeveelheden.
- Geen infiltratie en geen berekening. De ruimtelijke effecten op de cumulatieve droogteschade zijn hierbij in beeld gebracht voor een droog, gemiddeld en nat jaar.

De resultaten worden ruimtelijk gepresenteerd per rekeneenheid en gecumuleerd per wateraanvoergebied in tabelvorm.

## 2.3 Gegevens

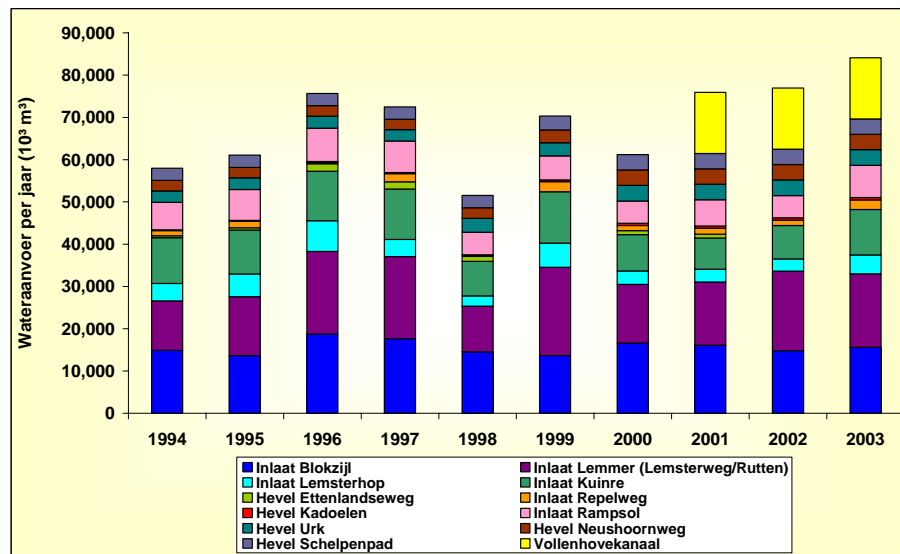
### 2.3.1 Wateraanvoer

Door combinatie van twee aanvoer-datasets van Waterschap Zuiderzeeland is een zo compleet mogelijk set van aanvoergegevens van de 12 inlaatpunten over de periode 1994 tot en met 2003 verkregen. Gegevens van inlaat Vollenhovekanaal zijn niet digitaal beschikbaar, maar volgens Waterschap Zuiderzeeland is de inlaat sinds 2001 operationeel. Van 15 maart tot en met 15 juni wordt er water ingelaten met een debiet van  $1000 \text{ l s}^{-1}$  ( $86.400 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ), daarna gemiddeld  $750 \text{ l s}^{-1}$  ( $64.800 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ) tot 15 augustus. Na 15 augustus wordt de aanvoer afgebouwd tot  $0 \text{ l s}^{-1}$  op 1 november. Het afnemen van de wateraanvoer is lineair geïnterpoleerd tussen de waarden van 15 augustus en 1 november.

De grootste hoeveelheden water wordt via de inlaatpunten Blokzijl, Lemmer (Lemsterweg/Rutten) en Kuinre ingelaten (zie Figuur 6). Vanaf 2001 wordt er ook een grote hoeveelheid water ingelaten via het Vollenhovekanaal. In de periode 1994 – 2003 is 1996 een droog jaar (637 millimeter neerslag) en 1998

een nat jaar (1148 millimeter neerslag), dit kan men ook terugzien in de totale wateraanvoer van de jaren 1996 en 1998, waarbij in 1996 een grotere hoeveelheid water wordt aangevoerd dan in 1998.

Zoals eerder vermeld (paragraaf 2.1) worden de aanvoerpunten Neushoornweg, Schelpenpad en Vollenhovekanaal exclusief gebruikt voor doorspoeling van de afvoertochten. In de periode 1994 - 2000 is het percentage van de totale wateraanvoer, dat exclusief gebruikt wordt voor doorspoeling circa 9%. Dit percentage neemt aanzienlijk toe tot gemiddeld 27% wanneer vanaf 2001 inlaat Vollenhovekanaal operationeel is. De inlaat Vollenhovekanaal is ook uitsluitend bedoeld voor doorspoeling van de afvoertochten. De tabel met aanvoergegevens in duizend kubieke meter per jaar is te vinden in Bijlage 3: Gegevens per inlaat.



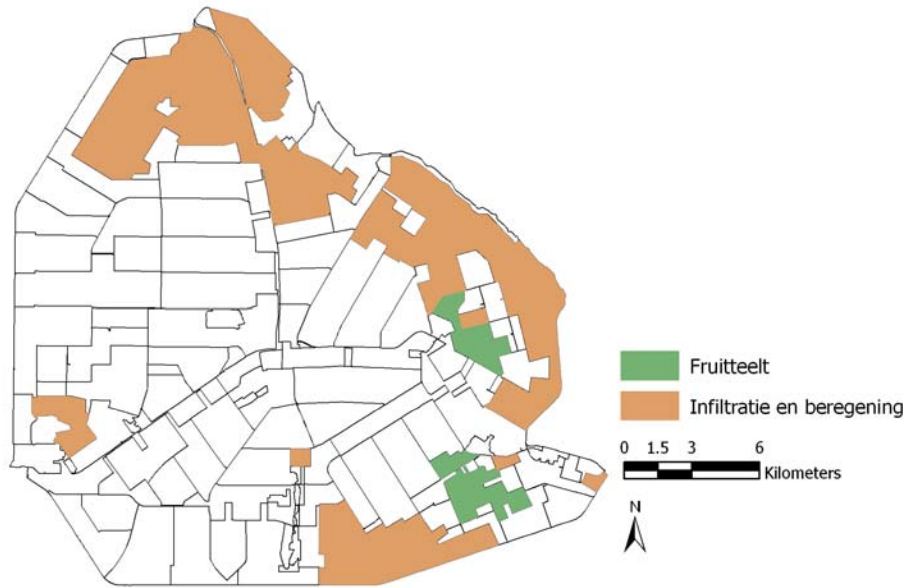
Figuur 6. Wateraanvoer onderverdeeld per inlaatpunt in duizend kubieke meter per jaar.

De wateraanvoergebieden zoals gepresenteerd in Figuur 2 worden nog verder onderscheiden in twee typen: infiltratie/beregening en fruitteelt. Voor de fruitteelt geldt namelijk dat de beregening voor nachtvorstbestrijding vanuit de waterafvoertochten plaatsvindt en niet direct vanuit de wateraanvoersloten. Figuur 7 geeft het type wateraanvoergebied geografisch weer. Bij de conversie van kubieke meter wateraanvoer naar millimeter wateraanvoer voor het gebied Ramspol is het oppervlakte van de fruitteelt gebieden niet meegenomen (fruitteelt gebieden worden beregend vanuit de waterafvoertochten). Daarnaast is de wateraanvoer van de inlaten exclusief bedoeld voor doorspoeling niet meegenomen in de wateraanvoer per wateraanvoergebied.

De hoeveelheid water die per wateraanvoergebied aangevoerd wordt in millimeter per jaar is weergegeven in Tabel 6 en Figuur 8. De wateraanvoergebieden Blokzijl/Hevel Ettenlandseweg en Urk voeren de grootste hoeveelheden water in millimeters aan, bijna twee keer zoveel als het gemiddelde van de overige gebieden. Hierbij moet worden opgemerkt dat de inlaat Vollenhovekanaal (doorspoeling) niet is meegenomen als hoeveelheid water voor bedoeld voor wateraanvoergebied Blokzijl/Hevel Ettenlandseweg. Waterschap Zuiderzeeland geeft als verklaring voor de grote hoeveelheid wateraanvoer naar het wateraanvoergebied Urk dat er veel wegzijging (zie Figuur 10) plaatsvindt door de zandgronden tijdens het "transport" van het water naar het wateraanvoergebied. Daarnaast zijn er relatief veel stuwputten in dit hellende en langgerekte gebied. Voor



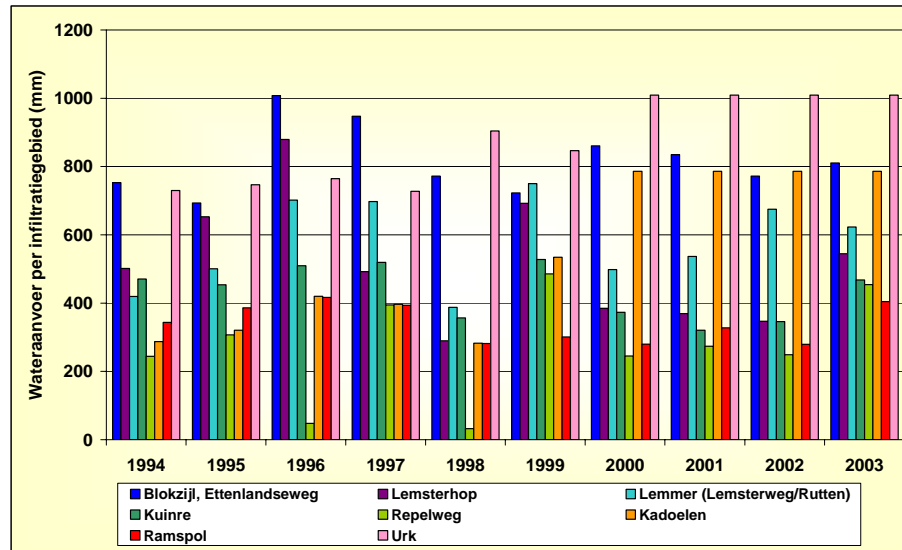
wateraanvoergebied Repelweg geldt dat minder dan de helft van het gemiddelde van de overige wateraanvoergebieden wordt aangevoerd.



Figuur 7. Fruitteelt in wateraanvoergebieden.

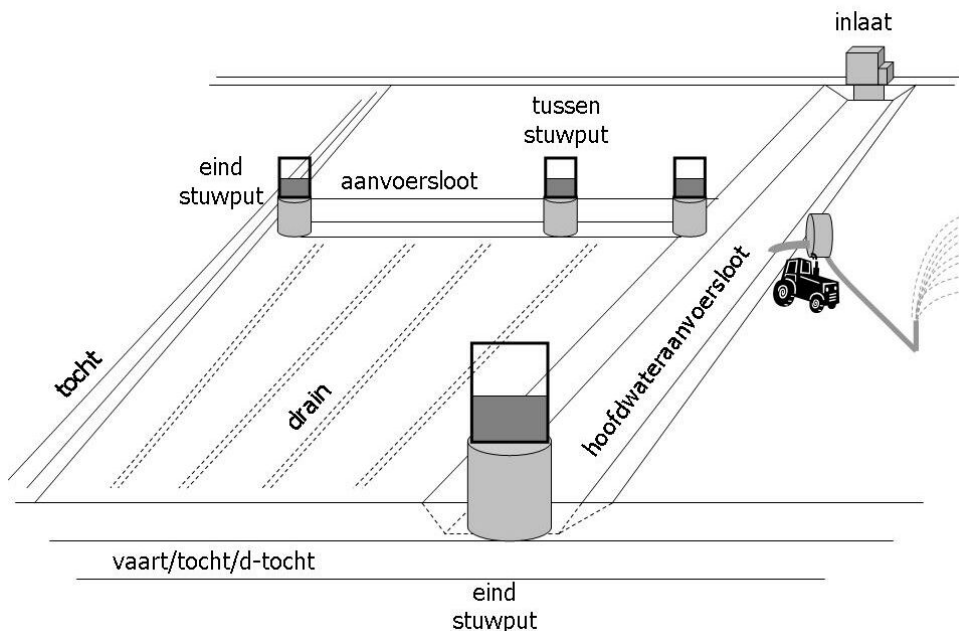
Tabel 6. Wateraanvoer per wateraanvoergebied in millimeter per jaar.

	Wateraanvoergebied Blokzijl, Hevel Ettenlandseweg	Wateraanvoergebied Kuinre	Wateraanvoergebied Lemsterhop	Wateraanvoergebied Lemmer (Lemsterweg/Rutten)	Wateraanvoergebied Urk	Wateraanvoergebied Ramspol	Wateraanvoergebied Kadoelen	Wateraanvoergebied Repelweg
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1994	753	471	502	420	730	344	287	244
1995	693	454	653	501	747	386	321	307
1996	1008	510	879	702	765	417	420	48
1997	947	519	492	697	728	394	396	395
1998	772	357	290	388	904	282	283	32
1999	723	528	692	750	846	301	534	486
2000	861	373	385	498	1009	280	786	245
2001	835	321	369	536	1009	328	786	274
2002	772	346	347	675	1009	279	786	249
2003	811	468	545	623	1009	405	786	454
gemiddeld	818	435	515	579	876	341	539	273



Figuur 8. Wateraanvoer per wateraanvoergebied in millimeter per jaar.

De route die het aangevoerde water aflegt door de polder is schematisch weergegeven in Figuur 9. Het aangevoerde water wordt de polder binnengelaten via een inlaatwerk of hevel waarna het in een hoofdwateraanvoersloot terecht komt. Uitzondering zijn de drie inlaatwerken waar het aangevoerde water exclusief voor doorspoeling en fruitteelt is bedoeld en meteen in een waterafvoertocht komt. Van de hoofdwateraanvoersloot wordt het water verdeeld naar wateraanvoersloten met behulp van stuwputten waarvan de hoogte van de schuif kan worden geregeld. Aan het einde van de (hoofd)aanvoersloten bevinden zich eindstuwputten. Een minimale hoeveelheid water van circa  $10 \text{ l s}^{-1}$  (pers.med. Warmolts, Waterschap Zuiderzeeland, 2006) dient over deze stuwputten te stromen om het peil in de aanvoersloten te handhaven voor een goede waterverdeling en infiltratie.



Figuur 9. Schematische weergave van wateraanvoer en stuwputten.

Het aantal primaire eindstuwputten (stuwputten in hoofdwateraanvoersloot) per wateraanvoergebied is afkomstig van Waterschap Zuiderzeeland. Het totale aantal secundaire eindputten (de eindputten van de ingelanden) is circa 260, waarvan ongeveer 60% (156 stuwputten) continue een overstorthoogte bij een gemiddeld debiet van  $10 \text{ l s}^{-1}$  nodig heeft om het peil te handhaven. Het totale aantal eindstuwputten van de ingelanden is verdeeld per wateraanvoergebied naar oppervlakteverhouding (Tabel 7).

Tabel 7. Het aantal primaire en secundaire eindstuwputten met bijbehorend aanvoerdebiet.

Wateraanvoergebied	Eindstuwput primair #	Eindstuwput secundair #	Totaal eindstuwput #	Debiet <sup>1</sup> $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
Blokzijl, Ettenlandseweg, Vollenhovekanaal	10	29	39	33
Kuinre	11	32	43	38
Lemsterhop	1	12	13	11
Lemmer (Lemsterweg/Rutten)	13	39	52	45
Urk	5	5	10	9
Ramspol/Neushoornweg, Schelpenpad	13	31	44	38
Kadoelen	2	1	3	3
Repelweg	1	7	8	7
Totaal	56	156	212	183

<sup>1</sup> Gebaseerd op  $10 \text{ l s}^{-1}$ .

Gezien het grote aantal eindstuwputten in de Noordoostpolder is de hoeveelheid water die aangevoerd moet worden puur en alleen om het peil in de aanvoersloten te handhaven aanzienlijk. Als de eindstuwputten ongeveer 6 maanden per jaar overstorten is dit circa 8% van de gemiddelde afvoer over de jaren 1994 - 2003 (Tabel 8).

### 2.3.2 Waterafvoer

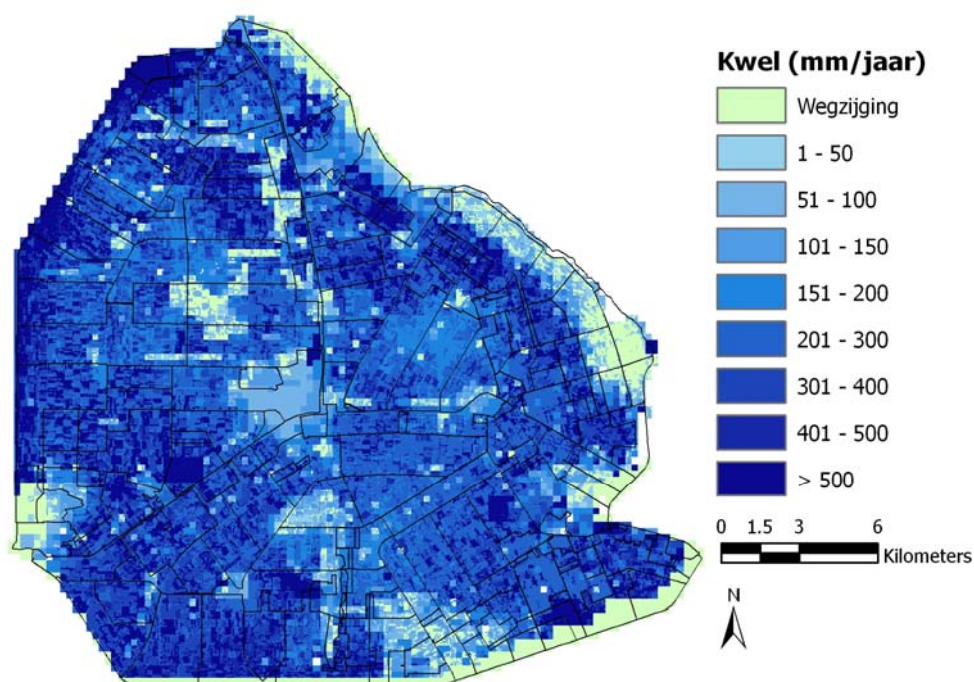
Waterafvoer vindt via de gemalen Vissering (Urk), Buma (Lemmer) en Smeenge (Kadoelen) plaats. Het water wordt uitgeslagen op het IJsselmeer en het Zwarte Meer. Gemaal Buma voert het grootste deel van het water uit de Noordoostpolder af (zie Tabel 8).

Tabel 8. Waterafvoer via de gemalen Vissering, Smeenge en Buma in duizend kubieke meter en millimeter (oppervlakte Noordoostpolder 47.958 ha).

	Vissering		Buma		Smeenge		Totaal	
	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	mm	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	mm	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	mm	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	mm
1994	94.059	196	357.419	745	25.783	54	477.261	995
1995	65.873	137	343.540	716	18.663	39	428.076	893
1996	73.612	153	271.585	566	5.679	12	350.876	732
1997	140.806	294	200.394	418	10.460	22	351.660	733
1998	80.986	169	438.137	914	42.016	88	561.139	1170
1999	235.114	490	157.524	328	13.764	29	406.402	847
2000	275.085	574	133.549	278	9.972	21	418.606	873
2001	203.124	424	237.608	495	19.386	40	460.118	959
2002	206.910	431	192.221	401	15.676	33	414.807	865
2003	122.121	255	220.348	459	5.920	12	348.389	726
2004	127.440	266	283.714	592	27.347	57	438.501	914
gemiddeld	147.739	308	257.822	538	17.697	37	423.258	883
	35%		61%		4%		100%	

### 2.3.3 Kwel

De verbeterde jaarlijkse kwelkaart zoals vastgesteld door Bastiaanssen en Zwart (2005) is als uitgangspunt in deze studie gebruik (Figuur 10). Dit in tegenstelling tot eerdere studies waar de "standaard" kwelkaart van Waterschap Zuiderzeeland (Waterschap Zuiderzeeland, 2001) is toegepast. Uit meerdere studies is gebleken dat deze kwelkaart niet nauwkeurig is en aan vervanging toe.



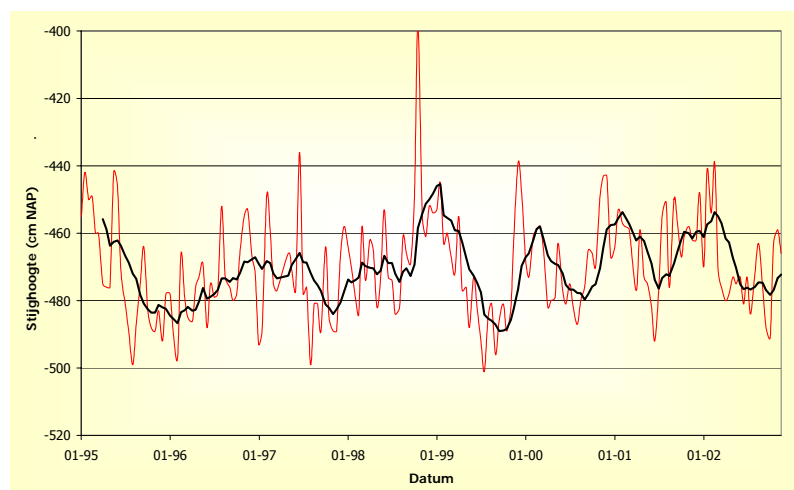
Figuur 10. Kwelkaart volgens Bastiaanssen en Zwart (2005).

Het is echter niet waarschijnlijk dat de kwel gedurende het gehele jaar constant zal zijn. De kwelintensiteit wordt bepaald door het verschil in stijghoogte tussen het freatische grondwaterpeil en de stijghoogte in de onderliggende aquifer. Er is aangenomen dat de stijghoogte in de onderliggende aquifer hierbij het meest sturend is.

Op een aantal locaties zijn stijghoogte metingen van het eerste watervoerende pakket beschikbaar (Figuur 11). Ter illustratie is het stijghoogte verloop van peilbuis 16CP0021 weergegeven in Figuur 12. Het filter bevindt zich op een diepte van ongeveer 26 m –NAP. Op basis van Figuur 12 is aangenomen dat de kwel maximaal is in het vroege voorjaar (31 maart) en minimaal op 30 september. Het gemodelleerde kwelverloop heeft een sinusvormig verloop met een amplitude van 10% van de gemiddelde kwel.



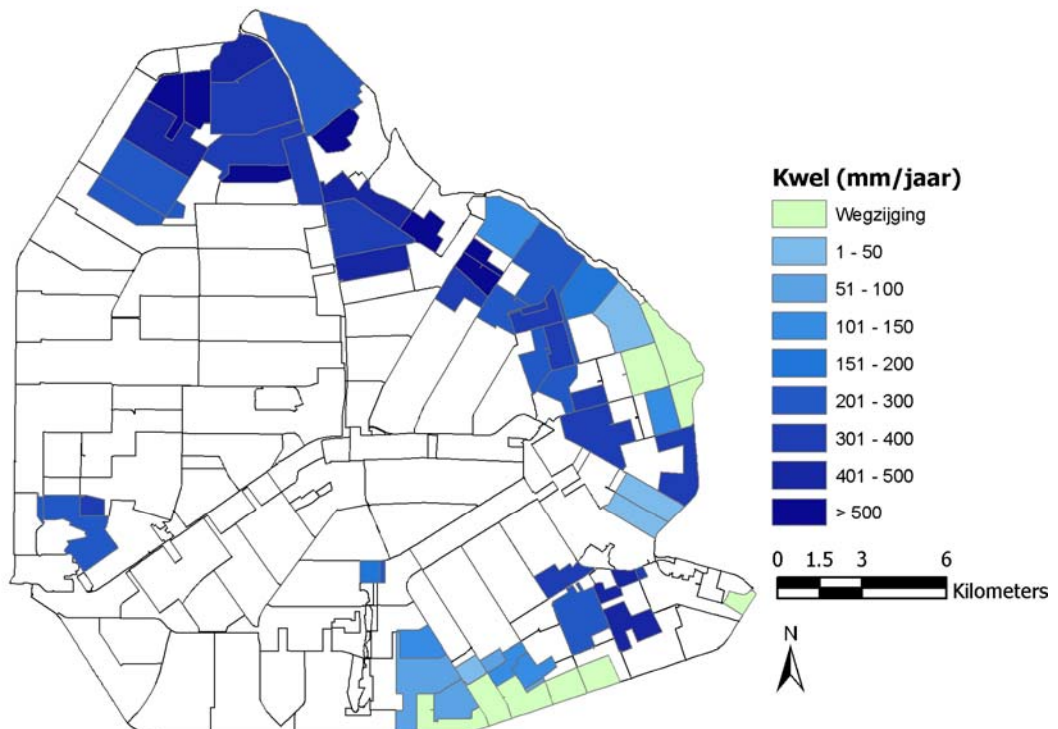
Figuur 11. Locatie grondwaterpeilbuizen.



Figuur 12. Stijghoogte verloop peilbuis 16CP0021.

De gemiddelde jaarlijkse kwel per rekeneenheid is voor de wateraanvoergebieden weergegeven in Figuur 13. Het blijkt dat er grote verschillen zijn tussen de rekeneenheden en de kwel varieert van 507 mm/jaar wegzijging tot 867 mm/jaar kwel. De rekeneenheden langs de randmeren in het oosten en zuiden van de Noordoostpolder zijn over het algemeen wegzijgingsgebieden of gebieden met een relatief lage kwel.

Voor de gehele polder is de gemiddelde jaarlijkse kwel 308 mm. Tabel 9 laat zien dat met uitzondering van de wateraanvoergebieden Kuinre en Lemsterweg/Rutten alle gebieden een lagere jaarlijkse kwel hebben. Logischerwijs klopt dit omdat dit de gebieden zijn waar zonder wateraanvoer watertekorten worden verwacht.



