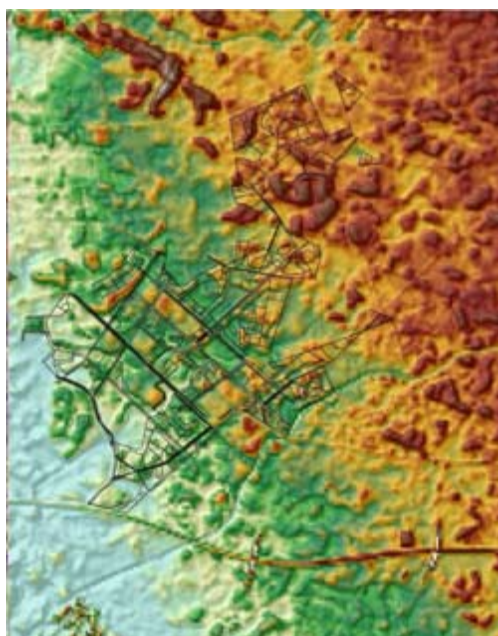


# Klimaatverandering en bossen: Modelanalyse voor landgoed Slangenburg

Peter Droogers  
Walter Immerzeel  
Henny Schoonderwoerd

FutureWater Rapport: 68



**Silve**

Ruimte voor Geo-Informatie





# Klimaatverandering en bossen: Modelanalyse voor landgoed Slangenburg

Peter Droogers (FutureWater)  
Walter Immerzeel (FutureWater)  
Henny Schoonderwoerd (Silve)

FutureWater Rapport: 68



Dit project werd deels gefinancierd door het BSIK programma "Ruimte voor Geo-Informatie", contract RGI-106 "GeoBos: Geospreiding gevoeligheid bossen voor klimaatverandering".

*FutureWater  
Costerweg 1G  
6702 AA Wageningen  
tel: 0317 460050  
email: [info@futurewater.nl](mailto:info@futurewater.nl)  
web: [www.futurewater.nl/geobos](http://www.futurewater.nl/geobos)*

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
1.1	Relevantie	5
1.2	Landgoed Slangenburg	5
<b>2</b>	<b>RUIMTELIJK MODEL SWAT</b>	<b>9</b>
2.1	Achtergrond SWAT	9
2.2	Invoergegevens	9
2.2.1	Hoogte	9
2.2.2	Landgebruik	12
2.2.3	Bodem	14
2.2.4	HRU	15
2.2.5	Meteorologische gegevens	16
<b>3</b>	<b>RESULTATEN REFERENTIE SITUATIE</b>	<b>17</b>
3.1	Introductie	17
3.2	Vegetatieontwikkeling	17
3.3	Afvoer	20
3.4	Waterbalansen	22
3.5	Ruimtelijke spreiding	23
<b>4</b>	<b>KLIMAATVERANDERING</b>	<b>27</b>
4.1	Achtergrond	27
4.2	WB21 scenario's	28
4.3	KNMI'06 scenario's	29
<b>5</b>	<b>INVLOED KLIMAATVERANDERING</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIES</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>36</b>
	<b>APPENDIX 1. LANDGEBRUIK CONVERSIE</b>	<b>37</b>
	<b>APPENDIX 2: BODEM-WATERBALANSEN IN SWAT</b>	<b>38</b>

Tabel 1. Landgebruik en enkele belangrijke eigenschappen.....	12
Tabel 2. Conversie tabel van kwalitatieve bodembeschrijving naar kwantitatieve eigenschappen. ....	14
Tabel 3. Invloed van drempelwaarden voor landgebruik en bodem op het aantal HRUs. ....	15
Tabel 4. Belangrijkste parameters die vegetatieontwikkeling bepalen. ....	18
Tabel 5. Parameterwaarden gebruikt voor de kalibratie. ....	18
Tabel 6. Waterbalans voor het gehele gebied. Alles in mm per jaar. ....	22
Tabel 7. Waterbalans per landgebruik. Alles in mm per jaar, gemiddeld over 1995-2004. ....	23
Tabel 8. Vergelijk tussen WB21 en KNMI'06 klimaatscenario's voor 2050. ....	29
Tabel 9. Invloed van klimaatverandering op waterbalans voor het gehele gebied. Alles in mm per jaar. ....	31
Tabel 10. Invloed van klimaatverandering per landgebruik. Waarden geven het verschil aan ten opzichte van de referentiesituatie. Alles in mm per jaar, gemiddeld over 1995-2004. ....	33
Figuur 1: Luchtfoto van Landgoed Slangenburg.....	6
Figuur 2: Locatie van Landgoed Slangenburg bij Doetinchem. (bron: Google Maps).....	6
Figuur 3. Landgoed Slangenburg. (bron: Google Earth).....	7
Figuur 4: Oppervlakteverdeling substroomgebieden.....	10
Figuur 5: Stroomgebied, substroomgebieden en locatie landgoed.....	10
Figuur 6. Detaillering van de substroomgebieden bij Slangenburg.....	11
Figuur 7: Hoogteverdeling binnen het stroomgebied.....	11
Figuur 8: Hoogteligging.....	11
Figuur 9: Landgebruikskaart.....	12
Figuur 10: Bostypen binnen legger vlakken.....	13
Figuur 11. Landgebruikstypen in SWAT interface.....	13
Figuur 12. Bodemkaart 1:50.000.....	15
Figuur 13. Jaarlijkse neerslag voor meteostation Twenthe.....	16
Figuur 14. Belangrijkste parameters voor het sturen van de vegetatieontwikkeling.....	18
Figuur 15. Kalibratie van LAI en biomassa. Voorbeeld van 2000, HRU 171, Douglas.....	19
Figuur 16. Leaf Area Index en biomassa productie voor enkele representatieve landgebruikstypen.....	20
Figuur 17. De drie waterlopen die het gebied draineren. Van noord naar zuid: Beneden Slinge (HRU 30 en 41), Bielheimerbeek (HRU 81).....	21
Figuur 18. Afvoeren van de drie waterlopen uit het gebied.....	21
Figuur 19. Jaarlijkse neerslag en afvoer.....	22
Figuur 20: Actuele verdamping 2000(boven) en 2003 (onder). (3, 2.3, 2, 3).....	24
Figuur 21: Percolatie naar het grondwater (2003).....	25
Figuur 22: Oppervlakte runoff (2003).....	25
Figuur 23: Aantal dagen in 2003 met droogte.....	26
Figuur 24: Aantal dagen in 1998 met natte omstandigheden.....	26
Figuur 25: Afwijking van de seizoens- en jaargemiddelden in De Bilt (KNMI, 2003).....	27
Figuur 26: Grid zoals toegepast voor de berekeningen van de klimaatprojecties door het HadCM3 GCM.....	28
Figuur 27: Schematische indeling van de KNMI'06 klimaatscenario's.....	30
Figuur 28: Gemiddeld aantal dagen per jaar met droogte onder klimaatverandering.....	33
Figuur 29: Aantal dagen met natte omstandigheden onder klimaatverandering.....	34
Figuur 30: Toename aantal droge dagen onder klimaatverandering.....	34

# 1 Inleiding

## 1.1 *Relevantie*

Bossen nemen in vergelijking met andere landgebruiktypen in Nederland een bijzondere positie in vanwege een aantal belangrijke redenen: (i) bossen groeien vaak op niet optimale locaties, (ii) het ruimtegebruik ligt vast voor tenminste 100 jaar, (iii) er is een grote ruimtelijke spreiding in invloed van externe factoren.

Klimaatverandering wordt algemeen geaccepteerd als een vaststaand feit. Bossen zijn gevoelig voor klimaatverandering en door de grote geo-spreiding is de variatie voor deze gevoeligheid waarschijnlijk groot. Een verschuiving in habitatcondities is te verwachten, maar in welke mate en welk geografisch effect dit zal hebben is onbekend.

Bosbeheerders zien zich geconfronteerd om nu al in te springen op de mogelijke invloed van klimaatverandering op bossen. Onderzoek naar de mogelijkheden om een kwantitatieve uitspraak te doen over deze verschuiving is noodzakelijk. Gezien de lange ontwikkelingstijd van bossen (meer dan 100 jaar) kunnen onjuiste beslissingen betreffende planning grote maatschappelijke en economische gevolgen hebben.

Het is duidelijk dat de invloed van klimaatverandering op bossen en habitatten gedeeltelijk zal komen door veranderingen in temperatuur en CO<sub>2</sub> concentraties. Veranderingen in de waterhuishouding maar zullen echter de de belangrijkste rol spelen. Bossen staan namelijk vaak op de droge hogere zandgronden of juist in gebieden die onder directe invloed staan van grondwater. Dergelijke "natte" bossen behoren qua ecologie en aantrekkelijkheid tot de meest waardevolle bossen, maar zijn gezien hun geo-locatie extra gevoelig voor schommelingen in de waterhuishouding.

Op enkele locatie specifieke studies na, ontbreekt tot nu toe de geo-informatie voor de gevoeligheid van bossen voor klimaatverandering. De combinatie van geo-informatie en een ruimtelijk hydrologisch model kan deze informatie verschaffen.

Om meer inzicht te krijgen in bovenstaande aspecten is voor één bosgebied in Oost Nederland (Landgoed Slangenburg) met veel ruimtelijke variatie gedetailleerd gekeken naar de invloed van klimaatverandering op het bos. Er is hierbij gebruik gemaakt van metingen en voor de invloed van toekomstige veranderingen is een modelinstrumentarium opgezet.

## 1.2 *Landgoed Slangenburg*

Landgoed Slangenburg en het gelijknamige kasteel liggen in de Gelderse Achterhoek, enkele kilometers ten oosten van Doetinchem (Figuur 2 en Figuur 3). Het kasteel ligt het centrum van het park (135 ha) en landgoed (566 ha), dat bestaat uit lommerrijke bossen, akkers en weilanden. Door het gebied lopen twee beekjes, de Bielheimerbeek en de Beneden Slinge. Het landgoed dateert uit de late

Middeleeuwen. Als beheerder van dit gebied probeert Staatsbosbeheer de waardevolle historische structuur te handhaven en waar mogelijk te herstellen.

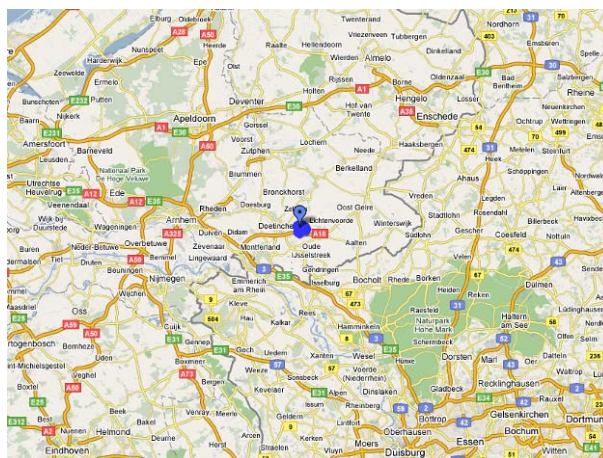


*Figuur 1: Luchtfoto van Landgoed Slangenburg.*

Bij het landgoed Slangenburg behoren op het ogenblik 6 pachtboerderijen. Ze dateren uit de vorige eeuw en worden in de oude stijl onderhouden en hersteld. De boerenbedrijven zijn van belang voor de natuur; zonder akkerland zouden er bijvoorbeeld geen patrijzen leven op Slangenburg. Ook de overgangen van landbouwgrond en bos zijn van groot belang: deze randen zijn bijzonder rijk aan plant- en diersoorten, waaronder veel vlinders.

