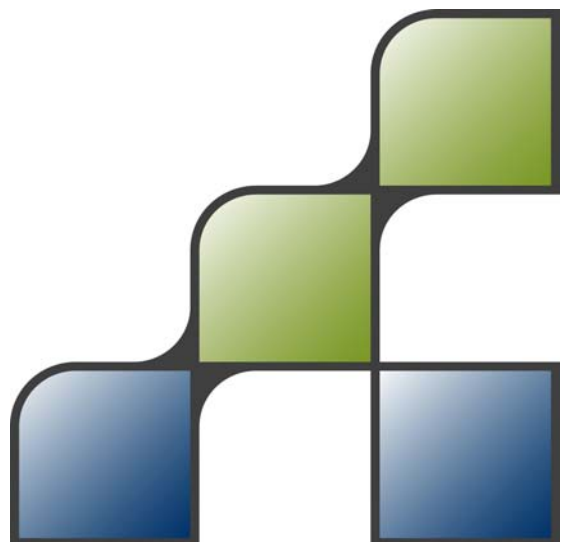


Wateropgave droogte  
KNMI '06 klimaatscenario's  
Waterschap Hunze en Aa's



# Wateropgave droogte KNMI'06 klimaatscenario's Waterschap Hunze en Aa's

Juni 2008

**FutureWater Rapport 75**

**Auteur**

Peter Droogers

**Begeleider**

Jan den Besten

**Opdrachtgever**

Waterschap Hunze en Aa's

This project has been co-funded by ERDF through  
the Interreg IIIB North Sea Region Programme.

**juni 2008**



Interreg North Sea Region



**FutureWater**

Costerweg 1G  
6702 AA Wageningen  
The Netherlands

+31 (0)317 460050

[info@futurewater.nl](mailto:info@futurewater.nl)

[www.futurewater.nl](http://www.futurewater.nl)



<b>1</b>	<b>Achtergrond</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Methode</b>	<b>5</b>
2.1	FutureView	5
2.2	Gegevens	5
2.3	KNMI'06 scenario's	7
2.4	CO <sub>2</sub> effect	9
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>12</b>
3.1	Wateropgave droogte	12
3.2	Invloed CO <sub>2</sub>	16
<b>4</b>	<b>Opbrengstvoorspelling</b>	<b>18</b>
4.1	Gevoeligheidsanalyse	18
4.2	Kalibratie	21
<b>5</b>	<b>Conclusies</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Literatuur</b>	<b>26</b>
	<b>Bijlagen: Gedetailleerde resultaten per watersysteem</b>	<b>27</b>

## Tabellen

Tabel 1.	Vergelijk tussen WB21 en KNMI'06 klimaatscenario's voor 2050.	8
Tabel 2.	Gemiddelde procentuele verandering in potentiële verdamping per maand voor het klimaat rond 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990 voor de verschillende KNMI'06 klimaatscenario's. (Bron: <a href="http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/">http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/</a> )	9
Tabel 3.	Samenvatting belangrijkste resultaten. De laatste twee kolommen zijn dus de Wateropgave Droogte voor de twee scenario's.	13
Tabel 4.	Wateropgave Droogte voor de twee scenario's per deelsysteem.	13
Tabel 5.	Samenvatting belangrijkste resultaten inclusief de invloed van CO <sub>2</sub> .	17
Tabel 6.	Invloed kalibratie op wateropgave droogte.	22
Tabel 7.	Resultaten FutureView: 2003 referentie (in mm).	27
Tabel 8.	Resultaten FutureView: 2003 referentie (in m <sup>3</sup> ).	28
Tabel 9.	Resultaten FutureView: 2050 (W+) wateraanvoer gelijk aan 2003 (in mm).	29
Tabel 10.	Resultaten FutureView: 2050 (W+) wateraanvoer gelijk aan 2003 (in m <sup>3</sup> ).	30
Tabel 11.	Resultaten FutureView: 2050 (W+) opbrengst gelijk aan 2003 (in mm). Dit is de wateropgave droogte.	31
Tabel 12.	Resultaten FutureView: 2050 (W+) opbrengst gelijk aan 2003 (in m <sup>3</sup> ). Dit is de wateropgave droogte.	32
Tabel 13.	Resultaten FutureView: 2050 (W+, inclusief CO <sub>2</sub> invloed) opbrengst gelijk aan 2003 (in mm). Dit is de wateropgave droogte.	33
Tabel 14.	Resultaten FutureView: 2050 (W+, inclusief CO <sub>2</sub> invloed) opbrengst gelijk aan 2003 (in m <sup>3</sup> ). Dit is de wateropgave droogte.	34



Figuur 1. Schematische weergave van het SWAP model. ....	5
Figuur 2. Overzicht watersystemen (9) en rekeneenheden (248).....	6
Figuur 3. Schematische indeling van de KNMI'06 klimaatscenario's. G en G+ hebben een Gematigde opwarming van +1°C in 2050 t.o.v. 1990, terwijl W en W+ uitgaan van een Warmer klimaat (+2°C). De "+" geeft aan dat in de scenario's rekening wordt gehouden met een sterke verandering van de gemiddelde luchtstromingen. ....	8
Figuur 4. Toename in biomassa bij een CO <sub>2</sub> toename van 300 ppm voor tarwe. Resultaten van 197 publicaties. Bron: <a href="http://www.co2science.org">http://www.co2science.org</a> .....	10
Figuur 5. Toename in biomassa bij een CO <sub>2</sub> toename van 300 ppm voor aardappelen. Resultaten van 34 publicaties. Bron: <a href="http://www.co2science.org">http://www.co2science.org</a> .....	11
Figuur 6. Wateropgave droogte per deelsysteem. ....	14
Figuur 7. Additionele landbouwschade als gevolg van klimaatverandering (NBW-midden) bij ongewijzigde aanvoer. ....	14
Figuur 8. Additionele landbouwschade als gevolg van klimaatverandering (KNMI'06, W+) bij ongewijzigde aanvoer. ....	15
Figuur 9. Wateropgave droogte voor het NBW-midden scenario. ....	15
Figuur 10. Wateropgave droogte voor het KNMI'06 W+ scenario. ....	16
Figuur 11. Vergelijk infiltratie per rekeneenheid voor de twee scenario's.....	16
Figuur 12. Locatie van rekeneenheid 146 gebruikt voor de detail analyses.....	19
Figuur 13. Gevoeligheid wateropnamecapaciteit gewas. ....	19
Figuur 14. Gevoeligheid gewasgroefactor Ky. ....	20
Figuur 15. Gevoeligheid infiltratie weerstand. ....	20
Figuur 16. Gevoeligheid maaiveldhoogte.....	20
Figuur 17. Opbrengst zetmeelaardappelen in Noord-Nederland en neerslag. Bron: CBS. ....	21
Figuur 18. Gemeten (CBS) en berekende aardappelopbrengst zonder kalibratie (Reference). 23	
Figuur 19. Gemeten (CBS) en berekende aardappelopbrengst (Run4). ....	23
Figuur 20. Gemeten (CBS) en berekende aardappelopbrengst (Run7). ....	24



# 1 Achtergrond

Het Waterschap Hunze en Aa's heeft in 2005 een droogte analyse uitgevoerd. Het SWAP model werd ruimtelijk gedistribueerd toegepast (FutureView) in twee fasen. Als eerste werd het oostelijke deel van het beheersgebied geanalyseerd en in een vervolg studie werd het overige deel van het beheersgebied van het waterschap geëvalueerd (Drentse Aa, Duurswold, Hunze, Oldambt, Veenkoloniën, Veenkoloniën Zuid<sup>1</sup>). In de eerste studie werden in totaal 46 zogenaamde rekeneenheden (SWAP kolommen) doorgerekend en in de tweede studie 202.

Tijdens deze studies werden de volgende scenario's geëvalueerd:

- referentie (2003)
- geen wateraanvoer (2003)
- klimaatverandering (2050), wateraanvoer gelijk aan 2003
- klimaatverandering (2050), droogtestress gelijk aan 2003

Uit deze laatste stap volgde de wateropgave droogte. Deze is gedefinieerd als "de hoeveelheid water die extra aangevoerd moet worden in 2050 om de effecten van klimaatverandering te compenseren".

Voor deze voorgaande studies werd uitgegaan van het KNMI middenscenario, zoals afgesproken in het NBW. Het KNMI heeft in 2006 vier nieuwe scenario's gepresenteerd, welke gebaseerd zijn op de nieuwste klimaatinzichten. De nieuwe scenario's wijken aanzienlijk af van de oude scenario's, waarbij vooral de te verwachte toename in droogte aanzienlijk is. Voor het Waterschap Hunze en Aa's is het belangrijk om te bepalen in hoeverre de effecten van deze nieuwe KNMI'06 scenario's in hun impact afwijken van de oude NBW scenario's.

Dit rapport beschrijft bondig, voortbordurend op en verwijzend naar de voorgaande studies, hoe de wateropgave droogte zal zijn uitgaande van het KNMI'06 W+ scenario.

---

<sup>1</sup> In de 2005 studie werd "Veenkoloniën Zuid" aangeduid met "Westerwolde".



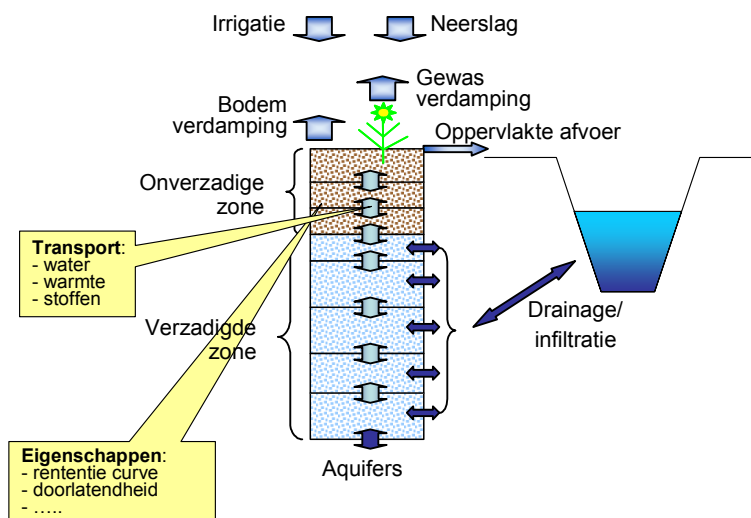
## 2 Methode

### 2.1 FutureView

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 1 laat schematisch de werking van het SWAP model zien voor wat betreft de processen in bodem—water—atmosfeer; een uitgebreidere beschrijving kan gevonden worden in Kroes en Van Dam (2003). Voor deze studie is versie 2.3 van SWAP gebruikt, gelijk aan de voorgaande studies.

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

Meer details betreffende FutureView en SWAP zijn te vinden in de twee eerder genoemde rapporten betreffende de wateropgave droogte.