Figuur 13. Jaarlijkse kwel voor de rekeneenheden van de wateraanvoergebieden

Tabel 9. Jaarlijkse kwel per wateraanvoergebied.

Wateraanvoergebied	Gemiddelde jaarlijkse kwel (mm/jaar)
Inlaat Lemsterweg/Inlaat Rutten	402
Inlaat Lemsterhop	270
Inlaat Kuinre	342
Inlaat Blokzijl/Hevel Ettenlandseweg	148
Inlaat Repelweg	24
Ramspol/Neushoornweg/Schelpenpad	-86 <sup>a, b</sup>
Inlaat Urk	257
Hevel Kadoelen	-284 <sup>b</sup>
Geen wateraanvoergebied	328

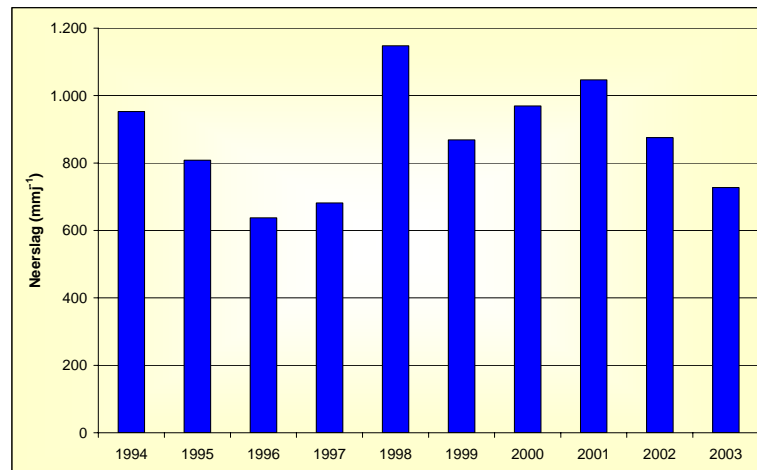
<sup>a</sup> Exclusief fruitteelt gebieden

<sup>b</sup> Negatieve waarde: wegzijging



### 2.3.4 Meteorologie

Voor de verschillende waterbalansen zijn gegevens van de vijf neerslagstations (Tollebeek, Emmeloord, Nagele, Kuinre en Lemmer) gebruikt voor de periode 01-1-1994 tot en met 31-10-1995. Na oktober 1995 is ook neerslagstation Marknesse operationeel en zijn de neerslaggegevens van dit station ook gebruikt voor verdere analyse. De dagelijkse hoeveelheid neerslag in de hele Noordoostpolder is bepaald met behulp van Thiessen polygonen. Figuur 14 geeft de jaarlijkse neerslag in de Noordoostpolder.



Figuur 14. Jaarlijkse neerslag Noordoostpolder.

In FutureView zijn wateraanvoergebieden aan de oostzijde van de polder initieel toegekend aan het station Marknesse. Echter juist dit station kenmerkt zich door een aantal extreem hoge lokale neerslagpieken met name in het als droog bekend staande jaar 2003. Zo wordt bijvoorbeeld op 3 juni 2003 in Marknesse 115 mm neerslag geregistreerd, terwijl op de overige stations de neerslag varieert van 4 mm tot 51 mm. Van belang in deze studie is juist het bepalen van infiltratiebehoefte gedurende een gemiddeld droog jaar. Om deze reden is dan ook besloten om voor alle wateraanvoergebieden te rekenen met gegevens van het station Emmeloord, waar dit effect veel minder optreedt.

Tabel 10. Seizoenneerslag voor station Emmeloord van 1995 tot en met 2003.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Gemiddeld
Winter	315	68	136	186	246	235	221	250	151	201
Voorjaar	232	93	211	259	205	205	178	168	190	193
Zomer	161	254	172	287	188	223	378	211	172	227
Herfst	110	259	173	425	242	315	281	221	201	247
	819	673	692	1157	880	979	1059	850	714	869

Noot: In rood: droger dan het gemiddelde. In blauw: natter dan het gemiddelde.

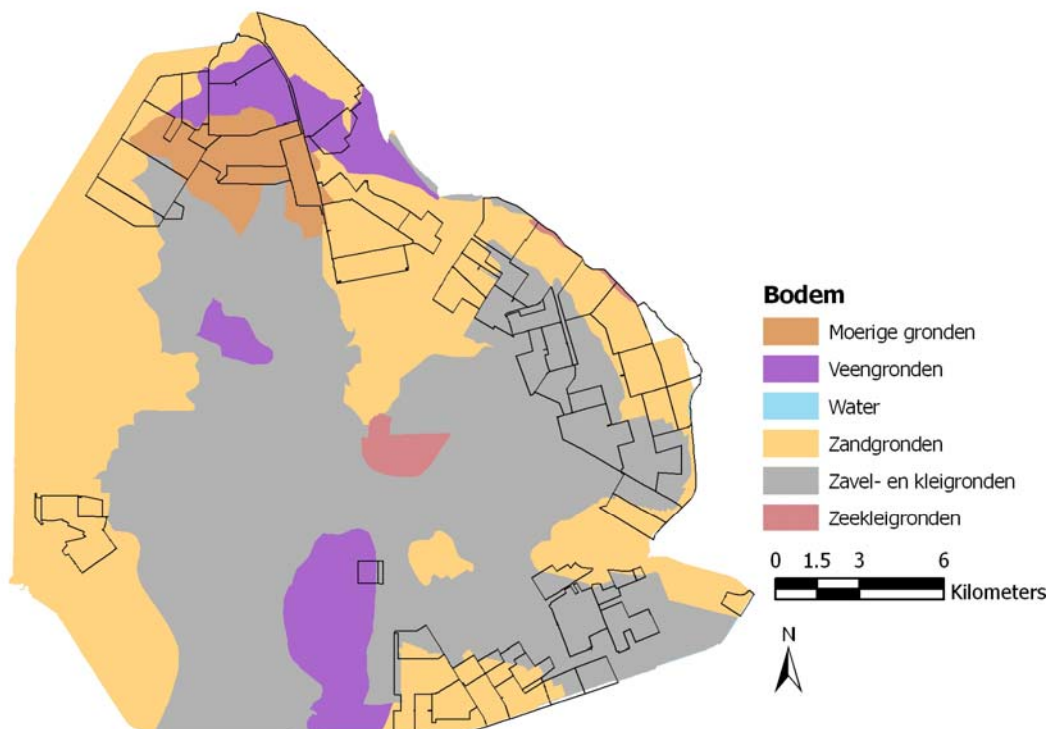
Uit Tabel 10 blijkt dat de gemiddelde neerslag van 1995 tot en met 2003 per jaar 869 mm bedraagt en dat de neerslag verdeling per seizoen redelijk constant is. Het droogste jaar is 1996 wat vooral wordt veroorzaakt door een extreem droge winter en voorjaar. Het jaar 1998 is ten gevolge van een nat voorjaar en zomer en extreem natte herfst het natste met 1157 mm neerslag. Voor deze studie ligt de

aandacht bij wateraanvoer gedurende het groeiseizoen. Om die reden is het jaar 2003 gebruikt als droog jaar, het jaar 2000 als gemiddeld jaar en 1998 als nat jaar.

De referentie Makkink verdampingsgegevens van het KNMI van het station Lelystad vliegveld zijn gebruikt. Er is een correctiefactor van 0.925 gebruikt om de Makkink verdampingsgegevens om te zetten naar Penman-Monteith verdampingsgegevens.

### 2.3.5 Bodem

Essentieel voor het bepalen van de hoeveelheid water die kan worden geïnfilteerd zijn de bodemeigenschappen. De meest betrouwbare bron van informatie hiervoor is de STIBOKA 1:50.000 bodemkaart. De oorspronkelijke bodemkaart van STIBOKA bevat 760 subgebieden en 167 verschillende bodemeenheden. De STIBOKA kaart bevat alleen kwalitatieve eigenschappen, terwijl voor de FutureView benadering juist kwantitatieve eigenschappen nodig zijn: de zogenaamde bodemfysische eigenschappen (retentie- en doorlatendheidskarakteristieken).



*Figuur 15. Bodemkaart Noordoostpolder.*

In eerste instantie is de STIBOKA bodemkaart vereenvoudigd door alle gebieden kleiner dan 250 ha toe te voegen aan het aanliggende bodemkaartvlak. Deze talloze kleine kaarteenheden werken verstorend in het verkrijgen van een duidelijk ruimtelijk beeld. Bovendien hebben deze kleine deelgebieden zeer weinig effect op de totale hoeveelheid water die kan worden geïnfilteerd.

De volgende stap die moet worden uitgevoerd na deze generalisatie is het omzetten van de kwalitatieve bodemeigenschappen naar de bodemfysische karakteristieken. In de loop der jaren zijn



hiervoor technieken ontwikkeld: pedo-transferfuncties. De meest toegepaste is de zogenaamde Staringreeks, waarvan de nieuwste versie hier gebruikt is (Wösten et al., 2001). De uiteindelijke bodemkaart is gebaseerd op de conversie van de STIBOKA bodemkaart naar de Staringreeks. Deze conversie is gerealiseerd door de bodemeenheden te vertalen naar de zeven bovengronden en tien ondergronden volgens Wösten et al. (2001). Een vereenvoudigde weergave van de bodemkaart die gebruikt is voor verdere analyse is weergegeven als Figuur 15.

### 2.3.6 Waterkwaliteit

In deze studie wordt de waterkwaliteit geanalyseerd op de parameter chloride. Andere parameters, bijvoorbeeld ijzergehalte, zijn ook van belang voor de waterkwaliteit, maar worden in deze studie niet meegenomen. In de wateraanvoergebieden zijn specifieke waterkwaliteitsdoelstellingen van toepassing. Voor gebieden met fruitteelt is de praktijknorm voor chloride strenger dan in wateraanvoergebieden zonder fruitteelt. In de Noordoostpolder is de praktijknorm voor chloride voor (Waterschap Zuiderzeeland, 2001)<sup>1</sup>:

- Nachtvorstbestrijding en droogteberekening (fruitteelt): <math><300 \text{ mg l}^{-1}</math>
- Droogteberekening (geen fruitteelt)<sup>2</sup>: <math><600 \text{ mg l}^{-1}</math>

De praktijknorm is gebaseerd op de wiskundig 90-percentiel (P90) waarde.

Naast deze praktijknormen is er binnen de wateraanvoer ook nog sprake van een "operationele norm" van gemiddeld 200 mg l<sup>-1</sup>. In de praktijk wordt gestreefd naar de 'beste' waterkwaliteit, waardoor de ingelanden aan deze waterkwaliteit gewend zijn geraakt.

De aanvoer van chloride naar het oppervlaktewater van de Noordoostpolder wordt in belangrijke mate bepaald door diepe chloriderijke kwel en uitspoeling. De chlorideconcentraties in het eerste watervoerende pakket zijn hoog (Figuur 16). De aanvoer van chloride wordt voor circa 70% bepaald door de kwel. Circa 25% van aanvoer van chloride komt door uitspoeling afkomstig uit chlorideafzettingen van de voormalige Zuiderzee die zijn vastgelegd in eenvoudig oplosbare zouten in de bodem (Landbouwniversiteit Wageningen, 1988 en Universiteit Utrecht, 1996). Witteveen+Bos (2004) en ook Waterschap Zuiderzeeland (website <http://www.zuiderzeeland.nl/waterkwaliteit/waterkwaliteit>) geven aan dat de chlorideconcentraties in het oppervlaktewater seizoensafhankelijk zijn met de hoogste waarden in de zomer. Deze seizoenstrend is na analyse van de maandelijkse meetgegevens van de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater in het jaar 2005 (Bron: Waterschap Zuiderzeeland: website) niet geconstateerd.

De chlorideconcentratie metingen van het eerste watervoerende pakket in de Noordoostpolder zijn zeer beperkt. Het gaat om in totaal slechts 19 verschillende meetlocaties (met op vier locaties twee filters op verschillende hoogten in het pakket). Op deze meetlocaties zijn in totaal 72 metingen uitgevoerd in de periode 1937 – 2003. Dit is gemiddeld drie metingen per filter in 67 jaar. Zeker omdat net na de drooglegging van de polder de zoutconcentratie van het eerste watervoerende pakket mogelijk hoger zou kunnen zijn geweest dan in de huidige situatie is ook nog in detail gekeken uit welke jaren de verschillende metingen komen. Het aantal metingen is te beperkt om een trend over tijd in de chlorideconcentratie vast te stellen. De meeste metingen stammen uit de laatste 25 jaar en

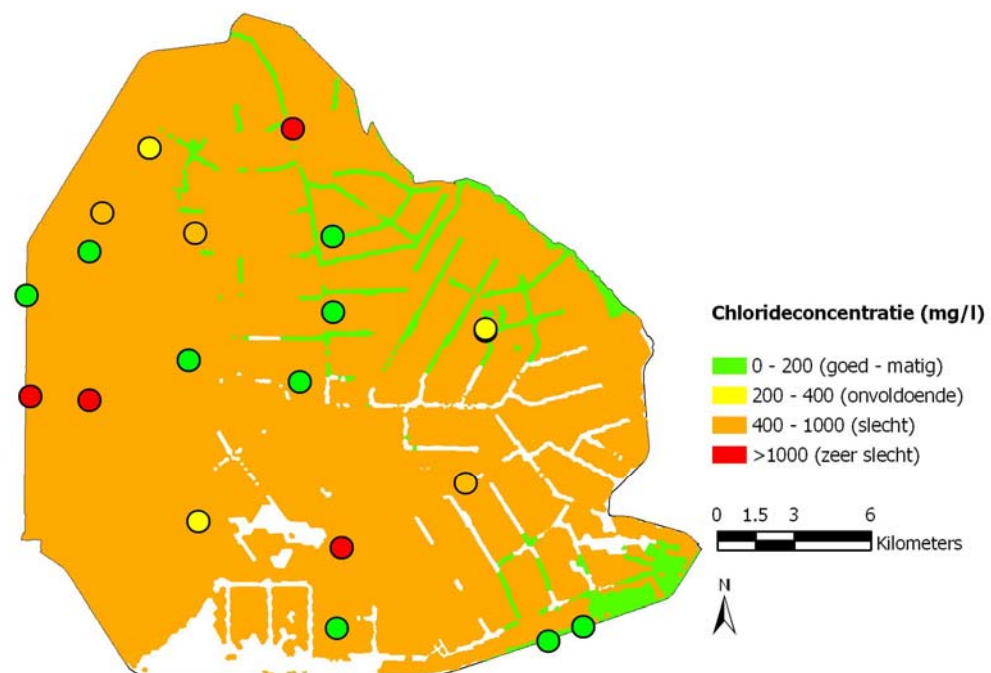
<sup>1</sup> In het Waterbeheersplan 2002-2005 zijn de getallen voor chloridegehalte met als uitgangspunt nachtvorstbestrijding en droogteberekening voor de Noordoostpolder omgedraaid.

<sup>2</sup> Deze norm wordt volgens Waterschap Zuiderzeeland in de praktijk niet gebruikt.

kunnen wel als representatief worden verondersteld voor de huidige concentratie chloride in het eerste watervoerende pakket.

De chlorideconcentratie metingen zijn toegewezen aan een gebied en worden weergegeven in Figuur 16. De concentraties per gebied zijn weer omgezet naar een chlorideconcentratie van het eerste watervoerende pakket per wateraanvoergebied (Tabel 18). Hierbij dient te worden opgemerkt dat het hier om gemiddelde concentraties gaat en niet om 90-percentiel waarden. Er zijn te weinig metingen beschikbaar om dit te berekenen.

Verder wordt verondersteld dat de chlorideconcentratie in het eerste watervoerende pakket gelijk is aan de chlorideconcentratie van de kwel.

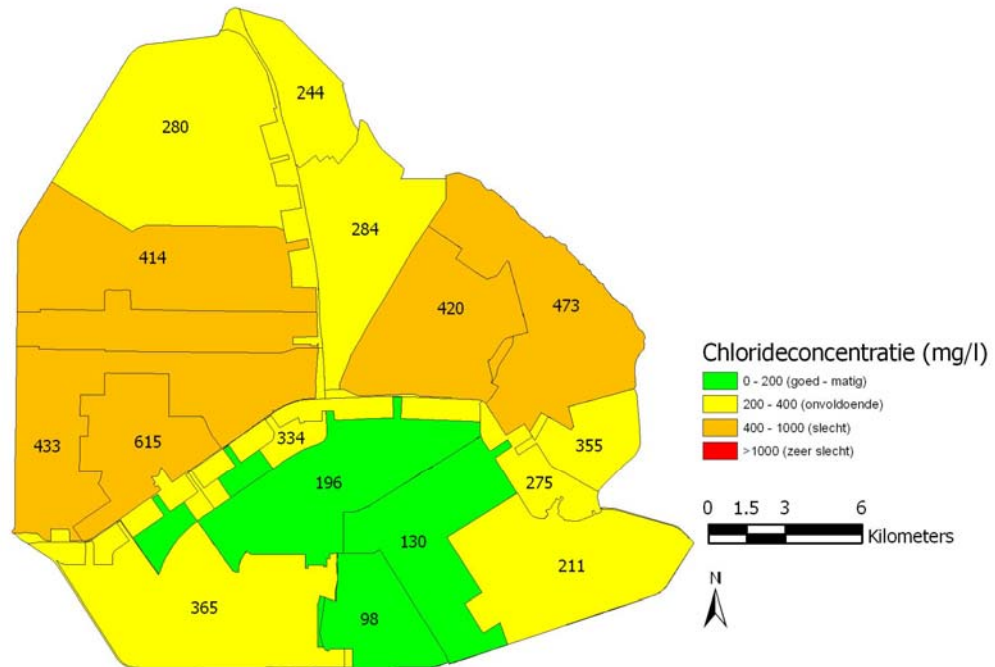


*Figuur 16. Gemiddelde chlorideconcentratie eerste watervoerende pakket (Royal Haskoning, 2003).*

Naast de chlorideconcentratie van het eerste watervoerende pakket is ook gekeken naar de natuurlijke achtergrondgehalten van chloride in het oppervlaktewater. Initieel werd er van uitgegaan dat dit gelijk is aan de chlorideconcentratie van de kwel, omdat de definitie van natuurlijke achtergrondgehalten stelt dat antropogene bronnen geen rol spelen. Echter bij nadere bestudering van het rapport van Royal Haskoning (2003) blijkt dat doorspoeling niet is meegenomen in hun analyses. De natuurlijke achtergrondgehalten van chloride in het oppervlaktewater is het resultaat van de chlorideconcentraties van de kwel en doorspoeling.

Het natuurlijke achtergrondgehalte chloride in de Noordoostpolder (P90) wordt gemeten door Waterschap Zuiderzeeland (Figuur 17). Uit Figuur 17 is in een oogopslag te zien dat de natuurlijke achtergrondgehalten in geen enkel gebied in de Noordoostpolder boven de praktijknorm voor

droogteberekening komt. De praktijknorm voor fruitteelt (nachtvorstbestrijding) wordt wel in bepaalde gebieden overschreden.



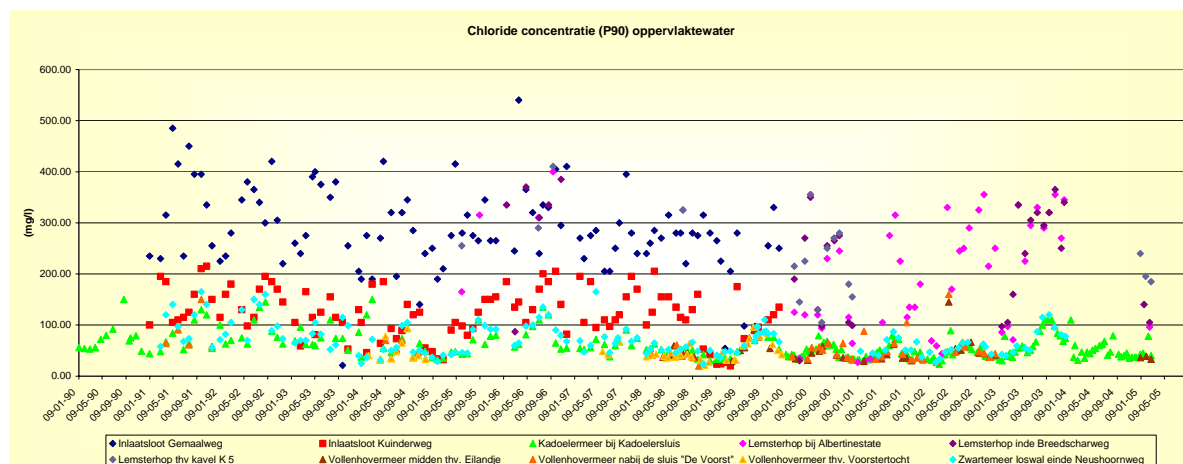
Figuur 17. Natuurlijke achtergrondgehalten (P90) chlorideconcentratie (Witteveen+Bos, 2004) .

Waterschap Zuiderzeeland hanteert een standaardlegenda voor waterkwaliteit waarin:

Goed	onder streefwaarde
Matig	tussen streefwaarden en norm
Onvoldoende	tussen norm en 2x norm
Slecht	tussen 2x norm en 5x norm
Zeer slecht	meer dan 5x norm

Voor chloride is geen streefwaarde opgesteld, waardoor alle waarden onder de 200 mg l<sup>-1</sup> als goed-matig worden geclassificeerd. Daarnaast hanteert het team watersysteeminformatie van Waterschap Zuiderzeeland een andere norm voor chloride dan de praktijknormen uit het waterbeheersplan. Voor de natuurlijke achtergrondgehalten wordt een norm van 200 mg/l (90-percentiel waarde) aangehouden, veel strenger dan de praktijknormen.

Om de doorspoelbehoefte vanuit het waterkwaliteitsperspectief (chloride) te bepalen is het ook noodzakelijk om de waterkwaliteit van het aangevoerde water te weten. Waterschap Zuiderzeeland meet de waterkwaliteit op meerdere punten in de polder, maar ook net daarbuiten. Figuur 18 geeft de chlorideconcentratie metingen weer van Waterschap Zuiderzeeland.



Figuur 18. Chlorideconcentratie (P90) oppervlaktewater.

Tabel 11. Oppervlaktewaterkwaliteit wateraanvoer per wateraanvoergebied

Inlaat ID	Inlaat naam	Meetpunt ID	Meetpunt naam	Cl (P90) Mg/l	Meetperiode		n
					Start	eind	
IW4530	Inlaat Blokzijl	FVR25	Vollenhovemeer, thv. Voorstertocht	77	11-02-94	14-12-99	42
IW4520	Inlaat Lemsterhop	VROUWZD	IJsselmeer, Vrouwezand	180.6	01-01-03	31-12-03	16
IW4500R	Inlaat Lemmer (Rutten)	VROUWZD	IJsselmeer, Vrouwezand	180.6	01-01-03	31-12-03	16
IW4500L	Inlaat Lemmer (Lemsterweg)	VROUWZD	IJsselmeer, Vrouwezand	180.6	01-01-03	31-12-03	16
IW4560	Inlaat Kuinre	AIK20	Inlaatsloot Kuinderweg	185	08-01-91	29-11-99	102
H4610	Hevel Ettenlandseweg	FVR25	Vollenhovemeer, thv. Voorstertocht	77	11-02-94	14-12-99	42
IW4550	Inlaat Repelweg	FVR21	Vollenhovemeer, nabij de sluis "De Voorst"	88	02-04-91	17-12-02	51
H4600	Hevel Kadoelen	QZM33	Zwartemeer, loswal einde Neushoornweg	115	05-03-91	15-12-03	141
IW4540	Inlaat Ramspol	QZM33	Zwartemeer, loswal einde Neushoornweg	115	05-03-91	15-12-03	141
H4620	Hevel Urk	VROUWZD	IJsselmeer, Vrouwezand	180.6	01-01-03	31-12-03	16
H4000	Hevel Neushoornweg	QZM33	Zwartemeer, loswal einde Neushoornweg	115	05-03-91	15-12-03	141
H4010	Hevel Schelpenpad	QZM33	Zwartemeer, loswal einde Neushoornweg	115	05-03-91	15-12-03	141
IW4535	Inlaat Vollenhovemeer kanaal	FVR25	Vollenhovemeer, thv. Voorstertocht	77	11-02-94	14-12-99	42

Na analyse van de meetgegevens, berekeningen van de P90 chlorideconcentratie en overleg met Waterschap Zuiderzeeland is besloten om niet alle meetgegevens van Waterschap Zuiderzeeland te gebruiken. Een aantal meetpunten ligt niet direct bij een inlaatpunt en de chlorideconcentraties in de Lemsterhop en Gemaalweg zijn erg hoog. Deze laatste metingen zijn vergeleken met P90 chlorideconcentratie uit het IJsselmeer (Bron: RWS/RIZA) die beduidend lager zijn terwijl dit toch de

bron van het water is dat in deze inlaten wordt binnengelaten. Zeer waarschijnlijk zijn de metingen van Waterschap Zuiderzeeland niet representatief voor de waterkwaliteit van het ingelaten water, en heeft er al menging met de lagere kwaliteit kwel plaatsgevonden op de locaties van de metingen. Tabel 11 geeft per inlaat de bron van de waterkwaliteitsmetingen, de periode van deze metingen en het aantal metingen waarmee de P90 chlorideconcentratie is bepaald.