Met betrekking tot de waterhuishouding en de problemen heeft de Provincie Gelderland kaderlijnen voor het beheer van Slangenburg kort samengevat (Streekplan 2005):

- Karakteristiek: Oud bos op vochtige leemgrond met een rijke ondergroei.
- Kansen en bedreigingen: De laatste jaren is het bos- en landgoedbeheer meer gericht op de natuurlijke ontwikkeling van het bos. Het gebied is verdroogd.
- Gewenste maatregelen: Verdroging opheffen



*Figuur 2: Locatie van Landgoed Slangenburg bij Doetinchem. (bron: Google Maps)*





*Figuur 3. Landgoed Slangenburg. (bron: Google Earth).*



# 2 Ruimtelijk model SWAT

## 2.1 Achtergrond SWAT

*(Nederlandstalige versie gebaseerd op Muys, et al. 2002).*

Het SWAT model (Soil and Water Assessment Tool, Neitsch et al., 2001) wordt beschouwd als het de-facto standaard model voor het uitvoeren van integrale bodem-water-klimaat studies. Dit model houdt het midden tussen een puntmodel en een ruimtelijk model. Het levert niet alleen resultaten per ruimtelijke eenheid (dit wil zeggen per bodem/landgebruik combinatie) maar ook de globale respons van het stroomgebied is terug te vinden in de modeluitvoer. Hierdoor is het mogelijk het effect van alternatieve landgebruikscenario's te vergelijken. Andere voordelen van SWAT zijn flexibiliteit qua invoer en gebruiksvriendelijkheid. Het SWAT model bezit een ArcView interface (DiLuzio et al., 2001) wat het aanmaken van inputfiles en het ruimtelijk interpreteren van de modeluitvoer vergemakkelijkt. SWAT biedt aan de gebruiker een aantal opties, waardoor het model ook kan toegepast worden als er relatief weinig data beschikbaar zijn. Zo is er een ingebouwde weergenerator die dagelijkse waardes genereert vanaf maandelijkse gemiddeldes en een landgebruikdatabase die de meest voorkomende landgebruiktypes parametrizeert. Bovendien kan de gebruiker kiezen uit drie berekeningsmethodes voor referentieverdamping, die van elkaar verschillen wat betreft data vereisten. Voor gegeven klimatologische omstandigheden worden dagelijkse hoeveelheden neerslag gegenereerd, die opgesplitst worden in sneeuw en regen. Dan wordt berekend hoeveel water afstroomt en hoeveel infiltreert. Het geïnfiltreerde water kan vervolgens uit het systeem verdwijnen door verdamping of percolatie naar het grondwater. De rest van het geïnfiltreerde water zal als oppervlakteafvoer in het waterlopenstelsel terechtkomen. De berekening van deze watervolumes vormt het vertrekpunt van het tweede deel van de simulatie, die het transport van hetwater doorheen het waterlopenstelsel beschrijft. In deze fase wordt rekening gehouden met transmissie- en verdampingsverliezen.

Het SWAT-model heeft de volgende invoergegevens nodig

- Klimaatgegevens;
- Digitaal terrein model;
- Bodemgegevens;
- Landgebruikgegevens.

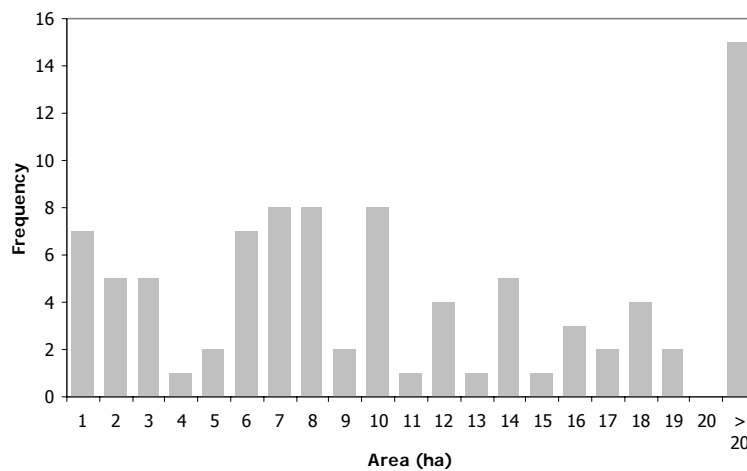
## 2.2 Invoergegevens

### 2.2.1 Hoogte

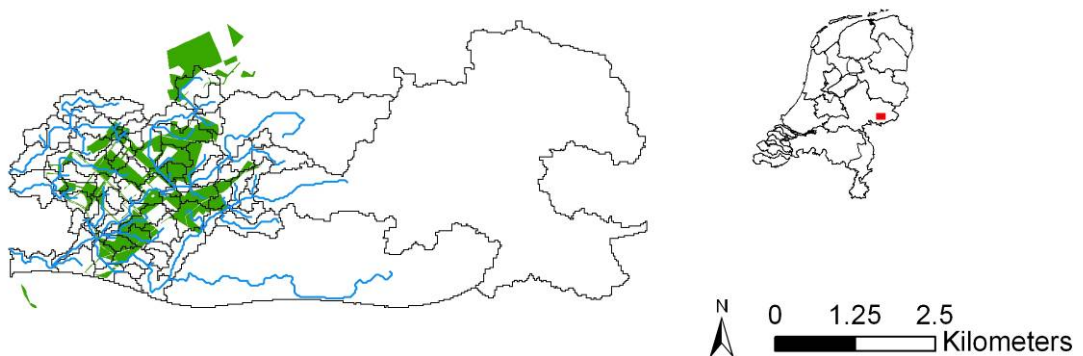
Een belangrijke component voor de analyses met het SWAT instrumentarium is de hoogtekaart van het gebied. Als basis hiervoor is de AHN (Algemene Hoogtekaart Nederland) gebruikt (zie Figuur 8). Op basis van het hoogtemodel worden met behulp van de GIS interface substroomgebieden afgebakend. Deze substroomgebieden en hun onderlinge relatie leggen de afwatering in het gebied vast. SWAT is gebaseerd op hydrologisch grenzen, die vaak niet overeenkomen met de administratieve grenzen. Voor Slangenburg is dit ook het geval en daarom is ervoor gekozen om een groter gebied te selecteren waar Slangenburg in valt. De begrenzing van het totale stroomgebied wordt vastgelegd door het hoogtemodel en bevat een gebied dat groter is dan alleen het landgoed Slangenburg. Het is echter wel

van belang dat het landgoed met voldoende detail kan worden gemodelleerd. In SWAT is daarom eerst uitgegaan van een minimale grootte van 5 ha van een substroomgebied (Figuur 6). Daarna zijn substroomgebieden die buiten Slangenburg vallen samengevoegd tot grotere substroomgebieden. Gebieden die zich buiten het landgoed bevinden, maar wel onderdeel zijn van het stroomgebied hebben een lager detail niveau. In totaal zijn er op deze wijze 91 substroom gebieden vastgelegd variërend in oppervlakte van 0.1 ha tot 1258 ha. De oppervlakte van de substroomgebieden binnen het landgoed is ongeveer 6 ha (Figuur 4). De totale oppervlakte van het stroomgebied is 2966 ha.

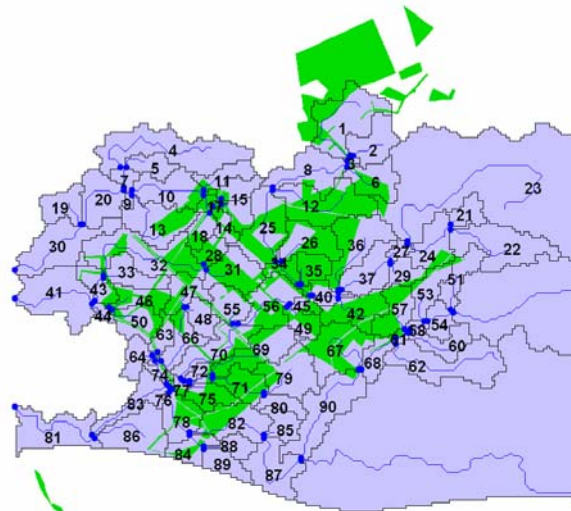
De substroomgebieden en oppervlaktewater netwerk zijn weergegeven in Figuur 5. Het meest noordelijke deel van het landgoed watert, volgens het hoogtemodel, af in noordelijke richting en wordt om die reden niet in de modellering meegenomen. De dominante afwateringsrichting is van oost naar west en de hoogteverdeling binnen het stroomgebied is weergegeven in Figuur 7



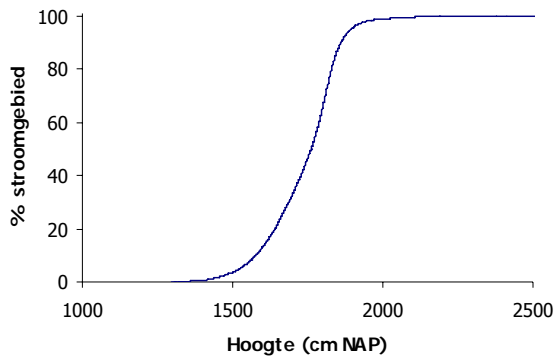
Figuur 4: Oppervlakteverdeling substroomgebieden



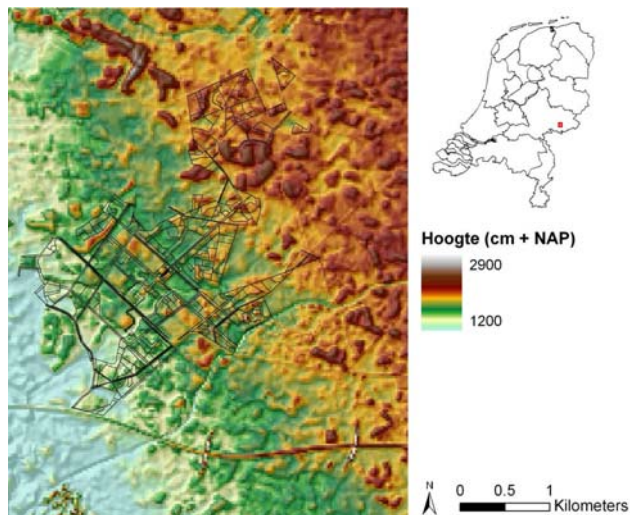
Figuur 5: Stroomgebied, substroomgebieden en locatie landgoed.



*Figuur 6. Detaillering van de substroomgebieden bij Slangenburg.*



*Figuur 7: Hoogteverdeling binnen het stroomgebied*



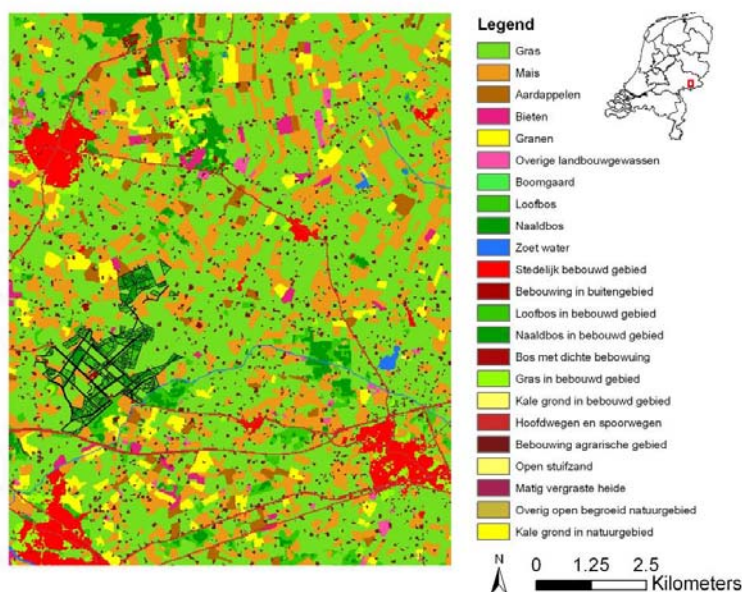
*Figuur 8: Hoogteligging*

### 2.2.2 Landgebruik

Voor het bepalen van de totale hydrologie van het gebied is uitgegaan van het LGN (Landelijk grondgebruiksbestand Versie 4 (LGN4; Wit, 2001). Het gebied rondom Slangenburg is te zien in Figuur 9. LGN4 onderscheidt slechts een paar bostypen. Gezien het belang van bos voor dit project is een gedetailleerde beschrijving van de diverse bostypen gebruikt om het landgebruik te verfijnen (Figuur 10). Dit is uitgevoerd door de LGN4 als basis te gebruiken en hier overheen de Shiyao bosclassificatie te leggen. De uiteindelijke kaart zoals in SWAT gebruikt is te zien in Figuur 11.

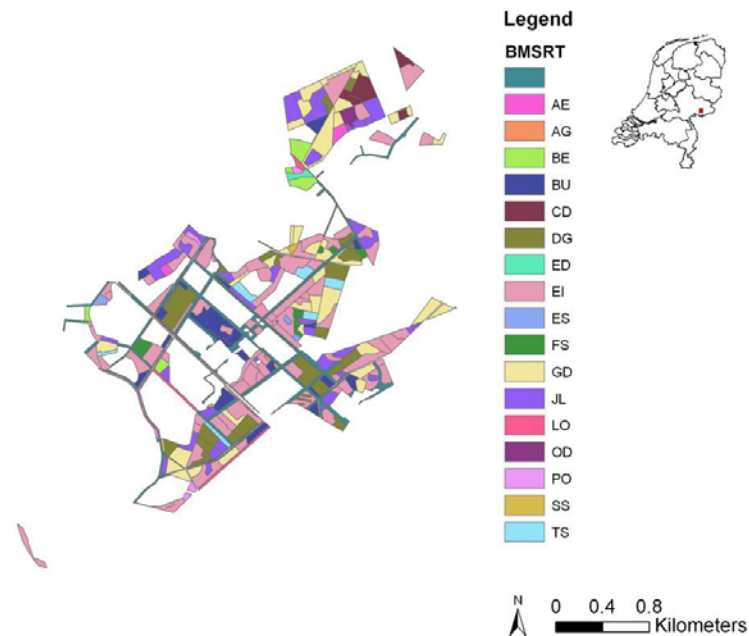
Tabel 1. Landgebruik en enkele belangrijke eigenschappen.

