

# Invloed van klimaatverandering op het Gelderse bos

Een analyse van de geo-spreiding van gevoeligheid voor klimaatverandering van bossen in Gelderland

Walter Immerzeel  
Peter Droogers



Ruimte voor Geo-Informatie



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

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

## Samenvatting

Het is inmiddels een vaststaand feit dat het klimaat verandert. In de toekomst zullen er meer en extremere drogere periodes komen, potentiële verdamping zal toenemen en neerslagpatronen zullen veranderen in tijd en ruimte. Bossen bevinden zich meestal niet op optimale locaties, omdat goede groeilocaties over het algemeen worden gebruikt voor de landbouw. Bossen staan daarom vaak op locaties die natter of droger dan gemiddeld zijn. Het is daarom te verwachten dat de ruimtelijke variatie in gevoeligheid voor klimaatverandering van bossen dan ook groot zal zijn. Dit rapport beschrijft een studie waarbij een geografische analyse is gemaakt van de bosgebieden in Gelderland voor de nat en droogte gevoeligheid van klimaatverandering op basis van een aantal gekarteerde grootheden: de hoogte ligging, kwel, ontwateringstoestand en grondwater dynamiek. Per grootheid is een gevoeligheidsindex afgeleid en uiteindelijk zijn de grootheden gecombineerd tot een natgevoeligheidskaart en een droogtegevoeligheidskaart. Hierbij is gebruik gemaakt van bevindingen die in het project zijn gedaan op ander ruimtelijk schaalniveau (individuele boom en een gedetailleerde hydrologische analyse van een landgoed). Voornaamste conclusie is dat de gevoeligheid voor natschade in Gelderland gering is, maar de bossen op het Veluwe massief zijn gevoelig tot zeer gevoelig voor droogte en klimaatverandering. De ontwikkelde methode is generiek opgezet en toepasbaar op grotere schaal (Nederland of Europa). De resultaten zijn beschikbaar op Google Earth via de project website ([www.futurewater.nl/geobos](http://www.futurewater.nl/geobos)).

# Inhoudsopgave

<b>SAMENVATTING</b>	<b>3</b>
<b>1 INLEIDING</b>	<b>5</b>
<b>2 KLIMAATVERANDERING</b>	<b>6</b>
2.1 WB21 scenario's	6
2.2 KNMI'06 scenario's	7
<b>3 METHODEN</b>	<b>9</b>
3.1 Introductie	9
3.2 Geografische gegevens	9
3.3 Klimaatgevoeligheid index	12
<b>4 RESULTATEN</b>	<b>14</b>
<b>5 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN</b>	<b>17</b>
<b>6 LITERATUUR</b>	<b>18</b>

# 1 Inleiding

Klimaatverandering wordt algemeen geaccepteerd als een vaststaand feit. Door de grote ruimtelijke spreiding in standplaats van bossen is de variatie in gevoeligheid voor klimaatverandering groot. Sommige bossen zullen amper last hebben van klimaatverandering, terwijl andere bosgebieden extra droogteschade of juist natschade zullen lopen.

Het bijzondere van bossen, in vergelijking met andere landgebruiktypen in Nederland, maakt beheer en beleid complex: (i) vaak groeiend op niet optimale locaties, (ii) geografische planning die vastligt voor minstens 100 jaar, (iii) grote ruimtelijke spreiding voor invloed van externe factoren.

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.

Op enkele locatie specifieke studies na ontbreekt tot nu toe de geo-spreiding voor de gevoeligheid van bossen voor klimaatverandering. Gezien deze locatie specifieke problemen is het de uitdaging om met het combineren van verschillende geografische kaartlagen de gevoeligheid van bossen voor klimaatverandering te kwantificeren.

Dit rapport beschrijft in hoofdstuk 2 is de achtergrond van klimaatverandering in Nederland en vervolgens wordt de studie gepresenteerd waarbij voor alle bosgebieden in Gelderland is bepaald wat de gevoeligheid voor klimaatverandering is voor zowel droogte als natschade. Aan de hand van kaarten en informatie op Google Earth (<http://www.futurewater.nl/GeoBos>) zijn de resultaten gepresenteerd.