## 2.4 Doorspoelbehoefte

Naast het inlaten van water voor droogtebestrijding is wateraanvoer om de waterkwaliteit in de tochten en vaarten op peil te houden een belangrijke noemer. Deze zogenaamde doorspoelbehoefte is in deze studie bepaald voor een representatieve watergang bij verschillende kwelintensiteiten en zoutgehalten. De conversie van een representatieve watergang naar een wateraanvoergebied is uitgevoerd naar oppervlakte rato. Allereerst is in Duflow een representatieve watergang gemodelleerd en deze opzet is vergeleken met een vereenvoudigd hydraulisch model.

### 2.4.1 Duflow

In Duflow is een representatieve watergang geschematiseerd in verschillende secties van ieder 200 meter verbonden met knopen met een totale lengte van 2000 meter. De aanvoerknop is gedefinieerd met een constant aanvoerdebiet en daarbij horende aanvoersoutgehalte. Verder is de zoute kwel gesimuleerd door op de resterende knopen een constante hoeveelheid kwelwater met bijbehorend zoutgehalte aan te brengen. Voor de gemodelleerde representatieve watergang is een veelvoorkomend profiel in de Noordoostpolder, namelijk een bodembreedte van 2 meter en 2 meter hoger een breedte van 10 meter opgegeven als sectie. De Manning-weerstand in positieve en negatieve richting is  $40 \text{ m}^{2/3}\text{s}^{-1}$ , wat volgens Boiten (2003) overeenkomt met een rechte en uniforme aarde watergang met kort gras.

De kwelintensiteit in de knopen moet in Duflow in  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$  worden opgegeven. De meeste watergangen in de Noordoostpolder zijn aan weerskanten omgeven door landbouwkavels met ieder een lengte van 800 meter. De kwel in deze landbouwkavels komt uiteindelijk via drainage in een watergang terecht. De totale kwelintensiteit per knoop is  $1600 \text{ m}$  (twee kavellengtes)  $\times 200 \text{ m}$  (lengte sectie)  $\times$  kwelintensiteit in  $\text{m s}^{-1}$ . In de watergang kan de kwelintensiteit hoger zijn dan in de omliggende kavels doordat het semi-afsluitende pakket door de watergang wordt doorsneden. De kwelintensiteit in een tocht kan 4 tot  $8 \text{ mm d}^{-1}$  bedragen (Bastiaanssen en Zwart, 2005). Echter de uiteindelijke kwelhoeveelheid van een watergang is klein ten opzichte van de kwelhoeveelheid afkomstig van de kavels en wordt daarom verder genegeerd.

Het stoftransport in de waterlopen wordt in Duflow beschreven door de advection-diffusievergelijking. Aangezien zout een conservatieve stof is, is de procesbeschrijving eenvoudig. De dispersiecoëfficiënt wordt zo laag mogelijk gehouden ( $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) om te snelle menging te voorkomen. Dispersie is de verspreiding en menging van stoffen in oppervlaktewater en grondwater veroorzaakt door diffusie en menging als gevolg van kleine variaties in dichtheid en stroomsnelheid.

### 2.4.2 Mixed cell

Naast de opgezette schematisatie in Duflow is een vereenvoudigd stationair hydraulische model geprogrammeerd, genaamd Mixed cell. Dit model gaat ook uit van een aanvoerpunt met een aanvoerdebiet en aanvoerconcentratie. Andere invoergegevens zijn de kwelintensiteit met bijbehorende zoutconcentratie, slootafstand en slootlengte. De volledige beschrijving van de opzet van dit model staat beschreven in Bijlage 4: Doorspoelbehoefte. Dit vereenvoudigd hydraulische model heeft als voordeel dat de berekening snel verloopt en dat de verwerking van de analyse van de resultaten eenvoudiger gaat.

### 2.4.3 Vergelijking Duflow en Mixed cell

De resultaten van beide modellen zijn vergeleken (zie Bijlage 4: Doorspoelbehoefte). De uitkomsten tussen het Duflow en Mixed cell model komen zeer goed overeen waardoor het mogelijk is om de doorspoelbehoefte van een representatieve watergang te modelleren met het Mixed cell model. Daarnaast blijkt uit de vergelijking tussen de twee modellen dat de vorm van het profiel van de watergang nauwelijks invloed heeft op de doorspoeling.

# 3 Resultaten

De resultaten in dit hoofdstuk worden gepresenteerd op drie verschillende schaalniveaus: van de hele Noordoostpolder tot rekeneenheden met daartussen de wateraanvoergebieden als een sommatie van de verschillende rekeneenheden.

Als eerste is een analyse van de aan- en afvoer van de Noordoostpolder uitgevoerd (paragraaf 3.1.). Hierna is met behulp van de FutureView methode de benodigde wateraanvoer (infiltratie en beregning) voor droogtebestrijding bepaald bij de huidige situatie. Naast de wateraanvoerbehoefte is ook de droogteschade bij de huidige wateraanvoer berekend (paragraaf 3.2.1). In paragraaf 3.2.2 is de droogteschade berekend als er geen wateraanvoer (infiltratie en beregning) zou plaatsvinden.

In paragraaf 3.3 zijn de waterbalansen voor de fruitteelt gebieden met nachtvorstbestrijding opgesteld. In paragraaf 3.4 wordt een kleine uitstap gemaakt naar de kosten van de bemaling als gevolg van aangevoerd water. In paragraaf 3.5 wordt de doorspoelbehoefte voor een representatieve watergang en voor de wateraanvoergebieden berekend (paragraaf 3.5). Al deze gegevens samen maken het mogelijk om de wateraanvoer in de huidige situatie te differentiëren voor de verschillende doelen: droogtebestrijding, peilhandhaving en doorspoeling (paragraaf 3.6).

## 3.1 Analyse water aan- en afvoer

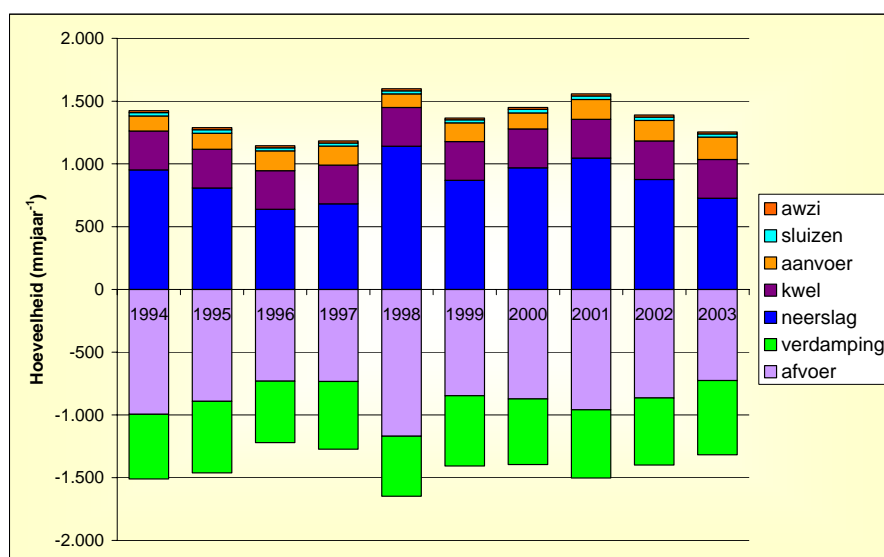
In de analyse van de water aan- en afvoer is allereerst gekeken naar de relatie tussen de hoeveelheid neerslag en wateraanvoer. In het zomerhalfjaar is het te verwachten dat er een relatie bestaat tussen hoeveelheid neerslag en aangevoerd water op week- en maandbasis. Hoe meer neerslag er valt, hoe minder water ingelaten hoeft te worden. Dit verband is echter niet gevonden in de analyses. Waterschap Zuiderzeeland houdt bij de wateraanvoer beperkt rekening met de hoeveelheid gevallen neerslag. Dit heeft voornamelijk operationele redenen; het laten leeglopen van volle wateraanvoersloten kost tijd en hiermee wordt geen waterbesparing gerealiseerd. Het weer volledig vullen van de lege wateraanvoersloten na een inlaatstop kost circa drie dagen. In het geval dat de neerslag niet valt, minder is dan verwacht, of op een andere locatie valt, is er geen benodigd water beschikbaar voor de gebruikers. Een optimalisatie van het gebruik van neerslag en het hierdoor mogelijk verminderen van de wateraanvoer is moeilijk met een vertraging van circa drie dagen in het wateraanvoersysteem. De functies met de grootste kans op droogteschade (kassen, aardbeien) zitten vaak aan het eind van de aanvoersloten. Om hoge schadeclaims te voorkomen wordt er veel water ingelaten om ook de laatste gebruikers te verzekeren van voldoende water.

Voor de hele Noordoostpolder zijn voor de jaren 1994 tot en met 2003 maand en jaar waterbalansen opgesteld. De jaarlijkse kwel is voor de verschillende jaren als een constante genomen, omdat de hoeveelheid kwel op jaarbasis niet sterk fluctueert. De hoeveelheid water die in de Noordoostpolder wordt ingelaten via sluizen en de AWZI is bepaald aan de hand van gegevens van de waterbalans Noordoostpolder van het waterschap. Waar de gegevens niet bekend waren, is het gemiddelde genomen van de aanwezige gegevens.

Tabel 12 en Figuur 32 geven de waterbalans voor de Noordoostpolder in respectievelijk duizend kubieke meter en millimeter per jaar weer. Het zal duidelijk zijn dat de grootste waterinvoer in de Noordoostpolder de neerslag is (gemiddeld 64% van het totale water dat binnenkomt in de Noordoostpolder over de periode 1994 tot en met 2003). Het aandeel kwel en wateraanvoer is respectievelijk 23% en 11%. De hoeveelheid water dat de Noordoostpolder ingelaten wordt via sluisen en de afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI) is gering (respectievelijk 2% en 1%).

Tabel 12. Waterbalans voor de Noordoostpolder in duizend kubieke meter per jaar.

jaar	Water in (in 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )					Water uit (in 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )			
	Neerslag	Kwel	Aanvoer	Sluisen	AWZI	Totaal in	Afvoer	Verdamping	Totaal uit
1994	456.950	148.011	57.982	12.391	7.703	683.036	477.261	246.824	724.085
1995	387.604	148.011	61.082	13.553	7.703	617.952	428.076	272.597	700.673
1996	305.636	148.011	75.666	11.764	7.703	548.779	350.876	234.935	585.811
1997	326.961	148.011	72.477	12.215	7.703	567.367	351.660	258.934	610.594
1998	547.232	148.011	51.527	12.138	7.686	766.593	561.139	229.301	790.440
1999	416.665	148.011	71.365	12.061	6.864	654.965	406.402	268.560	674.963
2000	464.849	148.011	61.190	13.867	7.339	695.255	418.606	251.082	669.688
2001	501.933	148.011	75.932	12.857	8.753	747.486	460.118	260.531	720.649
2002	419.729	148.011	77.869	12.529	8.047	666.185	414.807	256.539	671.346
2003	348.616	148.011	85.031	12.597	7.526	601.781	348.389	284.131	632.520



Figuur 19. Waterbalans voor de Noordoostpolder in millimeter per jaar.

De jaarlijkse waterbalans voor de Noordoostpolder is niet exact sluitend. Dit kan onder andere worden verklaard door:

- onnauwkeurigheden in metingen
- ontbreken van meetgegevens (hevels in 1999, 2002 en 2003. Zie paragraaf 2.3.1)
- Gebruik van de referentieverdamping (uit Lelystad) in plaats van actuele verdamping<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Actuele verdamping is een functie van landgebruik / gewastype en water beschikbaarheid. Actuele verdampingsgegevens zijn niet beschikbaar voor de Noordoostpolder voor betreffende jaren van deze analyse.



Met de gegevens van de jaarlijkse waterbalansen van de hele Noordoostpolder is het niet mogelijk om een uitspraak te doen over de relatie tussen wateraanvoer en waterafvoer. Binnen het jaar is er veel variatie mogelijk in aan- en afvoer (temporele schaal). Daarnaast is het goed mogelijk dat er water wordt afgevoerd uit de polder terwijl er in bepaalde gebieden een wateraanvoerbehoefte is (ruimtelijke schaal). Om een beter beeld te krijgen van de temporele variatie zijn er maandelijks waterbalansen opgesteld voor het droge jaar 2003 (Tabel 13).

*Tabel 13. Waterbalans voor de Noordoostpolder in duizend kubieke meter per maand voor het jaar 2003.*

maand			Water in (in 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )			Water uit (in 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )			
	Neerslag	Kwel	Aanvoer	Sluizen	AWZI	Totaal in	Afvoer	Verdamping	Totaal uit
jan-03	39.186	12.334	1.197	1.050	627	54.395	50.259	3.815	54.074
feb-03	10.417	12.334	1.673	1.050	627	26.101	27.612	9.005	36.618
mrt-03	10.370	12.334	6.149	1.050	627	30.531	20.645	19.120	39.765
apr-03	17.432	12.334	11.223	1.050	627	42.667	24.859	29.899	54.758
mei-03	48.492	12.334	9.565	1.050	627	72.068	35.150	37.751	72.901
jun-03	38.955	12.334	9.998	1.050	627	62.964	28.958	47.777	76.734
jul-03	47.264	12.334	12.468	1.050	627	73.743	24.528	46.091	70.619
aug-03	6.555	12.334	14.556	1.050	627	35.122	22.448	41.965	64.414
sep-03	21.564	12.334	9.149	1.050	627	44.724	23.107	26.838	49.945
okt-03	31.753	12.334	5.035	1.050	627	50.799	21.801	13.530	35.331
nov-03	28.063	12.334	2.363	1.050	627	44.437	23.274	5.412	28.686
dec-03	48.564	12.334	1.654	1.050	627	64.229	45.746	2.928	48.674

Opvallend is dat zelfs in 2003, het droogste jaar (in het groeiseizoen) van de afgelopen 30 jaar er in de droogste maand (augustus) nog water wordt uitgemalen. De hoeveelheid uitgeslagen water is slechts 8% lager dan in de maand juli waarin zeven keer meer neerslag viel dan in augustus. Een deel van het uitgemalen water moet rechtstreeks afkomstig zijn van het ingelaten water. Hierbij moeten echter wel een aantal nuanceringen worden aangebracht. Een deel van de wateraanvoer is bedoeld voor doorspoeling, dus het is de bedoeling dat dit water weer wordt uitgemalen. De maandelijks waterbalans van 2003 zegt nog niets over de ruimtelijke waterbehoefte.

De totale kosten voor het uitmalen van water zijn €7.182,- per 1.000.000 m<sup>3</sup> (Pers. med. Strikwerda, Waterschap Zuiderzeeland, 2003). Dit is inclusief onderhoud, gebouwen, verharding, personeel, etc. Als puur en alleen naar de energiekosten wordt gekeken dan komt dit neer op €1.830,- per 1.000.000 m<sup>3</sup> (energieprijis 2005, Pers.med. Brouwer, Waterschap Zuiderzeeland, 2006). Voor augustus 2003 komt het totaal aan bemalingskosten als alleen energiekosten worden meegerekend uit op circa €40.000,- (inclusief onderhoud, personeel, etc. wordt dit bedrag circa vier keer zo hoog: €160.000,-). Zelfs een procentueel kleine vermindering in de waterafvoer levert meteen een grote besparing op.

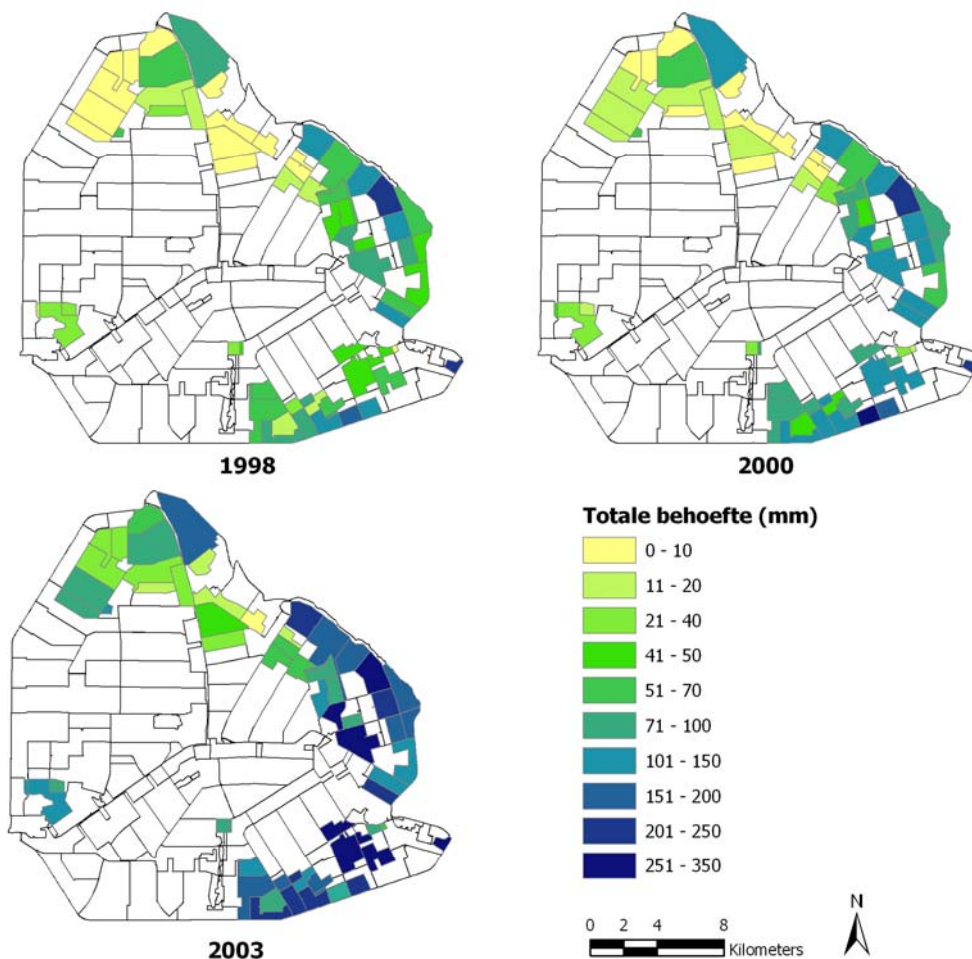
Met de waterbalansgegevens van de hele Noordoostpolder is het niet mogelijk om een nauwkeurige inschatting van de waterbalansen voor de individuele wateraanvoergebieden te maken, omdat zowel de afvoer per wateraanvoergebied als de benodigde infiltratie en beregening onbekend zijn. Om toch een goede inschatting te krijgen van de benodigde infiltratie en beregening en de waterbalansen in de wateraanvoergebieden is gebruik gemaakt van de FutureView methode.

## 3.2 Wateraanvoer voor droogtebestrijding

In deze paragraaf wordt de wateraanvoerbehoefte (infiltratie en beregening) voor droogtebestrijding bepaald om de huidige landbouwkundige opbrengst te realiseren. Ook wordt de extra droogteschade bepaald als er geen wateraanvoer plaatsvindt in de Noordoostpolder. De infiltratie en beregeningsbehoefte worden per wateraanvoergebied (tabel) en per rekeneenheid (grafisch) gepresenteerd. Gedetailleerde gegevens per wateraanvoergebied zijn terug te vinden in Bijlage 5: Gegevens per aanvoergebied. Voor deze analyses is gebruik gemaakt van de FutureView methode zoals beschreven in paragraaf 2.2.

### 3.2.1 Huidige situatie

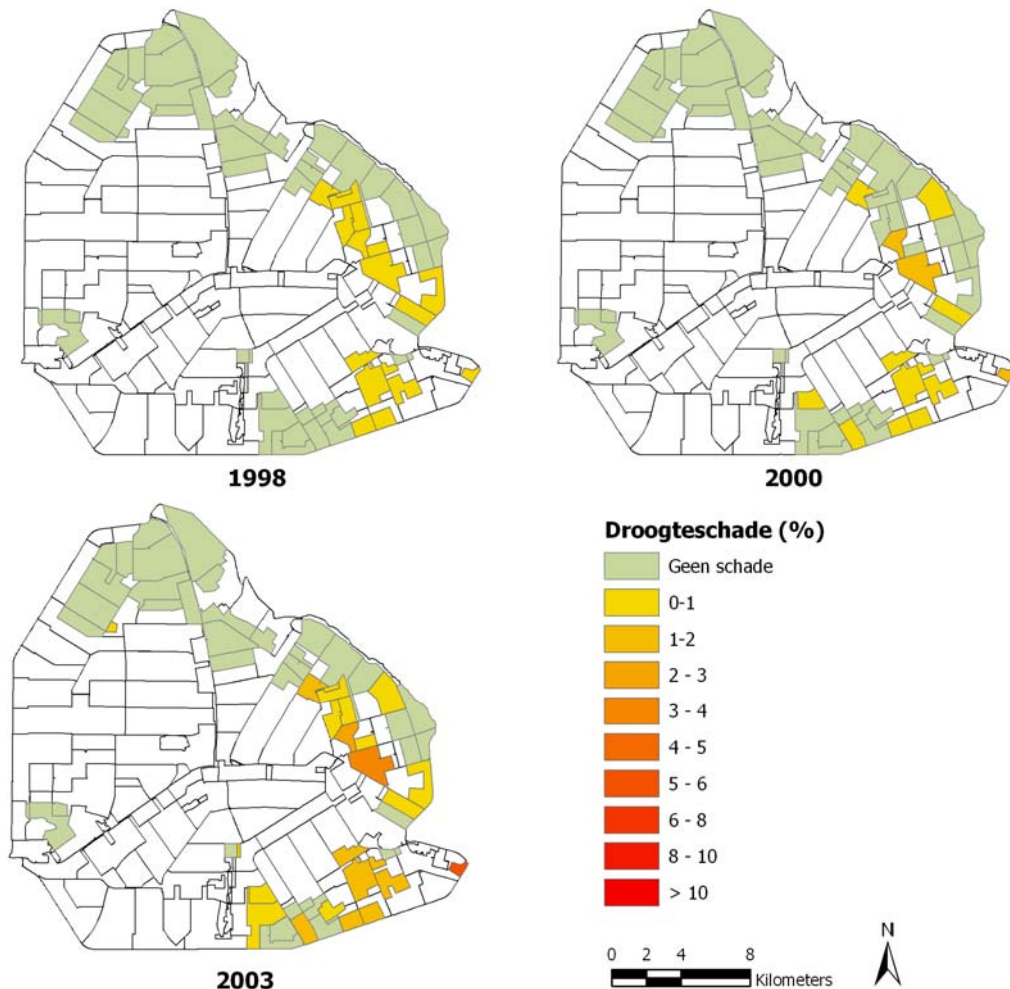
Figuur 20 geeft de wateraanvoerbehoefte (in mm) per rekeneenheid voor de huidige situatie in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003). Logisch is dat hoe droger het is hoe groter de wateraanvoerbehoefte. Echter ook in het als nat bekend staande jaar 1998 (extreem natte herfst) is er een wateraanvoerbehoefte in de Noordoostpolder.



Figuur 20. Wateraanvoerbehoefte (infiltratie, droogteberegening en nachtvorstberegening) voor de huidige situatie in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).

De gebieden met de meeste wateraanvoerbehoefte zijn te vinden langs de Ensertocht, Zwijnstocht, bovenstrooms van de Hoge Kalenbergertocht en het fruitteeltgebied langs de Hertentocht en Paardentocht.

Figuur 21 geeft ruimtelijk de droogteschade (opbrengstreductie) voor de huidige situatie in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003) weer.