	SWAT code	Aggregatie	nat gevoelig	droog gevoelig	Oppervlak (ha)
Landbouw	AGRL				742
Berk	F_BE	licht loofhout	niet	niet	3
Beuk	F_BU	donker loofhout	wel	niet	12
Douglas	F_DG	donker naaldhout	wel	niet	27
Eik	F_EI	licht loofhout	niet	niet	81
Es	F_ES	licht loofhout	niet	wel	0
Fijnspar	F_FS	donker naaldhout	niet	wel	3
Grove den	F_GD	licht naaldhout	niet	niet	33
Japanse larix	F_JL	licht naaldhout	niet	wel	20
Loof overig	F_LO	licht loofhout	niet	niet	2
Populier	F_PO	licht loofhout	niet	niet	1
Sitkaspar	F_SS	donker naaldhout	niet	wel	0
Tsuga	F_TS	donker naaldhout	niet	wel	5
Loofbos	FRSD				146
Naaldbos	FRSE				120
Weiland	PAST				1,610
Stad	URHD				127
Bebouwing	URLD				30
Water	WATR				6
Totaal					2,967

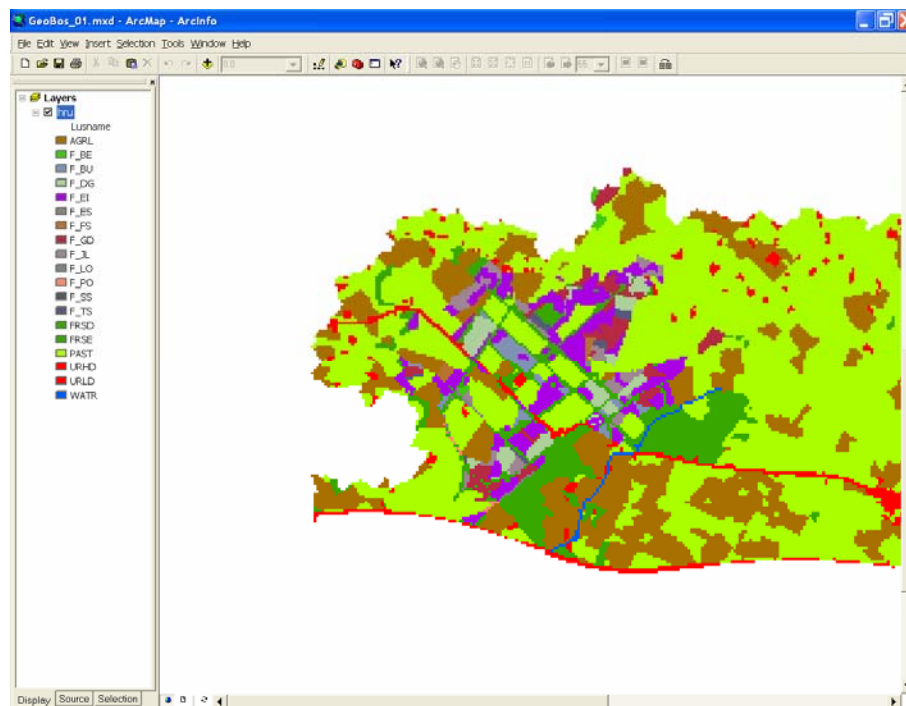


Figuur 9: Landgebruikskartaal.

Voor elk landgebruikstype moeten gegevens gekoppeld worden zodat SWAT deze kan gebruiken om gewasgroei te simuleren. De toegepaste conversietabel is weergegeven in Appendix 1. Er is hierbij uitgegaan van een aantal standaard SWAT beschrijvingen en voor de bostypen zijn de specifieke eigenschappen voor het betreffende bos zo goed mogelijk bepaald. Er is hierbij uitgegaan van een expert-judgement aanpak, waarbij kwalitatief is vastgesteld wat de belangrijkste water gerelateerde eigenschappen van elk bos type zijn (Tabel 1).



Figuur 10: Bostypen binnen legger vlakken



Figuur 11. Landgebruikstypen in SWAT interface.



Verder zijn enkele eigenschappen gebaseerd op het onderscheid of het om donker of lichte bossen gaat. Hierbij is onderscheid gemaakt dat donkere bossen worden gekenmerkt door:

- hogere LAI
- hogere interceptie

Het begin van de groei van de verschillende loofbomen wordt in SWAT bepaald aan de hand van de zogenaamde temperatuursom (Tsum). Dit betekent dat het begin van groei niet elk jaar op hetzelfde moment plaatsvindt, maar een functie is van vooral de voorjaarstemperaturen. Via kalibratie van de minimale temperatuur (Tmin) en Tsum parameters is er wel voor gezorgd dat eik en beuk gemiddeld op 15 mei beginnen met de groei en al het overige loofbos op 15 april.

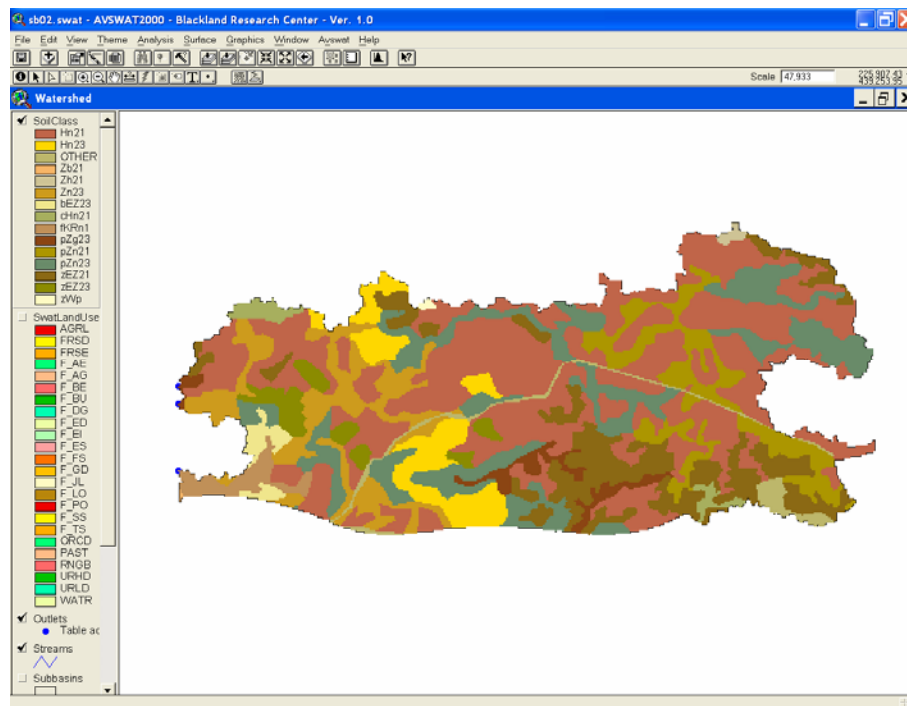
### 2.2.3 Bodem

Essentieel voor het bepalen van de dynamiek van water in bodem-water-bos-klimaat systemen zijn de bodemeigenschappen. De meest betrouwbare bron van informatie hiervoor is de STIBOKA 1:50.000 bodemkaart. De STIBOKA kaart bevat alleen kwalitatieve eigenschappen, terwijl voor SWAT juist kwantitatieve eigenschappen nodig zijn. 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 (Wosten et al., 2001). De uiteindelijke bodemkaart is gebaseerd op de conversietabel (Tabel 2) die is samengesteld door de bodemeenheden te vertalen naar de 18 bovengronden en 19 ondergronden volgens Wosten et al. (2001). De uiteindelijke bodemkaart die gebruikt is voor verdere analyse is weergegeven in Figuur 12.

*Tabel 2. Conversie tabel van kwalitatieve bodembeschrijving naar kwantitatieve eigenschappen.*

Bodem type	Staringreeks	Staringreeks
	bovengronden	ondergronden
Hn21	B2	O2
Hn23	B3	O3
Zb21	B2	O2
Zh21	B2	O2
Zn23	B3	O3
bEZ23	B8	O3
cHn21	B15	O2
fKRn1	B8	O9
pZg23	B16	O3
pZn21	B16	O2
pZn23	B16	O3
zEZ21	B15	O2
zEZ23	B15	O3
zWp	B15	O9





Figuur 12. Bodemkaart 1:50.000.

#### 2.2.4 HRU

De basis voor alle SWAT berekening is de HRU, hydrological response unit. HRU's zijn de combinatie van drie typen gegevens: (i) substroomgebied, (ii) landgebruik, (iii) bodem. SWAT veronderstelt dat binnen één HRU geen verschillen zijn en HRU's vormen daarom de basisrekenenheid van het model.

HRU's worden gevormd door de drie voorgenoemde gegevens over elkaar heen te leggen. Als gevolg hiervan kunnen hierdoor grote hoeveelheden HRU's worden gevormd en daarom bestaat er de mogelijkheid om zogenaamde drempelwaarden te gebruiken. Het is van belang om het aantal HRU's beperkt te houden om de rekentijden van het model te minimaliseren. Aan de andere kant is het van belang om geen belangrijke details te missen. Er bestaat geen standaard beste methode aangezien dit volledig afhangt van de doelstellingen van de studie, kwaliteit beschikbare gegevens, beschikbare tijd, etc.

Tabel 3. Invloed van drempelwaarden voor landgebruik en bodem op het aantal HRUs.

Land (%)	Soil (%)	HRUs
Dominant	Dominant	91
1	0	1031
1	10	851
10	10	449
10	20	358
5	20	503

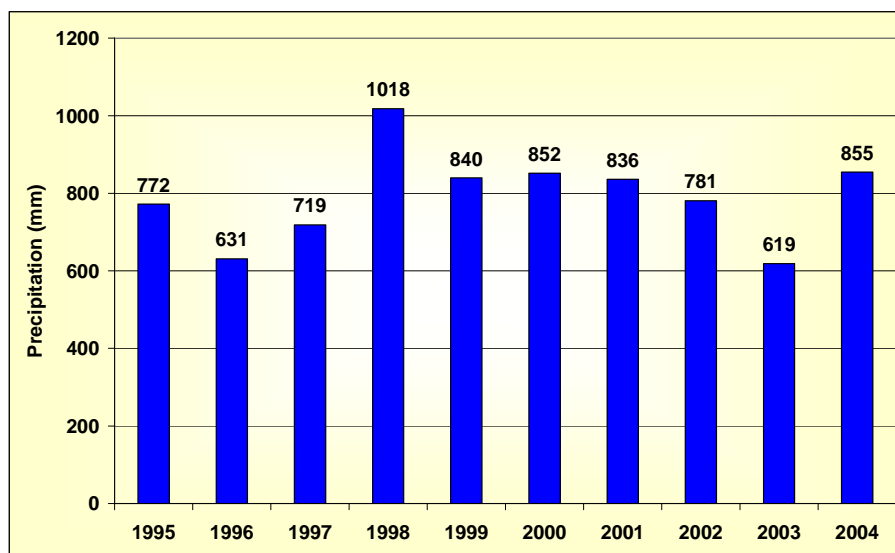
Er is voor een aantal combinaties van drempelwaarden gekeken hoeveel HRU's er dan gegenereerd worden. Uiteindelijk is er gekozen om voor landgebruik een drempelwaarde van 5% te kiezen en voor

bodem van 20%. Een drempel waarde van 5% betekent dat minimaal 5% van een subbasin bestaat uit een bepaald landgebruik of een bepaald bodemtype.

Uiteindelijk is gekozen voor een nieuwe ontwikkelde methode die het mogelijk maakt om de resultaten van SWAT niet alleen per substroomgebied te analyseren, maar ook per HRU. Hiervoor is een pre-processing uitgevoerd, waarbij als drempelwaarde voor landgebruik 5% is genomen en voor bodem een waarde van 25%. Het aantal HRU's kwam hierbij op 505. Meer details over deze methode zijn te vinden in Immerzeel (2006).

### 2.2.5 Meteorologische gegevens

Het SWAT model heeft meteorologische gegevens nodig om de referentie situatie vast te leggen, om deze vervolgens te vergelijken met de toekomstige situatie onder klimaatverandering. Voor de referentie situatie is een 10-jarige periode gekozen van 1995-2004. Hoewel er neerslagstations dichterbij Slangenburg liggen (Doetinchem en Hengelo (Gld)), worden op deze stations niet alle benodigde gegevens gemeten. Er is daarom gekozen om de gegevens van het KNMI station Twente te gebruiken.



Figuur 13. Jaarlijkse neerslag voor meteostation Twente.

# 3 Resultaten referentie situatie

## 3.1 *Introductie*

Als eerste is gekeken naar de klimaat-bodem-water-bos resultaten van SWAT voor de referentie periode (1995-2004). Aan de hand van enkele karakteristieke resultaten is het model nog iets verfijnd voor wat betreft de vegetatie ontwikkeling (zie volgende paragraaf). Resultaten van deze referentiesituatie vormen de basis om de invloed van klimaatverandering te evalueren.