## 2 Klimaatverandering

Uitstoot van broeikasgassen, zoals CO<sub>2</sub>, hebben geleid tot een versterkt broeikaseffect, 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). 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 "Assessment Reports", die ongeveer elke vijf jaar verschijnen (IPCC, 2001). Het vierde "Assessment Report" is recent verschenen.

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.

Het KNMI heeft deze mondiale projecties vertaald naar de schaal van Nederland, waarbij als uitgangspunt de globale temperatuurstijging is genomen. 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.

### 2.1 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 1.

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

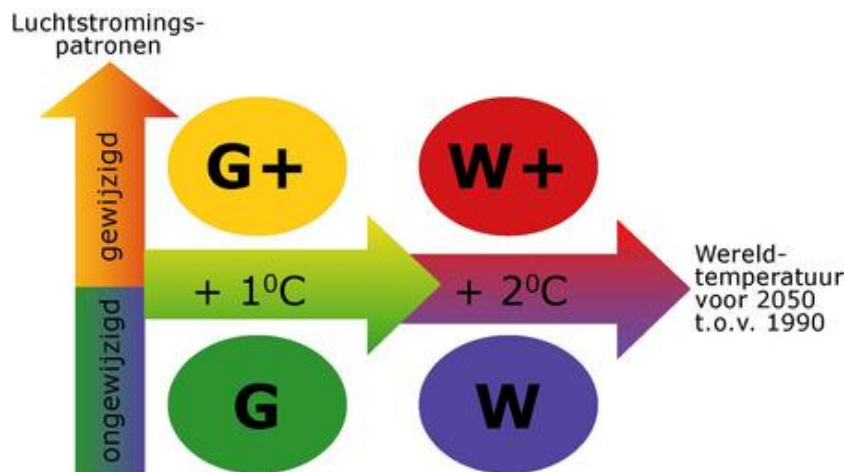
## 2.2 KNMI'06 scenario's

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 (Figuur1). 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. 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.



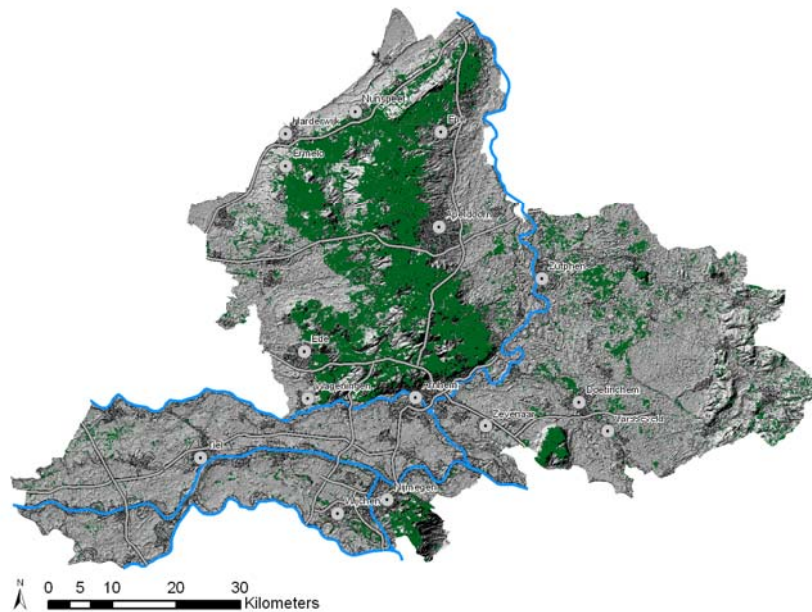
*Figuur1: Schematische indeling van de KNMI'06 klimaatscenario's. G en G+ hebben een Gematigde opwarming van  $+1^{\circ}\text{C}$  in 2050 t.o.v. 1990, terwijl W en W+ uitgaan van een Warmer klimaat ( $+2^{\circ}\text{C}$ ). De "+" geeft aan dat in de scenario's rekening wordt gehouden met een sterke verandering van de gemiddelde luchtstromingen.*



# 3 Methoden

## 3.1 *Introductie*

De provincie Gelderland is de bosrijkste provincie van Nederland. In totaal is er ongeveer 92.500 ha bos in Gelderland. Dit komt overeen met 18% van de totale oppervlakte. Het overgrote deel van het bos areaal bevindt zich op het Veluwe massief. In Figuur 2 is de locatie van de bosgebieden weergegeven.