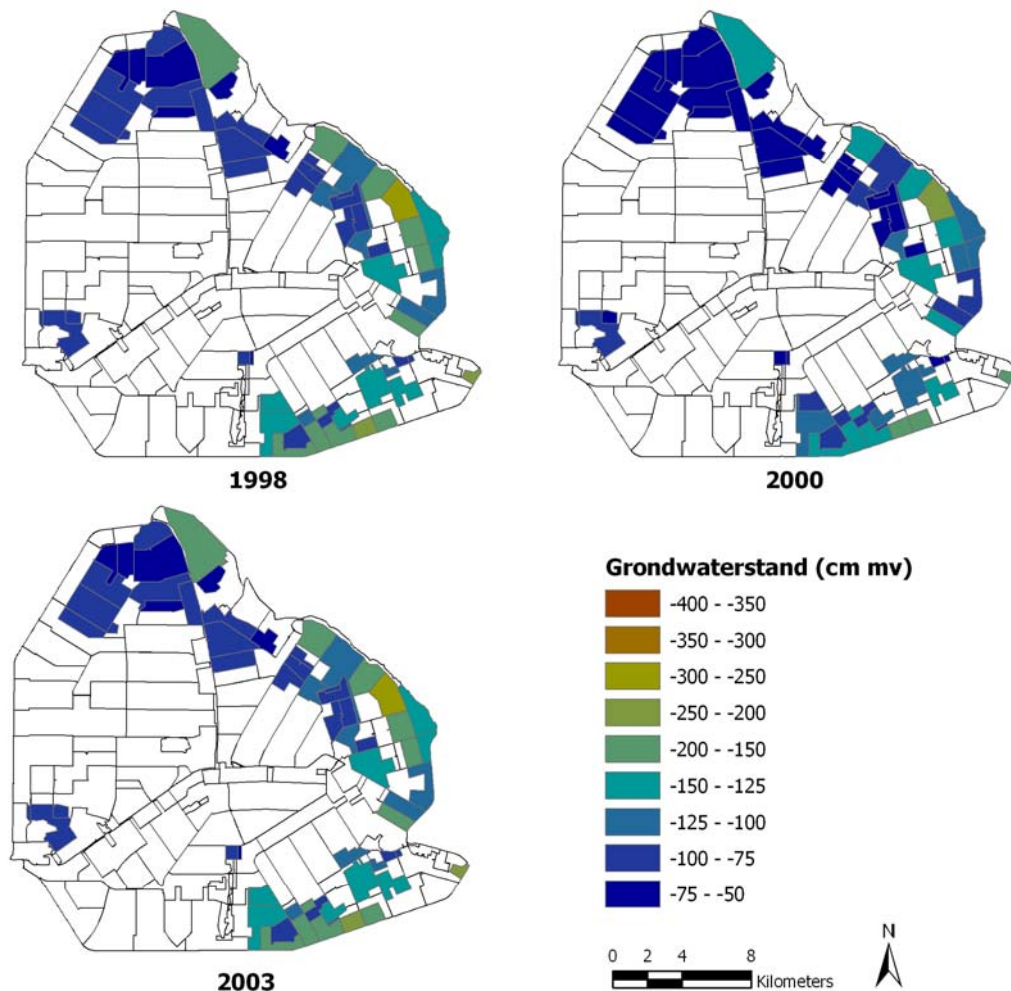


*Figuur 21. Droogteschade voor de huidige situatie in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).*

De droogteschade in de huidige situatie vindt plaats doordat het aangevoerde water niet snel genoeg van de aanvoersloten de plant kunnen bereiken via infiltratie en beregning. De hoeveelheid wateraanvoer zelf is niet beperkend. Men zou hier dus van "onvermijdelijke droogteschade" kunnen spreken. De gebieden rond de Steenwijkertocht, Blokzijlderwarstocht en Marknesservaart hebben in de huidige situatie de meeste droogteschade in 2003. Echter gemiddeld over alle wateraanvoergebieden in de Noordoostpolder is de gemiddelde droogteschade in het natte jaar (1998) en het gemiddelde jaar (2000) 0,1% en in het droge jaar (2003) 0,3%. De maximale droogteschade in de huidige situatie in een rekeneenheid in 1998 is 0,9%, in 2000 is dit 1,7% en in 2003 circa 5,1%. De droogteschade is in

de huidige situatie te negeren. Dit komt goed overeen met een eerdere studie van Bastiaanssen en Zwart (2005) die ook weinig droogteschade constateerden in de wateraanvoergebieden onder de huidige situatie.

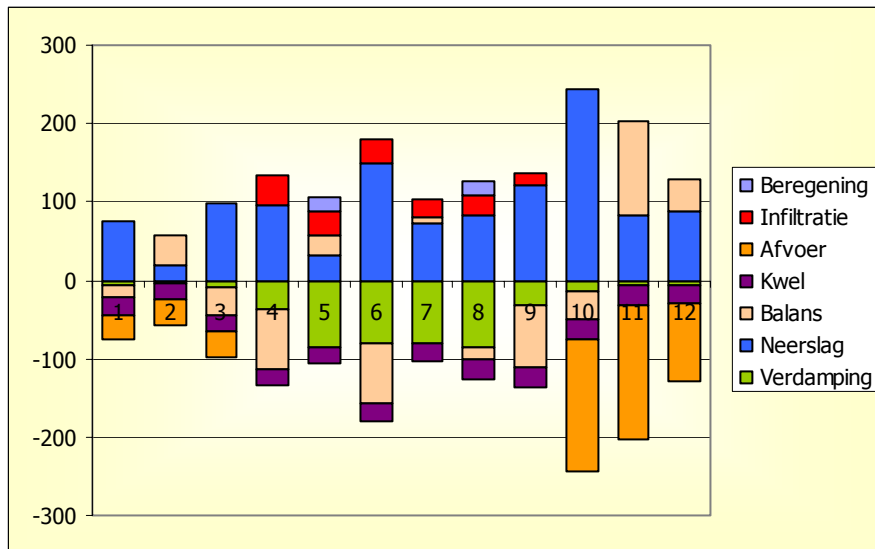
FutureView heeft ook de unieke mogelijkheid om de dagelijkse grondwaterstanden te simuleren. Figuur 22 geeft de gemiddelde grondwaterstand van april tot en met september in de huidige situatie voor de verschillende jaren.



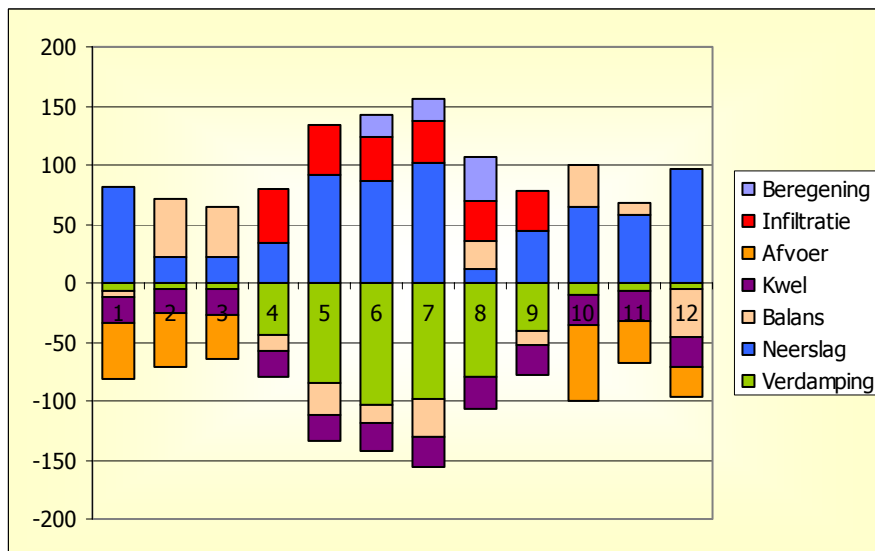
*Figuur 22. Gemiddelde grondwaterstand van april tot en met september voor de huidige situatie in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).*

Bovenstaande figuren geven een duidelijk ruimtelijk inzicht van de jaarlijkse wateraanvoerbehoefte, droogteschade en gemiddelde grondwaterstand in de wateraanvoergebieden in de Noordoostpolder. De volgende figuren geven voor twee wateraanvoergebieden een betere temporeel inzicht in de waterbalans voor een nat (1998) en droog jaar (2003). Met behulp van deze figuren is duidelijk te zien wanneer er wateraanvoerbehoefte is in het wateraanvoergebied.

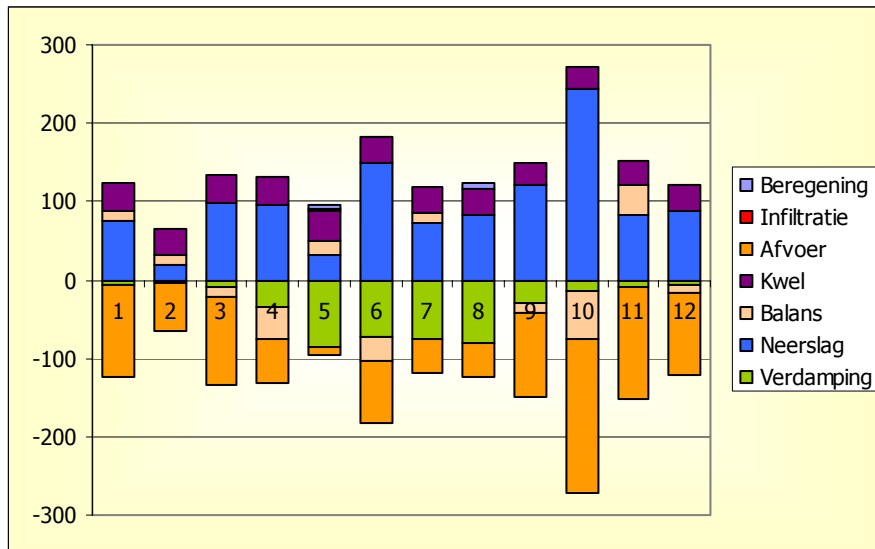
De waterbalansterm "balans" staat voor het bodemvochtgehalte. Een positieve waarde betekent afname van het bodemvochtgehalte (waterlevering aan de onverzadigde zone). Een negatieve waarde betekent een toename van het bodemvochtgehalte. In het hele groeiseizoen is er sprake van infiltratie, omdat de wateraanvoersloten vol staan met water. Berekening vindt echter alleen plaats als er behoefte is aan water voor droogtebestrijding. De waterbalansterm "drainage" is de afvoer uit de wateraanvoergebieden.



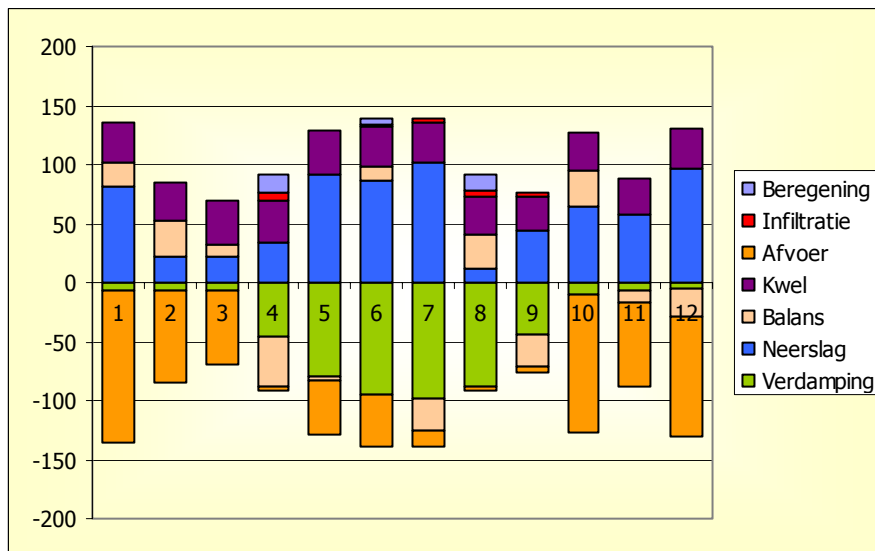
Figuur 23. Maandelijkse waterbalans in 1998 voor wateraanvoergebied Kadoelen (jaarlijkse wegzijging = 285 mm).



Figuur 24. Maandelijkse waterbalans in 2003 voor wateraanvoergebied Kadoelen (jaarlijkse wegzijging = 285 mm).



Figuur 25. Maandelijkse waterbalans in 1998 voor wateraanvoergebied Lemsterweg-Rutten (jaarlijkse kwel = 400 mm).

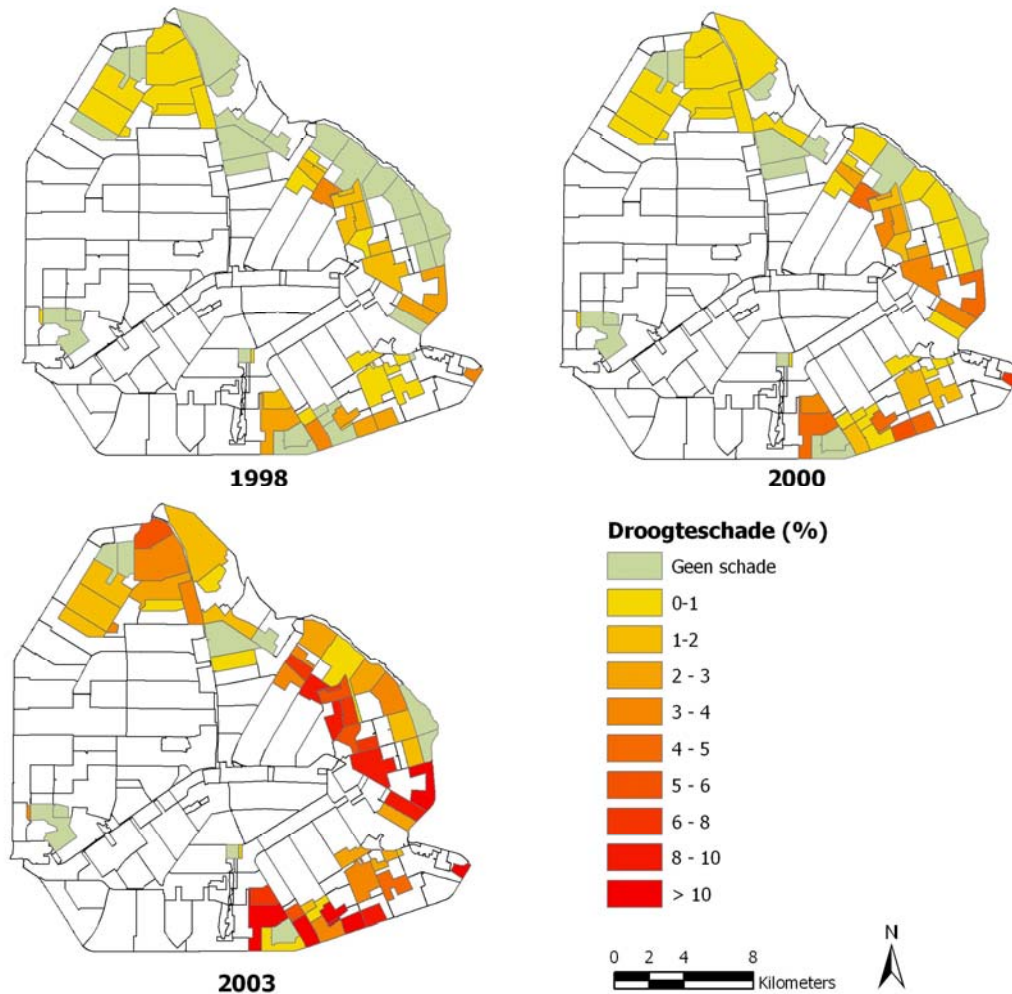


Figuur 26. Maandelijkse waterbalans in 2003 voor wateraanvoergebied Lemsterweg-Rutten (jaarlijkse kwel = 400 mm).

### 3.2.2 Scenario geen wateraanvoer voor droogtebestrijding

Net als in paragraaf 3.2.1 voor de huidige situatie geeft Figuur 27 de droogteschade voor het scenario zonder wateraanvoer in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003). Figuur 28 geeft de gemiddelde grondwaterstand van april tot en met september voor het scenario zonder wateraanvoer in de verschillende jaren.



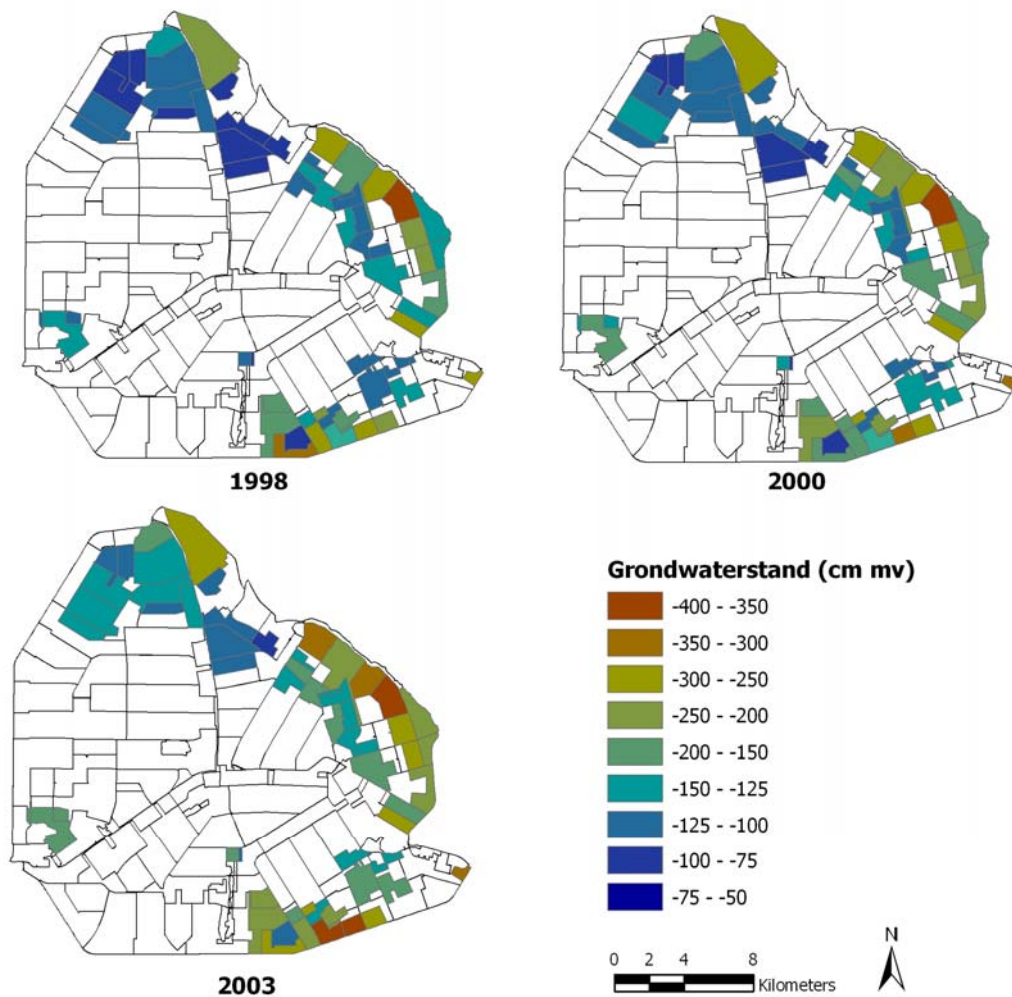


*Figuur 27. Droogteschade voor het scenario zonder wateraanvoer in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).*

Logischer wijze hebben meer rekeneenheden een grotere droogteschade als er geen wateraanvoer plaatsvindt ten opzichte van de huidige situatie met wateraanvoer. Naast de gebieden die ook in de huidige situatie de meeste droogteschade hadden in 2003 hebben ook de gebieden westelijk van de Enservaart, Zuidelijk van de Neushoorntocht en Hertentocht en de gebieden rondom de Voorstertocht, en oostelijk van de Blokzijl-d-tocht en Marknessertocht last van droogteschade.

Echter ook zonder wateraanvoer valt de totale droogteschade mee. De gemiddelde droogteschade over alle wateraanvoergebieden in de Noordoostpolder is in het natte jaar (1998) 0,6%, in het gemiddelde jaar (2000) 1,0% en in het droge jaar (2003) 3,5%. De maximale droogteschade zonder wateraanvoer in een rekeneenheid in 1998 is 3,9%, in 2000 is dit 7,4% en in 2003 circa 15,8%.

Figuur 28 geeft de gemiddelde grondwaterstand van april tot en met september voor de verschillende jaren zonder wateraanvoer.



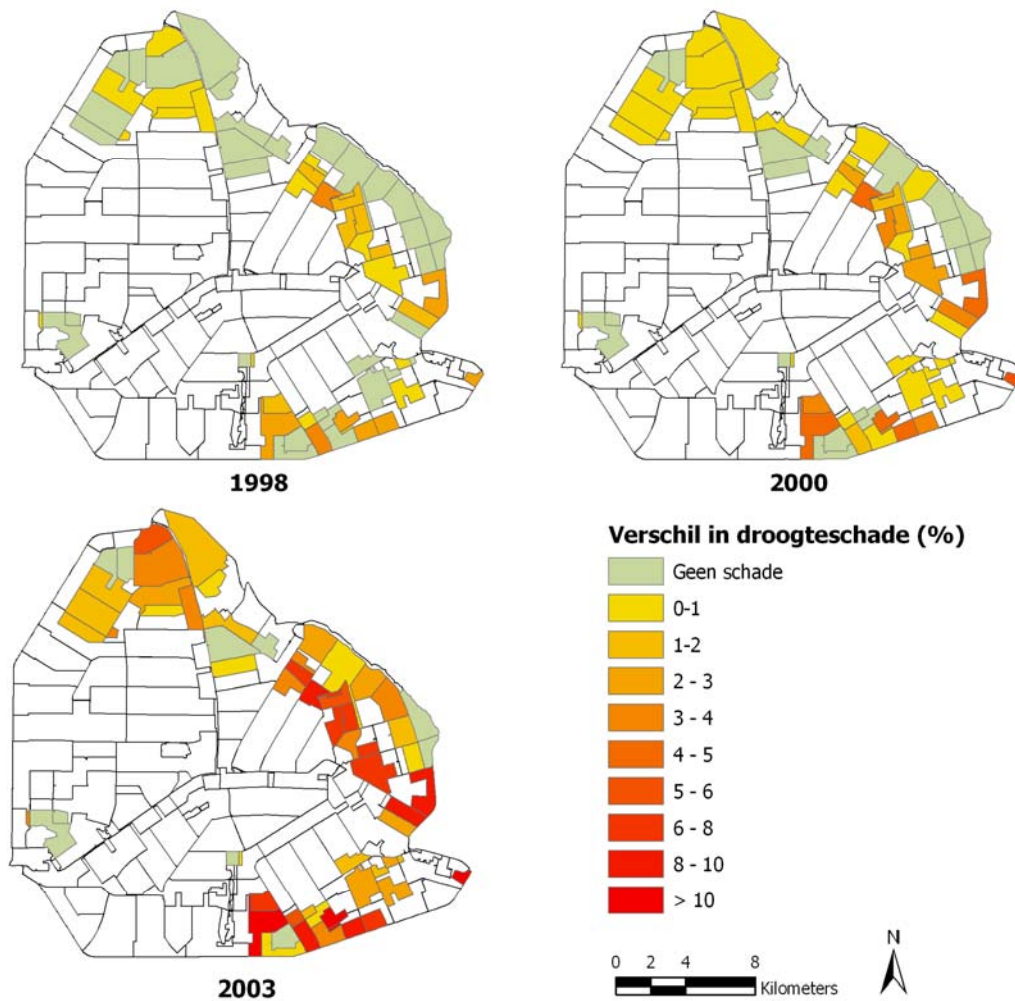
*Figuur 28. Gemiddelde grondwaterstand van april tot en met september voor het scenario zonder wateraanvoer in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).*

Figuur 29 geeft de extra droogteschade voor het scenario zonder wateraanvoer ten opzichte van huidige situatie voor de verschillende jaren. In feite is dit Figuur 27 (geen wateraanvoer) minus Figuur 21 (huidige situatie). Tabel 14 geeft de extra droogteschade als gemiddelde van alle wateraanvoergebieden in de Noordoostpolder. Hieruit blijkt dat de gemiddelde droogteschade slechts met 3,2% stijgt in het droge jaar 2003, echter dat in bepaalde gebieden de droogteschade tot 13% toeneemt zonder wateraanvoer.

*Tabel 14. Extra droogteschade bij het scenario geen wateraanvoer voor de wateraanvoergebieden.*

jaar	Gemiddeld	Maximaal
	%	%
1998	0,5	3,4
2000	0,9	5,7
2003	3,2	13,1





*Figuur 29. Extra droogteschade voor het scenario zonder wateraanvoer t.o.v. huidige situatie in een nat jaar (1998), een gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003).*

Ervaring leert dat de noordoosthoek van de Noordoostpolder (Lemsterhop) droogtegevoelig is (pers. med. Waterschap Zuiderzeeland, 2006). De modelberekeningen laten extra droogteschade zien zonder wateraanvoer, echter het gebied is volgens de berekeningen niet het meest droogtegevoelig in de Noordoostpolder. Een van de redenen voor het verschil tussen praktijk en berekening zou de drooglegging kunnen zijn. In de modelberekeningen is een gemiddelde drooglegging per rekeneenheid bepaald waarmee verder is gerekend. In de rekeneenheid Lemsterhop zit een groot verval in maaiveldhoogte. De gebieden aan de oostrand van deze rekeneenheid (grens van de polder met het oude land) hebben in de praktijk een grotere drooglegging en zouden droogtegevoeliger kunnen zijn dan berekend.

Tabel 15 geeft de extra droogteschade die ontstaat als er geen water wordt ingelaten in de Noordoostpolder in euro's per hectare voor diverse soorten landgebruik. De waarden voor de bruto gewas opbrengst per hectare, dat wil zeggen het totale verlies van het gewas, zijn afkomstig van een accountantskantoor dat een zeer representatief percentage agrariërs in Flevoland als klant heeft (Bron:

Pers. med. D. van den Bersselaar, Waterschap Zuiderzeeland, 2006). De waarden voor de bruto gewas opbrengst zijn vermenigvuldigd met de percentages extra droogteschade als gevolg van het niet aanvoeren van water uit Tabel 14.

Tabel 15. Extra droogteschade zonder wateraanvoer in euro per hectare voor verschillend landgebruik.