SWAT genereert een grote hoeveelheid resultaten, waardoor inzicht in alle bodem-water-klimaat-bos processen die zich afspelen verkregen kan worden. De basis hiervoor is de waterbalans zoals deze op dagbasis wordt bijgehouden door SWAT. Zoals eerder aangegeven maakt SWAT gebruik van drie verschillende bodem componenten, met hun eigen specifieke eigenschappen en mate van detail. Appendix 2 geeft een overzicht van al deze processen.

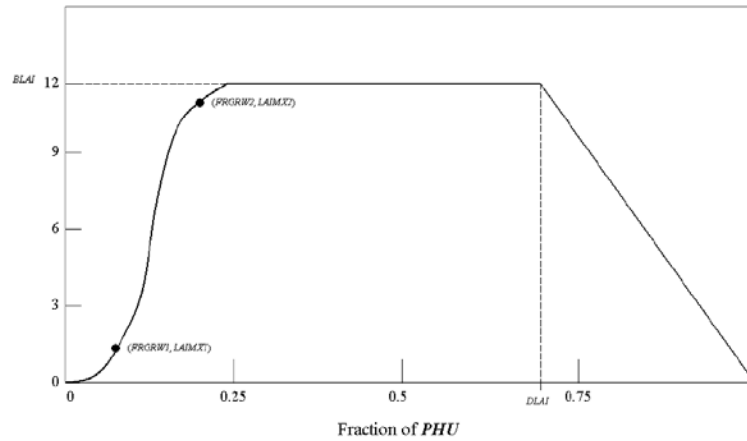
Verder is van belang dat SWAT volledig gericht is op het weergeven van processen in ruimte en in tijd. Voor elke HRU kunnen op dagbasis alle termen van de water balans, alsmede de vegetatie ontwikkeling, worden geëvalueerd.

## 3.2 *Vegetatieontwikkeling*

Als eerste is in detail gekeken naar de vegetatieontwikkeling. Groei van vegetatie is een belangrijke proces en heeft grote invloed op de hydrologie. SWAT bepaald aan de hand van Heat Units hoe een vegetatie zich ontwikkeld, waarbij een aantal parameters gebruikt worden. Zoals eerder aangegeven is voor de vegetatieontwikkeling een expert-judgement aanpak gebruikt. Om een verdere verfijning toe te passen is gekeken naar de belangrijkste parameters die hier invloed op hebben. (Figuur 14 en Tabel 4).

Doo enkele parameters te veranderen zoals weergegeven in Tabel 5, is de invloed van deze parameters op de vegetatieontwikkeling geanalyseerd (Figuur 15). Het is duidelijk dat er aan de hand van een eenvoudige kalibratie al een stuk realistischere simulatie van de vegetatie ontwikkeling mogelijk is. De uiteindelijke vegetatieontwikkeling na kalibratie voor de belangrijkste vegetatietypen is te zien in Figuur 16.

Verder verfijning zou wenselijk zijn, maar niet noodzakelijk voor een scenario analyse. Aangezien de toekomstige situatie wordt vergeleken met een referentie gebaseerd op dezelfde uitgangspunten, zullen onnauwkeurigheden doorwerken in zowel de referentie als de toekomstige situatie. Met andere woorden, de relatieve verschillen tussen scenario's zal nauwkeuriger zijn dan op grond van invoer nauwkeurigheid valt te verwachten.



Figuur 14. Belangrijkste parameters voor het sturen van de vegetatieontwikkeling.

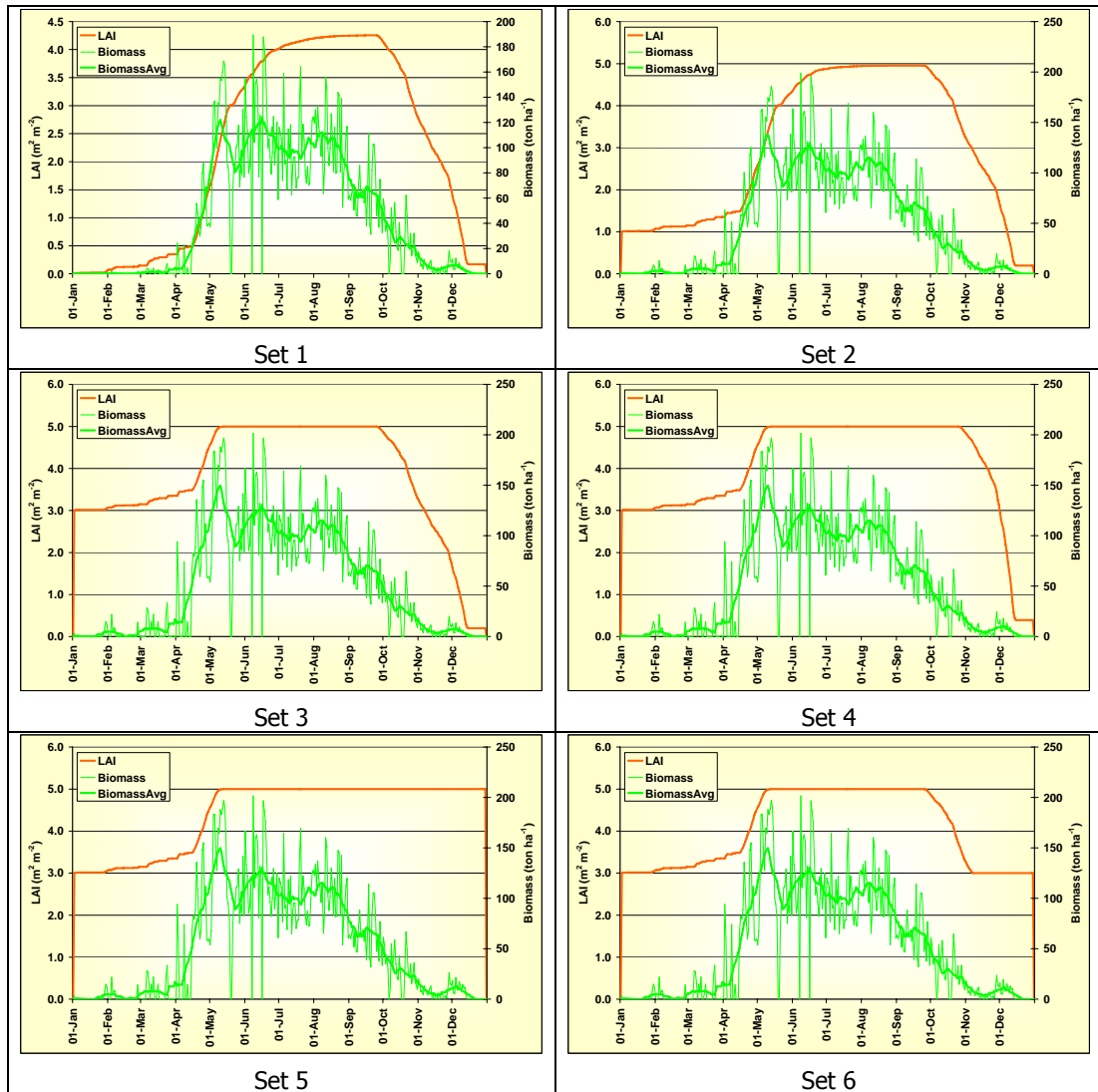
Tabel 4. Belangrijkste parameters die vegetatieontwikkeling bepalen.

BLAI	(m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	Maximum potential leaf area index.
FRGRW1	(-)	Fraction of the plant growing season or fraction of total potential heat units corresponding to the 1st point on the optimal leaf area development curve.
LAIMX1	(-)	Fraction of the maximum leaf area index corresponding to the 1st point on the optimal leaf area development curve.
FRGRW2	(-)	Fraction of the plant growing season or fraction of total potential heat units corresponding to the 2nd point on the optimal leaf area development curve.
LAIMX2	(-)	Fraction of the maximum leaf area index corresponding to the 2nd point on the optimal leaf area development curve.
DLAI	(-)	Fraction of growing season when leaf area declines.
T_OPT	°C	Optimal temperature for plant growth (°C).
T_BASE	°C	Minimum (base) temperature for plant growth (°C).
ALAINIT	(m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	Initial leaf area index (note: in file *.Mgt)

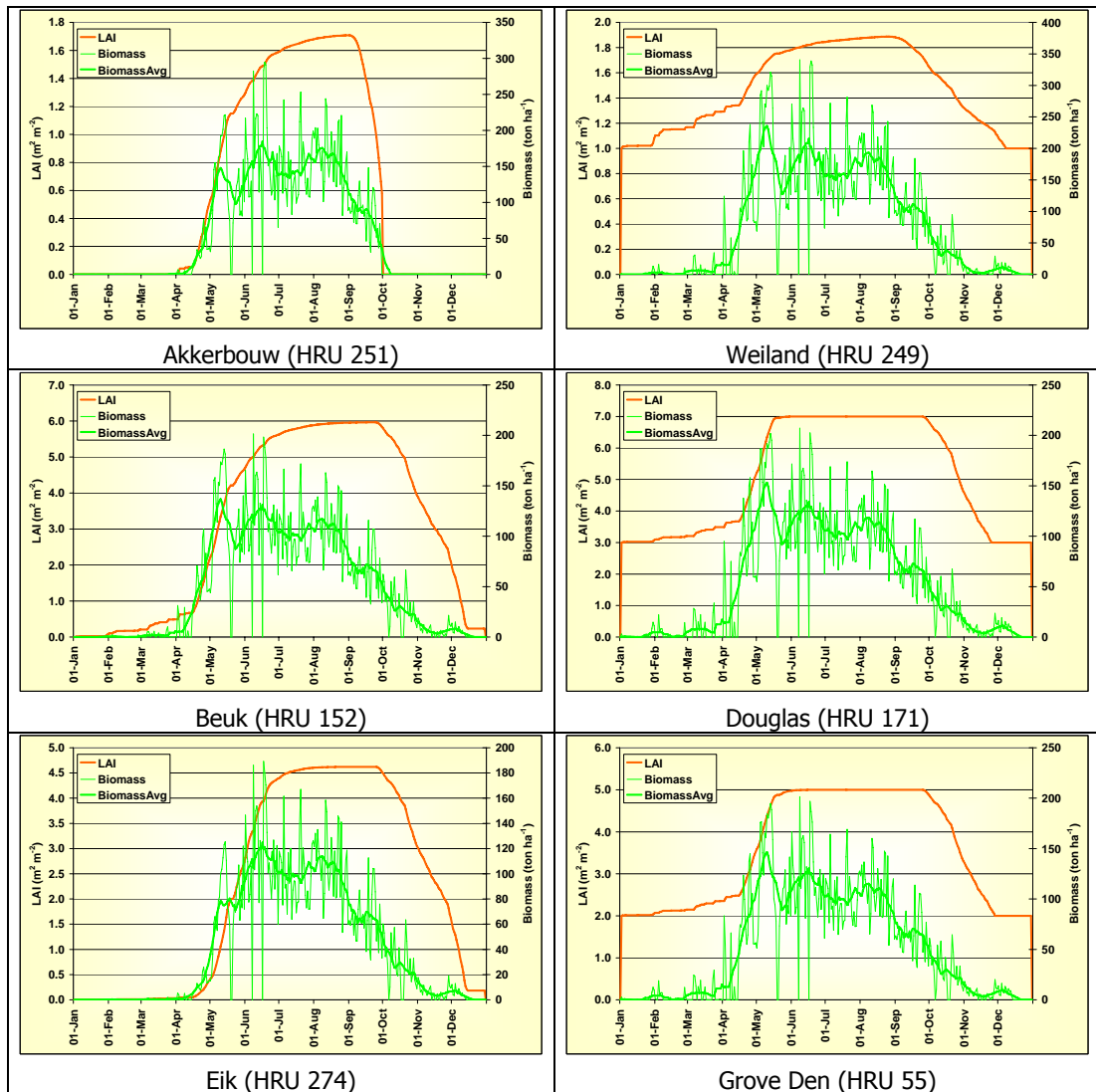
Tabel 5. Parameterwaarden gebruikt voor de kalibratie.

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Set 6
BLAI	5	5	5	5	5	5
FRGRW1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
LAIMX1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
FRGRW2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
LAIMX2	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
DLAI	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	0.8
T_OPT	20	20	20	20	20	20
T_BASE	4	4	4	4	4	4
ALAINIT	0	1	3	3	3	3

Note: Set 6 is met SWAT source code aanpassing.



Figuur 15. Kalibratie van LAI en biomassa. Voorbeeld van 2000, HRU 171, Douglas.



Figuur 16. Leaf Area Index en biomassa productie voor enkele representatieve landgebruiktypen.