**Figuur 1. Schematische weergave van het SWAP model.**

### 2.2 Gegevens

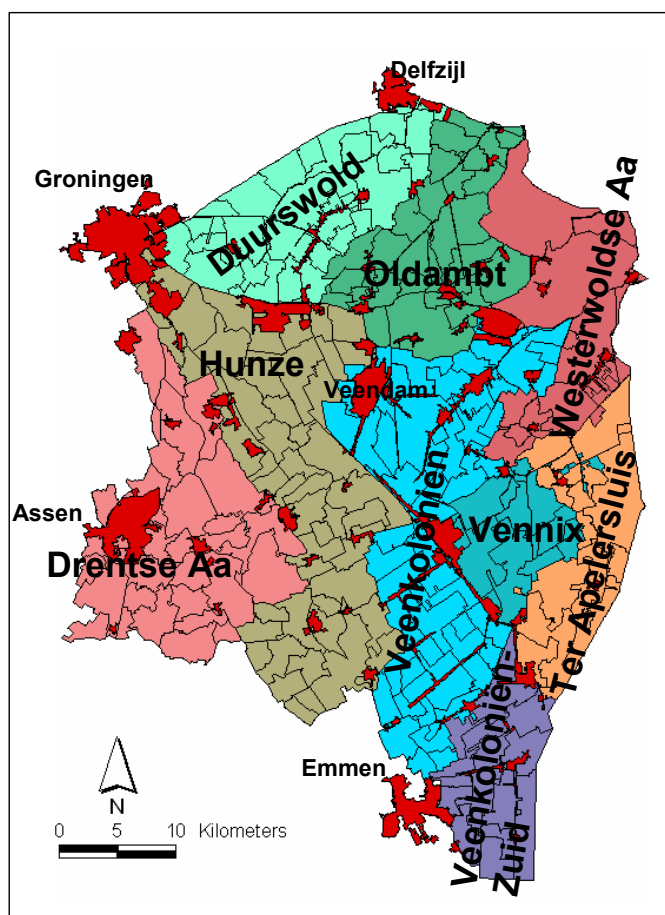
De FutureView methode is gebaseerd op representatieve gebieden: de rekeneenheden. Aan elke rekeneenheid zijn vervolgens de gegevens die nodig zijn voor de FutureView analyses toegekend (tussen haakjes de bron):

- maaiveldhoogte (AHN)
- zomerpeil (legger: *Zomerpeil*)



- winterpeil (legger: *Winterpeil*)
- kwel (legger: *Kwelstroom*)
- drooglegging (legger: *Droogleggi*)
- drainageweerstand (STONE)
- slootafstanden (STONE)
- landgebruik (LGN4)

In totaal zijn er 248 rekeneenheden onderscheiden. Dit is een combinatie van de 46 rekeneenheden uit de Oostelijke studie en de 202 rekeneenheden uit de Midden en West studie. Figuur 2 laat deze rekeneenheden zien.



**Figuur 2. Overzicht watersystemen (9) en rekeneenheden (248)<sup>1</sup>.**

Aan elke rekeneenheid zijn vervolgens alle gegevens zoals hierboven genoemd gekoppeld, en is FutureView gebruikt voor de verdere analyses. Als eerste zijn echter de 2005 referentie situaties nogmaals doorgerekend, om zeker te zijn dat model en gegevens identiek waren. Hierna is voor het gehele beheersgebied het W+ scenario doorgerekend en zijn de NBW resultaten uit 2005 aan elkaar gekoppeld. Dit resulteert uiteindelijk in de volgende set van resultaten:

- Referentie 2003
- Geen wateraanvoer 2003
- Klimaatverandering 2050 NBW-midden, aanvoer gelijk aan 2003
- Klimaatverandering 2050 W+, aanvoer gelijk aan 2003

<sup>1</sup> In de 2005 studie werd "Veenkoloniën Zuid" aangeduid met "Westerwolde".

- Klimaatverandering 2050 NBW-midden, opbrengst gelijk aan 2003
- Klimaatverandering 2050 W+, opbrengst gelijk aan 2003
- Klimaatverandering 2050 W+ inclusief CO<sub>2</sub> effect, opbrengst gelijk aan 2003

Resultaten van de laatste drie analyses zijn gedefinieerd als de wateropgave droogte: “de hoeveelheid water die extra aangevoerd moet worden in 2050 om de effecten van klimaatverandering te compenseren”.

### 2.3 KNMI'06 scenario's

De nieuwe KNMI'06 scenario's voor neerslag en potentiële verdamping zijn op 30 mei 2006 door Staatssecretaris Schultz van Haegen gepresenteerd. De nieuwe scenario's zijn een update van de vorige generatie die ten behoeve van de commissie Waterbeheer 21e Eeuw (WB21) waren opgesteld. Net als de WB21 klimaatscenario's worden er in de nieuwe scenario's (kortweg aangeduid als de KNMI'06 klimaatscenario's) getallen gegeven voor de verandering van neerslag, temperatuur, potentiële verdamping, wind en zeeniveau. Ook worden naast seizoensgemiddelde waarden ook veranderingen in een aantal extreme grootheden gekwantificeerd, zoals de temperatuur op de warmste of koudste dag van het jaar, of de verandering van de 10-daagse neerslagsom die eens per 10 jaar wordt overschreden.

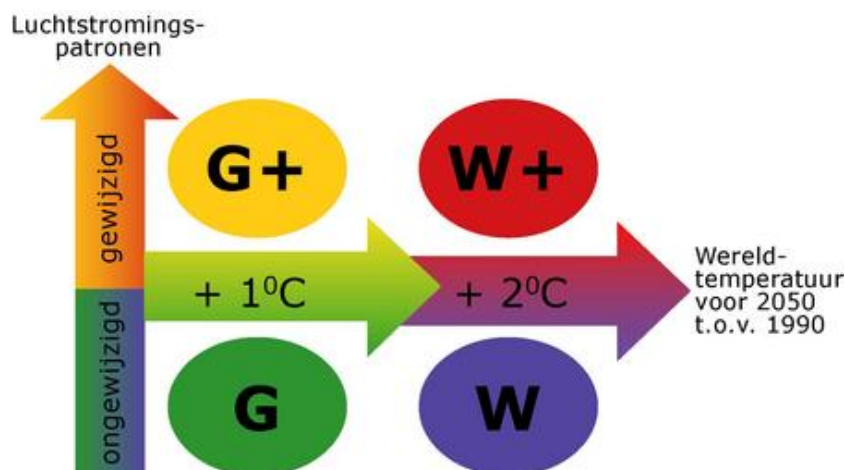
Een aantal grootheden is op een andere manier gedefinieerd dan in de WB21 scenario's (zoals de vervanging van bijvoorbeeld “intensiteit van zomerse buien” door “dagsom die eens per 10 jaar wordt overschreden”), en er zijn nieuwe grootheden bijgekomen (zoals het aantal dagen met neerslag). De keuze van de variabelen is echter niet wat het meest in het oog springt bij de KNMI'06 klimaatscenario's. De indeling van drie naar vier scenario's en de definitie van deze scenario's is aanzienlijk gewijzigd.

In de WB21 scenario's werd gesproken van een “laag”, “midden” en “hoog” scenario, later nog aangevuld met een “hoog droog” scenario ten behoeve van de Droogtestudie. De nieuwe KNMI'06 klimaatscenario's bevatten nu vier scenario's (Figuur 3). Deze vier zijn gebaseerd op analyse van resultaten van wereldwijde klimaatmodellen die aangaven dat de stijging van de wereldgemiddelde temperatuur rond 2050 hoogst waarschijnlijk ergens tussen de +1°C en +2°C uitkomt. Deze temperatuurstijgingen vormen het uitgangspunt voor de Gematigde (G) en Warme (W) klimaatscenario's. Echter, voor het klimaat in Nederland is niet alleen de wereldgemiddelde temperatuur van belang: ook de gemiddelde windrichting speelt een cruciale rol. Winters met een sterke westelijke stroming zijn in de regel een stuk milder en natter dan wanneer de stroming minder sterk westelijk is. En een deel van de bestudeerde klimaatmodellen laat zien dat de statistiek van de westelijke stromingen behoorlijk kan veranderen wanneer de wereldgemiddelde temperatuur stijgt. Sommige modellen laten in de winter een sterkere westelijke stroming zien, terwijl in de zomer juist meer dagen voorkomen met een oostelijke windrichting. Die gaat gepaard met een grotere kans op warm en droog weer. De veranderingen in stromingspatronen zijn echter het gevolg van een serie complexe processen en daarom wijken verschillende modellen ook sterk van elkaar af. De klimaatscenario's nemen deze onzekere veranderingen mee. Naast de twee scenario's zonder verandering in luchtstroming zijn er nu twee scenario's, waarin de verandering in luchtstroming wel is meegenomen: de G+ en W+ scenario's.





Voor deze studie is gebruik gemaakt van de actuele daggegevens van het meteorologisch station Eelde. De referentiesituatie beschrijft de situatie zoals deze zich in het droge jaar 2003 voordeed. De aanpassing van de neerslagreeks naar het W+ scenario, zoals te zien in Tabel 1 voor het KNMI'06 W+ scenario, is uitgevoerd door gebruik te maken van het KNMI transformatie programma. Deze tool zorgt ervoor dat alle verwachte veranderingen, inclusief het aantal natte dagen, wordt voldaan. Voor de verandering in de potentiële verdamping is gebruik gemaakt van de KNMI verwachtingen zoals te zien in Tabel 2.



**Figuur 3. Schematische indeling van de KNMI'06 klimaatscenario's. G en G+ hebben een Gematigde opwarming van +1°C in 2050 t.o.v. 1990, terwijl W en W+ uitgaan van een Warmer klimaat (+2°C). De "+" geeft aan dat in de scenario's rekening wordt gehouden met een sterke verandering van de gemiddelde luchtstromingen.**

**Tabel 1. Vergelijk tussen WB21 en KNMI'06 klimaatscenario's voor 2050.**

	WB21			KNMI'06			
	Laag	Centraal	Hoog	G	G+	W	W+
<b>Zomer</b> (juni, juli, augustus)							
gemiddelde temperatuur (°C)	+0.5	+1	+2	+0.9	+1.4	+1.7	+2.8
warmste zomerdag (°C)				+1.0	+1.9	+2.1	+3.8
gemiddelde neerslag (%)	+0.5	+1	+2	+3	-10	+6	-19
aantal natte dagen (%)				-2	-10	-3	-19
neerslag op 1% natste dag (%)	+5	+10	+20	+13	+5	+27	+10
referentieverdamping (%)	+2	+4	+8	+3	+8	+7	+15
windsnelheid (%)				0	+1	0	+2
zeespiegelstijging (cm)	+10	+25	+45	15-25	15-25	20-35	20-35
<b>Winter</b> (december, januari, februari)							
gemiddelde temperatuur (°C)	+0.5	+1	+2	+0.9	+1.1	+1.8	+2.3
koudste winterdag (°C)				+1.0	+1.5	+2.1	+2.9
gemiddelde neerslag (%)	+3	+6	+12	+4	+7	+7	+14
aantal natte dagen (%)				0	+1	0	+2
neerslag op 1% natste dag (%)	+5	+10	+20	+4	+6	+8	+12
referentieverdamping (%)	+2	+4	+8	+3	+8	+7	+15
windsnelheid (%)				0	+1	0	+2
zeespiegelstijging (cm)	+10	+25	+45	15-25	15-25	20-35	20-35

**Tabel 2. Gemiddelde procentuele verandering in potentiële verdamping per maand voor het klimaat rond 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990 voor de verschillende KNMI'06 klimaatscenario's. (Bron: [http://climexp.knmi.nl/Scenarios\\_monthly/](http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/))**

	<b>G</b>	<b>G+</b>	<b>W</b>	<b>W+</b>
Januari	1,4	1,3	2,8	2,6
Februari	1,5	1,5	3,1	3,0
Maart	1,8	2,2	3,7	4,5
April	2,5	3,6	4,9	7,1
Mei	3,0	5,0	6,0	10,1
Juni	3,4	6,5	6,7	13,0
Juli	3,5	7,8	7,0	15,7
Augustus	3,4	8,5	6,7	16,9
September	3,0	7,6	6,0	15,2
Oktober	2,4	5,0	4,7	10,1
November	1,8	2,9	3,6	5,8
December	1,5	1,7	3,1	3,4

## 2.4 CO<sub>2</sub> effect

Sinds het aflopen van de laatste grote ijstijd, 12 duizend jaar geleden, is de concentratie van CO<sub>2</sub> van ongeveer 280 ppm nagenoeg constant gebleven. Hierin is verandering gekomen sinds het begin van de industriële revolutie (1750). De atmosferische concentraties van CO<sub>2</sub> is nu met ongeveer 35% gestegen tot 380 ppm. Rond 2050 wordt een verhoging tot 550 ppm verwacht.

Het is duidelijk dat de verhoogde CO<sub>2</sub> concentratie invloed heeft op gewasgroei. Er zijn hierbij twee processen van belang. Koolstof is een groeistof voor planten en een hogere concentratie kan dus leiden tot een hogere biomassa, meer bladoppervlak en een daarmee gepaard gaande hogere actuele verdamping. Deze verhoging zal nog versterkt kunnen worden door de verhoging van de potentiële verdamping als gevolg van stijgende temperaturen. Aan de andere kant zouden planten hun huidmondjes sneller kunnen sluiten omdat aan de koolstofbehoefte sneller wordt voldaan, waardoor juist minder verdamping op zal treden.