Landgebruik (LGN4)	Bruto gewas opbrengst € ha <sup>-1</sup>	Gemiddelde extra droogteschade			Maximale extra droogteschade		
		1998 € ha <sup>-1</sup>	2000 € ha <sup>-1</sup>	2003 € ha <sup>-1</sup>	1998 € ha <sup>-1</sup>	2000 € ha <sup>-1</sup>	2003 € ha <sup>-1</sup>
Agrarisch gras	900	5	8	29	31	51	118
Maïs	1,000	5	9	32	34	57	131
Granen	1,100	6	10	35	37	63	144
Suikerbieten	4,000	20	36	128	136	228	524
Pootaardappelen	8,000	40	72	256	272	456	1.048
Consumptieaardappelen	5,300	27	48	170	180	302	694
Overige landbouwgewassen	5,000	25	45	160	170	285	655
Bloembollen	30,000	150	270	960	1.020	1.710	3.930
Boomgaarden	100,000	500	900	3.200	3.400	5.700	13.100
Glastuinbouw	225,000	1.125	2.025	7.200	7.650	12.825	29.475

De extra kosten die agrariërs aan het waterschap betalen voor de wateraanvoer bedragen €87,- per hectare. Als deze kosten worden vergeleken met de gemiddelde extra droogteschade per hectare in Tabel 15 blijkt meteen dat wateraanvoer in een gemiddeld jaar (2000) alleen rendabel is voor bloembollen, boomgaarden en glastuinbouw. Echter in een droog jaar loopt de gemiddelde extra droogteschade in euro's meteen op en is wateraanvoer alleen niet rendabel voor maïs, granen en gras. Wordt er gekeken naar de maximale extra droogteschade in een droog jaar dan is de wateraanvoer rendabel voor alle gewassen. Om exact te berekenen voor welke gewassen wateraanvoer nog rendabel is in de zin van extra kosten voor agrariërs voor de wateraanvoer ten opzichte van droogteschade is het noodzakelijk om de kans op droogteschade te bepalen. Daarnaast hebben agrariërs vaak meerdere gewassen op een kavel heeft, waardoor alleen gemiddelde extra schadebepaling mogelijk is.

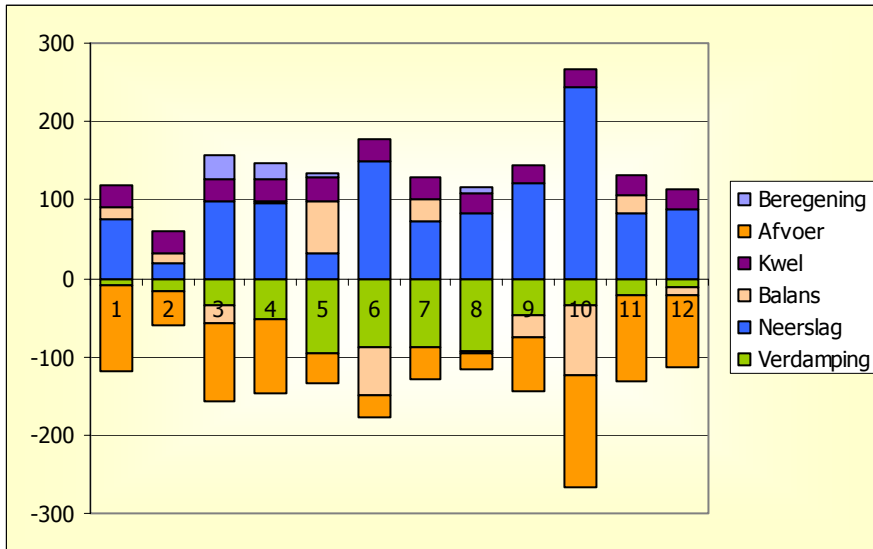
Tabel 16. Samenvatting FutureView resultaten per wateraanvoergebied.

	Infiltratie	Berekening	Totaal droogte bestrijding	Droogteschade	Droogteschade zonder infiltratie
jaar	mm	mm	mm	% (min-max) <sup>1</sup>	% (min-max) <sup>1</sup>
<b>Blokzijl</b>					
1998	58	27	85	0 (0-1)	1 (0-2)
2000	67	35	102	1 (0-3)	2 (0-5)
2003	97	91	188	2 (0-8)	5 (0-10)
<b>Lemsterhop</b>					
1998	62	16	78	0 (0-0)	0 (0-0)
2000	74	16	90	0 (0-0)	0 (0-0)
2003	122	33	155	0 (0-0)	2 (0-2)
<b>Kadoelen</b>					
1998	169	36	205	1 (1-1)	3 (3-3)
2000	185	54	239	2 (2-2)	7 (7-7)
2003	232	72	304	5 (5-5)	16 (16-16)
<b>Kuinre</b>					
1998	21	11	32	0 (0-0)	0 (0-4)
2000	24	12	36	0 (0-0)	1 (0-4)
2003	46	39	85	0 (0-2)	2 (0-10)
<b>Lemsterweg- Rutten</b>					
1998	6	13	19	0 (0-0)	0 (0-1)
2000	9	11	20	0 (0-0)	0 (0-1)
2003	20	37	57	0 (0-0)	2 (0-5)
<b>Ramspol- Neushoornweg- Schelpenpad</b>					
1998	60	17	77	0 (0-2)	1 (0-3)
2000	85	23	108	0 (0-1)	2 (0-5)
2003	116	65	181	1 (0-4)	6 (0-13)
<b>Repelweg</b>					
1998	58	37	95	0 (0-0)	1 (0-2)
2000	70	50	120	0 (0-0)	2 (0-4)
2003	103	85	188	1 (0-1)	6 (2-9)
<b>Urk</b>					
1998	12	23	35	0 (0-0)	0 (0-0)
2000	21	1	22	0 (0-0)	0 (0-1)
2003	40	68	108	0 (0-0)	0 (0-4)

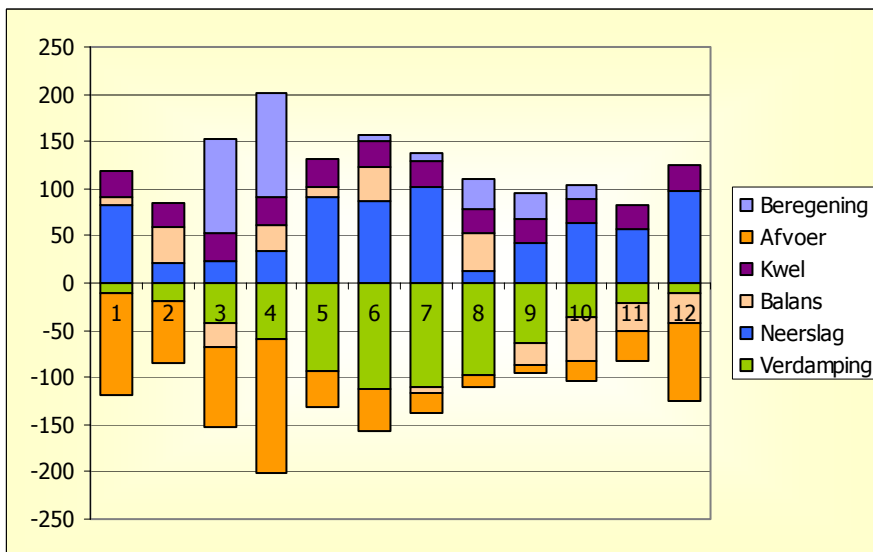
<sup>1</sup> Variatie binnen één aanvoergebied.

### 3.3 Wateraanvoer voor nachtvorstbestrijding

Figuur 30 en Figuur 31 geven de maandelijkse waterbalansen voor de fruitteelt gebieden in de Noordoostpolder. De beregening in de maanden maart en april is uitsluitend bedoeld voor de nachtvorst bestrijding. De beregening in de overige maanden heeft als doel droogtebestrijding.



Figuur 30. Maandelijkse waterbalans in 1998 voor fruitteelt gebieden (5 dagen nachtvorst).



Figuur 31. Maandelijkse waterbalans in 2003 voor fruitteelt gebieden (21 dagen nachtvorst).

### 3.4 Gemaalkosten als gevolg van wateraanvoer

In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de kosten van het inlaten van water als dit water niet noodzakelijk is en niet wordt gebruikt voor droogtebestrijding, doorspoeling of peilhandhaving. Het ingelaten water zal in deze situatie door de Noordoostpolder stromen en weer voor de gemalen uitkomen om uitgeslagen te worden. De kosten van dit uitslaan van water zijn in Tabel 17 per waterinlaat berekend bij het maximale debiet en het gemiddelde debiet van de waterinlaat in de periode 1994 – 2003. In de kosten voor uitmalen zijn alleen de energiekosten (prijspeil 2005) meegenomen. Onderhoud, afschrijving en personeelskosten voor het uitmalen van het water zijn niet meegenomen in de berekeningen. Ook overige kosten zoals onderhoud en personele kosten voor de wateraanvoer zijn niet meegenomen.

Tabel 17. Indicatie van de kosten per dag per wateraanvoerpunt als het water niet nodig is en moet worden uitgemalen.

	Inlaat Blokzijl	Inlaat Lemsterhop	Inlaat Lemmer (Lemsterweg/Rutten)	Inlaat Kuinre	Hevel Ettenlandseweg	Inlaat Repelweg	Hevel Kadoelen	Inlaat Rampsol	Hevel Urk	Hevel Neushoornweg	Hevel Schelpenpad	Vollenhovekanaal
Wateraanvoer per dag (m <sup>3</sup> )												
Maximaal	333.776	88.408	449.822	98.496	14.861	20.736	2.592	103.599	46.050	21.600	21.600	86.400
Gemiddeld	42.782	11.626	44.174	27.360	3.427	3.710	1.247	17.662	10.530	10.506	11.275	39.679
Kosten per dag als aangevoerde water niet nodig is en moet worden uitgemalen (€)												
Maximaal	611	162	823	180	27	38	5	190	84	40	40	158
Gemiddeld	78	21	81	50	6	7	2	32	19	19	21	73

Tabel 17 laat duidelijk zien dat het inlaten van water als het niet nodig is in de polder en daarna weer moeten uitslaan geld kost. De kosten bij een gemiddeld debiet bedragen voor alle inlaten samen meer dan €350,- per dag. In de zomer bij een maximaal debiet van alle inlaten kan dit bedrag oplopen tot meer dan €2.300,- per dag. Dit bedrag zou mogelijkkerwijs bespaard kunnen worden als in de zomer de inlaten worden gesloten na zware neerslag als er geen vraag naar wateraanvoer is voor droogtebestrijding, peilhandhaving en doorspoeling.

### 3.5 Doorspoelbehoefte

Per wateraanvoergebied is voor een representatieve watergang de doorspoelbehoefte berekend met als uitgangspunten de gemiddelde chlorideconcentratie van het eerste watervoerend pakket in het wateraanvoergebied en de 90-percentiel chlorideconcentratie van het aangevoerde water naar het wateraanvoergebied (zie Tabel 18). De doorspoelbehoefte is bepaald voor de volgende kwelintensiteiten: 0,5 mm d<sup>-1</sup>, 1,0 mm d<sup>-1</sup>, 1,5 mm d<sup>-1</sup>, 2,0 mm d<sup>-1</sup> en 3,0 mm d<sup>-1</sup>.

De doorspoelbehoefte is per wateraanvoergebied bepaald aan de hand van de in de praktijk gebruikte normen voor chloride van 600, 300 en 200 mg l<sup>-1</sup>. De chlorideconcentratie van het water van een representatieve watergang is getoetst aan deze praktijknormen. In de Noordoostpolder is een tocht

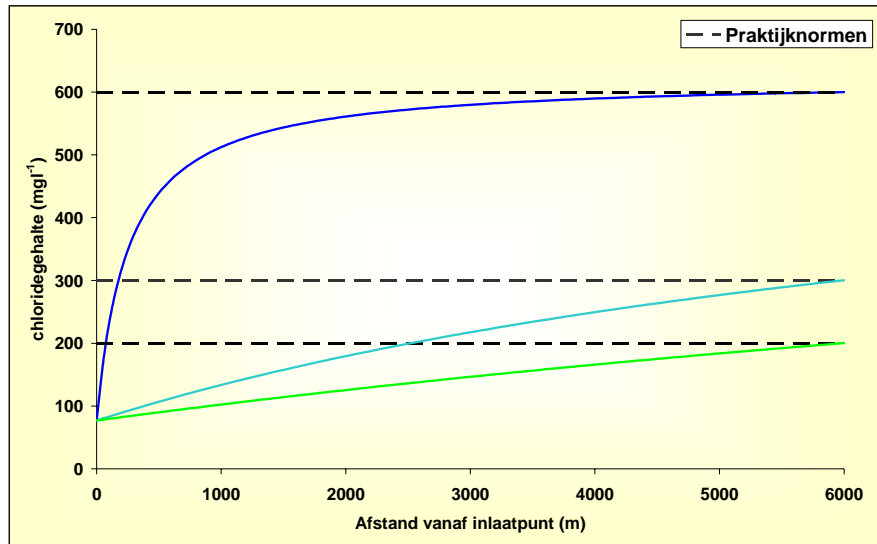
gemiddeld zes kilometer lang (20 kavels met een breedte van 300 meter). Om ook aan het einde van de tocht een goede waterkwaliteit te garanderen is de doorspoelbehoefte bepaald door toetsing van de chlorideconcentratie op een afstand van zes kilometer vanaf de inlaat aan de praktijknormen (zie Figuur 32). De chlorideconcentratie aan het begin van het inlaatpunt is de chlorideconcentratie van het aangevoerde oppervlaktewater.

Tabel 18. Chlorideconcentraties eerste watervoerend pakket (=kwel) en aangevoerde water.

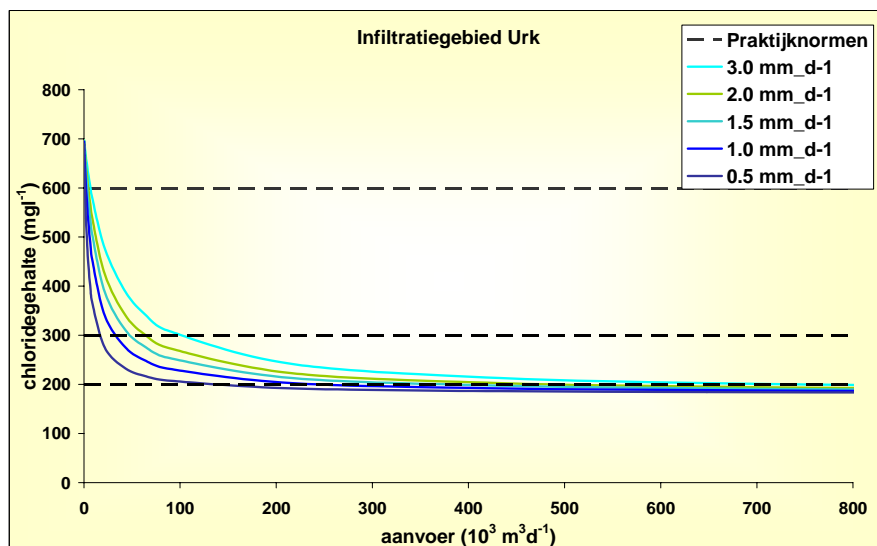
Wataeraanvoergebied	Eerste watervoerend pakket	Wataeraanvoer	
	Chloride concentratie (gemiddeld) mg l <sup>-1</sup>	Waterkwaliteitsmeetpunt	Chloride concentratie (P90) mg l <sup>-1</sup>
Blokszyl/Vollenhovekanaal/Ettenlandseweg	622	Vollenhovermeer, thv Voorstertocht	77
Kuinre	584	Inlaatsloot Kuinderweg	185
Lemsterhop	655	IJsselmeer, Vrouwezand	181
Lemmer (Lemsterweg/Rutten)	664	IJsselmeer, Vrouwezand	181
Urk	699	IJsselmeer, Vrouwezand	181
Ramspol/Neushoornweg/Schelpenpad	641	Zwartemeer, loswal einde Neushoornweg	115
Kadoelen	473	Zwartemeer, loswal einde Neushoornweg	115
Repelweg	668	Vollenhovermeer, nabij de sluis "De Voorst"	88

De benodigde wateraanvoer om deze praktijknormen onder verschillende kwelintensiteiten te garanderen kunnen worden gevonden in Tabel 19. Tabel 19 geeft aan hoeveel water minimaal moet worden aangevoerd om onder verschillende kwelintensiteiten in een tocht op zes kilometer afstand vanaf het inlaatpunt de verschillende praktijknormen te handhaven.

Wataeraanvoergebied Urk heeft de grootste doorspoelbehoefte omdat de chlorideconcentratie van het eerste watervoerend pakket vergeleken met de andere wataeraanvoergebieden het hoogst is, daarnaast is ook de chlorideconcentratie van het aangevoerde water hoog (zie Tabel 18). Alle wataeraanvoergebieden hebben een doorspoelbehoefte voor chloride behalve de wataeraanvoergebieden Kuinre en Kadoelen bij de praktijknorm van 600 mg l<sup>-1</sup>. Bij deze berekeningen is nog geen rekening gehouden met de neerslag.



Figuur 32. Chlorideconcentratie in een representatieve watergang op verschillende afstanden vanaf het inlaatpunt onder verschillende praktijknormen voor wateraanvoergebied Blokzijl.



Figuur 33. Aanvoerhoeveelheid tegen chlorideconcentratie in een representatieve watergang met verschillende kwelintensiteiten voor wateraanvoergebied Urk.

Om de chlorideconcentratie onder de praktijknorm van 200 mg l<sup>-1</sup> te brengen is een enorme hoeveelheid wateraanvoer nodig (zie Figuur 33). Dit is eenvoudig te verklaren door het feit dat de chlorideconcentratie van het aangevoerde water in een aantal wateraanvoergebieden al dicht tegen deze norm zit. De praktijknorm van 200 mg l<sup>-1</sup> voor chloride is niet haalbaar voor de wateraanvoergebieden. Dit komt ook overeen met de realistische chlorideconcentraties genoemd in het waterbeheersplan van Waterschap Zuiderzeeland (Waterschap Zuiderzeeland, 2001), bijlage 6.2: realistische waterkwaliteitssituaties. In de hele Noordoostpolder worden waarden boven de 200 mg l<sup>-1</sup> chlorideconcentratie als realistisch haalbaar genoemd behalve voor delen van de Schokkertocht en in Lemsterhop.

Tabel 19. Doorspoelbehoefte van een representatieve watergang per wateraanvoergebied met verschillende kwelintensiteiten onder verschillende praktijknormen zonder rekening te houden met het neerslagoverschot.

Doorspoelbehoefte (in $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ )	Praktijknorm Cl $\text{mg l}^{-1}$	Kwelintensiteit (in $\text{mm d}^{-1}$ )				
		0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
<b>Blokszijl, Ettenlandseweg, Vollenhovekanaal</b>						
600		<b>0,2</b>	0,4	0,6	0,8	1,2
300		<b>6,9</b>	13,8	20,7	27,6	41,5
200		<b>16,4</b>	32,8	49,2	65,7	98,5
<b>Kuinre</b>						
600			Geen doorspoelbehoefte			
300		11,9	<b>23,8</b>	35,4	47,5	70,8
200		121,0	<b>241,9</b>	362,9	475,2	712,8
<b>Lemsterhop</b>						
600		<b>0,6</b>	<b>1,3</b>	1,9	2,5	3,7
300		<b>14,3</b>	<b>28,5</b>	42,6	56,9	85,2
200		<b>109,7</b>	<b>219,5</b>	329,2	438,9	661,0
<b>Lemmer (Lemsterweg/Rutten)</b>						
600		0,7	<b>1,5</b>	2,2	2,9	4,4
300		14,6	<b>29,1</b>	43,7	58,2	87,4
200		112,3	<b>223,8</b>	337,0	447,6	671,3
<b>Urk</b>						
600		<b>1,1</b>	<b>2,3</b>	3,4	4,5	6,8
300		<b>16,0</b>	<b>32,0</b>	48,0	63,8	95,7
200		<b>121,0</b>	<b>241,1</b>	361,2	483,8	721,5
<b>Ramspol, Neushoornweg, Schelpenpad</b>						
600		0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
300		8,8	17,6	26,4	35,3	52,9
200		25,1	50,1	75,2	100,2	150,3
<b>Kadoelen</b>						
600			Geen doorspoelbehoefte			
300		4,5	9,0	13,5	18,0	27,0
200		15,4	30,8	46,1	61,5	92,3
<b>Repelweg</b>						
600		0,6	1,3	1,9	2,6	3,8
300		8,3	16,7	25,0	33,4	50,0
200		20,0	39,9	59,9	79,8	119,8

Noot:

In vet: de gemiddelde kwelintensiteit die voorkomt in het wateraanvoergebied. Voor aanvoergebied Kadoelen is er sprake van gemiddelde wegzijging. Voor wateraanvoergebieden Ramspol, en Repelweg is er sprake van een zeer lage kwelintensiteit (zie ook Tabel 9).

De doorspoelbehoefte is bepaald zonder neerslag.

Bij de berekening van de gemiddelde doorspoelbehoefte op jaarbasis per wateraanvoergebied (zie Tabel 20) is rekening gehouden met het neerslagoverschot. Er is vanuit gegaan dat neerslag een chlorideconcentratie heeft van  $0 \text{ mg l}^{-1}$ . Het neerslagoverschot zorgt voor extra aanvoer van goede kwaliteit water wat resulteert in een verlaging van de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater. Hierdoor is er minder wateraanvoer noodzakelijk om een bepaalde praktijknorm te garanderen. Voor de berekening is een gemiddelde waarde van de kwelintensiteit genomen per wateraanvoergebied (zie



Tabel 9 voor de gemiddelde kwelintensiteiten). Tabel 20 geeft aan hoeveel de gemiddelde doorspoelbehoefte per jaar is voor de verschillende wateraanvoergebieden onder verschillende praktijknormen voor een nat jaar (1998), gemiddeld jaar (2000) en een droog jaar (2003). De conversie van een representatieve watergang van zes km lang naar een wateraanvoergebied is uitgevoerd naar oppervlakte rato. Voor de doorspoelbehoefte van een representatieve watergang op dagen zonder neerslag wordt verwezen naar Tabel 19.

*Tabel 20. Gemiddelde jaarlijkse doorspoelbehoefte per wateraanvoergebied rekening houdend met het neerslagoverschot.*

Doorspoelbehoefte ( $10^3 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$ )	Praktijknorm (Cl $\text{mg l}^{-1}$ )		
	600	300	200
<b>Wateraanvoergebied</b>			
<b>Blokszijl, Ettenlandseweg, Vollenhovekanaal</b>			
1998	0	0	0
2000	0	0	0
2003	0	3	5.358
<b>Kuinre</b>			
1998	0	0	0
2000	0	0	52.866
2003	0	7.477	135.940
<b>Lemsterhop</b>			
1998	0	0	0
2000	0	0	12.181
2003	0	3.167	37.896
<b>Lemmer (Lemsterweg/Rutten)</b>			
1998	0	0	0
2000	0	0	123.552
2003	0	18.762	201.344
<b>Urk</b>			
1998	0	0	0
2000	0	0	5.651
2003	0	1.347	16.832
<b>Ramspol, Neushoornweg, Schelpenpad</b>			
1998	0	0	0
2000	0	0	0
2003	0	0	0
<b>Kadoelen</b>			
1998	0	0	0
2000	0	0	0
2003	0	0	0
<b>Repelweg</b>			
1998	0	0	0
2000	0	0	0
2003	0	0	0

De doorspoelbehoefte is voor bijna alle wateraanvoergebieden nihil, behalve in een droog jaar of als de praktijknorm van  $200 \text{ mg l}^{-1}$  gehanteerd wordt. Voor gebieden waar op jaarbasis gemiddeld wegzijging of haast geen kwel is (Ramspol, Kadoelen en Repelweg) is er geen doorspoelbehoefte op jaarbasis.

De berekende doorspoelbehoefte heeft alleen betrekking op de wateraanvoergebieden en is niet berekend voor de gebieden zonder wateraanvoer. De doorspoelbehoefte voor de hele Noordoostpolder zal daarom hoger zijn, echter een differentiatie van de doorspoelbehoefte per waterinlaat is alleen mogelijk als bekend is welk gebied (wateraanvoergebied en gebieden zonder wateraanvoer) vanuit welke wateraanvoerinlaat wordt doorgespoeld.

## 3.6 Gedifferentieerde wateraanvoer

Nu de hoeveelheid benodigde wateraanvoer voor de droogtebestrijding en doorspoeling is bepaald en de gegevens over de totale wateraanvoer bekend zijn, is het mogelijk om de totale wateraanvoer per wateraanvoergebied te onderscheiden per type gebruik.

De aanvoer van water kan worden onderverdeeld in:

1. doorspoeling
2. nachtvorstbestrijding
3. droogtebestrijding
4. veedrenking
5. peilbeheersing

### Ad. 1. Doorspoeling

De doorspoelbehoefte op jaarbasis is berekend met behulp van de Mixed cells methode, waarbij rekening gehouden is met het neerslagoverschot. Voor details van de gevolgde methode en de resultaten zie paragraaf 3.5. De berekende doorspoelbehoefte heeft alleen betrekking op de wateraanvoergebieden.

### Ad. 2. Nachtvorstbestrijding

Slechts een klein gedeelte van de fruitteeltgebieden (circa 54 ha) gebruikt water uit de wateraanvoersloten. De overige fruitteeltgebieden gebruiken uitsluitend water uit de waterafvoertochten voor nachtvorst- en droogtebestrijding.

### Ad. 3. Droogtebestrijding

De hoeveelheid water die per maand wordt aangevoerd voor droogtebestrijding is berekend met behulp van de FutureView methode.

### Ad. 4. Veedrenking

Veedrenking in de Noordoostpolder is maar een klein aandeel van de totale wateraanvoer en wordt genegeerd.

### Ad. 5. Peilhandhaving

In de maanden waar droogtebestrijding plaatsvindt, is de hoeveelheid water voor peilhandhaving per maand berekend met behulp van het debiet over de eindstuwputten per wateraanvoergebied (zie paragraaf 2.3.1 en Tabel 7) vermenigvuldigd met het aantal dagen in de maand wanneer peilhandhaving nodig is; tijdens wateraanvoer voor droogtebestrijding.