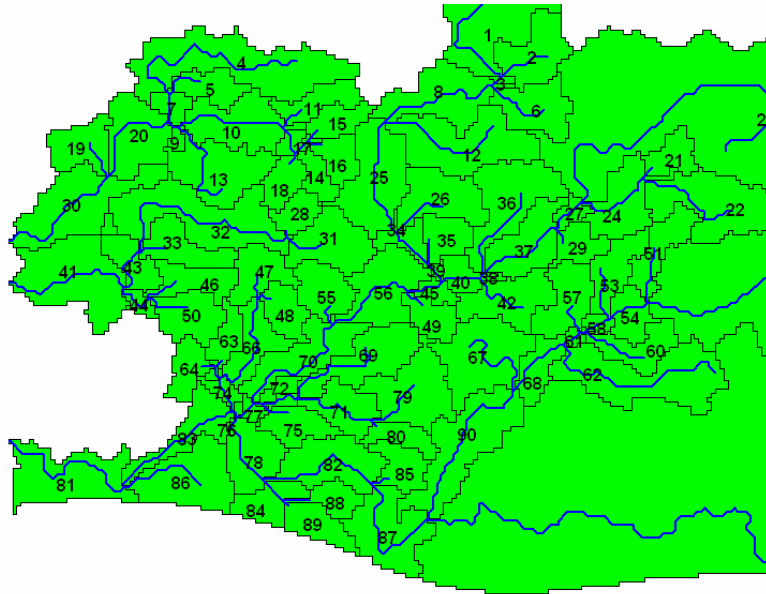
### 3.3 Afvoer

De afvoer uit Slangenburg vindt plaats door drie waterlopen (Figuur 17). De precieze locatie van de waterlopen zoals deze in het model zijn weergegeven wijkt iets af van de werkelijke locatie. Dit komt doordat in het model is uitgegaan van de hydrologische locatie (laagste punten), terwijl vooral de Bielheimerbeek in het westen gedeeltelijk is gekanaliseerd. In SWAT bestaat wel de mogelijkheid om dit te verfijnen door een nauwkeuriger AHN te gebruiken of aan te passen. De afvoeren voor 2000 zijn te zien in Figuur 18, waarbij duidelijk is dat de afvoer van de Bielheimerbeek (HRU 81) het belangrijkste is. Opvallend is dat de afvoer geleidelijk verloopt en beperkt reageert op neerslag pieken.

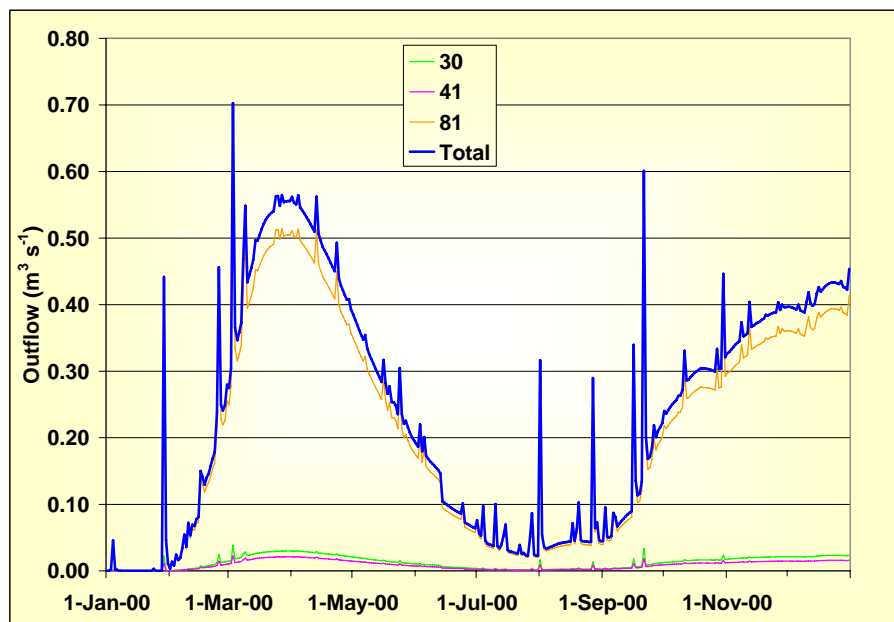
Figuur 19 laat de totale afvoer en neerslag zien per jaar. Op de eerste twee jaren na, is er een duidelijke relatie tussen de jaarlijkse neerslag en de jaarlijkse afvoer. De lineaire regressie tussen neerslag en afvoer is afgeleid en luidt:

$$Q = 0.91 \cdot PCP - 248$$

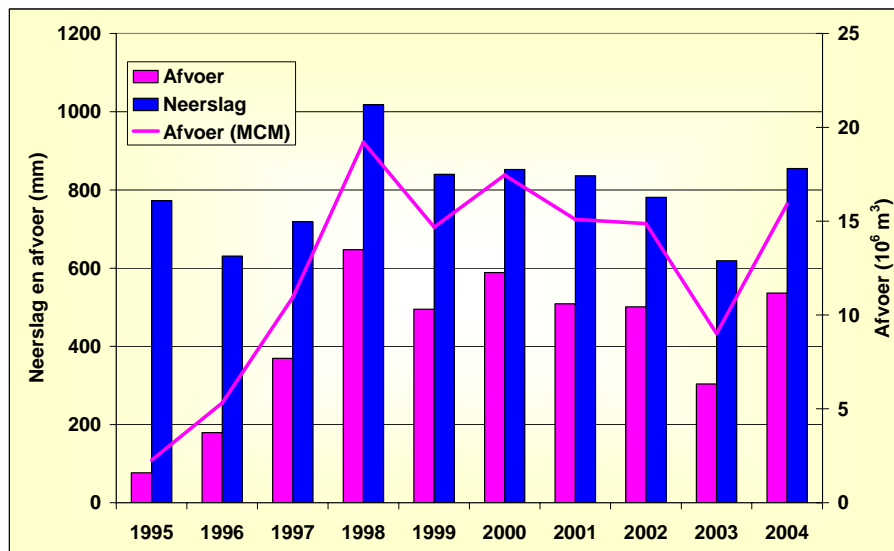
Met  $Q$  is afvoer ( $\text{mm y}^{-1}$ ) en PCP os neerslag ( $\text{mm y}^{-1}$ ). Voor de jaren 1997 tot en met 2004 is de  $R^2$  0.91. Belangrijk om te realiseren is dat dagelijkse relatie tussen neerslag en afvoer niet met deze regressievergelijking mag worden bepaald.



Figuur 17. De drie waterlopen die het gebied draineren. Van noord naar zuid: Beneden Slinge (HRU 30 en 41), Bielheimerbeek (HRU 81).



Figuur 18. Afvoeren van de drie waterlopen uit het gebied.



Figuur 19. Jaarlijkse neerslag en afvoer.

### 3.4 Waterbalansen

Aan de hand van de resultaten die uit de SWAT simulaties komen kunnen de volledige waterbalansen worden geanalyseerd. Tabel 6 en Tabel 7 geven de jaarlijkse termen weer, waarbij in Tabel 6 het gemiddelde voor het gehele gebied per jaar staat en in Tabel 7 uitgesplitst per land gebruik type. Als eerste blijkt dat de verdamping een negatieve correlatie laat zien met de neerslag: minder neerslag, meer verdamping. Dit is een indicatie dat er meestal voldoende vocht in de bodem en het grondwater zit om de bomen van water te voorzien, doordat grondwaterstanden relatief ondiep zijn en er goede bodems zijn. De afvoeren laten wel een duidelijke correlatie zien met de neerslag. Tenslotte laat de bodemverdamping een neerwaartse trend zien over de tijd wat aangeeft dat de beginsituatie van het model nog niet een evenwichtssituatie weergaf.

Tabel 6. Waterbalans voor het gehele gebied. Alles in mm per jaar.

YYYY	AvgPrecip	AvgET	AvgTact	AvgEact	AvgPerc	AvgWyld
1995	772	458	198	250	78	89
1996	631	357	178	170	237	191
1997	719	373	194	169	333	370
1998	1018	307	172	126	666	635
1999	840	336	214	112	470	493
2000	852	306	195	102	519	587
2001	836	290	195	85	508	506
2002	781	282	188	84	468	507
2003	619	317	233	73	292	313
2004	855	288	202	76	534	542
average	792	332	197	125	410	423

Toelichting op tabel:

- Precip is neerslag; ET is actuele evapotranspiratie; Tact is actuele gewasverdamping; Eact is actuele bodemverdamping; Perc is percolatie naar het grondwater; Wyld is "water yield" toestroom naar oppervlakte water (uit oppervlakkige afvoer, drainage en grondwater).



Tabel 7. Waterbalans per landgebruik. Alles in mm per jaar, gemiddeld over 1995-2004.

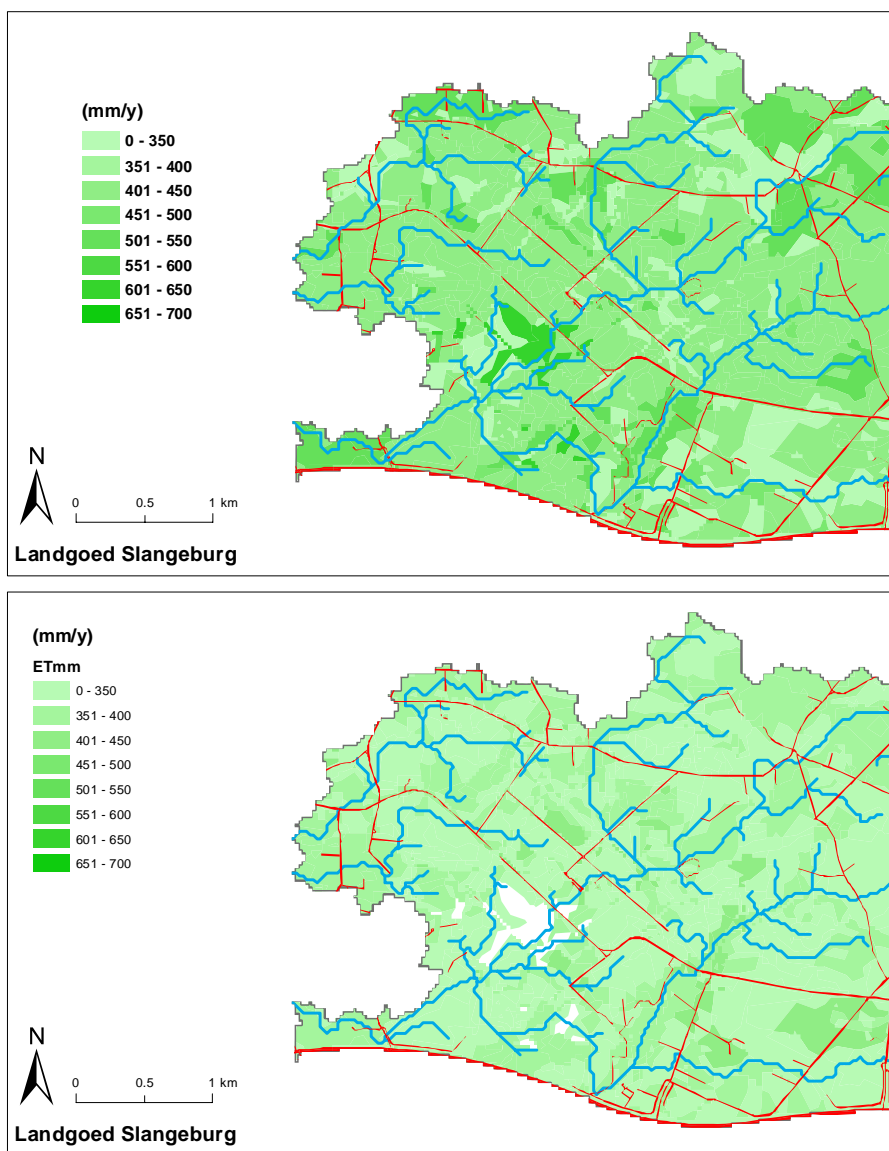
LULC	AvgPrecip	AvgET	AvgTact	AvgEact	AvgPerc	AvgWyld
AGRL	792	277	184	93	424	473
BERM	792	402	0	402	237	340
FRSD	792	290	167	124	480	469
FRSE	792	291	167	124	479	469
FxBE	792	297	164	133	473	463
FxBU	792	333	228	105	437	428
FxDG	792	419	340	80	352	344
FxEI	792	297	164	133	473	463
FxES	792	285	162	123	485	474
FxFS	792	326	217	110	444	435
FxGD	792	342	249	93	428	420
FxJL	792	285	162	123	485	474
FxLO	792	287	167	120	483	472
FxPO	792	287	167	120	483	472
FxSS	792	326	217	110	444	435
FxTS	792	326	217	110	444	435
PAST	792	369	319	50	401	393
WATR	792	634	0	0	0	0

### 3.5 Ruimtelijke spreiding

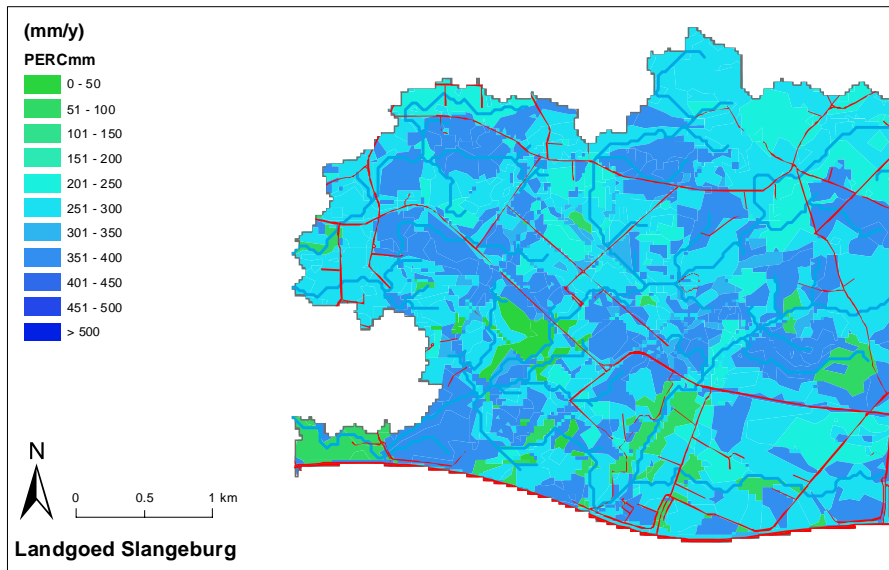
Vanuit geografisch oogpunt is het belangrijk om de ruimtelijke spreiding van de bodem-water-bos-klimaat processen te analyseren. Voor de belangrijkste gegevens zijn daarom een aantal figuren geplot die deze verschillen goed weergeven. Aangezien het in deze studie vooral gaat om de bosgebieden zijn de bovenstroomse landbouwgebieden niet geplot.