KIWA en RIZA (Doomen en Witte, 2004; Witte, et al., 2005; Witte, et al., 2006) hebben literatuur onderzoek uitgevoerd dat zich richt op de invloed van CO<sub>2</sub> op verdamping. De toename van de verdamping door temperatuurstijging duiden zij aan als het temperatuureffect van klimaatverandering. Hogere concentraties CO<sub>2</sub> kunnen leiden tot een hogere biomassa, meer bladoppervlak en een daarmee gepaard gaande hogere verdamping. Anderzijds kunnen planten bij hogere kooldioxideconcentraties makkelijker voldoen aan hun koolstofbehoefte, zodat zij hun huidmondjes minder hoeven te openen of minder huidmondjes hoeven aan te maken, waardoor hun transpiratie wordt gereduceerd. Beide effecten gecombineerd noemen we het kooldioxide-effect van klimaatverandering. De onderzoekers concluderen dat het netto effect zal zijn dat verdamping nog wel zou toenemen, maar minder dan wat de KNMI'06 scenario's laten zien.

De meeste wetenschappelijke studies laten echter zien dat verhoogde CO<sub>2</sub> niet zozeer verdamping zal remmen, maar vooral de groei zal doen toenemen. Zo wordt in bijna alle kassen de CO<sub>2</sub> concentratie kunstmatig hoog gehouden, om zodoende de productie te verhogen. Het "Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change" in Tempe, Arizona, USA (<http://www.co2science.org/>) verzamelt alle wetenschappelijk literatuur over de invloed van CO<sub>2</sub> op gewassen. Hier blijkt duidelijk uit dat het CO<sub>2</sub> effect op planten vooral een toename in groei



zal veroorzaken. Voor tarwe blijkt deze toename aanzienlijk te zijn en in Figuur 4 zijn de resultaten van 197 onderzoeken te zien. Voor andere gewassen zijn vergelijkbare resultaten gevonden.

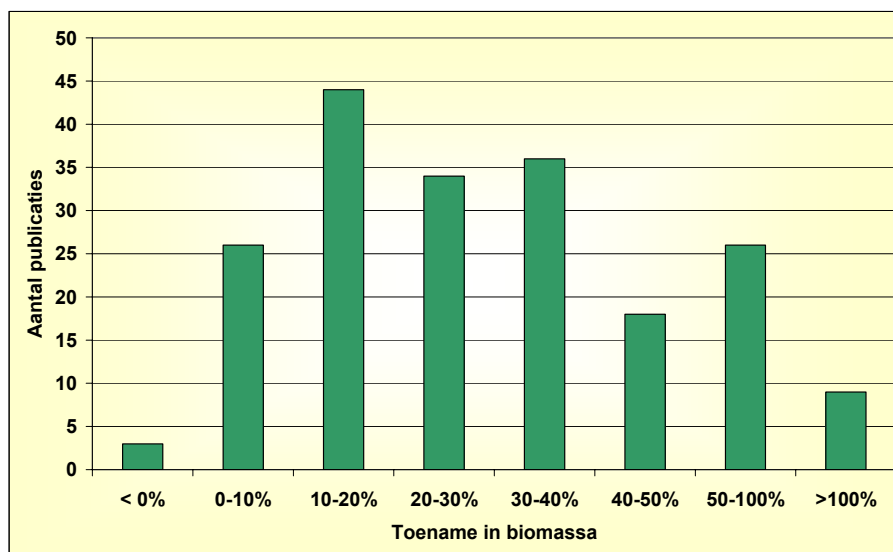
Samenvattend zou de voorzichtige conclusie getrokken kunnen worden dat er een zekere consensus bestaat dat indien water aanwezig is, de plant dit vooral zou aanwenden voor een hogere productie.

Voor deze studie zijn we uitgegaan van bovenstaande. Uit Figuur 4 blijkt dat een gemiddelde stijging van 33% in biomassa is gevonden bij een verhoogde CO<sub>2</sub> concentratie van 300 ppm voor granen en van 32% voor aardappelen (Figuur 5). Om deze resultaten om te zetten naar verhoogde gewasproductie zijn er twee correctiefactoren toegepast:

- De onderzoeken hadden betrekking op een verhoging met 300 ppm, terwijl de verwachting voor 2050 op ongeveer 170 ppm ligt. Uitgaande van een lineair verband zal de verhoging dus  $32\% \cdot 170/300 = 18\%$
- Het is onzeker in hoeverre deze verhoogde biomassa omgezet kan worden tot oogstbaar product. Uitgaande van 60% (zie hierna) zal dus de totaal te verwachten extra opbrengst door CO<sub>2</sub> op 10% worden gesteld ( $\sim 18\% \cdot 60\%$ ).

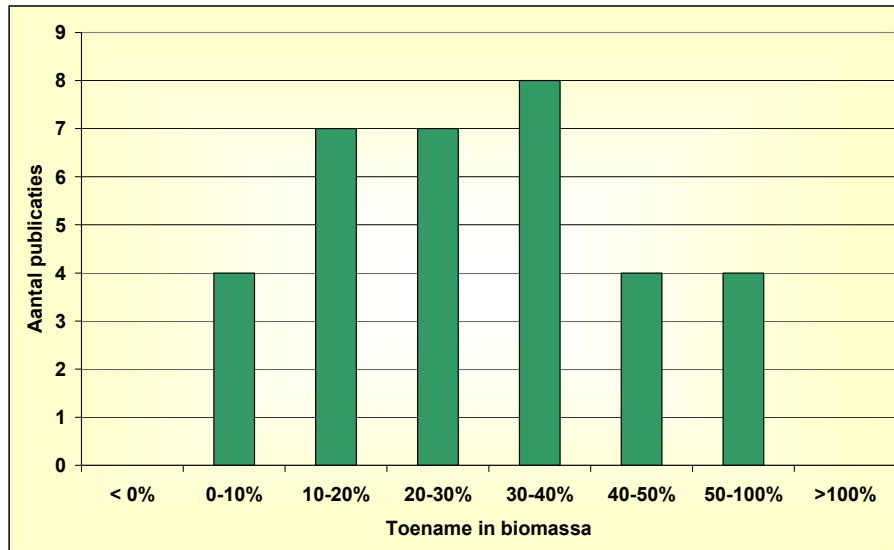
Dit laatste punt, vaak aangeduid als de Harvest Index (HI), is een functie van verschillende factoren zoals gewas, cultivar, bemesting, weersomstandigheden, etc. In de praktijk worden waarden gevonden tussen de 0.4 en 0.6 voor granen (Hay, 1995). Voor aardappels liggen de waarden tussen de 0.75 en 0.85 (Zandstra 2008). In het studie gebied bevindt zich een mix van deze gewassen en gezien de onzekerheid in het effect van CO<sub>2</sub> is daarom besloten om uit te gaan van een netto positief effect van 10%.

Een andere discussie over het CO<sub>2</sub> effect en de te accepteren droogteschade is op welk niveau boeren in 2050 hun referentie leggen. Het is onwaarschijnlijk dat zij hun in 2050 te verwachte productie refereren aan de situatie in 2003. Boeren hebben ook nu een oogstverwachting die veel hoger ligt dan de situatie van 50 jaar geleden. Met andere woorden, het CO<sub>2</sub> effect zal tot hogere opbrengsten gaan leiden, maar gezien de constante stijging van dit effect zal de geaccepteerde droogteschade in gelijk mate meestijgen.



**Figuur 4. Toename in biomassa bij een CO<sub>2</sub> toename van 300 ppm voor tarwe. Resultaten van 197 publicaties. Bron: <http://www.co2science.org>**





**Figuur 5. Toename in biomassa bij een CO<sub>2</sub> toename van 300 ppm voor aardappelen. Resultaten van 34 publicaties. Bron: <http://www.co2science.org>**

### 3.1 Wateropgave droogte

Zoals in het voorgaande hoofdstuk genoemd zijn met behulp van FutureView de volgende analyses uitgevoerd:

- Referentie 2003
- Geen wateraanvoer 2003
- Klimaatverandering 2050 NBW-midden, aanvoer gelijk aan 2003
- Klimaatverandering 2050 W+, aanvoer gelijk aan 2003
- Klimaatverandering 2050 NBW-midden, opbrengst gelijk aan 2003
- Klimaatverandering 2050 W+, opbrengst gelijk aan 2003

De laatste twee analyses worden dus beschouwd als de wateropgave droogte: “de hoeveelheid water die extra aangevoerd moet worden in 2050 om de effecten van klimaatverandering te compenseren”.

Een samenvatting van de belangrijkste resultaten is te zien in Tabel 3 en Figuur 6. In de bijlage zijn de gedetailleerde gegevens per watersysteem weergegeven.

Als eerste valt direct op dat het verschil tussen het NBW midden scenario en het W+ scenario groot is. Indien er wordt uitgegaan van een gelijke wateraanvoer in 2050 als in 2003 bedraagt de gemiddelde schade over het gehele beheersgebied € 34 per hectare onder het NBW scenario en € 183 onder het W+ scenario. Voor de wateraanvoergebieden alleen is de gemiddelde schade per hectare iets groter en bedraagt € 36 en € 200. Ingelanden betalen € 30 per hectare voor wateraanvoer, waaruit de conclusie kan worden getrokken dat wateraanvoer vanuit een economisch perspectief aantrekkelijk is.

Ook voor de wateropgave droogte zijn er grote verschillen te zien: 30 miljoen m<sup>3</sup> per jaar voor het NBW midden scenario en 163 miljoen m<sup>3</sup> per jaar voor het W+ scenario. Interessant is om te bekijken waarom het verschil voor deze twee scenario's een factor vijf bedraagt, uitgaande van de twee klimaatscenario's voor de zomerperiode:

- NBW-midden:
  - gemiddelde neerslag +1%
  - referentieverdamping +4%
- KNMI'06 W+:
  - gemiddelde neerslag -19%
  - referentieverdamping +15%

Zonder rekening te houden met de complexe bodem-water-plant processen kan dus het extra watertekort voor het NBW-midden op 3% gesteld worden en voor het KNMI'06 W+ op 34%. De hieruit komende factor van 10 blijkt dus volgens de modelberekeningen tot een factor 5 te reduceren. Dit komt vooral doordat in werkelijkheid processen meespelen als het vasthoudend vermogen van de bodem, capillaire nalevering en efficiëntere wateropname door wortels onder grote droogte. Daarnaast speelt er nog dat er niet aan de complete waterbehoefte voor alle gebieden kan worden voldaan onder het KNMI'06 W+ scenario, omdat de infiltratiecapaciteit van de bodem niet altijd voldoende is. De watervraag is dus nog wat groter om dezelfde opbrengst als onder de referentie situatie te krijgen.



Dit laatste punt kan nog verder worden uitgewerkt (zie Figuur 7 tot en met Figuur 10). De infiltratiecapaciteit is niet altijd voldoende om al het benodigde water bij de wortels te krijgen, terwijl voor sommige gebieden tegelijkertijd infiltratie water verdwijnt naar het diepere grondwater. Een mogelijke oplossing zal kunnen zijn om over te stappen van infiltratie naar beregening uit grondwater.

De ruimtelijke spreiding van de schade indien wateraanvoer gelijk blijft is te zien in Figuur 7 en Figuur 8.

De wateropgave droogte voor de twee klimaatscenario's is weergegeven in Tabel 4 per deelsysteem en per rekeneenheid in Figuur 9 en Figuur 10. Tenslotte is in Figuur 11 nog te zien dat de toename van wateropgave droogte onder de twee scenario's niet constant is voor elke rekeneenheid. Dit hangt weer samen met de complexere processen tussen bodem-water-plant.