Tabel 21 geeft de gemiddelde gedifferentieerde wateraanvoer (in m<sup>3</sup>) per wateraanvoergebied voor een nat jaar (1998), gemiddeld jaar (2000) en droog jaar (2003) weer. De gedifferentieerde wateraanvoer als percentages wordt grafisch weergegeven voor de verschillende wateraanvoergebieden in Figuur 34 (1998), Figuur 35 (2000) en Figuur 36 (2003).

Tabel 21. Gemiddelde gedifferentieerde wateraanvoer per wateraanvoergebied voor een nat (1998), gemiddeld (2000) en droog (2003) jaar.

Wateraanvoergebied	Water aanvoer		Droogte bestrijding		Peilhandhaving		Doorspoel behoefte norm CI 300 mg l <sup>-1</sup>		Overig	
	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> j <sup>-1</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> j <sup>-1</sup>	% <sup>a</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> j <sup>-1</sup>	% <sup>a</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> j <sup>-1</sup>	% <sup>a</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> j <sup>-1</sup>	% <sup>a</sup>	
<b>Blokszijl, Ettenlandseweg</b>										
1998	15.744	436	3	1.574	10	0	0	13.734	87	
2000	17.554	601	3	2.076	12	0	0	14.877	85	
2003	16.531	1.449	9	2.444	15	3	0	12.635	76	
<b>Kuinre</b>										
1998	8.199	728	9	2.176	27	0	0	5.295	65	
2000	8.581	831	10	2.101	24	0	0	5.649	66	
2003	10.760	1.939	18	3.001	28	7.477	69	-1.657 <sup>b</sup>		
<b>Lemsterhop</b>										
1998	2.386	56	2	229	10	0	0	2.101	88	
2000	3.171	64	2	196	6	0	0	2.911	92	
2003	4.490	110	2	393	9	3.167	71	821	18	
<b>Lemmer (Lemsterweg/Rutten)</b>										
1998	10.800	529	5	1.943	18	0	0	8.329	77	
2000	13.877	561	4	2.078	15	0	0	11.237	81	
2003	17.364	1.540	9	4.337	25	18.762	108	-7.275 <sup>b</sup>		
<b>Urk</b>										
1998	3.313	127	4	360	11	0	0	2.826	85	
2000	3.698	80	2	307	8	0	0	3.311	90	
2003	3.698	393	11	553	15	1.347	36	1.405	38	
<b>Ramspol</b>										
1998	5.325	698	13	2.079	39	0	0	2.547	48	
2000	5.281	536	10	1.588	30	0	0	3.157	60	
2003	7.644	894	12	2.873	38	0	0	3.877	51	
<b>Kadoelen</b>										
1998	199	146	73	53	27	0	0	0	0	
2000	555	170	31	301	54	0	0	85	15	
2003	555	215	39	252	45	0	0	88	16	
<b>Repelweg</b>										
1998	161	472		497		0		-808 <sup>b</sup>		
2000	1.215	596	49	587	48	0	0	32	3	
2003	2.250	933	41	857	38	0	0	461	20	

<sup>a</sup> Percentage van werkelijk aangevoerd water.

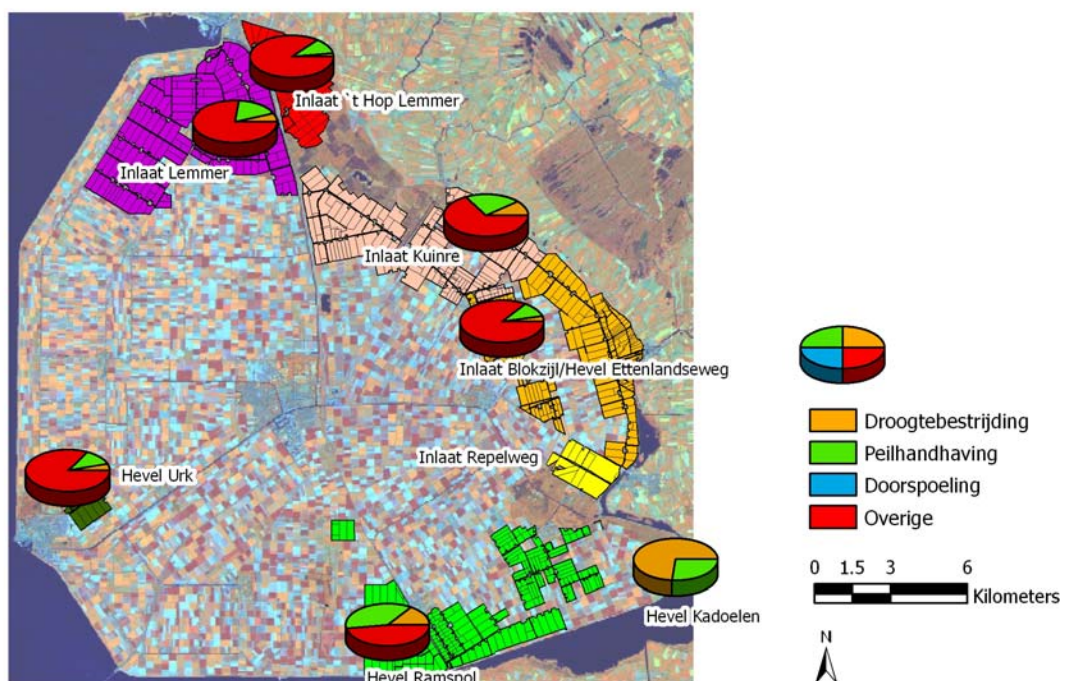
<sup>b</sup> Negatieve waarden geven aan dat er minder water is aangevoerd dan er noodzakelijk was voor droogtebestrijding, doorspoeling en peilhandhaving.

Tabel 21 geeft duidelijk weer dat voor bijna alle wateraanvoergebieden in alle jaren er ruim voldoende water is aangevoerd om aan de verschillende behoeften te voldoen. Uitzonderingen hierop zijn in het

droge jaar 2003 de wateraanvoergebieden Kuinre en Lemmer (Lemsterweg/Rutten). In deze gebieden is de berekende wateraanvoerbehoefte groter dan de werkelijk aangevoerde hoeveelheid water. In het wateraanvoergebied Repelweg is volgens Tabel 21 de wateraanvoer in het natte jaar 1998 niet voldoende geweest om aan de berekende behoefte te voldoen. Nadere analyse van de gegevens laten zien dat zeer waarschijnlijk de gemeten wateraanvoerhoeveelheid niet correct is (factor 10 lager dan het gemiddelde van de jaren 2000 en 2003). Hierbij moet worden opgemerkt dat de berekende wateraanvoerbehoefte voor peilhandhaving en doorspoelbehoefte in de wateraanvoergebieden apart zijn berekend. In werkelijkheid zal het water bedoeld voor peilhandhaving automatisch ook dienen voor doorspoeling. De berekende wateraanvoerbehoefte in de wateraanvoergebieden zou dus iets lager kunnen zijn dan berekend.

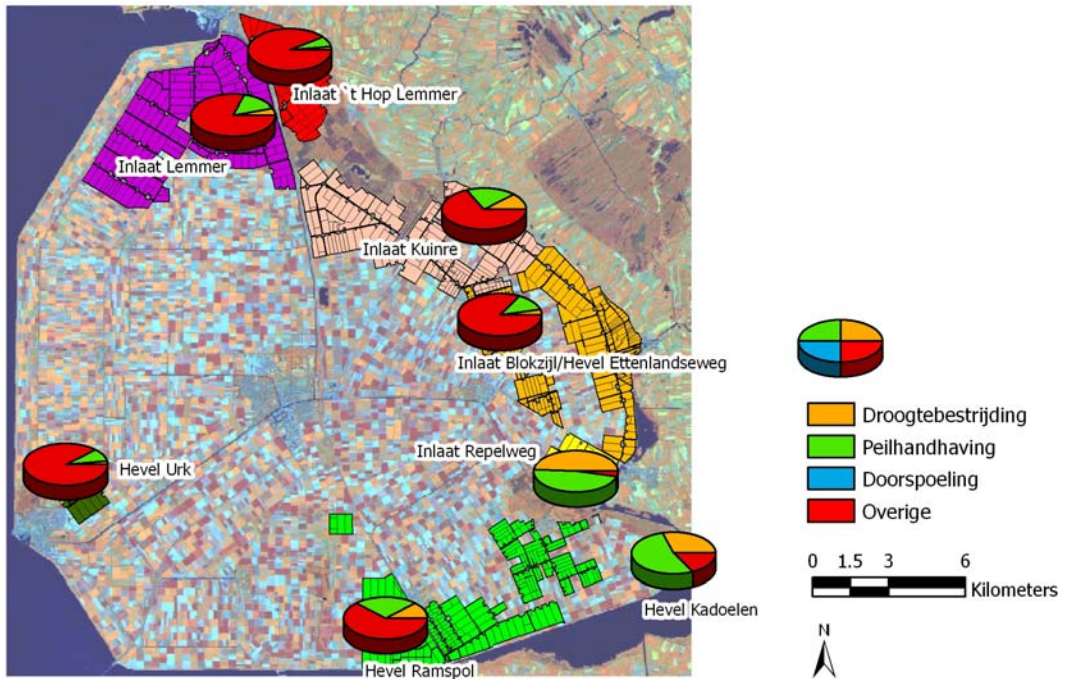
De kolom "overig" in Tabel 21 bestaat uit extra water dat wordt aangevoerd om: (i) praktijknorm lager dan  $300 \text{ mg l}^{-1}$  (Waterbeheersplan) te handhaven vanwege gewoonterecht, (ii) doorspoeling voor niet wateraanvoergebieden, (iii) volledig vullen van de lege wateraanvoersloten na een inlaatstop kost circa drie dagen, daarom is het wateraanvoersysteem minder flexibel en (iv) extra wateraanvoer als veiligheidsmarge tegen hoge schadeclaims van functies met een hoge kans op droogteschade (kassen, aardbeien) die vaak aan het eind van de aanvoersloten zijn gelokaliseerd. In de term "overig" zit ook de hoeveelheid water die wordt aangevoerd terwijl er geen behoefte aan is.

Samenvattend wordt in het droge jaar 2003 circa 10 miljoen kubieke meter (16% van de totale wateraanvoer) aan de "functie overig" toegewezen. In het natte jaar 1998 was dit circa 35 miljoen kubieke meter (74% van de totale wateraanvoer) en in het gemiddelde jaar 2000 circa 40 miljoen kubieke meter (76% van de totale wateraanvoer). De hoge percentages wateraanvoer voor "overig" in het natte (1998) en gemiddelde jaar (2000) wijzen op wateraanvoer terwijl er geen waterbehoefte was, dit water moet weer worden uitgemalen door de hoofdgemalen tegen aanzienlijke kosten.

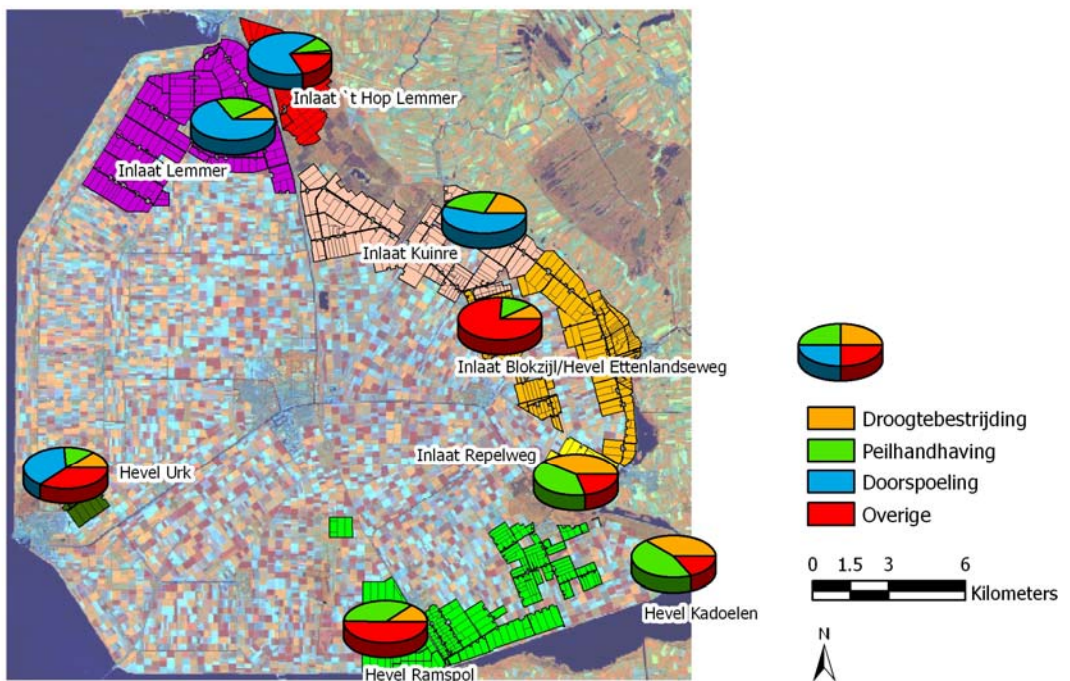


Figuur 34. Wateraanvoerbehoefte in wateraanvoergebieden ten opzichte van werkelijk aanvoer (1998).





Figuur 35. Wateraanvoerbehoefte in wateraanvoergebieden ten opzichte van werkelijk aanvoer (2000).



Figuur 36. Wateraanvoerbehoefte in wateraanvoergebieden ten opzichte van werkelijk aanvoer (2003).



## 4 Conclusies

Na de analyses van de aanvoer en afvoer is geconstateerd dat er geen relatie is tussen de hoeveelheid wateraanvoer en neerslag in de Noordoostpolder op week en maandbasis. Deze relatie is wel te verwachten in het zomerhalfjaar: hoe meer neerslag er valt, hoe minder water ingelaten hoeft te worden. Waterschap Zuiderzeeland houdt bij de wateraanvoer beperkt rekening met de hoeveelheid gevallen neerslag. De aangevoerde redenen zijn voornamelijk operationeel van aard: het kost tijd om de volle wateraanvoersloten leeg te laten lopen en nog meer tijd om ze weer vol te krijgen.

Ook blijkt dat zelfs in 2003, het droogste jaar van de afgelopen 30 jaar er in de droogste maand (augustus) nog een aanzienlijke hoeveelheid water wordt uitgemalen. De hoeveelheid uitgeslagen water is slechts 8% lager dan in de maand juli waarin zeven keer meer neerslag viel dan in augustus. Dit is een indicatie dat een deel van het uitgemalen water rechtstreeks afkomstig moet zijn van het ingelaten water.

Een grove analyse van de kosten als er water wordt aangevoerd terwijl dit niet noodzakelijk is en het water dus weer uitgeslagen dient te worden door de gemalen levert bij een gemiddeld debiet van alle waterinlaatpunten ( $190.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ) een kostenpost op van €350,- per dag als alleen energie als kosten worden meegenomen (circa €1800,- per miljoen kubieke meter, prijspeil 2005). De kosten per kubieke meter worden circa vier keer zo hoog als ook onderhoud, personeel etc. worden meeberekend in de kosten. In de zomer bij een maximaal debiet van alle inlaten samen (1,3 miljoen kubieke meter per dag) kan dit bedrag oplopen tot meer dan €2.300,- per dag als alleen energie als kosten worden meegenomen. Een nadere analyse van het operationele beheer van de waterinlaatpunten door Waterschap Zuiderzeeland lijkt te worden gerechtvaardigd bij deze kosten per dag.

De berekeningen van de wateraanvoerbehoefte voor droogtebestrijding laten zien dat het percentage water noodzakelijk voor droogtebestrijding ten opzichte van de totale aanvoer zelfs in het droge jaar 2003 laag zijn en variëren tussen de 2% in wateraanvoergebied Lemsterhop tot 41% in wateraanvoergebied Repelweg. De hoeveelheid water noodzakelijk voor peilhandhaving is gemiddeld twee keer zo groot als de hoeveelheid water noodzakelijk voor droogtebestrijding. Er is dus drie keer zoveel water nodig om een bepaalde hoeveelheid water voor droogtebestrijding in te zetten.

De droogteschade bij de huidige wateraanvoer is zeer gering en te negeren. Dit komt goed overeen met een eerdere studie van Bastiaanssen en Zwart (2005) die ook beperkte droogteschade constateerden in de wateraanvoergebieden onder de huidige situatie. Als er geen wateraanvoer in de Noordoostpolder zou zijn zal de droogteschade toenemen in de wateraanvoergebieden. Als gemiddelde van alle wateraanvoergebieden in de Noordoostpolder neemt de gemiddelde droogteschade slechts met 3% toe, echter in bepaalde gebieden zal de maximale droogteschade tot 13% toenemen zonder wateraanvoer in het droge jaar 2003.

De droogteschade in euro's per hectare is erg afhankelijk van het gewas dat wordt verbouwd. In het natte jaar 1998 varieert de gemiddelde extra droogteschade per hectare van €5,- voor agrarisch gras tot €1.125,- voor glastuinbouw. In het droge jaar 2003 loopt het gemiddelde schadebedrag per hectare als er geen wateraanvoer zou zijn snel op, variërend van circa €29,- voor agrarisch gras tot

meer dan €7.200,- voor glastuinbouw. Het maximale extra schadebedrag in het droge jaar 2003 voor glastuinbouw bedraagt meer dan €29.000,- per hectare.

Voor de agrariërs, die een extra kostprijs van €87,- per hectare betalen aan het waterschap voor de wateraanvoer, is het beschikken over wateraanvoer interessant als het vergeleken wordt met de extra droogteschade die zij zouden lijden zonder wateraanvoer. Wateraanvoer is voor agrariërs in een gemiddeld jaar (2000) alleen rendabel voor bloembollen, boomgaarden en glastuinbouw, aangezien de gemiddelde extra droogteschade lager is dan de kostprijs van de wateraanvoer. Echter in een droog jaar loopt de gemiddelde extra droogteschade in euro's meteen op en is wateraanvoer alleen onrendabel voor maïs, granen en gras. Wordt er gekeken naar de maximale extra droogteschade in een droog jaar dan is de wateraanvoer rendabel voor alle gewassen.

De hoeveelheid water noodzakelijk voor de doorspoeling van de wateraanvoergebieden om een praktijknorm van 300 mg l<sup>-1</sup> te garanderen is in een nat (1998) en gemiddeld jaar (2000) nul. Alleen in het droge jaar 2003 is er sprake van een doorspoelbehoefte in de wateraanvoergebieden Kuinre, Lemsterhop, Lemmer (Lemsterweg en Rutton) en Urk. Waterschap Zuiderzeeland hanteert in bepaalde gebieden echter een praktijknorm van 200 mg l<sup>-1</sup>. De doorspoelbehoefte voor chloride is afhankelijk van welke praktijknorm wordt gehanteerd. Hoe lager de toegestane chlorideconcentratie in het oppervlaktewater, des te meer wateraanvoer is nodig voor het doorspoelen. De discussie welk praktijknorm te handhaven is een zeer relevante, aangezien al het water dat voor doorspoelen wordt ingelaten weer moet worden uitgemalen met (energie-) kosten tot gevolg. Tabel 20 geeft het aantal kubieke meters water noodzakelijk voor de doorspoeling van de wateraanvoergebieden voor een nat (1998), gemiddeld (2000) en droog jaar (2003). Worden deze kubieke meters water vertaald naar energiekosten voor het uitmalen van dit water dan is in een oogopslag duidelijk dat in een nat jaar er geen winst is te behalen: er is geen doorspoelbehoefte, zelfs niet voor een praktijknorm van 200 mg l<sup>-1</sup>. In het droge jaar 2003 is er meer 30 miljoen kubieke meter extra wateraanvoer noodzakelijk om een praktijknorm van 300 mg l<sup>-1</sup> in plaats van 600 mg l<sup>-1</sup> te handhaven in de wateraanvoergebieden. De extra kosten bedragen meer dan € 55.000,-. Het is niet mogelijk om overal in alle jaren de praktijknorm van 200 mg l<sup>-1</sup> te handhaven aangezien de capaciteit van de wateraanvoer hiervoor niet toereikend is. Een nadere analyse van de noodzaak van het handhaven van praktijknormen en de daarmee gepaard gaan de kosten wordt aanbevolen, zeker in de context van de stijgende energieprijzen.

Samenvattend is de wateraanvoer in de Noordoostpolder noodzakelijk voor de doorspoeling van tochten en vaarten om daarmee de waterkwaliteit op het gewenste niveau te houden. Wat het exacte gewenste niveau ("praktijknorm") is, is nog een punt van discussie. De wateraanvoer in de Noordoostpolder is noodzakelijk voor de droogtebestrijding; de droogteschade neemt toe zonder wateraanvoer. Wateraanvoer voor peilhandhaving in de wateraanvoersloten is alleen noodzakelijk als er water nodig is voor droogtebestrijding.



# 5 Literatuur

- Ashby, M., A.J. Dolman, P. Kabat, E.J. Moors and M.J. Ogink-Hendriks, 1996. SWAPS version 1.0. Technical reference manual. Technical document 42, Winand Staring Centre, Wageningen, Nederland
- Bastiaanssen, W. en S. Zwart. 2005. Knelpunten in het waterbeheer van de Noordoostpolder: Remote Sensing analyses ter ondersteuning van het waterstructuurplan. Waterschap Zuiderzeeland. WaterWatch rapport, Wageningen, Nederland, maart 2005. 76p + bijlagen
- Belmans, C., J.G. Wesseling and R.A. Feddes, 1983. Simulation of the water balance of a cropped soil: SWATRE. *J. Hydrol.*, 63, 271-286
- Berg, F. van den; Boesten, J.J.T.I. 1998. Pesticide Leaching and Accumulation model (PESTLA) version 3.4 : description and user's guide. Wageningen : DLO-Staring Centrum, Wageningen, Nederland, 150p
- Boesten, J.J.T.I. and A.M.A. van der Linden, 1991. Modeling the influence of sorption and transformation on pesticide leaching and persistence. *J. Environ. Qual.*, 20, 425-435.
- Boiten, W. 2003. Hydrometry. IHE Delft Lecture Note Series. Balkema, Lisse, Nederland, 248 p.
- De Vries, D.A., 1975. Heat transfer in soils. In 'Heat and mass transfer in the biosphere. I. Transfer processes in plant environment', De Vries, D.A. and N.H. Afgan (eds.), Scripta Book Company, Washington D.C., USA, p. 5-28.
- Ernst, L.F. 1956 Calculation of the steady flow of groundwater in vertical cross sections. *Neth. J.Agr. Sci.* 4: 126-131.
- Groenendijk, P., and J.G. Kroes, 1999. Modelling the nitrogen and phosphorus leaching to groundwater and surface water; ANIMO 3.5. Report 144, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, Nederland
- Hijmans, R.J., I.M. Guiking-Lens and C.A. van Diepen, 1994. User's guide for the WOFOST 6.0 crop growth simulation model. Technical Document 12, Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, 144 p
- Hooghoudt, S.B. 1940. Algemene beschouwing van het probleem van de detailontwatering en de infiltratie door middel van parallel lopende drains, greppels, sloten, en kanalen. *Versl. Lanbouwk. Onderz.* 46(14). Algemene Landsdrukkerij, s'-Gravenhage, Nederland. 193 pp
- Jansen, M.J.W. and J.C.M. Withagen. 1997. USAGE: Uncertainty and sensitivity analysis in a Genstat environment. Centre for Biometry Wageningen, Nederland
- Kroes, J.G., and J. Roelsma, 1997. User's Guide ANIMO 3.5; input instructions and technical programme description. Technical Document 46, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, Nederland
- Kroon, T., P.A. Finke, I. Peereboom, en A.H.W. Beusen. 2001. Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters. RIZA rapport 2001.017, Lelystad, Nederland

- Landbouwniversiteit Wageningen. 1988. Water- en stofstromen in de polders van de Provincie Flevoland. Een eerste inventarisatie. Wageningen, Nederland
- Miller, E.E., and R.D. Miller, 1956. Physical theory for capillary flow phenomena. *J. Appl. Phys.*, 27, 324-332
- Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.*, 12, 513-522
- Royal Haskoning. 2003. Rapportage grondwaterkwaliteit in de provincie Flevoland. Provincie Flevoland Rapport Royal Haskoning
- Scott, P.S., G.J. Farquhar and N. Kouwen, 1983. Hysteretic effects on net infiltration. In 'Advances in infiltration', American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich, p.163-170
- Universiteit Utrecht. 1996. De water- en stoffenbalansen voor stikstof, fosfor en chloride in de Flevopolder. Een onderzoek naar de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten gedifferentieerd naar afwateringsgebieden en seizoenen
- Van Dam, J.C., 2000. Field scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation and case studies. PhD thesis, Wageningen Universiteit, 167 p
- Van Dam, J.C., J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. VanWalsum, P. Groenendijk, and C.A. van Diepen, 1997. Theory of SWAP version 2.0. Wageningen Agricultural University and DLO Winand Staring Centre. Technical Document 45
- Van Genuchten, M.Th., 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 892-898
- Waterschap Zuiderzeeland. 2001. Waterbeheersplan 2002-2005: Water in beweging. Lelystad, Nederland
- Wesseling, J.G., J.G. Kroes, and K. Metselaar, 1998. Global sensitivity analysis of the Soil- Water- Atmosphere-Plant (SWAP) model. Report 160, Alterra, Wageningen, Nederland, 67p
- Witteveen+Bos. 2004. Natuurlijke achtergrondgehalten Flevoland. Provincie Flevoland, Waterschap Zuiderzeeland. Rapport Witteveen+Bos, Deventer, Nederland, 39p
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groor en J. Stoke. 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 153, Wageningen, Nederland

# Bijlagen

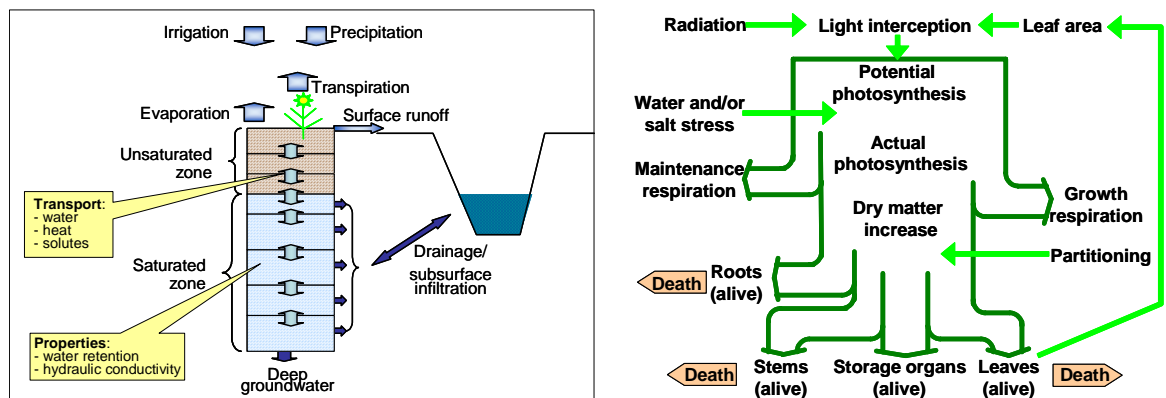


# Bijlage 1: Achtergrond SWAP

Compiled by Peter Droogers (FutureWater) based on SWAP manual, publications and webpage.