In Figuur 22 tot en met Figuur 25 is te zien hoe de waterbalans ruimtelijk gedistribueerd is en dat er binnen Slangenburg belangrijke geografische verschillen optreden. In het algemeen kan gesteld worden dat van de neerslag ongeveer de helft verdampt en een andere helft naar het grondwater stroomt. Uiteraard zijn er grote verschillen tussen een droog (2003) en een nat (1998) jaar.

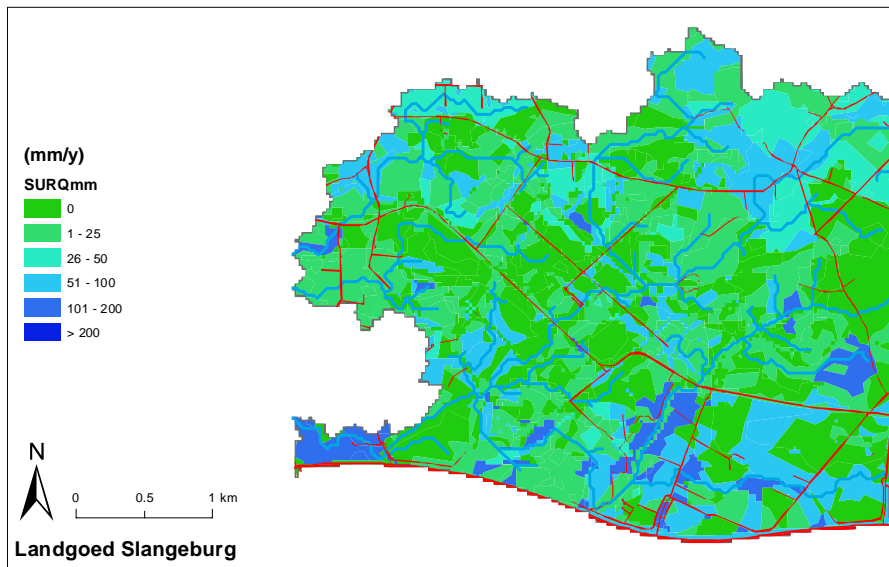
In Figuur 23 is de situatie met betrekking tot droogte weergegeven. Hierbij is het aantal dagen in 2003 geplot waarbij de hoeveelheid vocht in de bodem kleiner is dan 175 mm. Hetzelfde is te zien in Figuur 24, maar dan voor het aantal natte dagen in 1998. Hiervoor is een drempelwaarde van 250 mm gehanteerd.



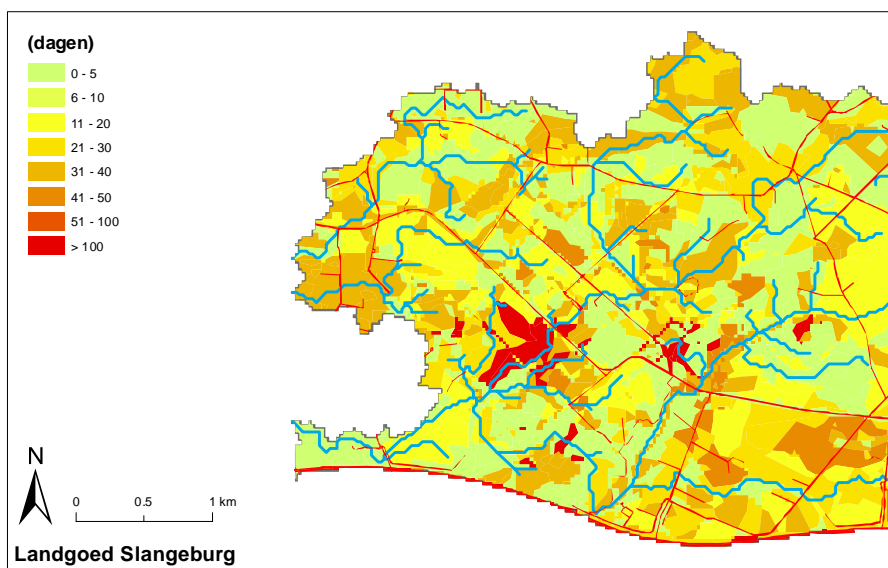
Figuur 20: Actuele verdamping 2000(boven) en 2003 (onder). (3, 2.3, 2, 3)



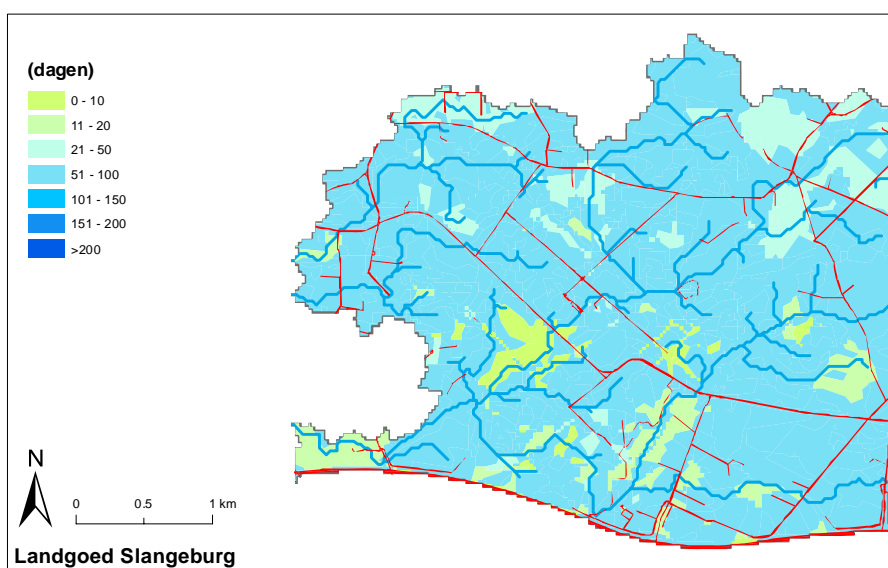
Figuur 21: Percolatie naar het grondwater (2003).



Figuur 22: Oppervlakte runoff (2003).



*Figuur 23: Aantal dagen in 2003 met droogte.*



*Figuur 24: Aantal dagen in 1998 met natte omstandigheden.*

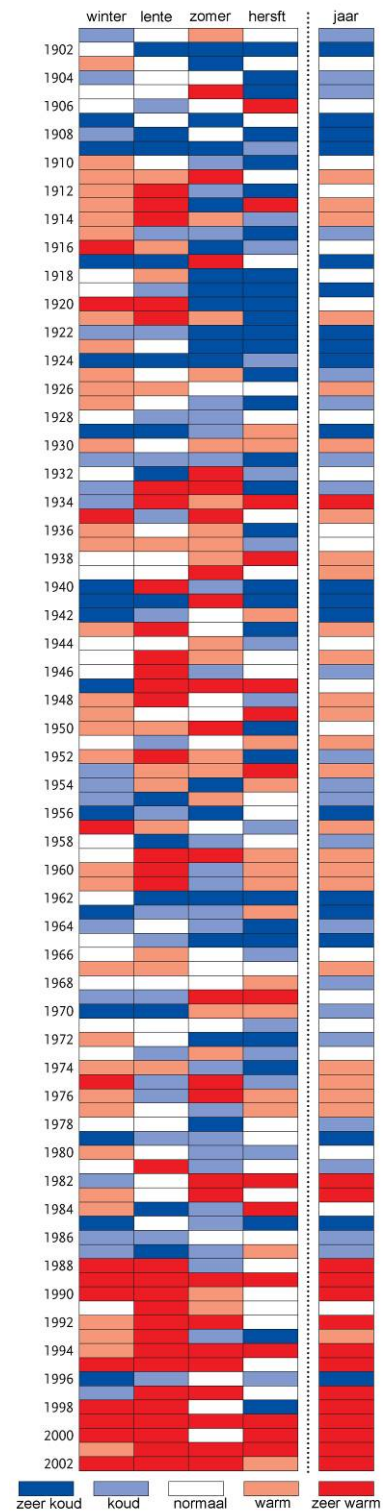
# 4 Klimaatverandering

## 4.1 Achtergrond

Uitstoot van broeikasgassen, zoals CO<sub>2</sub>, hebben geleid tot een versterkt broeikas effect, waardoor de aarde opwarmt. Er bestaat geen twijfel meer dat ons klimaat in de afgelopen honderd jaar is veranderd (Oreskes, 2004). De zes warmste jaren sinds de waarnemingen van het KNMI zijn begonnen, hebben alle plaats gevonden in de afgelopen 10 jaar: 1995, 1997, 1998, 2001, 2002, 2003 (KNMI, 2003) (zie Figuur 25). Bovendien is er een intensivering van de neerslag waargenomen, waarbij zowel de totale neerslag als meer intensievere buien optreden.

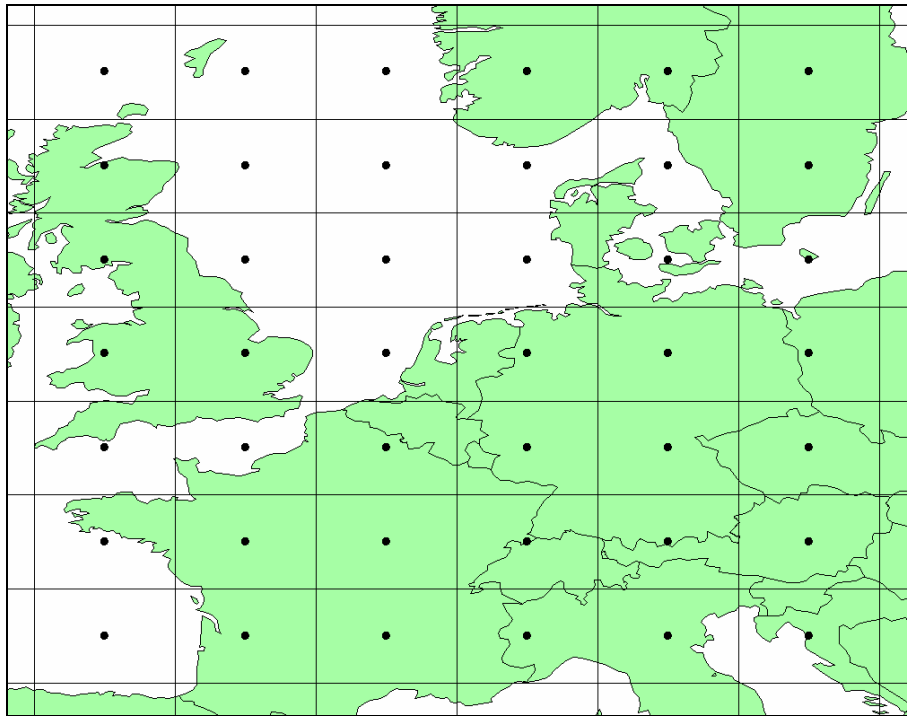
Internationaal wordt er veel onderzoek gedaan naar klimaatverandering waarbij waarnemingen en modellen hebben bijgedragen tot een snel groeiend inzicht in processen die het klimaat doen veranderen. Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is het meest gezaghebbende orgaan op het gebied van klimaatverandering. Het IPCC inventariseert de wetenschappelijke, technische en sociaal-economische kanten van klimaatverandering, de mogelijke gevolgen en de wijze waarop vermindering van broeikasgas uitstoot en adaptatie strategieën kunnen worden gerealiseerd. Naast een secretariaat in Zwitserland zijn er wereldwijd honderden instituten en tienduizenden mensen die op één of andere manier bij het IPCC betrokken zijn. De belangrijkste uitgaven van de IPCC zijn de zogenaamde "Assessments Reports", die ongeveer elke vijf jaar verschijnen (IPCC, 2001). Het vierde "Assessment Report" verschijnt begin 2007.