**Tabel 3. Samenvatting belangrijkste resultaten. De laatste twee kolommen zijn dus de Wateropgave Droogte voor de twee scenario's.**

	2003: Referentie	2003: Geen aanvoer	2050 (NBW): aanvoer 2003	2050 (W+): aanvoer 2003	2050 (NBW): opbrengst 2003	2050 (W+): opbrengst 2003
Infiltratie (mm j <sup>-1</sup> )	85	0	85	85	100	165
Infiltratie (miljoen m <sup>3</sup> j <sup>-1</sup> )	173	0	173	173	203	336
Infiltratie (t.o.v. referentie, milj. m <sup>3</sup> j <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	30	163
Schade (%)	13	16	14	22	13	17
Opbrengst (€ ha <sup>-1</sup> )	1835	1780	1801	1652	1829	1749
Opbrengst (t.o.v. referentie, € ha <sup>-1</sup> )	-	-55	-34	-183	-6 <sup>1</sup>	-86 <sup>2</sup>

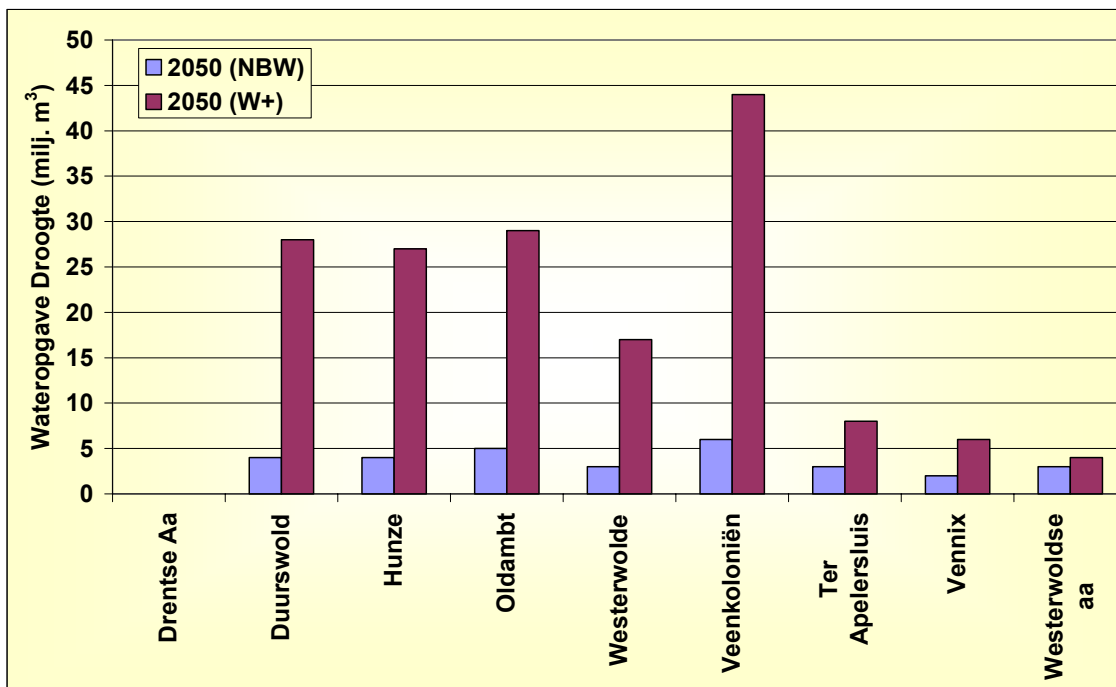
<sup>1)</sup> Zou nul moeten zijn, maar is door numerieke afronding ongelijk aan nul.

<sup>2)</sup> Zou nul moeten zijn, maar infiltratiecapaciteit is niet voldoende om nul te worden.

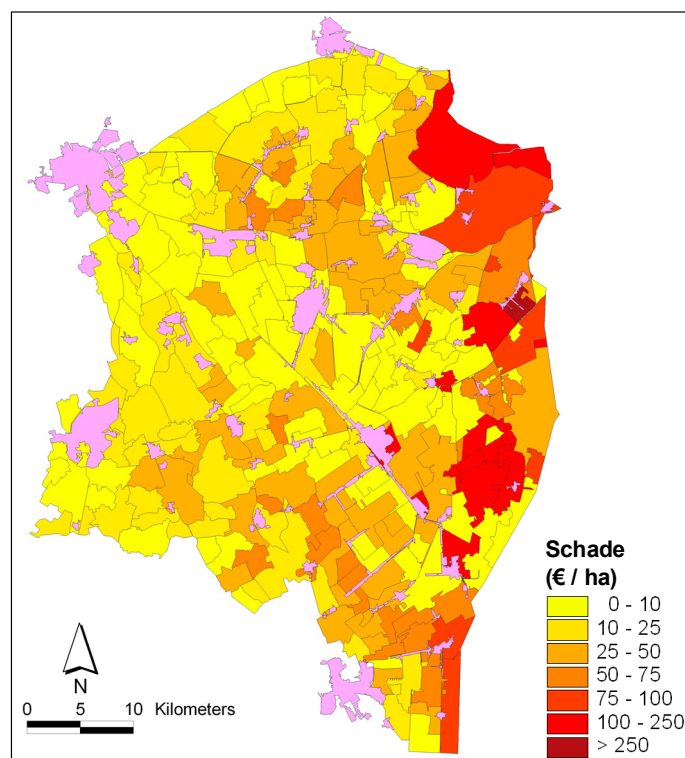
**Tabel 4. Wateropgave Droogte voor de twee scenario's per deelsysteem.**

	2050 (NBW) milj. m <sup>3</sup>	2050 (W+) milj. m <sup>3</sup>
Drentse Aa	0	0
Duurswold	4	28
Hunze	4	27
Oldambt	5	29
Veenkoloniën Zuid	3	17
Veenkoloniën	6	44
Ter Apelersluis	3	8
Vennix	2	6
Westerwoldse aa	3	4
<b>Totaal</b>	<b>30</b>	<b>163</b>

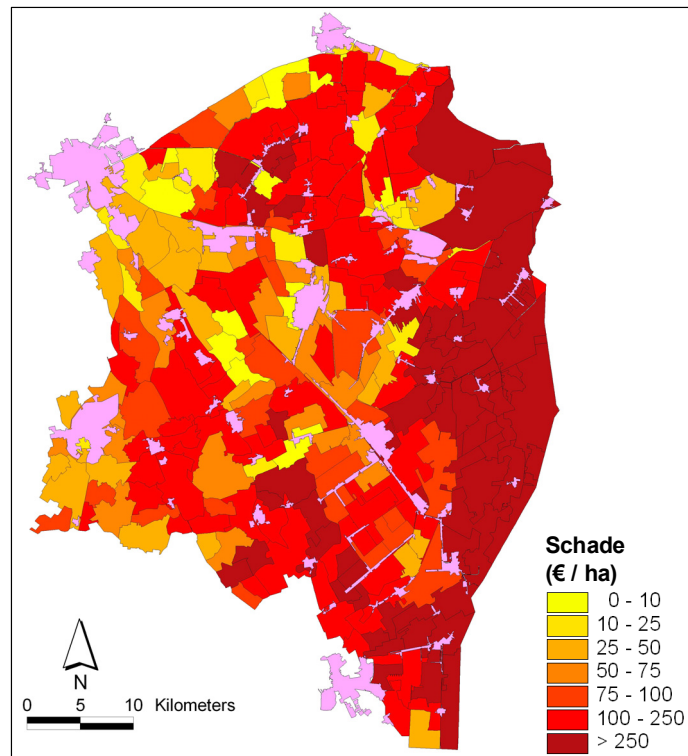




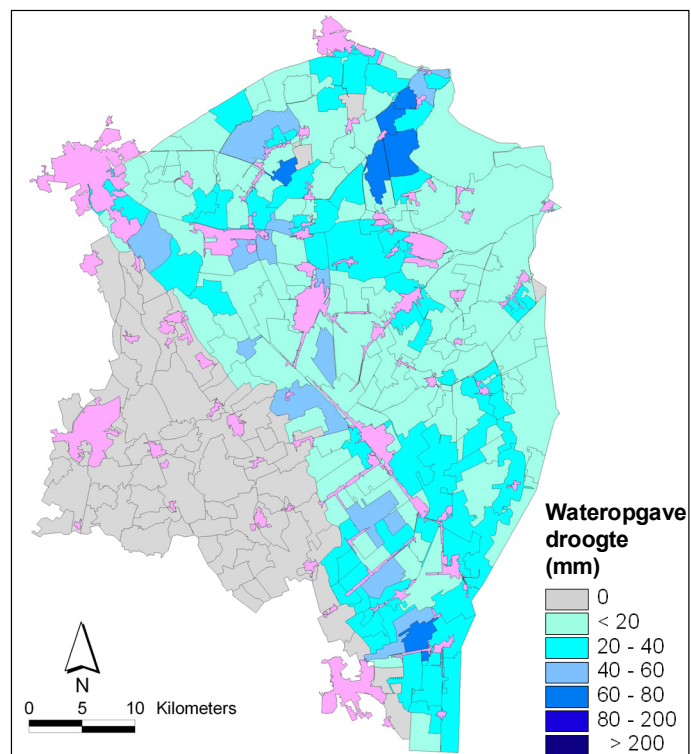
Figuur 6. Wateropgave droogte per deelsysteem.



Figuur 7. Additionele landbouwschade als gevolg van klimaatverandering (NBW-midden) bij ongewijzigde aanvoer.

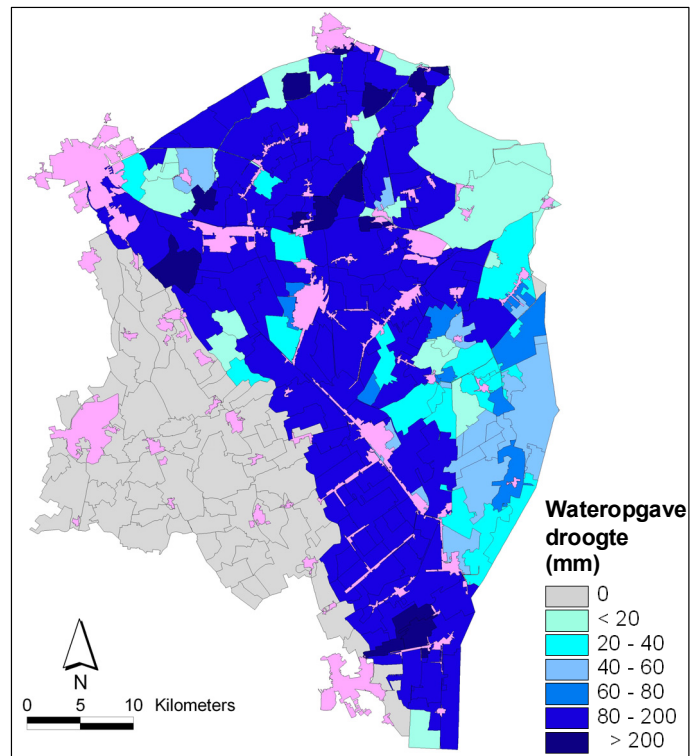


**Figuur 8. Additionele landbouwschade als gevolg van klimaatverandering (KNMI'06, W+) bij ongewijzigde aanvoer.**

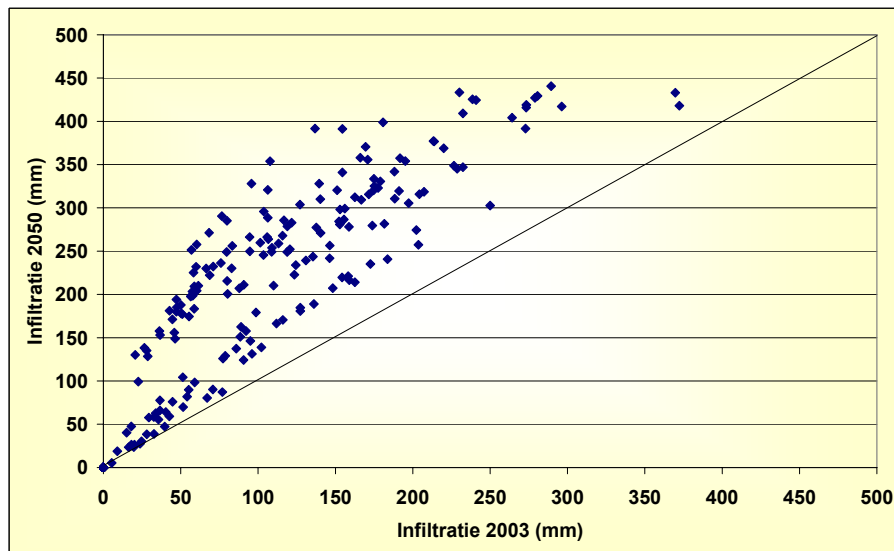


**Figuur 9. Wateropgave droogte voor het NBW-midden scenario.**





**Figuur 10. Wateropgave droogte voor het KNMI'06 W+ scenario.**



**Figuur 11. Vergelijk infiltratie per rekenenheid voor de twee scenario's.**

### 3.2 Invloed CO<sub>2</sub>

Er is verder nog één extra analyse uitgevoerd waarbij het CO<sub>2</sub> effect op gewasopbrengst is meegenomen zoals beschreven in het voorgaande hoofdstuk.