## Introduction

SWAP is a computer model that simulates transport of water, solutes and heat in variably saturated top soils. The program is designed for integrated modelling of the Soil-Atmosphere-Plant System (Figuur 37). Transport processes at field scale level and during whole growing seasons are considered. System boundaries at the top are defined by the soil surface with or without a crop and the atmospheric conditions. The lateral boundary simulates the interaction with surface water systems. The bottom boundary is located in the unsaturated zone or in the upper part of the groundwater and describes the interaction with regional groundwater



Figuur 37. Overview of the main processes included in the soil-water-crop module (left) and detailed crop growth module (right) of SWAP-WOFOST.

The theory of the processes simulated by SWAP is extensively described by Van Dam (2000). This page summarizes the most important theoretical concepts, which should be known for proper use of the program.

## Soil water flow

Spatial differences of the soil water potential cause flow of soil water. Darcy's equation is used to quantify these soil water fluxes. For one-dimensional vertical flow, Darcy's equation can be written as:

$$q = -K(h) \frac{\partial (h + z)}{\partial z}$$

where q is soil water flux density (positive upward) (cm d<sup>-1</sup>), K is hydraulic conductivity (cm d<sup>-1</sup>), h is soil water pressure head (cm) and z is the vertical co-ordinate (cm), taken positively upward. Water balance considerations of an infinitely small soil volume result in the continuity equation for soil water:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial q}{\partial z} - S(h)$$

where q is volumetric water content (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), t is time (d) and S is soil water extraction rate by plant roots (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>).

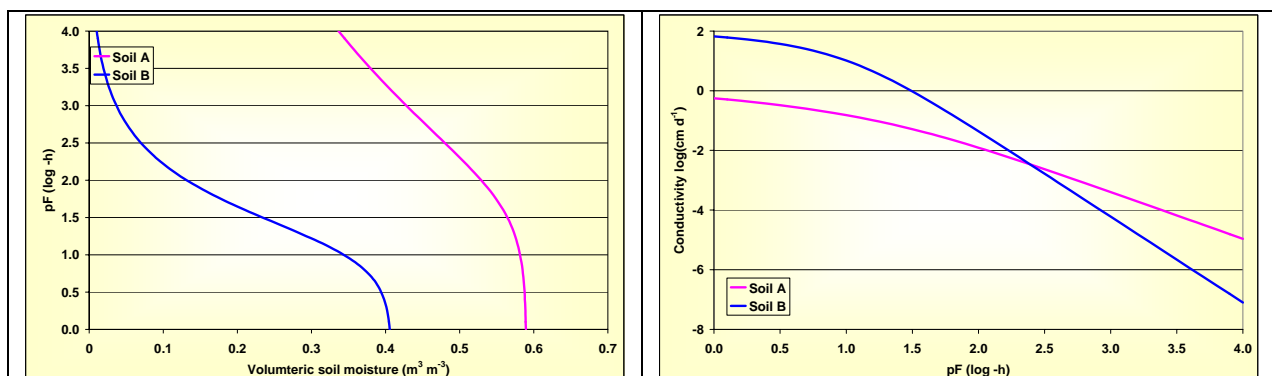
Combination of Eq. 1 and 2 results in the well-known Richards' equation:

$$\frac{\partial}{\partial t} = C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial \left[ K(h) \left( \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]}{\partial z} - S(h)$$

where C is the water capacity ( $dq/dh$ ) ( $\text{cm}^{-1}$ ).

Richards' equation has a clear physical basis at a scale where the soil can be considered as a continuum of soil, air and water. SWAP solves Eq. 3 numerically, subject to specified initial and boundary conditions and with known relations between  $q$ ,  $h$  and  $K$ . These relationships, which are generally called the soil hydraulic functions, can be measured directly in the soil, or might be obtained from basic soil data. The Richards' equation is solved using an implicit finite difference scheme as described by Belmans et al. (1983). This scheme has been adapted such that the solution applies both to the unsaturated and saturated zone, that water balance errors due to non-linearity of the differential water capacity are minimised and that calculated soil water fluxes at the soil surface are more accurate. Phreatic or perched groundwater levels are found at the transition from negative to positive soil water pressure heads.

Important features of the Richards' equation are that it allows the use of soil hydraulic data bases and simulation of all kinds of management scenarios. The soil hydraulic functions are described by analytical expressions of Van Genuchten (1980) and Mualem (1976) or by tabular values. Hysteresis of the water retention function can be taken into account with the scaling model of Scott et al. (1983). Root water extraction at various depths in the root zone is calculated from potential transpiration, root length density and possible reductions due to wet, dry or saline conditions.



Example of the hydraulic properties required: retention curve (left) and conductivity (right)

### Soil heat flow

Soil temperature may affect the surface energy balance, soil hydraulic properties, decomposition rate of solutes and growth rate of roots. SWAP uses the soil temperatures only to adjust the solute decomposition rate. Combination of the general soil heat flux equation and the equation for conservation of energy yields the differential equation for transient soil heat flow:

$$C_{heat} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( c_{heat} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (4)$$

where  $C_{heat}$  is the soil heat capacity ( $J\ cm^{-3}\ oC^{-1}$ ) and  $T$  is the soil temperature ( $oC$ ).

This equation is solved either analytically or numerically. In the analytical solution a uniform thermal conductivity and soil heat capacity are assumed, and at the soil surface a sinusoidal temperature wave is adopted. In the numerical solution the thermal conductivity and the soil heat capacity are calculated from the soil composition and the volume fractions of water and air as described by De Vries (1975). At the soil surface the daily average temperature is used as boundary condition.

## Solute transport

SWAP simulates convection, diffusion and dispersion, non-linear adsorption, first order decomposition and root uptake of solutes. This permits the simulation of ordinary pesticide and salt transport, including the effect of salinity on crop growth. In case of detailed pesticide or nutrient transport, daily water fluxes can be generated as input for other groundwater-quality models, such as PESTLA (Boesten and van der Linden, 1991; Berg and Boesten, 1998) and ANIMO (Groenendijk and Kroes, 1997; Kroes and Roelsma, 1998). The model SWAP simulates the residence time of solutes in the saturated zone analogous to mixed reservoirs. In this way solute transport from soil surface to surface water can be derived.

## Crop growth

Crop growth can be simulated by the code WOFOST 6.0 (Hijmans et al., 1994). The cropping pattern may consist of maximal three crops per agricultural year.

WOFOST calculates the radiation energy absorbed by the canopy as function of incoming radiation and crop leaf area. Using the absorbed radiation and taking into account photosynthetic leaf characteristics, the potential gross photosynthesis is calculated. The latter is reduced due to water and/or salinity stress, as quantified by the relative transpiration, and yields the actual gross photosynthesis. Part of the carbohydrates ( $CH_2O$ ) produced are used to provide energy for the maintenance of the existing live biomass (maintenance respiration). The remaining carbohydrates are converted into structural matter. In this conversion, some of the weight is lost as growth respiration. The dry matter produced is partitioned among roots, leaves, stems and storage organs, using partitioning factors that are a function of the crop phenological development stage. The fraction partitioned to the leaves, determines leaf area development and hence the dynamics of light interception. The dry weights of the plant organs are obtained by integrating their growth rates over time. During the development of the crop, part of living biomass dies due to senescence.

If simulation of crop growth is not needed, the user might just prescribe leaf area index, crop height, rooting depth, and root density distribution as a function of development stage.

## Soil heterogeneity

Spatial variability of the soil hydraulic functions is described with the scaling concept of Miller and Miller (1956). The user may provide the reference curve and a number of scaling factors, and SWAP will generate for each scaling factor the soil hydraulic functions and the corresponding water and solute balance and relative crop yield.

In cracked clay soils the shrinkage characteristic is used to determine crack volume, area and depth. Water and solutes collected in the cracks will infiltrate at the crack bottom into the soil matrix or flow rapidly to the surface water. In the clay matrix, the Richard equation is applied for water flow and the convection-dispersion equation for solute transport.

Flow and transport in water-repellent soil is based on the concept of a mobile and an immobile soil volume. The actual mobile volume at a certain depth depends on the soil water pressure head. In the mobile volume the Richards' equation and the solute transport equation apply. In the immobile volume, the water flux is assumed to be zero. Solutes diffuse between mobile and immobile volume.

## **Irrigation and drainage**

Irrigation may be prescribed at fixed times or scheduled according to a number of criteria. The scheduling option allows the evaluation of alternative application strategies. The timing criteria include allowable daily stress, allowable depletion of readily available water in the root zone, allowable depletion of totally available water in the root zone, and critical pressure head or water content at a certain depth.

Field drainage can be calculated with a linear flux-groundwater level relationship, with a tabular flux-groundwater relationship, or with drainage equations of Hooghoudt and Ernst. The use of drainage equations allows the design or evaluation of drainage systems.

## **Surface water system**

At sub-regional level the interaction between soil water balance, crop growth and surface water management can be simulated. The surface water system can be partitioned in up to five channel orders, each defined by its bed level, bed width, side-slope and spacing. In each channel, except from the primary channel, the surface water has the same level, which is either input or calculated from the sub-region water balance. The water level of the primary channel is input. Drainage to each channel order is calculated with the corresponding drainage resistances. Also infiltration from the channels, using the corresponding infiltration resistances, is calculated when the surface water level is higher than the groundwater level. In case of surface water level as output, for each water management period, a fixed or automatic weir can be simulated. The user should provide a water management scheme that specifies the target level for surface water, the maximum mean groundwater level, the maximum soil water pressure head and the minimum air volume in the soil. SWAP will select the highest surface water level for which all criteria are met.

## **Sensitivity and limitations**

To gain insight in the sensitivity of the results of the model SWAP to changes on some of its input parameters, a global sensitivity analysis was performed with this model by Wesseling and Kroes (1998). Generation of parameter values and the analysis were carried out with the statistical package Usage (Jansen and Withagen, 1997) for different crop-soil combinations. The analysis was carried out with a range of meteorological years, which included average and extreme meteorological data. Input parameters were selected that are associated with a number of processes in the SWAP-model: soil physics, evapotranspiration, drainage, regional hydrology. For each input-parameter a distribution



type, its average, variance, minimum and maximum value were selected using existing databases and expert-judgement. The analysis focussed on results as cumulative terms of the water balance and groundwater level. Some conclusions drawn from this analysis are:

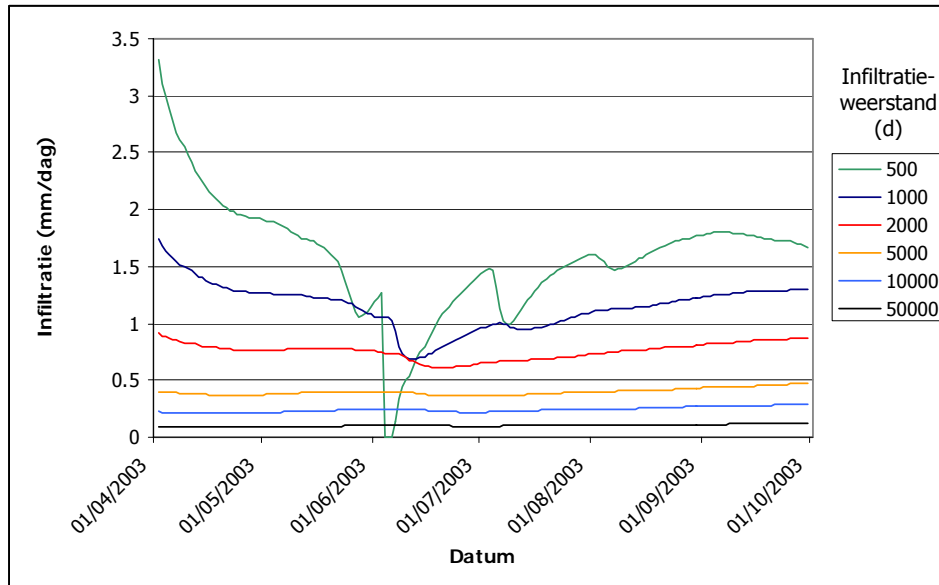
- Boundary conditions (both upper and lower) are of crucial importance when applying the model SWAP.
- For all soil-crop combinations the soil and crop evaporation were strongly depending on the function describing the Leaf Area Index (LAI).
- Drainage, simulated as lateral discharge, is very sensitive to the surface water levels.
- High groundwater levels are strongly related to surface water levels; low groundwater levels depend on a combination of LAI, soil physical parameters and surface water levels; the average groundwater level is mainly determined by the level in the primary drainage system.
- At low values for the saturated hydraulic conductivity the model SWAP did not succeed in finishing the simulations within one hour cpu-time; this occurred for peat at values below 0.1 cm d<sup>-1</sup>. and for clay at values below 0.06 cm d<sup>-1</sup>. At these low values the Richards equation could not be solved within the specified cpu-time.

SWAP is developed for calculations with daily meteorological input data. Exceptions are e.g. studies with surface water runoff, for which the user may provide actual, short time rainfall intensities. In general, model results should be analysed on a daily base. For many cases this will be sufficient; for analyses using more detailed and complete meteorological data other models such as SWAPS (Ashby et al., 1996) are recommended.

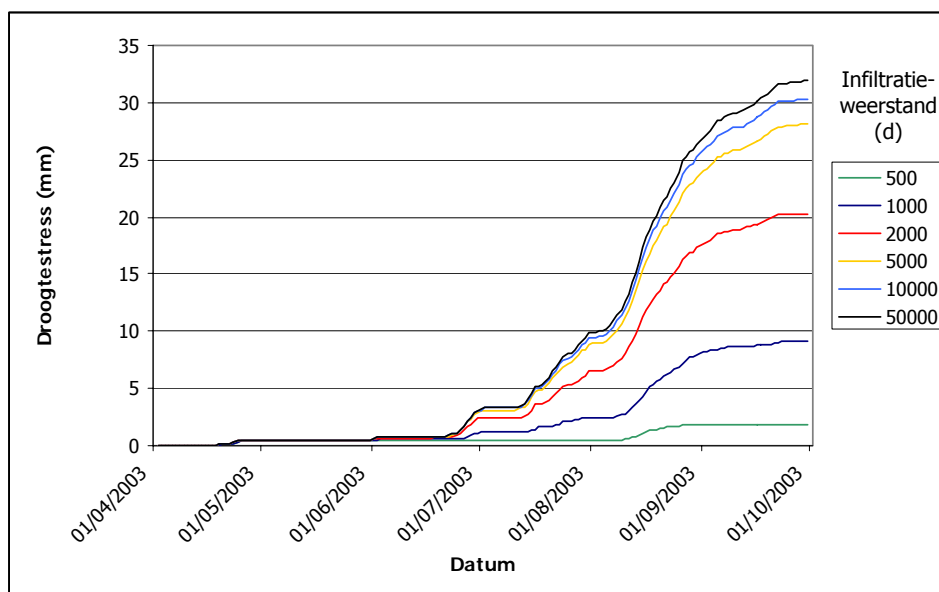


## Bijlage 2: Infiltratieweerstand

De gevoeligheidsanalyse voor de verschillende infiltratieweerstanden is uitgevoerd voor het droge jaar 2003. In Figuur 38 is de dagelijkse infiltratie bij verschillende infiltratieweerstanden gedurende het zomerseizoen weergegeven. Bij een lage weerstand infiltreert er relatief veel en is de dynamiek van de dagelijkse infiltratie groot, omdat er een grotere afhankelijkheid bestaat van het dagelijks grondwaterstand verloop. Op 3 juni valt er een bui van ongeveer 50mm, waardoor de grondwaterstand omhoogschiet en de infiltratie sterk afneemt bij een lage weerstand. Bij een hoge weerstand is dit effect veel minder duidelijk zichtbaar.

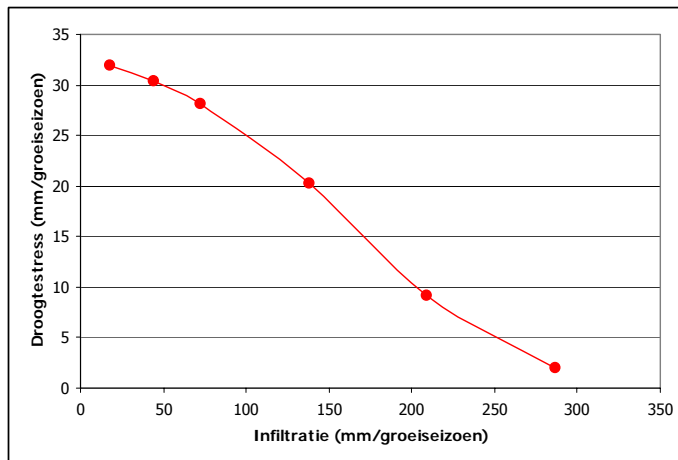


Figuur 38: Dagelijkse infiltratie (mm/dag) bij verschillende infiltratieweerstanden.



Figuur 39: Cumulatieve droogtestress (mm) bij verschillende infiltratieweerstanden.

De cumulatieve droogtestress neemt ook sterk af bij kleiner wordende infiltratieweerstanden (Figuur 39). Bij een weerstand van 50000 dagen is de cumulatieve droogtestress 32 mm, terwijl deze bij een weerstand van 500 nauwelijks groter wordt dan 0.



*Figuur 40: Relatie droogtestress en infiltratie.*

Figuur 40 laat zien dat er een duidelijke relatie bestaat tussen de totaal geïnfiltreerde hoeveelheid en de totale droogtestress. 2003 was een droog jaar en in een wegzijgingsgebied is dus enige droogtestress te verwachten. Om die reden is besloten een infiltratieweerstand van 1300 dagen te gebruiken. De cumulatieve potentiële transpiratie van april tot en met september in 2003 bedraagt 385 mm en er is een droogtestress van 20 mm. Dit leidt tot een opbrengstreductie van  $20/385 \cdot 100\% = 5,2\%$ .

## Bijlage 3: Gegevens per inlaat

	Inlaat Blokzijl	Inlaat Lemsterhop	Inlaat Lemmer (Lemsterweg/Rutten)	Inlaat Kuinre	Hevel Ettenlandseweg	Inlaat Repelweg	Hevel Kadoelen	Inlaat Rampsol	Hevel Urk	Hevel Neushoornweg	Hevel Schelpenpad	Vollenhovekanaal
	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
1994	14.879	4.134	11.692	10.823	476	1.212	203	6.489	2.674	2.500	2.900	-
1995	13.616	5.380	13.950	10.434	520	1.520	226	7.299	2.736	2.500	2.900	-
1996	18.755	7.242	19.553	11.715	1.795	236	296	7.872	2.802	2.500	2.900	-
1997	17.631	4.054	19.428	11.936	1.686	1.957	280	7.441	2.666	2.500	2.900	-
1998	14.540	2.386	10.800	8.199	1.204	161	199	5.325	3.313	2.500	2.900	-
1999	13.669	5.703	20.895	12.133	1.064 <sup>a</sup>	2.407	377 <sup>a</sup>	5.686	3.102	3.064 <sup>a</sup>	3.264 <sup>a</sup>	-
2000	16.630	3.171	13.877	8.581	924	1.215	555	5.281	3.698	3.629	3.629	-
2001	16.101	3.040	14.947	7.379	924	1.356	555	6.191	3.698	3.629	3.629	14.483
2002	14.814	2.858	18.815	7.956	924 <sup>a</sup>	1.234	555 <sup>a</sup>	5.275	3.698 <sup>a</sup>	3.629 <sup>a</sup>	3.629 <sup>a</sup>	14.483
2003	15.606	4.490	17.364	10.760	924 <sup>a</sup>	2.250	555 <sup>a</sup>	7.644	3.698 <sup>a</sup>	3.629 <sup>a</sup>	3.629 <sup>a</sup>	14.483

a= Geen meetgegevens beschikbaar. De ontbrekende gegevens zijn door middel van aannames aangevuld.



## Bijlage 4: Doorspoelbehoefte

### Theorie mixed cell

#### Water

$$\text{Debiet (m}^3/\text{d)} = \text{Aanvoer (m}^3/\text{d)} + \text{KwelQ (m}^3/\text{d)}$$

$$\text{KwelQ (m}^3/\text{d)} = \text{Draingebied (m}^2) * \text{Kwel (mm/d)} / 1000$$

$$\text{Draingebied (m}^2) = \text{Slootlengte (m)} * \text{Slootafstand (m)}$$

#### Zout

$$\text{Zout (kg/d)} = \frac{[\text{Aanvoer (m}^3/\text{d)} * \text{AanvoerC (mg/l)} * 1000] + [\text{KwelQ (m}^3/\text{d)} * \text{KwelC (mg/l)} * 1000]}{1e6}$$

$$\text{ZoutC (mg/l)} = \text{Zout (kg/d)} / \text{Debiet (m}^3/\text{d)} * [1e6 / 1000]$$

#### Invullen

*Zonder unit conversion:*

$$\text{ZoutC} = \frac{[(\text{Aanvoer} * \text{AanvoerC}) + (\text{Slootlengte} * \text{Slootafstand} * \text{Kwel} * \text{KwelC})]}{[\text{Aanvoer} + \text{Slootlengte} * \text{Slootafstand} * \text{Kwel}]}$$

$$\text{ZoutC} = \frac{[(\text{Aanvoer} * \text{AanvoerC}) * 1000] + (\text{Slootlengte} * \text{Slootafstand} * \text{Kwel} / 1000 * \text{KwelC} * 1000)}{[\text{Aanvoer} + \text{Slootlengte} * \text{Slootafstand} * \text{Kwel} / 1000]} * [1e6 / 1000]$$

$$\text{ZoutC} = \frac{[(\text{Aanvoer} * \text{AanvoerC}) * 1000] + (\text{Slootlengte} * \text{Slootafstand} * \text{Kwel} * \text{KwelC})}{[\text{Aanvoer} + \text{Slootlengte} * \text{Slootafstand} * \text{Kwel} / 1000]} / [1000]$$

met

Aanvoer (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)

AanvoerC (mg l<sup>-1</sup>)

Slootlengte (m)

Slootafstand (m)

Kwel (mm d<sup>-1</sup>)

KwelC (mg l<sup>-1</sup>)

## Vergelijking Duflow en Mixed cell

De opzet van Duflow is vergeleken met het vereenvoudigd hydraulische Mixed cell model. De volgende invoergegevens zijn gelijk voor beide modellen:

- Aanvoerdebiet ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )
- Aanvoerconcentratie ( $\text{mg l}^{-1}$ )
- Slootafstand (m)
- Kwelconcentratie ( $\text{mg l}^{-1}$ )

De totale lengte van de watergang is op 2000 meter gezet. De modellen zijn vergeleken aan de hand van verschillende combinaties van invoer, zie Tabel 22. Het Duflow model is doorgerekend tot een stationaire oplossing.