Belangrijk in de projecties voor het toekomstige klimaat zijn de klimaatmodellen, die gebruikt worden om projecties voor het toekomstige klimaat te genereren op wereldschaal. Deze klimaatmodellen zijn gebaseerd op fysische processen die beschreven worden door wiskundige vergelijkingen. Deze klimaatmodellen worden vaak aangeduid als GCM, General Circulation Model. Tegenwoordig wordt ook vaak de term AOGCM (Atmosphere-Ocean General Circulation Model) gebruikt, om expliciet te maken dat er een koppeling is tussen oceanografische en atmosferische modelcomponenten.



Figuur 25: Afwijking van de seizoens- en jaargemiddelden in De Bilt (KNMI, 2003).

GCMs berekenen het klimaat op wereldschaal door de hele aarde te verdelen in een driedimensionaal grid. De horizontale resolutie van dit grid is ongeveer 250 km en de verticale 1 km, afhankelijk van het GCM. Met andere woorden alle eigenschappen binnen een gebied van 250 bij 250 km worden geacht constant te zijn! Een illustratie van deze resolutie is te zien in Figuur 26, waarbij duidelijk is dat heel Nederland wordt weergegeven door drie homogene gebieden. Interessant is nog dat het westelijke grid-punt dat over Nederland valt door het GCM beschouwd wordt als oceaan.



*Figuur 26: Grid zoals toegepast voor de berekeningen van de klimaatprojecties door het HadCM3 GCM.*

Het KNMI heeft deze mondiale projecties vertaald naar de schaal van Nederland, waarbij als uitgangspunt de globale temperatuurstijging is genomen. De neerslagverwachtingen vanuit de GCMs zijn niet gebruikt voor de verwachtingen in Nederland. In plaats daarvan is de relatie tussen temperatuur en neerslag geëxtrapoléerd (Droogers en van den Hurk, 2004). Het KNMI heeft in 2000 (Kors et al., 2000) en in 2006 (Van den Hurk et al., 2006) klimaatscenario's voor Nederland opgesteld. De eerste worden aangeduid als de WB21 scenario's, de laatste als de KNMI'06 scenario's.

## 4.2 WB21 scenario's

De hoge rivierstanden in 1993 en 1995 en de wateroverlast door extreme neerslag in 1998 hebben geleid tot het instellen van de Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> Eeuw (WB21). Het rapport van deze commissie en de wettelijke verankering hiervan in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) geven richtlijnen betreffende de te verwachte klimaatveranderingen. Deze richtlijnen, soms toekomstbeelden genoemd, geven in een aantal scenario's weer wat het te verwachten klimaat in 2050 en 2100 is (Kors et al., 2000). Het tweede "Assessment Report" van het IPCC uit 1995 vormde de basis voor de WB21

scenario's. Het KNMI heeft deze scenario's vertaald naar drie mogelijke scenario's (laag, centraal en hoog) voor 2050 en 2100. Uitgangspunt was de temperatuurprojecties van een zevental GCMs en de relatie tussen temperatuur en neerslag in Nederland. Een overzicht van deze scenario's is te zien in Tabel 8.

Tabel 8. 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

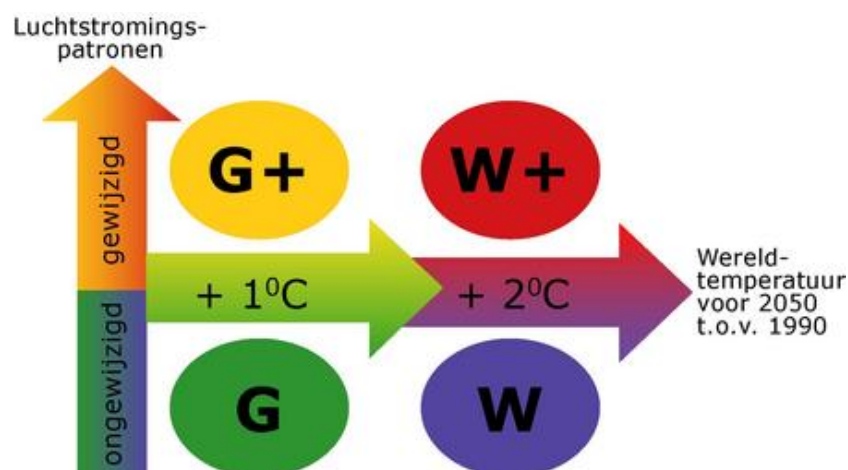
### 4.3 KNMI'06 scenario's

De nieuwe KNMI'06 scenario's zijn op 30 mei 2006 door de toenmalige 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 27). Deze vier zijn gebaseerd op analyse van GCM resultaten die aangaven dat de stijging van de wereldgemiddelde temperatuur rond 2050 hoogst waarschijnlijk ergens tussen de  $+1^{\circ}\text{C}$  en  $+2^{\circ}\text{C}$  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. 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.



Figuur 27: Schematische indeling van de KNMI'06 klimaatscenario's.

*G en G+ hebben een Gematigde opwarming van  $+1^{\circ}\text{C}$  in 2050 t.o.v. 1990, terwijl W en W+ uitgaan van een Warmer klimaat ( $+2^{\circ}\text{C}$ ). De "+" geeft aan dat in de scenario's rekening wordt gehouden met een sterke verandering van de gemiddelde luchtstromingen.*



## 5 Invloed klimaatverandering

De voorgaande hoofdstukken vormen het fundament voor een inschatting van de gevoeligheid voor klimaatverandering voor het Landgoed Slangenburg. In hoofdstuk 3 is de referentie situatie bepaald voor de periode 1995-2004 en in hoofdstuk 4 is beschreven hoe het klimaat gaat veranderen. Het referentie model is opnieuw gebruikt maar dan met deze nieuwe klimaatgegevens. Er is dus vanuit gegaan dat alleen het klimaat verandert, en alle overige gegevens gelijk blijven. Eventuele verandering in bostypen en andere vegetatie (door CO<sub>2</sub> of temperatuur effecten of door menselijk ingrijpen) is dus niet meegenomen. Hoewel dit in werkelijkheid wel zal gebeuren is het in de context van deze studie beter om dit buiten beschouwing te laten, omdat anders de gevoeligheid voor klimaatverandering als zodanig niet eenduidig kan worden vastgesteld.

SWAT is uitermate geschikt om de invloed van klimaatverandering op het bos-bodem-water-klimaat processen te analyseren. In deze analyse is het uitgangspunt het W+ scenario genomen, zoals beschreven in het voorgaande hoofdstuk. In SWAT is dit in eerste instantie als volgt geïmplementeerd:

- Zomer (april tot en met september)
  - neerslag -19% (RFINC)
  - temperatuur +2.8% (TMPINC)
  - potentiële verdamping +15% ( in SWAT HUMINC -0.01)
- Winter (oktober tot en met maart)
  - neerslag +14% (RFINC)
  - temperatuur +2.3% (TMPINC)
  - potentiële verdamping +15% ( in SWAT HUMINC -0.01)

Hoewel ook de extremen in neerslag zullen gaan toenemen is dit wat minder van belang voor de huidige evaluatie, omdat de studie zich niet richt op overstromingsrisico. Het KNMI is momenteel bezig om deze verwachte toename van extremen beter te onderbouwen via hun Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl/>).

*Tabel 9. Invloed van klimaatverandering op waterbalans voor het gehele gebied. Alles in mm per jaar.*

YYYY	AvgPrecip	AvgET	AvgTact	AvgEact	AvgPerc	AvgSurq	AvgLatQ
1995	-19	14	12	1	-13	-4	0
1996	-28	5	13	-8	-40	-5	0
1997	-43	22	25	-4	-59	-5	0
1998	-31	26	27	-2	-54	-1	0
1999	-20	15	17	-3	-30	-2	0
2000	-20	25	25	0	-37	-1	0
2001	-25	23	24	-2	-38	-8	0
2002	-2	27	27	-1	-26	-4	0
2003	-27	-1	0	-2	-23	-4	0
2004	-30	31	28	2	-54	-4	0
average	-24	19	20	-2	-37	-4	0

*Toelichting op tabel:*

- Aangegeven is het verschil door klimaatverandering ten opzichte van de referentie situatie zoals te zien in Tabel 6

- *Precip is neerslag; ET is actuele evapotranspiratie; Tact is actuele gewasverdamping; Eact is actuele bodemverdamping; Perc is percolatie naar het grondwater; Surq is oppervlakkige afvoer; LatQ is drainage naar de sloten.*

Als eerste is gekeken wat de invloed van klimaatverandering is op het hele gebied per jaar (Tabel 9). De algemene trend is dat onder het KNMI '06 W+ scenario er minder neerslag zal vallen, de verdamping zal toenemen en de percolatie naar het grondwater zal afnemen. Interessant is dat ondanks de toenemende droogte, de verdamping nog niet afneemt. Het grondwater is nog redelijke ondiep en binnen bereik van de bomen door capillaire opstijging. Uiteraard zal de grondwaterstand gestaag zakken, maar doordat de analyses voor slechts tien jaar zijn uitgevoerd is dit effect nog niet gesimuleerd door het model. Het is echter duidelijk dat de verminderde percolatie van gemiddeld 37 mm per jaar de duurzaamheid van het systeem tot zal ondermijnen. Zonder klimaatverandering is de gemiddelde percolatie ongeveer 410 mm en een reductie met de 37 mm zal geen dramatische effecten hebben.

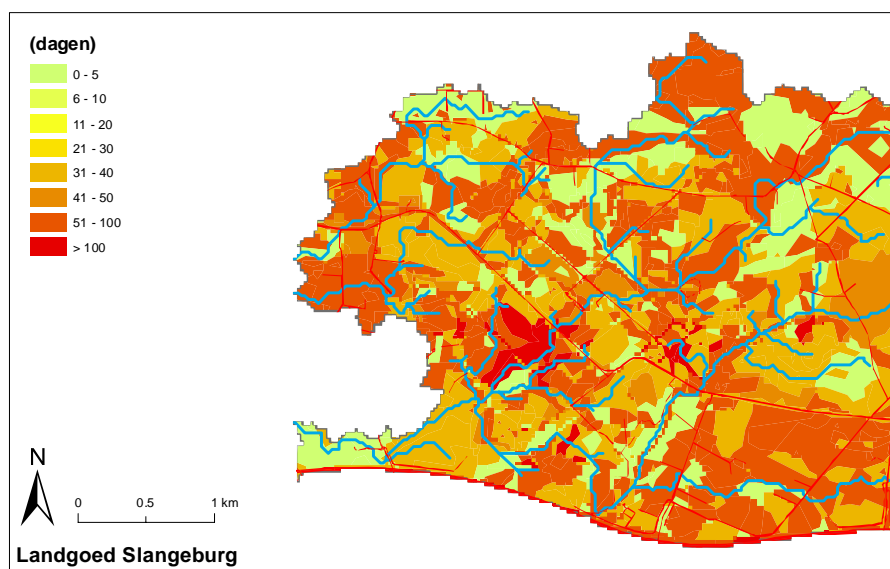
In Tabel 10 is te zien dat de invloed van klimaatverandering niet even groot is voor alle landgebruiken. Binnen de groep loofhout valt niet zoveel verschil te zien, maar bij naaldhout zijn nogal wat verschillen te zien. Bij het donkere naaldhout (fijnspar, sitkaspar, tsuga) valt op dat deze al minder verdampen onder invloed van klimaatverandering. Dit betekent dat deze soorten ook minder zullen produceren, maar belangrijker is dat ze door dit vochttekort zwakker zullen worden en daardoor gevoeliger voor ziekten en plagen. Bij douglas en grove den neemt de verdamping als gevolg van hogere temperaturen juist toe, met als gevolg dat percolatie naar het grondwater fors afneemt.

Verder is de ruimtelijke spreiding ten gevolge van klimaatverandering binnen het landgoed Slangenburg van belang. Figuur 28 en Figuur 29 laten zien hoeveel droge en natte dagen er te verwachten zijn onder klimaatverandering. Als deze figuren vergeleken worden met dezelfde kaarten zonder klimaatverandering (Figuur 23 en Figuur 24) dan is duidelijk dat het aantal natte dagen enigszins afneemt. Gemiddeld ongeveer met 10 tot 20%.