- Klimaatverandering 2050 W+ inclusief CO<sub>2</sub> effect, opbrengst gelijk aan 2003



Samenvattende resultaten voor deze analyse zijn te vinden in Tabel 5. Het is duidelijk dat de invloed van CO<sub>2</sub> groot is en dat de wateropgave droogte nihil lijkt te worden. Het is echter onwaarschijnlijk dat boeren de potentiële gewasopbrengst van 2003 als referentie zullen aanhouden in 2050, en op grond daarvan hun wateraanvoerbehoefte afstemmen. Het ligt dan ook voor de hand dat de berekende wateropgave droogte, zoals berekend zonder CO<sub>2</sub> effect, de werkelijke 2050 wateropgave goed benadert.

**Tabel 5. Samenvatting belangrijkste resultaten inclusief de invloed van CO<sub>2</sub>.**

	2003: Referentie	2050 (W+): aanvoer 2003	2050 (W+): opbrengst 2003	2050 (W+, CO <sub>2</sub> ): opbrengst 2003
Infiltratie (mm j <sup>-1</sup> )	85	85	165	88
Infiltratie (miljoen m <sup>3</sup> j <sup>-1</sup> )	173	173	336	179
Infiltratie (t.o.v. referentie, milj. m <sup>3</sup> j <sup>-1</sup> )	-	-	163	6
Schade (%)	13	22	17	21
Opbrengst (€ ha <sup>-1</sup> )	1835	1652	1749	1840
Opbrengst (t.o.v. referentie, € ha <sup>-1</sup> )	-	-183	-86 <sup>2</sup>	5 <sup>1</sup>

<sup>1)</sup> Zou nul moeten zijn, maar is door numerieke afronding ongelijk aan nul.

<sup>2)</sup> Zou nul moeten zijn, maar infiltratiecapaciteit is niet voldoende om nul te worden.



## 4 Opbrengstvoorspelling

### 4.1 Gevoeligheidsanalyse

De betrouwbaarheid van de resultaten van de analyses uit de voorgaande hoofdstukken hangt af van de nauwkeurigheid van de gegevens. Aangezien er vooral gekeken wordt naar de relatieve verschillen tussen referentie en scenario, zullen de resultaten een betrouwbaar beeld geven. De absolute nauwkeurigheid van de resultaten zal altijd wat lager zijn. Met name voor de reductie in gewasgroei zullen daarom afwijkingen met waarnemingen kunnen optreden.

Twee specifieke uitgangspunten van deze studie waren: een standaard gewas en homogene percelen. Om de absolute verschillen tussen waargenomen en gesimuleerde gewasreductie te verkleinen, is voor één representatieve SWAP kolom de volgende analyse uitgevoerd:

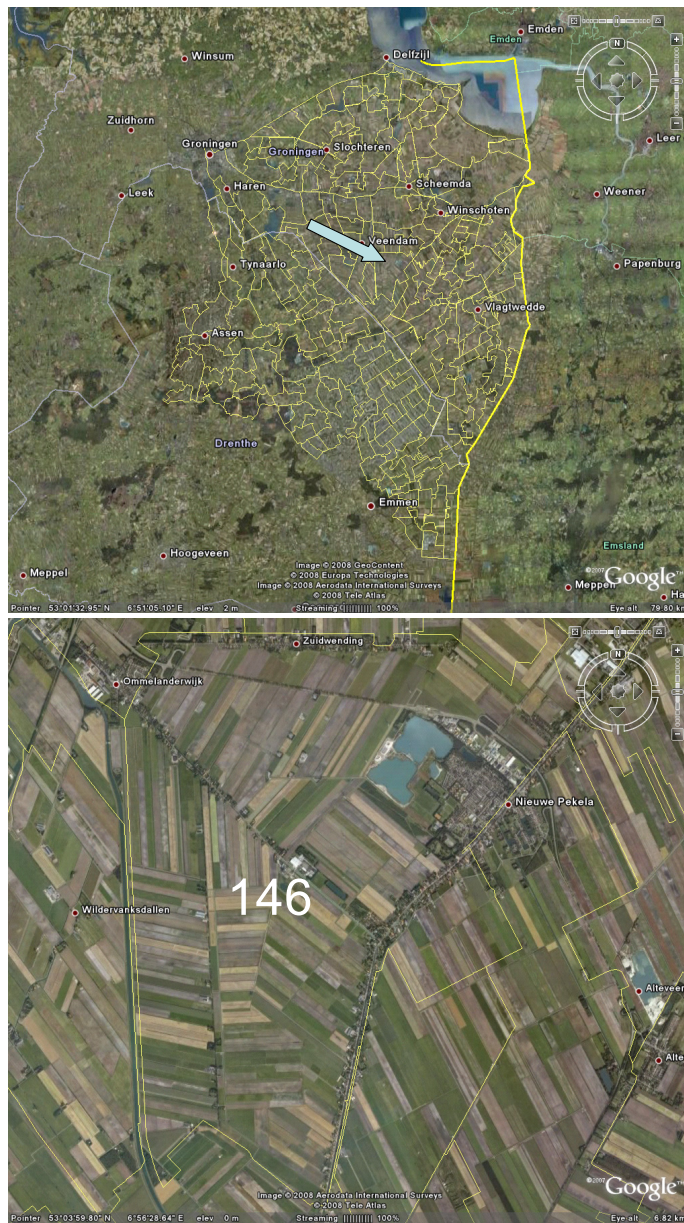
- gevoeligheid testen van wortelopname functies, door SWAP veelvuldig te runnen met verschillende wortelopname parameters
- gevoeligheid testen van de “yield response” KY (zie pagina 21)
- gevoeligheid testen van de afstand tot sloot voor wat betreft infiltratie
- gevoeligheid testen van de perceelshoogte ten opzicht van infiltratie peil

Op grond van deze gevoeligheidsanalyse is een kalibratie worden uitgevoerd, waarbij de waargenomen aardappelopbrengst voor 1994-2007 als referentie wordt gebruikt. Er is gekozen om hiervoor rekeneenheid 146 te kiezen (Figuur 12). Deze rekeneenheid kan gezien worden als representatief voor aardappelen in het beheersgebied van Hunze en Aa's. De analyses zijn uitgevoerd voor de jaren 1994 tot en met 2007.

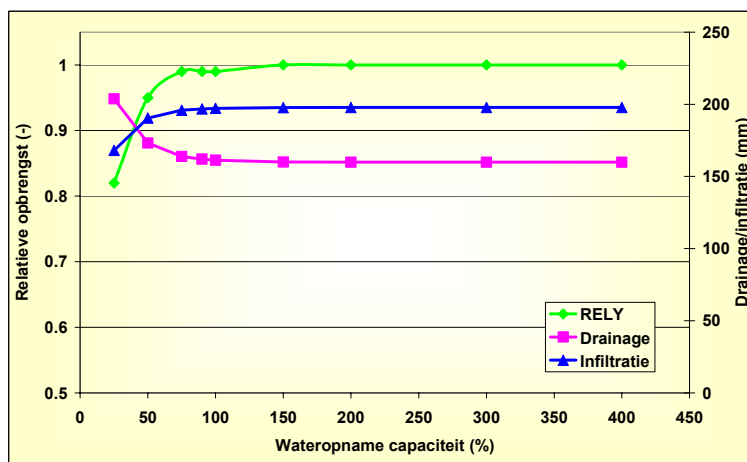
Samenvattend zijn de volgende resultaten uit de gevoeligheidsanalyse gekomen:

- Wateropname capaciteit wortels (Figuur 13)
  - Alleen bij relatief lage waarden van invloed op de relatieve opbrengst. Hierdoor neemt ook de infiltratie en de drainage af.
- Gewasgroefactor KY Figuur 14
  - Weinig gevoelig. Deze factor bepaalt de mate van invloed van droogte op de uiteindelijke gewasopbrengst. Aangezien de droogte stress amper optreedt, is deze factor minder van belang.
- Infiltratie weerstand (Figuur 15)
  - De infiltratieweerstand heeft een grote invloed op de infiltratie en daardoor op de drainage. Opmerkelijk genoeg is de invloed op de relatieve gewasopbrengst laag.
- Maaiveldhoogte (Figuur 16)
  - Indien er binnen een rekeneenheid grote verschillen bestaan in maaiveldhoogten zal dit enige invloed hebben op gewasopbrengst door een verminderde infiltratie.

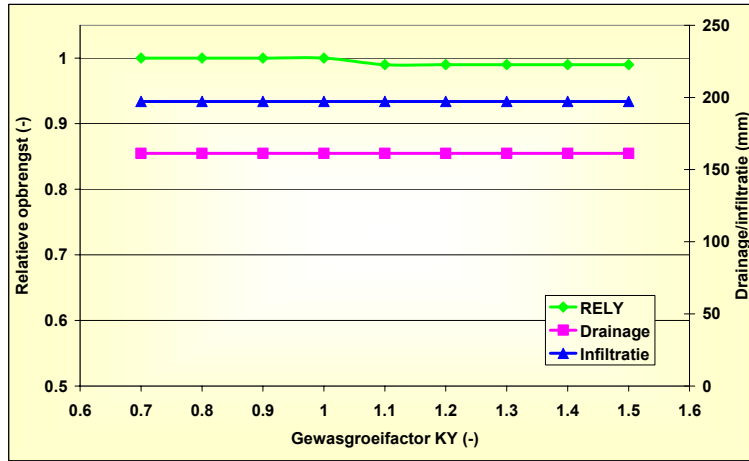




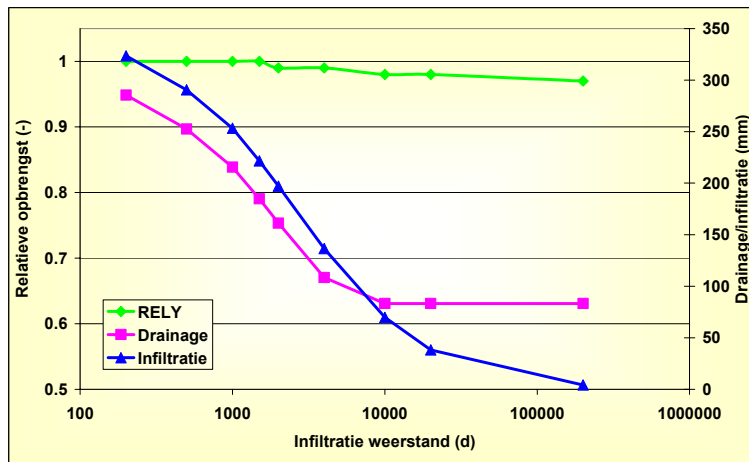
Figuur 12. Locatie van rekeneenheid 146 gebruikt voor de detail analyses.



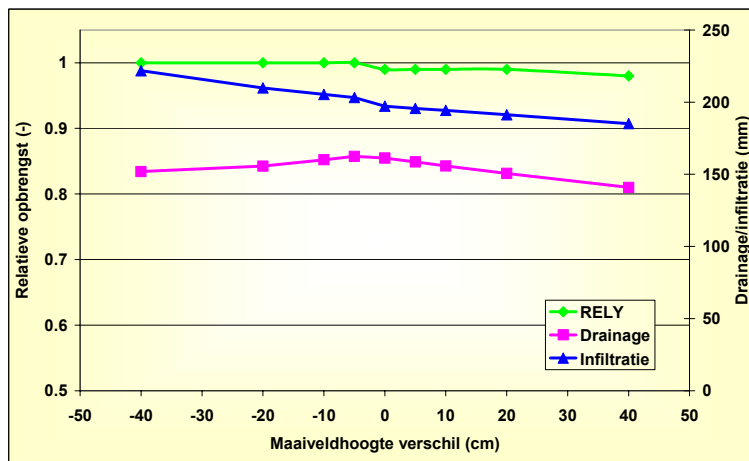
Figuur 13. Gevoeligheid wateropnamecapaciteit gewas.