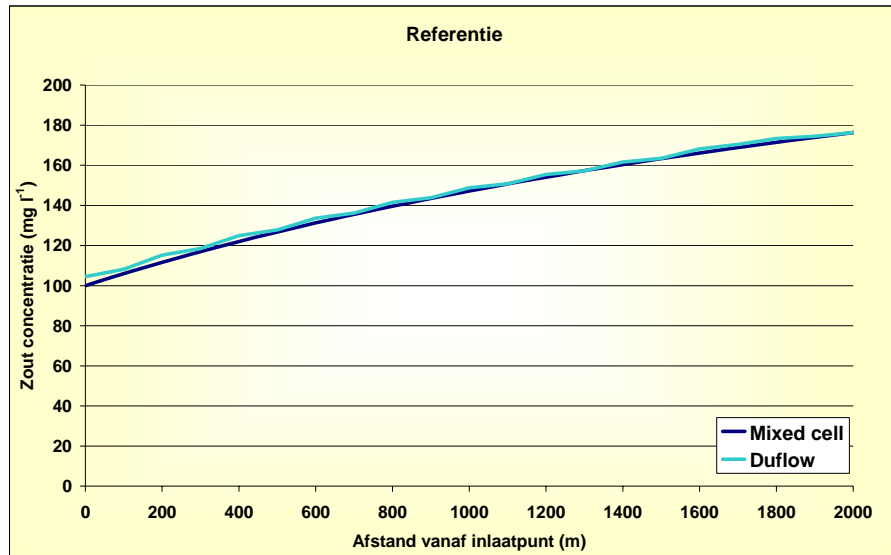
Tabel 22. Invoergegevens voor vergelijking Duflow en Mixed cell.

	Referentie	Kwelintensiteit hoger	Hogere kwelconcentratie	Aanvoerdebiet hoger	Lagere aanvoerconcentratie
Slootafstand (m)	1600	1600	1600	1600	1600
Kwel ( $\text{mm d}^{-1}$ )	1	5	1	1	1
Kwelconcentratie ( $\text{mg l}^{-1}$ )	300	300	600	300	300
Aanvoer ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )	0.06	0.06	0.06	0.12	0.06
Aanvoerconcentratie ( $\text{mg l}^{-1}$ )	100	100	100	100	50

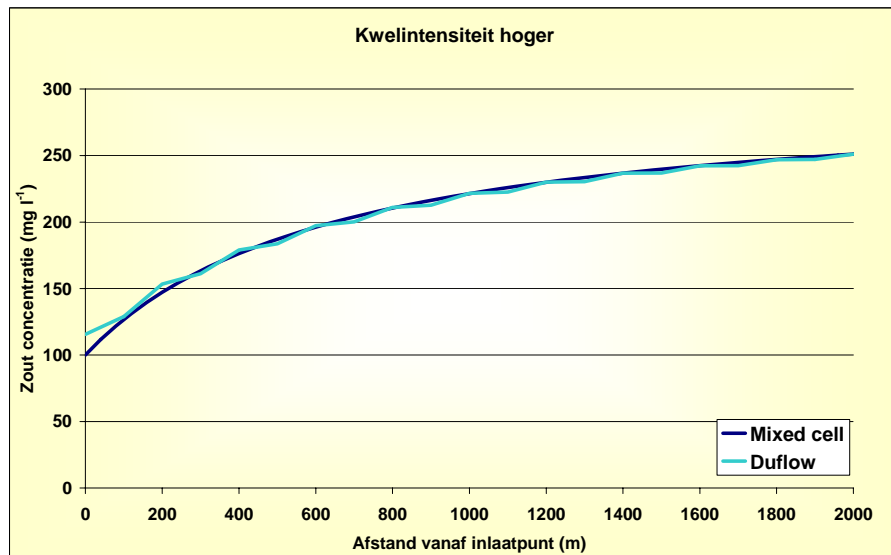
In Figuur 41 tot en met Figuur 45 zijn de resultaten te zien van het Duflow en Mixed cell model voor de verschillende combinaties van invoergegevens. Alle vijf de grafieken laten zien dat het verschil tussen de uitkomsten van het Duflow en Mixed cell model erg klein is. Bij het inlaatpunt is het verschil tussen het Duflow en Mixed cell model nog het grootst (maximaal 15%), wat te verklaren is door de dispersiecoëfficiënt die wel gebruikt wordt in het Duflow model en niet bij het Mixed cell model. De uitkomsten tussen het Duflow en Mixed cell model komen zeer goed overeen waardoor het mogelijk is om de doorspoelbehoefte van een representatieve watergang te modelleren met het Mixed cell model.

Aangezien het Mixed cell model geen gebruik maakt van het profiel van een openwatergang en de uitkomsten tussen de modellen zeer goed overeenkomen, blijkt uit deze vergelijking dat de vorm van het profiel geen invloed heeft op de doorspoeling.

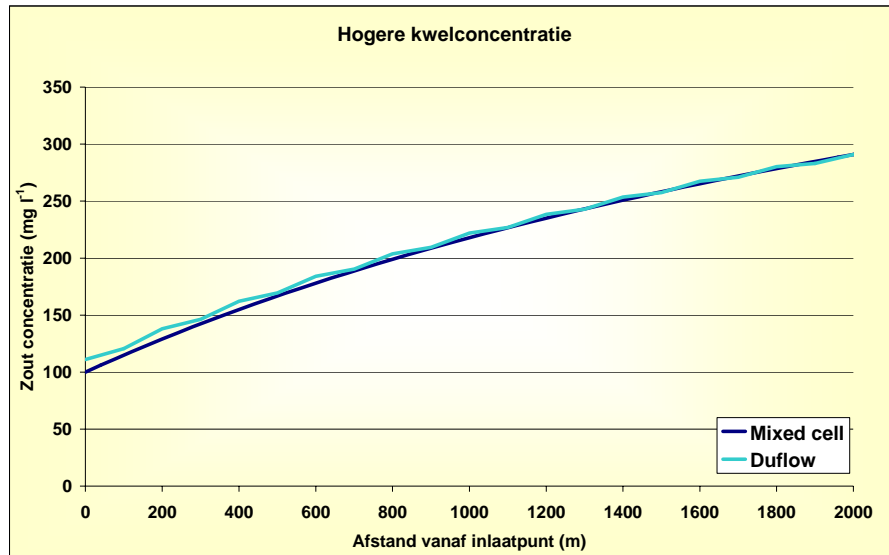




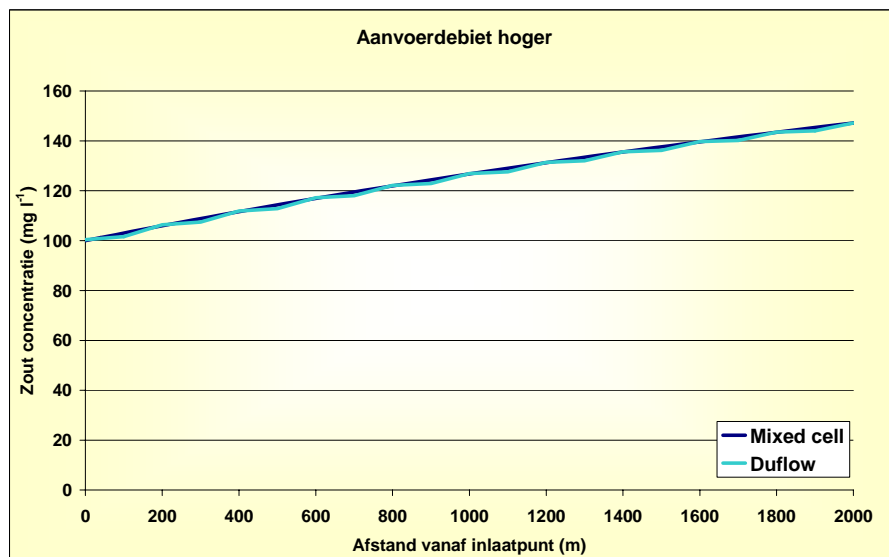
Figuur 41. Vergelijking Duflow en Mixed cell voor de referentiesituatie.



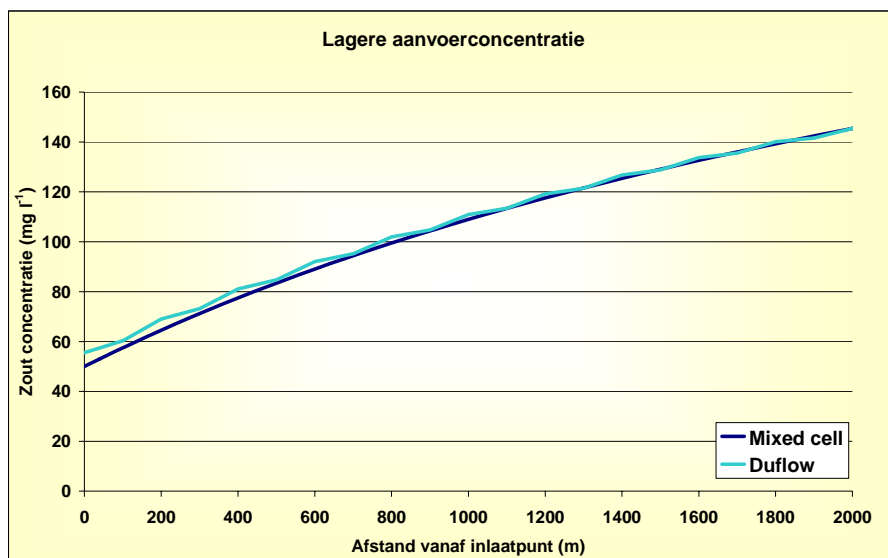
Figuur 42. Vergelijking Duflow en Mixed cell voor een situatie met hoge kwelintensiteit.



Figuur 43. Vergelijking Duflow en Mixed cell voor een situatie met hoge kwel chlorideconcentratie.



Figuur 44. Vergelijking Duflow en Mixed cell voor een situatie met een hoog aanvoerdebiet.



*Figuur 45. Vergelijking Duflow en Mixed cell voor een situatie met lage aanvoer chlorideconcentratie.*



## Bijlage 5: Gegevens per aanvoergebied

Infiltratiegebied Blokzijl						
Oppervlakte	2039 hectare					
	Huidige situatie			Geen infiltratie		
	1998	2000	2003	1998	2000	2003
Jaar	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	1157	979	714	1157	979	714
Beregening	33	49	111	0	0	0
Infiltratie	58	67	97	0	0	0
Kwel	145	147	147	146	147	147
Verdamping	485	528	563	489	527	551
Drainage	816	703	512	677	558	352
Balans	-91	-10	8	-136	-41	42
Droogtestress	1	1	3	2	6	21
Natstress	10	6	11	2	1	2
	%	%	%	%	%	%
Droogteschade	0	0	1	1	2	5
Natschade	3	2	2	1	0	0
<b>Zomer</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	306	196	200	306	195	200
Beregening	8	17	37	0	0	0
Infiltratie	23	31	42	0	0	0
Kwel	35	36	36	36	36	36
Verdamping	227	250	271	230	247	261
Drainage	66	27	32	91	72	60
Balans	-78	-3	-12	-20	88	85
<b>Jaar</b>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Neerslag	23.587	19.958	14.552	23.587	19.958	14.552
Beregening	665	989	2.254	0	0	0
Infiltratie	1.176	1.367	1.982	0	0	2
Kwel	2.961	2.992	2.987	2.977	3.000	2.996
Verdamping	9.883	10.764	11.484	9.976	10.753	11.232
Drainage	16.641	14.338	10.446	13.810	11.371	7.173
Balans	-1.865	-204	154	-2.778	-834	856
Droogtestress	13	27	70	48	125	438
Natstress	195	115	217	45	11	37
<b>Zomer</b>						
Neerslag	6.235	3.986	4.082	6.235	3.986	4.082
Beregening	155	353	756	0	0	0
Infiltratie	465	632	853	0	0	0
Kwel	723	731	726	733	732	733
Verdamping	4.633	5.094	5.517	4.694	5.044	5.332
Drainage	1.352	545	658	1.865	1.468	1.224
Balans	-1.594	-63	-242	-409	1.794	1.740

<b>Wateraanvoergebied Lemsterhop</b>						
<b>Oppervlakte 824 hectare</b>						
	<b>Huidige situatie</b>			<b>Geen infiltratie</b>		
	1998	2000	2003	1998	2000	2003
<b>Jaar</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	1157	979	714	1157	979	714
Beregening	16	16	33	0	0	0
Infiltratie	62	74	122	0	0	0
Kwel	270	271	270	270	271	270
Verdamping	461	504	548	473	509	542
Drainage	973	840	601	829	707	490
Balans	-72	3	11	-125	-34	48
Droogtestress	0	0	0	0	0	7
Natstress	13	6	2	0	0	0
	%	%	%	%	%	%
Droogteschade	0	0	0	0	0	2
Natschade	4	2	0	0	0	0
<b>Zomer</b>						
Neerslag	306	196	200	306	196	200
Beregening	0	0	0	0	0	0
Infiltratie	15	29	48	0	0	0
Kwel	67	67	67	67	67	67
Verdamping	210	234	254	217	234	253
Drainage	66	10	11	139	114	93
Balans	-112	-48	-50	-16	86	79
	$10^3\text{m}^3$	$10^3\text{m}^3$	$10^3\text{m}^3$	$10^3\text{m}^3$	$10^3\text{m}^3$	$10^3\text{m}^3$
Neerslag	9.532	8.065	5.881	9.532	8.065	5.881
Beregening	135	135	270	0	0	0
Infiltratie	513	607	1.006	0	0	0
Kwel	2.229	2.235	2.229	2.229	2.235	2.229
Verdamping	3.795	4.153	4.519	3.896	4.193	4.470
Drainage	8.017	6.918	4.955	6.833	5.827	4.035
Balans	-597	29	89	-1.032	-279	395
Droogtestress	0	0	0	0	1	54
Natstress	109	48	13	0	0	0
<b>Zomer</b>						
Neerslag	2.520	1.611	1.650	2.520	1.611	1.650
Beregening	0	0	0	0	0	0
Infiltratie	124	242	398	0	0	0
Kwel	549	549	549	549	549	549
Verdamping	1.728	1.927	2.093	1.791	1.929	2.088
Drainage	545	82	93	1.145	942	763
Balans	-920	-392	-411	-133	711	652

**Wateraanvoergebied Kadoelen****Oppervlakte 71 hectare**

	Huidige situatie			Geen infiltratie		
	1998	2000	2003	1998	2000	2003
<b>Jaar</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	1157	979	714	1157	979	714
Berekening	36	54	72	0	0	0
Infiltratie	169	185	232	0	0	0
Kwel	-285	-285	-285	-285	-285	-285
Verdamping	442	483	489	433	463	445
Drainage	530	444	254	175	145	42
Balans	-106	-5	10	-264	-85	57
Droogtestress	3	6	19	10	25	61
Natstress	0	0	0	0	0	0
	%	%	%	%	%	%
Droogteschade	1	2	5	3	7	16
Natschade	0	0	0	0	0	0
<b>Zomer</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	306	196	200	306	196	200
Berekening	18	36	72	0	0	0
Infiltratie	81	89	109	0	0	0
Kwel	-73	-74	-73	-73	-74	-73
Verdamping	245	264	281	240	246	246
Drainage	0	0	0	13	19	4
Balans	-86	17	-26	20	143	122
<b>Jaar</b>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Neerslag	821	695	507	821	695	507
Berekening	26	38	51	0	0	0
Infiltratie	120	131	164	0	0	0
Kwel	-202	-203	-202	-202	-203	-202
Verdamping	314	343	347	308	329	316
Drainage	376	315	181	124	103	30
Balans	-75	-4	7	-188	-61	41
Droogtestress	2	4	14	7	18	43
Natstress	0	0	0	0	0	0
<b>Zomer</b>						
Neerslag	217	139	142	217	139	142
Berekening	13	26	51	0	0	0
Infiltratie	58	63	77	0	0	0
Kwel	-52	-52	-52	-52	-52	-52
Verdamping	174	187	200	170	174	174
Drainage	0	0	0	9	14	3
Balans	-61	12	-19	15	101	87

**Wateraanvoergebied Kuinre****Oppervlakte 2299 hectare**

	Huidige situatie			Geen infiltratie		
	1998	2000	2003	1998	2000	2003
<b>Jaar</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	1157	979	714	1157	979	714
Beregening	11	12	39	0	0	0
Infiltratie	21	24	46	0	0	0
Kwel	341	343	342	342	343	342
Verdamping	438	487	514	452	493	512
Drainage	1025	875	630	959	818	566
Balans	-67	4	4	-88	-10	22
Droogtestress	0	0	0	1	2	9
Natstress	17	9	9	2	1	2
	%	%	%	%	%	%
Droogteschade	0	0	0	0	1	2
Natschade	6	3	2	1	0	0
<b>Zomer</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	306	196	200	306	195	200
Beregening	2	3	5	0	0	0
Infiltratie	6	9	16	0	0	0
Kwel	84	84	84	84	84	84
Verdamping	223	252	272	233	253	272
Drainage	131	35	43	135	96	92
Balans	-43	-5	11	-22	70	80
<b>Jaar</b>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Neerslag	26.595	22.503	16.408	26.595	22.503	16.408
Beregening	248	279	893	0	0	0
Infiltratie	480	553	1.046	0	0	0
Kwel	7.850	7.879	7.858	7.853	7.881	7.861
Verdamping	10.072	11.190	11.814	10.382	11.333	11.761
Drainage	23.557	20.109	14.482	22.041	18.814	13.014
Balans	-1.544	87	91	-2.025	-237	507
Droogtestress	3	2	9	30	47	199
Natstress	381	212	206	37	17	37
<b>Zomer</b>						
Neerslag	7.030	4.495	4.603	7.030	4.495	4.603
Beregening	37	68	111	0	0	0
Infiltratie	130	208	368	0	0	0
Kwel	1.934	1.933	1.935	1.937	1.934	1.937
Verdamping	5.126	5.785	6.259	5.368	5.823	6.256
Drainage	3.018	796	999	3.093	2.208	2.121
Balans	-988	-122	242	-507	1.602	1.837



**Wateraanvoergebied Lemsterweg - Rutten****Oppervlakte 2786 hectare**

	Huidige situatie			Geen infiltratie		
	1998	2000	2003	1998	2000	2003
<b>Jaar</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	1157	979	714	1157	979	714
Berekening	13	11	37	0	0	0
Infiltratie	6	9	20	0	0	0
Kwel	398	402	401	399	402	401
Verdamping	427	477	495	443	487	498
Drainage	1075	928	674	1044	898	625
Balans	-72	4	-2	-69	4	8
Droogtestress	0	0	0	1	1	9
Natstress	19	12	15	2	1	2
	%	%	%	%	%	%
Droogteschade	0	0	0	0	0	2
Natschade	7	4	4	1	0	0
<b>Zomer</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	306	196	200	306	195	200
Berekening	6	6	20	0	0	0
Infiltratie	3	5	10	0	0	0
Kwel	98	99	98	99	99	99
Verdamping	230	261	281	242	264	282
Drainage	164	48	61	141	104	107
Balans	-18	4	14	-22	73	90
<b>Jaar</b>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Neerslag	32.228	27.269	19.884	32.228	27.269	19.884
Berekening	349	314	1.017	0	0	0
Infiltratie	180	247	565	0	0	0
Kwel	11.084	11.194	11.159	11.126	11.214	11.185
Verdamping	11.890	13.283	13.798	12.339	13.565	13.871
Drainage	29.945	25.857	18.775	29.080	25.023	17.410
Balans	-2.006	115	-52	-1.936	106	213
Droogtestress	0	0	0	15	33	247
Natstress	531	346	416	59	31	48
<b>Zomer</b>						
Neerslag	8.520	5.447	5.578	8.520	5.447	5.578
Berekening	157	157	547	0	0	0
Infiltratie	83	146	277	0	0	0
Kwel	2.740	2.755	2.736	2.759	2.755	2.759
Verdamping	6.414	7.262	7.829	6.750	7.352	7.869
Drainage	4.579	1.343	1.700	3.920	2.886	2.970
Balans	-506	100	390	-608	2.036	2.502

**Infiltratiegebied Ramspol/Neushoornweg/Schelpenpad**  
**Oppervlakte 1889 hectare**

	Huidige situatie			Geen infiltratie		
	1998	2000	2003	1998	2000	2003
<b>Jaar</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	1157	979	714	1157	979	714
Beregening	17	23	65	0	0	0
Infiltratie	60	85	116	15	11	15
Kwel	-86	-86	-85	-86	-86	-85
Verdamping	448	493	520	450	488	496
Drainage	616	510	302	458	379	211
Balans	-85	1	13	-178	-37	64
Droogtestress	0	0	1	4	7	25
Natstress	8	4	4	1	0	1
	%	%	%	%	%	%
Droogteschade	0	0	0	1	2	6
Natschade	3	1	1	0	0	0
<b>Zomer</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	306	196	200	306	195	200
Beregening	5	8	32	0	0	0
Infiltratie	28	44	51	4	3	4
Kwel	-23	-23	-23	-23	-23	-23
Verdamping	230	253	277	232	248	259
Drainage	39	4	11	52	33	30
Balans	-47	33	28	-3	106	108
<b>Jaar</b>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Neerslag	21.852	18.490	13.482	21.852	18.490	13.482
Beregening	315	433	1.219	0	0	0
Infiltratie	1.137	1.610	2.199	276	212	276
Kwel	-1.616	-1.620	-1.615	-1.616	-1.619	-1.614
Verdamping	8.459	9.307	9.830	8.502	9.225	9.372
Drainage	11.630	9.633	5.705	8.657	7.151	3.988
Balans	-1.599	28	250	-3.355	-705	1.217
Droogtestress	2	5	24	77	141	480
Natstress	143	69	71	15	4	17
<b>Zomer</b>						
Neerslag	5.777	3.693	3.782	5.777	3.693	3.782
Beregening	95	147	609	0	0	0
Infiltratie	535	824	955	73	50	70
Kwel	-431	-432	-430	-430	-432	-430
Verdamping	4.343	4.788	5.224	4.381	4.685	4.885
Drainage	742	75	216	975	629	569
Balans	-890	631	524	-64	2.003	2.033

**Wateraanvoergebied Repelweg**  
**Oppervlakte 496 hectare**

	Huidige situatie			Geen infiltratie		
	1998	2000	2003	1998	2000	2003
<b>Jaar</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	1157	979	714	1157	979	714
Beregening	37	50	85	0	0	0
Infiltratie	58	70	103	0	0	0
Kwel	23	23	23	23	23	23
Verdamping	449	494	522	453	491	504
Drainage	733	618	408	599	476	265
Balans	-93	-10	5	-128	-34	32
Droogtestress	0	0	1	3	7	23
Natstress	12	7	9	3	0	3
	%	%	%	%	%	%
Droogteschade	0	0	0	1	2	6
Natschade	4	2	2	1	0	1
<b>Zomer</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	306	196	200	306	195	200
Beregening	13	26	50	0	0	0
Infiltratie	25	35	42	0	0	0
Kwel	5	5	5	5	5	5
Verdamping	224	248	267	226	243	255
Drainage	53	6	18	64	46	38
Balans	-72	-8	-13	-21	89	87
<b>Jaar</b>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Neerslag	5.738	4.855	3.540	5.738	4.855	3.540
Beregening	184	249	422	0	0	0
Infiltratie	288	347	511	0	0	0
Kwel	113	113	113	113	114	114
Verdamping	2.229	2.449	2.590	2.245	2.437	2.497
Drainage	3.633	3.065	2.023	2.972	2.363	1.313
Balans	-460	-51	27	-633	-169	157
Droogtestress	0	0	6	16	37	113
Natstress	57	35	45	16	2	12
<b>Zomer</b>						
Neerslag	1.517	970	993	1.517	970	993
Beregening	65	130	249	0	0	0
Infiltratie	122	171	208	0	0	0
Kwel	27	27	27	27	27	27
Verdamping	1.110	1.229	1.323	1.123	1.207	1.263
Drainage	264	29	88	318	230	188
Balans	-357	-40	-67	-103	440	431

**Wateraanvoergebied Urk****Oppervlakte 366 hectare**

	Huidige situatie			Geen infiltratie		
	1998	2000	2003	1998	2000	2003
<b>Jaar</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	1157	979	714	1157	979	714
Berekening	23	1	68	0	0	0
Infiltratie	12	21	40	0	0	0
Kwel	258	259	258	258	259	258
Verdamping	441	489	544	477	512	554
Drainage	942	778	541	857	718	439
Balans	-66	8	5	-81	-8	21
Droogtestress	0	0	0	0	0	1
Natstress	36	22	13	0	0	0
	%	%	%	%	%	%
Droogteschade	0	0	0	0	0	0
Natschade	12	7	3	0	0	0
<b>Zomer</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Neerslag	306	196	200	306	195	200
Berekening	0	0	1	0	0	0
Infiltratie	3	4	12	0	0	0
Kwel	64	64	64	64	64	64
Verdamping	187	218	239	214	230	249
Drainage	163	45	52	134	102	88
Balans	-23	0	15	-22	72	74
<b>Jaar</b>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Neerslag	4.234	3.582	2.612	4.234	3.582	2.612
Berekening	84	4	251	0	0	0
Infiltratie	43	76	147	0	0	0
Kwel	945	948	945	945	948	945
Verdamping	1.614	1.792	1.992	1.745	1.873	2.028
Drainage	3.450	2.847	1.982	3.137	2.627	1.605
Balans	-242	28	19	-297	-31	76
Droogtestress	0	0	0	0	0	3
Natstress	130	82	46	0	0	0
<b>Zomer</b>						
Neerslag	1.119	716	733	1.119	716	733
Berekening	0	0	4	0	0	0
Infiltratie	11	16	43	0	0	0
Kwel	233	232	233	233	232	233
Verdamping	683	799	876	782	840	913
Drainage	597	166	191	489	372	323
Balans	-83	0	54	-81	264	271