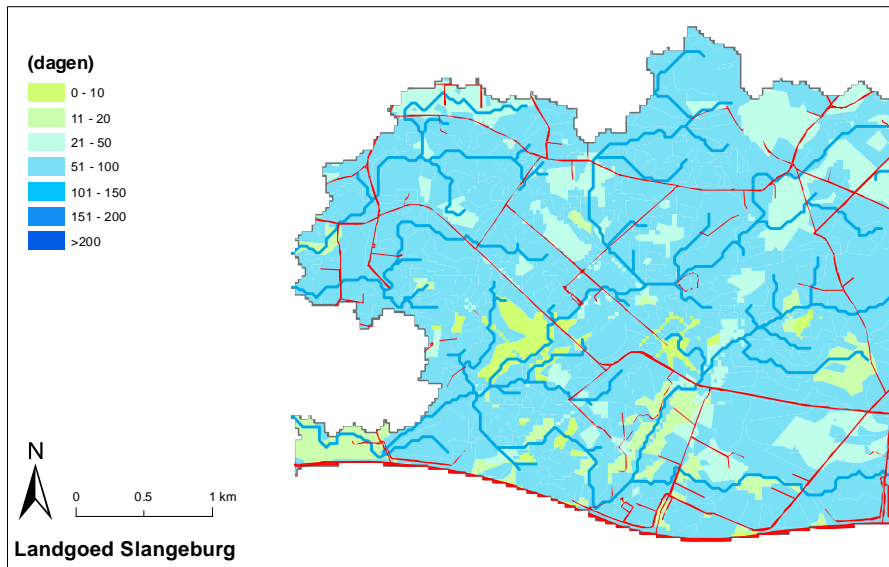
Dramatisch is echter de toename van het aantal droge dagen. Dit lag rond de 30 tot 50 dagen per jaar voor een droog jaar, maar onder klimaatverandering zal dit toenemen tot meer dan 50 dagen per jaar. De hoeveelheid percolatie naar het grondwater neemt onder dit scenario af met gemiddeld 37 mm per jaar af en zal dus leiden tot lagere grondwaterstanden. De ruimtelijke spreiding van de toename van het aantal droge dagen is te zien in Figuur 30.

Tabel 10. Invloed van klimaatverandering per landgebruik. Waarden geven het verschil aan ten opzichte van de referentiesituatie. Alles in mm per jaar, gemiddeld over 1995-2004.

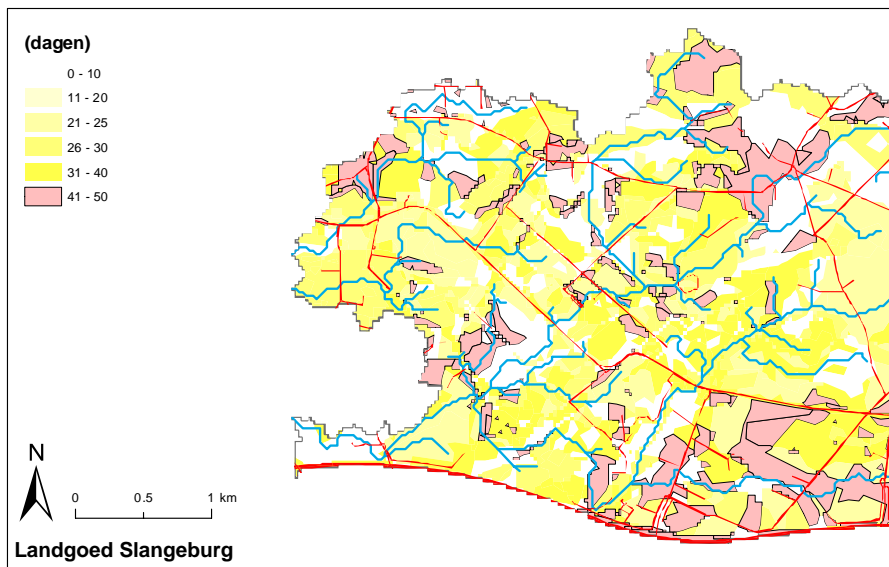
LULC	AvgPrecip	AvgET	AvgTact	AvgEact	AvgPerc	AvgSurq	AvgLatQ
Landbouw	-24	19	22	-4	-26	-16	0
Stedelijk	-24	17	0	17	-30	-11	0
Loofbos	-24	16	22	-6	-40	0	0
Naaldbos	-24	16	22	-6	-40	0	0
Berk	-24	8	16	-7	-32	0	0
Beuk	-24	14	18	-4	-37	0	0
Douglas	-24	28	24	4	-51	0	0
Eik	-24	8	16	-7	-32	0	0
Es	-24	9	12	-2	-33	0	0
Fijnspar	-24	0	-3	3	-24	0	0
Grove den	-24	31	31	0	-55	0	0
Japanse larix	-24	9	12	-2	-33	0	0
Loof overig	-24	13	19	-6	-37	0	0
Populier	-24	13	19	-6	-37	0	0
Sitkaspar	-24	0	-3	3	-24	0	0
Tsuga	-24	0	-3	3	-24	0	0
Weiland	-24	25	30	-4	-49	0	0
Water	-24	39	0	0	0	0	0



Figuur 28: Gemiddeld aantal dagen per jaar met droogte onder klimaatverandering.



Figuur 29: Aantal dagen met natte omstandigheden onder klimaatverandering.



Figuur 30: Toename aantal droge dagen onder klimaatverandering.

## 6 Conclusies

Het is inmiddels een vaststaand feit dat klimaatverandering een belangrijke invloed zal uitoefenen op vegetatie. Neerslag hoeveelheden en intensiteiten zullen veranderen en temperaturen zullen stijgen waardoor de waterbehoefte van vegetatie zal toenemen. Hoewel er nog onduidelijkheden zijn in de exacte invloed, met name door mogelijke terugkoppelingseffecten van bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> verhoging, is het voor bosbeheerders essentieel om nu al te anticiperen op komende veranderingen. Beslissingen die op het gebied van bosbeheer die vandaag worden genomen hebben namelijk invloed die invloed hebben op de komende 50 tot 100 jaar.

In deze studie, in het kader van het project GeoBos, is voor het middelste ruimtelijke schaalniveau (eerste niveau is individuele bomen, derde niveau is Gelderland) het landgoed Slangenburg bij Doetinchem geselecteerd om de invloed van klimaatverandering op bos te kwantificeren.

Deze initiele studie is gebaseerd op direct toegankelijke gegevens en is vooral bedoeld om discussies over de invloed van klimaatverandering op bossen te voeden en om de methode te demonstreren. Resultaten moeten daarom als indicatief worden beschouwd.

De belangrijkste conclusies die uit deze studie naar voren kwamen zijn:

- Onder klimaatverandering zal het aantal dagen met natte omstandigheden enigszins afnemen.
- Het aantal droge dagen zal aanzienlijk toenemen, waardoor grondwaterstanden zullen dalen en watertekort voor het bos zal toenemen. Hierdoor zullen bomen gevoeliger worden voor ziekten en plagen.
- Het SWAT model is geschikt om de analyses uit te voeren, maar de hoeveelheid benodigde gegevens is groot.
- Er is een aanzienlijke ruimtelijke spreiding in gevoeligheid voor klimaatverandering, die veroorzaakt wordt verschillen in bodem, hoogte en bostype.

Resultaten van deze studie zijn ook op Google Earth geplaatst en kunnen worden bekeken via de project website: <http://www.futurewater.nl/geobos>.

# 7 Literatuur

- Droogers, P. en Hurk, B. van den. 2006. Waterbeheer en de nieuwe KNMI klimaatscenario's. H<sub>2</sub>O Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer 12: 25-28.
- Graafstal, H., P. Droogers. 2007. Modelling climate change impact on forests: an overview. FutureWater report. <http://www.futurewater.nl/geobos>
- Hassan, Z., H. Schoonderwoerd. 2006. The effect of climate and hydrology on tree-ring width of Oak (*Quercus robur*) from different sites at Slangenburg forest in the Netherlands. Report Silve. <http://www.futurewater.nl/geobos>
- Immerzeel, W., P. Droogers. 2007. Invloed van klimaatverandering op het Gelderse bos. FutureWater Report. <http://www.futurewater.nl/geobos>
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- KNMI, 2003. De toekomst van het klimaat in Nederland 2003.
- Kors, A.G., Claessen, F.A.M., Wesseling, J.W. en Können, G.P. 2000. Scenario's externe krachten t.b.v. WB21. RIZA, Lelystad.
- Muys, B., J. Garcia, R. Ceulemans, G. Deckmyn, S. Proost, E. Moons. 2002. Scenario's voor broeikasgasreductie door vastlegging van koolstof en energiesubstitutie: ruimtebeslag, milieu-impact en kostenefficiëntie. Eindrapport PBO98/41/16 Laboratorium voor Bos, Natuur en Landschap, K.U. Leuven
- Oreskes, N. 2004. The Scientific Consensus on Climate Change. Science, Vol 306, Issue 5702, Page 1686.
- Van den Hurk, B., Klein Tank, A. en Bessembinder, J. 2006. Nieuwe klimaatscenario's beter onderbouwd door het KNMI. H<sub>2</sub>O Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer 12:8-9.
- Wit, de A. 2001. Het Landelijk grondgebruiksbestand Versie 4 (LGN4). Rapport: Alterra, Centrum voor Geo-informatie.

## Appendix 1. Landgebruik conversie

ID	LGN / Syhi	SWAT
1	gras	PAST
2	mais	AGRL
3	aardappelen	AGRL
4	bieten	AGRL
5	granen	AGRL
6	overige landbouwgewassen	AGRL
9	boomgaard	ORCD
11	loofbos	FRSD
12	naaldbos	FRSE
16	zoet water	WATR
18	stedelijk bebouwd gebied	URHD
19	bebouwing in buitengebied	URLD
20	loofbos in bebouwd gebied	FRSD
21	naaldbos in bebouwd gebied	FRSE
22	bos met dichte bebouwing	FRSD
23	gras in bebouwd gebied	PAST
24	kale grond in bebouwd buitengebied	RNGB
25	hoofdwegen en spoorwegen	URHD
26	bebouwing in agrarisch gebied	URLD
35	Open stuifzand	RNGB
37	Matig vergraste heide	RNGB
45	Overig open begroeid natuurgebied	RNGB
46	Kale grond in natuurgebied	RNGB
101	AE	F_AE
102	AG	F_AG
103	BE	F_BE
104	BU	F_BU
105	CD	F_CD
106	DG	F_DG
107	ED	F_ED
108	EI	F_EI
109	ES	F_ES
110	FS	F_FS
111	GD	F_GD
112	JL	F_JL
113	LO	F_LO
114	OD	F_OD
115	PO	F_PO
116	SS	F_SS
117	TS	F_TS

## Appendix 2: Bodem-waterbalansen in SWAT

In SWAT zijn drie zogenaamde bodem-water lagen onderscheiden. Deze hebben elk hun specifieke eigenschappen en processen die worden beschreven. De volgende lagen in SWAT terminologie zitten in het model:

- Soil layer, opgedeeld in maximaal 10 horizonten
- Shallow aquifer
- Deep aquifer

De volgende waterbalansen gelden voor elk van deze drie lagen, waarbij wordt verwezen naar de termen zoals gebruikt in SWAT en dan met name in de SBS resultaten files.

### Soil layer

The water balance for the soil layer in SWAT abbreviations can be written as:

$$IN = OUT$$

$$PRECIP + IRR + REVAP = ET + PERC + SURQ + LATQ + \Delta SOIL$$

If we consider longer time periods (e.g. an entire year) the change in soil water content is close to zero. The soil water balance, rewritten to Input = Output, reads:

$$PRECIP + IRR + REVAP = ET + PERC + SURQ + LATQ$$

PRECIP is precipitation

IRR is irrigation

REVAP is capillary rise from shallow groundwater

ET is actual evapotranspiration

PERC is percolation to shallow groundwater

SURQ is surface runoff

LATQ is lateral runoff

All in mm per time step considered.

Note that PERC (percolation) will be GW\_RCH (groundwater recharge) over longer time frames.

### Shallow aquifer

$$IN = OUT$$

$$(GW\_RCHG - DA\_RCHG) + TLOSS = REVAP + SA\_IRR + GW\_Q + \Delta SA\_ST$$

where

GW\_RCHG = total groundwater recharge

DA\_RCHG = deep aquifer recharge

TLOSS = seepage from channel (transmission losses)

REVAP = capillary rise

SA\_IRR = irrigation from shallow aquifer

GW\_Q = groundwater base flow to stream

$\Delta SA\_ST$  = change in shallow aquifer storage



All in mm per time step considered.

### Deep aquifer

IN = OUT

$$DA\_RCHG = DA\_IRR + \Delta DA\_ST$$

where

DA\_RCHG = deep aquifer recharge

DA\_IRR = irrigation from deep aquifer

$\Delta DA\_ST$  = change in deep aquifer storage

### Water Yield

Water yield defined as the amount of water contributing to stream flow:

$$WYLD = SURQ + LATQ + GWQ - TLOSS$$

where WYLD is total water contributing to stream flow, SURQ is surface runoff, LATQ is lateral runoff, GWQ is groundwater runoff, and TLOSS seepage losses in channels.