Figuur 14. Gevoeligheid gewasgroefactor Ky.



Figuur 15. Gevoeligheid infiltratie weerstand.



Figuur 16. Gevoeligheid maaielddoogte.



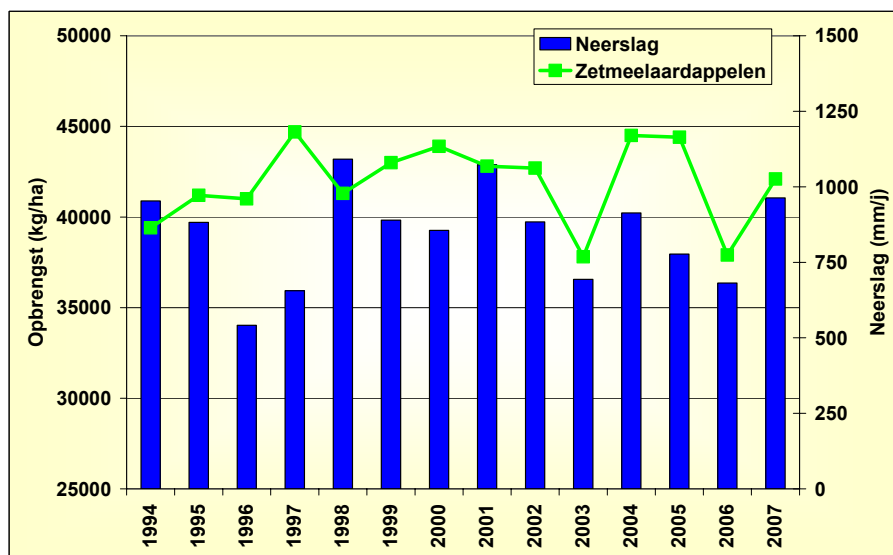
## 4.2 Kalibratie

Het CBS verzamelt gegevens van gewasopbrengsten per regio. In Figuur 17 zijn voor zetmeelaardappelen in Noord-Nederland de opbrengsten over de periode 1994 tot 2007 geplot. In de figuur is tevens de totale hoeveelheid jaarlijkse neerslag in Eelde geplot.

Met behulp van het SWAP model voor rekeneenheid 146 is gekeken in hoeverre deze opbrengsten kunnen worden gesimuleerd. 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 aanname 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:

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

met  $Y_{act}$  : actuele opbrengst ( $\text{kg ha}^{-1}$ )  
 $Y_{pot}$  : potentiële opbrengst ( $\text{kg ha}^{-1}$ )  
 $K_y$  : gevoeligheidsconstante (-)  
 $ET_{act}$  : actuele evapotranspiratie (mm)  
 $ET_{pot}$  : potentiële evapotranspiratie (mm)



**Figuur 17. Opbrengst zetmeelaardappelen in Noord-Nederland en neerslag. Bron: CBS.**

De gevoeligheidsanalyse uit de vorige paragraaf is gebruikt om het SWAP model te kalibreren. Gezien de uitgangspunten van deze studie is geen automatische kalibratie uitgevoerd, maar zijn handmatig twee parameters aangepast: wateropname capaciteit wortels (HLIM3 en HLIM4) en de infiltratieweerstand (RINF1). Na enkele iteratie was het mogelijk om de gemeten opbrengst veel beter te simuleren dan onder de referentie situatie (Figuur 18 en Figuur 19).



De referentie situatie (Figuur 18 ) was niet goed in staat om de gewasgroei te simuleren. Ten eerste komt dit doordat het model was opgezet voor droogte en eventuele natschade volledig was uitgeschakeld. Ook droogteschade (zie 2003) was beperkt, wat waarschijnlijk komt omdat voor deze specifieke rekeneenheid de bodemkaart aangeeft dat er een moerige bovengrond (zandig veen tot veen) op een veen ondergrond voorkomt, terwijl in werkelijkheid veel veen is geoxideerd.

Om een verdere verbetering van de modelsimulaties te maken, bleek het noodzakelijk om de gevoeligheid van wortels voor wateroverlast, de parameter HLIM1 en HLIM2, te verhogen. Het uiteindelijke resultaat is te zien in Figuur 20. Samenvattend is dit resultaat dus verkregen door drie aanpassingen in de oorspronkelijke gegevens: (i) lagere infiltratieweerstand, (ii) grotere droogtegevoeligheid en (iii) grotere natgevoeligheid. Het eerste punt zou kunnen duiden op een hogere indringingsweerstand bij de slootkant. Het tweede punt zou duiden op een foute inschatting van het bodemtype. Volgens de bodemkaart heeft het gebied een moerige bovengrond (zandig veen tot veen) en een veen ondergrond, terwijl in werkelijkheid veel veen is geoxideerd. Het derde punt zou kunnen duiden op storende lagen in de bodem.

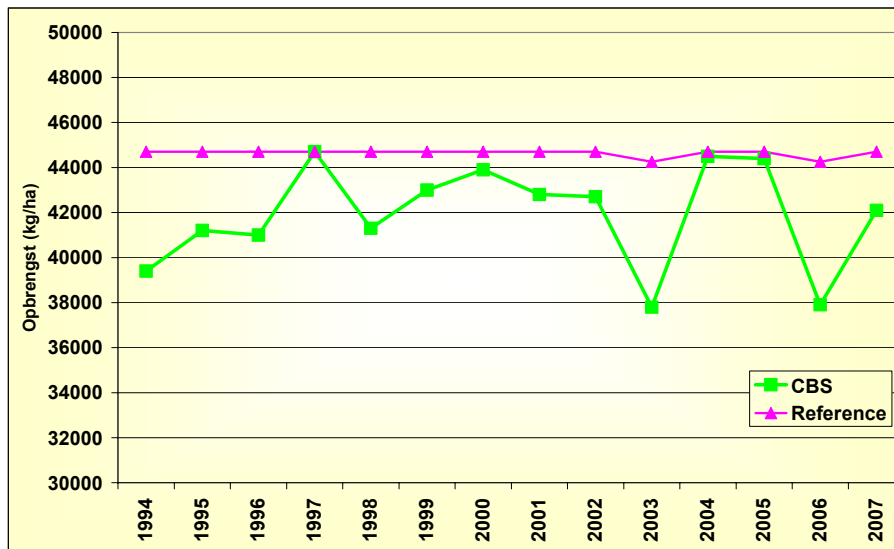
Op grond van Figuur 20 kan de conclusie worden getrokken dat het SWAP model met deze kalibratie goed in staat is om de gemiddelde productie van zetmeelaardappelen te simuleren. Zoals eerder aangegeven is gebruik gemaakt van een handmatige kalibratie; een automatisch kalibratie zou een nog betere fit kunnen geven. Ook zou het gebruik van de geavanceerde gewasgroei module WOFOST een verdere verbetering kunnen laten zien, maar gezien de grote hoeveelheid invoergegevens die hiervoor nodig zijn, is dit onder de huidige studie niet uitgevoerd.

Op grond van de uitgevoerde kalibratie is het interessant om te kijken of de wateropgave droogte zonder deze kalibratie veel afwijkt van de wateropgave na kalibratie. De wateropgave droogte voor rekeneenheid 146 bedraagt zonder kalibratie 108 mm. Nadat de kalibratie is uitgevoerd bedraagt de wateropgave droogte 132 mm. Details zijn weergegeven in Tabel 6. Het is duidelijk dat voor deze rekeneenheid de kalibratie veel invloed heeft op de infiltratie zelf, maar dat het effect op de wateropgave veel geringer is. Dit komt doordat de onnauwkeurigheden in de gegevens van het oorspronkelijke (ongekalibreerde) model zowel in de 2003 als in de 2050 analyses zitten. Met andere woorden: de relatieve nauwkeurigheid van het model en de gegevens is groter dan de absolute nauwkeurigheid (zie ook Droogers et al., 2008).

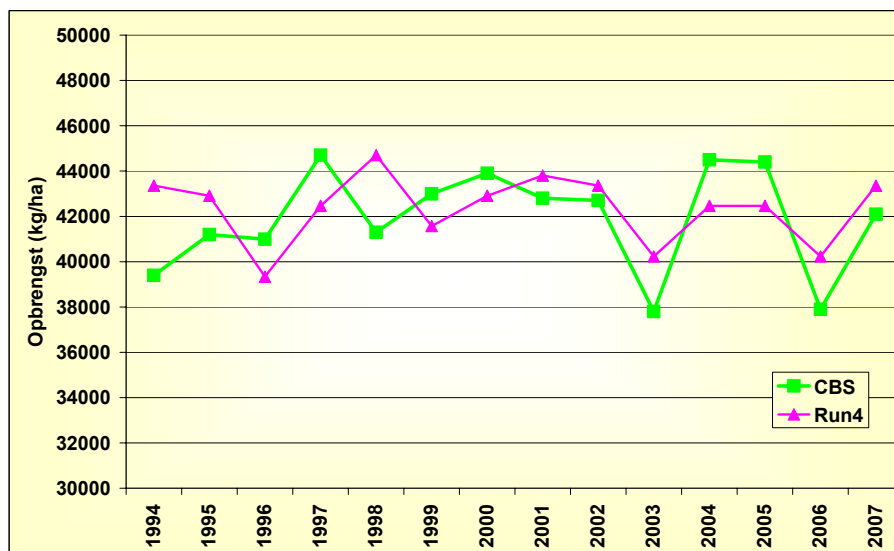
**Tabel 6. Invloed kalibratie op wateropgave droogte.**

	2003	2050 W+	Wateropgave (mm)
Infiltratie zonder kalibratie (mm)	197	305	108
Infiltratie na kalibratie (mm)	47	179	132





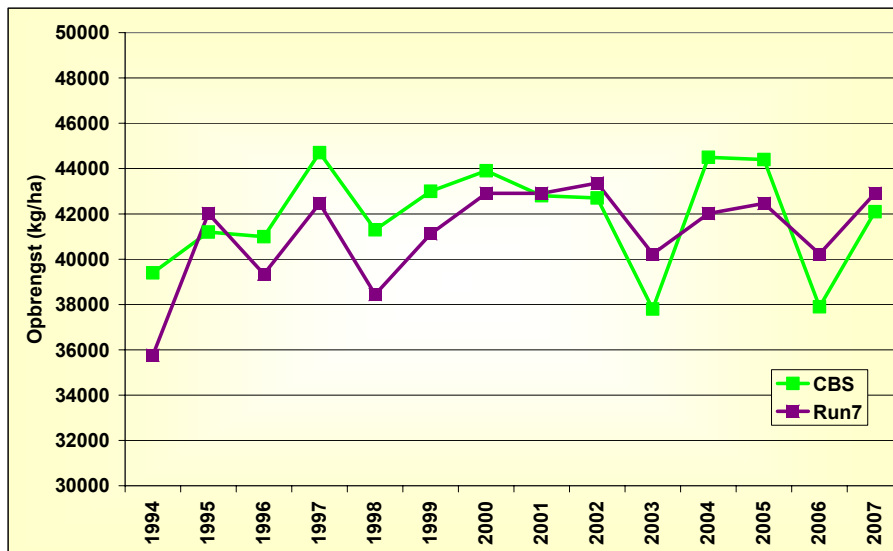
Figuur 18. Gemeten (CBS) en berekende aardappelopbrengst zonder kalibratie (Reference).



Figuur 19. Gemeten (CBS) en berekende aardappelopbrengst (Run4).







Figuur 20. Gemeten (CBS) en berekende aardappelopbrengst (Run7).