*Figuur 2. Bosgebieden in Gelderland.*

Klimaatverandering zal consequenties hebben voor de standplaatscondities van bossen en het grootste te verwachten effect zal de verandering van de waterhuishouding hebben. Dit kan zowel betekenen dat langere en extremere droge periodes leiden tot forse droogteschade of dat langdurige en extreme natte condities leiden tot een toename van boomschade ten gevolge van wateroverlast. Om dit ruimtelijk in kaart te brengen is er thematische geografische informatie nodig waarmee een inschatting gemaakt kan worden van de gevoeligheid van een bepaald bosgebied voor droogte dan wel natschade.

## 3.2 *Geografische gegevens*

De volgende geo-informatie is gebruikt voor de ruimtelijke analyses:

- Hoogteligging
- Ontwateringstoestand
- Kwel
- Grondwater

### 3.2.1 Hoogteligging

Er is gebruik gemaakt van het Actueel Hoogtebestand Nederland met een ruimtelijke resolutie van 25 m. Uitgangspunt hierbij is dat hoog gelegen gebieden relatief gevoelig zijn voor droogteschade en minder gevoelig voor natschade.

### 3.2.2 Ontwateringstoestand

Er is gebruik gemaakt van de STONE database. Het model STONE is gezamenlijk ontwikkeld door de instituten RIVM, RIZA en Alterra om beleidsvragen van de Ministeries van VROM, V&W en LNV ten aanzien van het mestbeleid te kunnen beantwoorden. De hydrologische aspecten van STONE zijn samengesteld op basis van het hydrologische model SWAP (Van Dam et al., 1997; Kroes en Van Dam, 2003). De ruimtelijke schematisatie voor STONE is gemaakt ten behoeve van de berekeningen voor de WaterSysteemVerkenningen (Kroon et al., 2001). Om de ontwateringstoestand te karakteriseren is gebruik gemaakt van de drainageweerstanden uit de STONE database. Gebieden met een hoge drainageweerstand zijn gevoelig voor natschade en gebieden met een lage drainageweerstand zijn gevoelig voor droogteschade. STONE gaat uit van een primair, secundair en tertiair drainage systeem (Tabel 2).

*Tabel 2: Verschillende drainage systemen uit de STONE database*

Drainagesysteem	Betekenis
Primair	Waterlopen 3 - 6 meter en waterlopen breder dan 6 meter
Secundair	Waterlopen smaller dan 3 meter
Tertiair	Greppels en droogvallende waterlopen

Voor ieder is systeem zijn ruimtelijk de drainage weerstanden beschikbaar. Vanwege het niet lineaire karakter van de drainage weerstanden is het harmonische gemiddelde van de drie systemen gebruikt om een "vervangingsweerstand" te bepalen die de ontwateringstoestand karakteriseert. Het harmonische gemiddelde is gedefinieerd als

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{n} \sum_{x=i}^n \frac{1}{X_i}$$

Waarbij  $h$  de vervangingsweerstand is, en  $X_i$  de drainage weerstand van respectievelijk het primaire, secundaire en tertiaire drainagesysteem. De STONE gegevens hebben een ruimtelijke resolutie van 250 meter, terwijl het AHN een ruimtelijke resolutie heeft van 25 meter. Om deze reden zijn de drainage weerstanden neergeschaald naar de ruimtelijke resolutie van het AHN. Dit is gedaan door de middelpunten van de STONE gridcellen ruimtelijk te interpoleren met een spline interpolatie naar een resolutie van 25 meter (Franke, 1982).