## 5 Conclusies

Deze studie bouwt voort op twee eerdere studies uitgevoerd in 2005 waarbij met behulp van het FutureView modelleninstrumentarium de invloed van klimaatverandering op droogte is vastgesteld per deelgebied:

- Oostelijke deel van het beheersgebied van het Waterschap Hunze en Aa's:
  - Ter Apelersluis, Vennix Westerwoldse Aa
- Midden en westelijk deel van het beheersgebied van het Waterschap Hunze en Aa's:
  - Drentse Aa, Duurswold, Hunze, Oldambt, Veenkoloniën, Veenkoloniën Zuid

Dezelfde aanpak, modellen en gegevens zijn gebruikt om de analyses te herhalen voor het KNMI'06 W+ scenario. De belangrijkste conclusies zijn:

- Er is een zeer groot verschil tussen het NBW middenscenario en het KNMI'06 W+ scenario voor wat betreft de invloed op wateraanvoerbehoefte.
- De wateropgave droogte neemt toe van 30 miljoen m<sup>3</sup> per jaar (NBW) tot 163 miljoen m<sup>3</sup> per jaar (W+).
- De infiltratiecapaciteit van de bodem is voor het extremere KNMI'06 W+ scenario voor een aantal gebieden niet voldoende om aan de toegenomen watervraag te voldoen. Mogelijke oplossingen hiervoor zijn:
  - accepteren van grotere schade in de toekomst
  - overstappen op beregening uit grondwater
  - andere gewassen of variëteiten
  - kleinere slootafstanden
- Een gedeelte van het geïnfiltreerde water zal de wortels niet bereiken en zal, met name in de wegzijgingsgebieden, het grondwater aanvullen. Het verder onderzoeken naar de mogelijkheden van beregening (uit grondwater) is aan te bevelen.
- Het SWAP models zoals gebruikt binnen FutureView is, na enige kalibratie, in staat om waargenomen aardappelogsten te simuleren.



## 6 Literatuur

- Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change” in Tempe, Arizona, USA (<http://www.co2science.org/>)
- Doomen, Annette & Jan-Philip Witte. 2004. Invloed van CO<sub>2</sub> -toename op verdamping en groei van planten. Een literatuuronderzoek voor de Droogtestudie Nederland. KIWA rapport.
- Droogers, P., W.W. Immerzeel. 2005. Wateropgave droogte Waterschap Hunze en Aa's: Westerwolde. Report “No Regret”, InterReg North Sea Region Programme.
- Droogers, P., W.W. Immerzeel, R. Loeve. 2005. Wateropgave droogte Waterschap Hunze en Aa's: West en Midden. Report “No Regret”, InterReg North Sea Region Programme.
- Droogers, P., A. Van Loon, W. Immerzeel. 2008. Quantifying the impact of model inaccuracy in climate change impact assessment studies using an agro-hydrological model. *Hydrology and Earth System Sciences* 12: 1-10
- Hay R.K.M. 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of applied biology*. Vol. 126, no1, pp. 197-216.
- Witte, J.P., Kruijt, B., Kroon, T. 2006. Verdamping planten vermindert door toename atmosferische kooldioxide. *H<sub>2</sub>O*, tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling 39(2006)5: 27 – 29.
- Witte, J.P., B. Kruijt en C. Maas. Wordt Nederland natter? Effecten van CO<sub>2</sub> op verdamping. Rapport KIWA: KWR 05.042.
- Zandstra. H. 2008. The Potato, Treasure of the Andes: from agriculture to culture. CIP International Potato Center.



# Bijlagen: Gedetailleerde resultaten per watersysteem

Tabel 7. Resultaten FutureView: 2003 referentie (in mm).

	Neerslag	Verdamping actueel	Verdamping tekort	Infiltratie	Schade	Opbrengst
	mm	mm	mm	mm	%	EUR/ha
<b>Jaar</b>						
Drentse Aa	693	452	224	0	15	796
Duurswold	693	475	198	71	7	1406
Hunze	693	489	193	89	10	1577
Oldambt	693	427	230	73	10	1416
Veenkoloniën Zuid <sup>1</sup>	693	514	187	129	11	2366
Veenkoloniën	693	520	161	151	4	2417
Ter Apelersluis	693	480	142	114	17	2696
Vennix	693	516	106	158	16	2985
Westerwoldse aa	693	439	187	34	24	2318
<i>Gemiddeld</i>	<i>693</i>	<i>479</i>	<i>188</i>	<i>85</i>	<i>13</i>	<i>1835</i>
<b>Zomer</b>						
Drentse Aa	348	373	191	0		
Duurswold	348	403	159	68		
Hunze	348	428	143	82		
Oldambt	348	379	168	72		
Veenkoloniën Zuid	348	477	112	121		
Veenkoloniën	348	487	84	148		
Ter Apelersluis	348	412	99	99		
Vennix	348	448	63	151		
Westerwoldse aa	348	372	144	32		
<i>Gemiddeld</i>	<i>348</i>	<i>420</i>	<i>135</i>	<i>81</i>		
<b>juli-aug</b>						
Drentse Aa	78	115	109	0		
Duurswold	78	150	72	28		
Hunze	78	156	69	35		
Oldambt	78	141	74	33		
Veenkoloniën Zuid	78	180	53	51		
Veenkoloniën	78	199	26	66		
Ter Apelersluis	78	132	70	46		
Vennix	78	165	37	73		
Westerwoldse aa	78	111	93	17		
<i>Gemiddeld</i>	<i>78</i>	<i>151</i>	<i>68</i>	<i>36</i>		

<sup>1</sup> In de 2005 studie werd "Veenkoloniën Zuid" aangeduid met "Westerwolde".



Tabel 8. Resultaten FutureView: 2003 referentie (in m<sup>3</sup>).

	Neerslag	Verdamping actueel	Verdamping tekort	Infiltratie	Schade	Opbrengst
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%	EUR
<b>Jaar</b>						
Drentse Aa	207,000,000	135,000,000	67,000,000	0	15	24,000,000
Duurswold	152,000,000	104,000,000	44,000,000	15,000,000	7	31,000,000
Hunze	280,000,000	198,000,000	78,000,000	36,000,000	10	64,000,000
Oldambt	141,000,000	87,000,000	47,000,000	15,000,000	10	29,000,000
Veenkoloniën Zuid	87,000,000	65,000,000	23,000,000	16,000,000	11	30,000,000
Veenkoloniën	245,000,000	184,000,000	57,000,000	54,000,000	4	85,000,000
Ter Apeliersluis	106,000,000	73,000,000	22,000,000	17,000,000	17	41,000,000
Vennix	61,000,000	45,000,000	9,000,000	14,000,000	16	26,000,000
Westerwoldse aa	127,000,000	81,000,000	34,000,000	6,000,000	24	43,000,000
<i>Totaal</i>	<i>1,407,000,000</i>	<i>971,000,000</i>	<i>381,000,000</i>	<i>173,000,000</i>	<i>13</i>	<i>372,000,000</i>
<b>Zomer</b>						
Drentse Aa	104,000,000	111,000,000	57,000,000	0		
Duurswold	76,000,000	88,000,000	35,000,000	15,000,000		
Hunze	141,000,000	173,000,000	58,000,000	33,000,000		
Oldambt	71,000,000	77,000,000	34,000,000	15,000,000		
Veenkoloniën Zuid	44,000,000	60,000,000	14,000,000	15,000,000		
Veenkoloniën	123,000,000	172,000,000	30,000,000	52,000,000		
Ter Apeliersluis	53,000,000	63,000,000	15,000,000	15,000,000		
Vennix	31,000,000	39,000,000	6,000,000	13,000,000		
Westerwoldse aa	64,000,000	68,000,000	26,000,000	6,000,000		
<i>Totaal</i>	<i>707,000,000</i>	<i>852,000,000</i>	<i>275,000,000</i>	<i>164,000,000</i>		
<b>juli-aug</b>						
Drentse Aa	23,000,000	34,000,000	32,000,000	0		
Duurswold	17,000,000	33,000,000	16,000,000	6,000,000		
Hunze	32,000,000	63,000,000	28,000,000	14,000,000		
Oldambt	16,000,000	29,000,000	15,000,000	7,000,000		
Veenkoloniën Zuid	10,000,000	23,000,000	7,000,000	6,000,000		
Veenkoloniën	28,000,000	70,000,000	9,000,000	23,000,000		
Ter Apeliersluis	12,000,000	20,000,000	11,000,000	7,000,000		
Vennix	7,000,000	15,000,000	3,000,000	6,000,000		
Westerwoldse aa	14,000,000	20,000,000	17,000,000	3,000,000		
<i>Totaal</i>	<i>159,000,000</i>	<i>307,000,000</i>	<i>138,000,000</i>	<i>73,000,000</i>		

Tabel 9. Resultaten FutureView: 2050 (W+) wateraanvoer gelijk aan 2003 (in mm).

	Neerslag	Verdamping actueel	Verdamping tekort	Infiltratie	Schade	Opbrengst
	mm	mm	mm	mm	%	EUR/ha
<b>Jaar</b>						
Drentse Aa	716	457	311	0	25	707
Duurswold	716	497	267	71	15	1290
Hunze	716	516	260	88	16	1469
Oldambt	716	438	307	72	19	1268
Veenkoloniën Zuid	716	533	265	128	21	2105
Veenkoloniën	716	564	212	151	10	2287
Ter Apeliersluis	716	477	232	114	30	2282
Vennix	716	541	168	162	28	2693
Westerwoldse aa	716	431	281	34	36	1896
<i>Gemiddeld</i>	<i>716</i>	<i>497</i>	<i>261</i>	<i>85</i>	<i>22</i>	<i>1652</i>
<b>Zomer</b>						
Drentse Aa	316	373	277	0		
Duurswold	316	420	226	67		
Hunze	316	451	207	80		
Oldambt	316	386	242	72		
Veenkoloniën Zuid	316	494	187	119		
Veenkoloniën	316	529	130	143		
Ter Apeliersluis	316	406	186	96		
Vennix	316	470	122	139		
Westerwoldse aa	316	361	235	32		
<i>Gemiddeld</i>	<i>316</i>	<i>435</i>	<i>206</i>	<i>79</i>		
<b>juli-aug</b>						
Drentse Aa	57	97	167	0		
Duurswold	57	144	118	28		
Hunze	57	154	114	34		
Oldambt	57	128	126	33		
Veenkoloniën Zuid	57	167	110	51		
Veenkoloniën	57	209	59	64		
Ter Apeliersluis	57	109	132	44		
Vennix	57	163	78	64		
Westerwoldse aa	57	90	153	16		
<i>Gemiddeld</i>	<i>57</i>	<i>143</i>	<i>117</i>	<i>35</i>		

Tabel 10. Resultaten FutureView: 2050 (W+) wateraanvoer gelijk aan 2003 (in m<sup>3</sup>).

	Neerslag m <sup>3</sup>	Verdamping actueel m <sup>3</sup>	Verdamping tekort m <sup>3</sup>	Infiltratie m <sup>3</sup>	Schade	Opbrengst EUR
<b>Jaar</b>						
Drentse Aa	214,000,000	136,000,000	93,000,000	0	25	21,000,000
Duurswold	157,000,000	109,000,000	59,000,000	16,000,000	15	28,000,000
Hunze	289,000,000	209,000,000	105,000,000	36,000,000	16	59,000,000
Oldambt	146,000,000	89,000,000	62,000,000	15,000,000	19	26,000,000
Veenkoloniën Zuid	90,000,000	67,000,000	33,000,000	16,000,000	21	26,000,000
Veenkoloniën	253,000,000	199,000,000	75,000,000	53,000,000	10	81,000,000
Ter Apeliersluis	109,000,000	73,000,000	35,000,000	17,000,000	30	35,000,000
Vennix	63,000,000	48,000,000	15,000,000	14,000,000	28	24,000,000
Westerwoldse aa	131,000,000	79,000,000	52,000,000	6,000,000	36	35,000,000
<i>Totaal</i>	<i>1,452,000,000</i>	<i>1,009,000,000</i>	<i>529,000,000</i>	<i>173,000,000</i>	<i>22</i>	<i>335,000,000</i>
<b>Zomer</b>						
Drentse Aa	94,000,000	111,000,000	83,000,000	0		
Duurswold	69,000,000	92,000,000	50,000,000	15,000,000		
Hunze	128,000,000	182,000,000	84,000,000	32,000,000		
Oldambt	64,000,000	79,000,000	49,000,000	15,000,000		
Veenkoloniën Zuid	40,000,000	62,000,000	24,000,000	15,000,000		
Veenkoloniën	112,000,000	187,000,000	46,000,000	51,000,000		
Ter Apeliersluis	48,000,000	62,000,000	28,000,000	15,000,000		
Vennix	28,000,000	41,000,000	11,000,000	12,000,000		
Westerwoldse aa	58,000,000	66,000,000	43,000,000	6,000,000		
<i>Totaal</i>	<i>641,000,000</i>	<i>883,000,000</i>	<i>417,000,000</i>	<i>160,000,000</i>		
<b>juli-aug</b>						
Drentse Aa	17,000,000	29,000,000	50,000,000	0		
Duurswold	13,000,000	32,000,000	26,000,000	6,000,000		
Hunze	23,000,000	62,000,000	46,000,000	14,000,000		
Oldambt	12,000,000	26,000,000	26,000,000	7,000,000		
Veenkoloniën Zuid	7,000,000	21,000,000	14,000,000	6,000,000		
Veenkoloniën	20,000,000	74,000,000	21,000,000	23,000,000		
Ter Apeliersluis	9,000,000	17,000,000	20,000,000	7,000,000		
Vennix	5,000,000	14,000,000	7,000,000	6,000,000		
Westerwoldse aa	11,000,000	16,000,000	28,000,000	3,000,000		
<i>Totaal</i>	<i>116,000,000</i>	<i>291,000,000</i>	<i>238,000,000</i>	<i>71,000,000</i>		

**Tabel 11. Resultaten FutureView: 2050 (W+) opbrengst gelijk aan 2003 (in mm). Dit is de wateropgave droogte.**

	Neerslag	Verdamping actueel	Verdamping tekort	Infiltratie	Schade	Opbrengst
	mm	mm	mm	mm	%	EUR/ha
<b>Jaar</b>						
Drentse Aa	716	457	311	0	25	707
Duurswold	716	530	233	194	7	1414
Hunze	716	530	246	157	14	1502
Oldambt	716	489	256	217	7	1467
Veenkoloniën Zuid	716	583	215	261	11	2382
Veenkoloniën	716	590	186	276	4	2414
Ter Apeliersluis	716	496	213	163	26	2407
Vennix	716	557	152	231	23	2809
Westerwoldse aa	716	438	275	55	34	1937
<i>Gemiddeld</i>	<i>716</i>	<i>519</i>	<i>239</i>	<i>165</i>	<i>17</i>	<i>1749</i>
<b>Zomer</b>						
Drentse Aa	316	373	277	0		
Duurswold	316	453	192	193		
Hunze	316	465	193	153		
Oldambt	316	438	191	216		
Veenkoloniën Zuid	316	544	137	258		
Veenkoloniën	316	554	105	274		
Ter Apeliersluis	316	425	167	154		
Vennix	316	486	106	227		
Westerwoldse aa	316	367	228	54		
<i>Gemiddeld</i>	<i>316</i>	<i>457</i>	<i>184</i>	<i>163</i>		
<b>juli-aug</b>						
Drentse Aa	57	97	167	0		
Duurswold	57	174	88	89		
Hunze	57	166	101	70		
Oldambt	57	177	78	110		
Veenkoloniën Zuid	57	211	66	118		
Veenkoloniën	57	233	35	131		
Ter Apeliersluis	57	124	118	73		
Vennix	57	176	66	121		
Westerwoldse aa	57	94	149	27		
<i>Gemiddeld</i>	<i>57</i>	<i>163</i>	<i>98</i>	<i>78</i>		



**Tabel 12. Resultaten FutureView: 2050 (W+) opbrengst gelijk aan 2003 (in m<sup>3</sup>). Dit is de wateropgave droogte.**

	Neerslag m <sup>3</sup>	Verdamping actueel m <sup>3</sup>	Verdamping tekort m <sup>3</sup>	Infiltratie m <sup>3</sup>	Schade	Opbrengst EUR
<b>Jaar</b>						
Drentse Aa	214,000,000	136,000,000	93,000,000	0	25	21,000,000
Duurswold	157,000,000	116,000,000	51,000,000	43,000,000	7	31,000,000
Hunze	289,000,000	214,000,000	100,000,000	63,000,000	14	61,000,000
Oldambt	146,000,000	100,000,000	52,000,000	44,000,000	7	30,000,000
Veenkoloniën Zuid	90,000,000	73,000,000	27,000,000	33,000,000	11	30,000,000
Veenkoloniën	253,000,000	209,000,000	66,000,000	98,000,000	4	85,000,000
Ter Apeliersluis	109,000,000	76,000,000	33,000,000	25,000,000	26	37,000,000
Vennix	63,000,000	49,000,000	13,000,000	20,000,000	23	25,000,000
Westerwoldse aa	131,000,000	80,000,000	50,000,000	10,000,000	34	36,000,000
<i>Totaal</i>	<i>1,452,000,000</i>	<i>1,053,000,000</i>	<i>485,000,000</i>	<i>336,000,000</i>	<i>17</i>	<i>355,000,000</i>
<b>Zomer</b>						
Drentse Aa	94,000,000	111,000,000	83,000,000	0		
Duurswold	69,000,000	100,000,000	42,000,000	42,000,000		
Hunze	128,000,000	188,000,000	78,000,000	62,000,000		
Oldambt	64,000,000	89,000,000	39,000,000	44,000,000		
Veenkoloniën Zuid	40,000,000	68,000,000	17,000,000	32,000,000		
Veenkoloniën	112,000,000	196,000,000	37,000,000	97,000,000		
Ter Apeliersluis	48,000,000	65,000,000	25,000,000	23,000,000		
Vennix	28,000,000	43,000,000	9,000,000	20,000,000		
Westerwoldse aa	58,000,000	67,000,000	42,000,000	10,000,000		
<i>Totaal</i>	<i>641,000,000</i>	<i>927,000,000</i>	<i>373,000,000</i>	<i>331,000,000</i>		
<b>juli-aug</b>						
Drentse Aa	17,000,000	29,000,000	50,000,000	0		
Duurswold	13,000,000	38,000,000	19,000,000	20,000,000		
Hunze	23,000,000	67,000,000	41,000,000	28,000,000		
Oldambt	12,000,000	36,000,000	16,000,000	22,000,000		
Veenkoloniën Zuid	7,000,000	26,000,000	8,000,000	15,000,000		
Veenkoloniën	20,000,000	82,000,000	13,000,000	46,000,000		
Ter Apeliersluis	9,000,000	19,000,000	18,000,000	11,000,000		
Vennix	5,000,000	15,000,000	6,000,000	11,000,000		
Westerwoldse aa	11,000,000	17,000,000	27,000,000	5,000,000		
<i>Totaal</i>	<i>116,000,000</i>	<i>331,000,000</i>	<i>198,000,000</i>	<i>158,000,000</i>		

**Tabel 13. Resultaten FutureView: 2050 (W+, inclusief CO<sub>2</sub> invloed) opbrengst gelijk aan 2003 (in mm). Dit is de wateropgave droogte.**

	Neerslag	Verdamping actueel	Verdamping tekort	Infiltratie	Schade	Opbrengst
	mm	mm	mm	mm	%	EUR/ha
<b>Jaar</b>						
Drentse Aa	716	457	311	0	25	778
Duurswold	716	500	263	81	14	1438
Hunze	716	515	261	74	16	1607
Oldambt	716	449	296	103	16	1441
Veenkoloniën Zuid	716	542	256	148	19	2380
Veenkoloniën	716	562	214	120	10	2500
Ter Apelersluis	716	495	214	162	26	2642
Vennix	716	548	161	165	24	3029
Westerwoldse aa	716	438	275	55	34	2130
<i>Gemiddeld</i>	<i>716</i>	<i>501</i>	<i>257</i>	<i>88</i>	<i>21</i>	<i>1840</i>
<b>Zomer</b>						
Drentse Aa	316	373	277	0		
Duurswold	316	423	222	77		
Hunze	316	450	208	67		
Oldambt	316	397	231	103		
Veenkoloniën Zuid	316	503	178	139		
Veenkoloniën	316	526	133	112		
Ter Apelersluis	316	425	168	152		
Vennix	316	477	115	139		
Westerwoldse aa	316	367	228	53		
<i>Gemiddeld</i>	<i>316</i>	<i>439</i>	<i>202</i>	<i>82</i>		
<b>juli-aug</b>						
Drentse Aa	57	97	167	0		
Duurswold	57	147	115	34		
Hunze	57	152	115	29		
Oldambt	57	138	117	49		
Veenkoloniën Zuid	57	174	102	59		
Veenkoloniën	57	207	61	50		
Ter Apelersluis	57	123	118	72		
Vennix	57	168	74	64		
Westerwoldse aa	57	94	149	27		
<i>Gemiddeld</i>	<i>57</i>	<i>146</i>	<i>114</i>	<i>37</i>		

**Tabel 14. Resultaten FutureView: 2050 (W+, inclusief CO<sub>2</sub> invloed) opbrengst gelijk aan 2003 (in m<sup>3</sup>). Dit is de wateropgave droogte.**

	Neerslag m <sup>3</sup>	Verdamping actueel m <sup>3</sup>	Verdamping tekort m <sup>3</sup>	Infiltratie m <sup>3</sup>	Schade	Opbrengst EUR
<b>Jaar</b>						
Drentse Aa	214,000,000	136,000,000	93,000,000	0	25	23,000,000
Duurswold	157,000,000	110,000,000	58,000,000	18,000,000	14	32,000,000
Hunze	289,000,000	208,000,000	106,000,000	30,000,000	16	65,000,000
Oldambt	146,000,000	91,000,000	60,000,000	21,000,000	16	29,000,000
Veenkoloniën Zuid	90,000,000	68,000,000	32,000,000	19,000,000	19	30,000,000
Veenkoloniën	253,000,000	199,000,000	76,000,000	42,000,000	10	88,000,000
Ter Apeliersluis	109,000,000	75,000,000	33,000,000	25,000,000	26	40,000,000
Vennix	63,000,000	48,000,000	14,000,000	14,000,000	24	27,000,000
Westerwoldse aa	131,000,000	80,000,000	50,000,000	10,000,000	34	39,000,000
<i>Totaal</i>	<i>1,452,000,000</i>	<i>1,017,000,000</i>	<i>522,000,000</i>	<i>179,000,000</i>	<i>21</i>	<i>373,000,000</i>
<b>Zomer</b>						
Drentse Aa	94,000,000	111,000,000	83,000,000	0		
Duurswold	69,000,000	93,000,000	49,000,000	17,000,000		
Hunze	128,000,000	182,000,000	84,000,000	27,000,000		
Oldambt	64,000,000	81,000,000	47,000,000	21,000,000		
Veenkoloniën Zuid	40,000,000	63,000,000	22,000,000	17,000,000		
Veenkoloniën	112,000,000	186,000,000	47,000,000	40,000,000		
Ter Apeliersluis	48,000,000	65,000,000	26,000,000	23,000,000		
Vennix	28,000,000	42,000,000	10,000,000	12,000,000		
Westerwoldse aa	58,000,000	67,000,000	42,000,000	10,000,000		
<i>Totaal</i>	<i>641,000,000</i>	<i>890,000,000</i>	<i>410,000,000</i>	<i>167,000,000</i>		
<b>juli-aug</b>						
Drentse Aa	17,000,000	29,000,000	50,000,000	0		
Duurswold	13,000,000	32,000,000	25,000,000	7,000,000		
Hunze	23,000,000	62,000,000	47,000,000	12,000,000		
Oldambt	12,000,000	28,000,000	24,000,000	10,000,000		
Veenkoloniën Zuid	7,000,000	22,000,000	13,000,000	7,000,000		
Veenkoloniën	20,000,000	73,000,000	22,000,000	18,000,000		
Ter Apeliersluis	9,000,000	19,000,000	18,000,000	11,000,000		
Vennix	5,000,000	15,000,000	6,000,000	6,000,000		
Westerwoldse aa	11,000,000	17,000,000	27,000,000	5,000,000		
<i>Totaal</i>	<i>116,000,000</i>	<i>297,000,000</i>	<i>232,000,000</i>	<i>76,000,000</i>		