### 3.2.3 Kwel

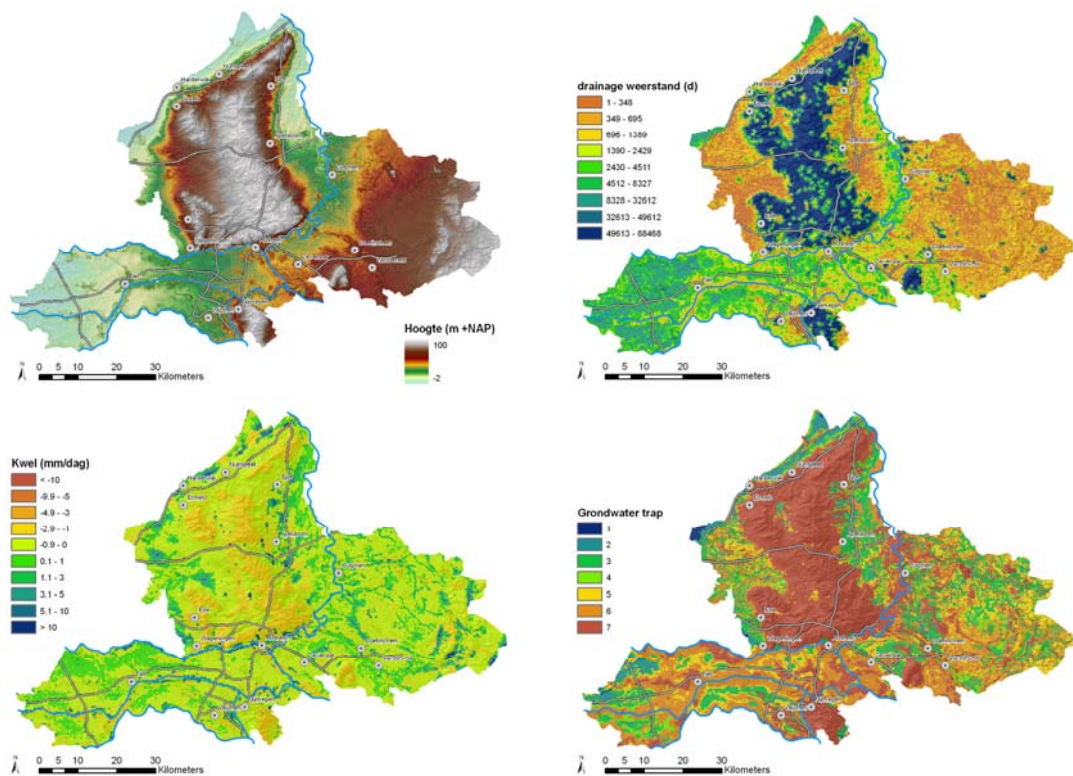
Voor de kwel is eveneens gebruik gemaakt van de STONE database en dezelfde neerschaal techniek is gebruikt als voor de drainage weerstanden.

### 3.2.4 Grondwater

Essentieel voor het bepalen van de waterhuishouding zijn de bodemeigenschappen. De meest betrouwbare bron van informatie hiervoor is de STIBOKA 1:50.000 bodemkaart. In Nederland heeft ongeveer 50% van de gronden een wintergrondwaterstand ondieper dan 40 cm en 's zomers blijft in ca. 30% van de oppervlakte de grondwaterstand binnen de 120 cm –mv. Om de grondwater dynamiek weer te geven is een landelijk systeem van grondwatertrappen ontwikkeld (GTs), gebaseerd op de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG). Deze grootheden geven de hoogte beneden het maaiveld tot waar (onder gemiddelde weersomstandigheden) de grondwaterstand in de winter stijgt en in de zomer daalt. De grondwatertrappen indeling telt zeven verschillende klassen en de relatie tussen GT en GHG en GLG is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Grondwatertrappenindeling

Grondwatertrap:	I	II	III	IV	V	VI	VII
GHG (cm – mv)	(< 20)	(< 40)	< 40	> 40	< 40	40 – 80	> 80
GLG (cm – mv)	< 50	50 - 80	80 - 120	80 - 120	> 120	> 120	> 160



Figuur 3. Hoogteligging, drainageweerstand, kwel en grondwatertrap voor de provincie Gelderland.

Aan een aantal vlakken uit de bodemkaart is geen GT toegekend. Dit geldt voor open water, buitendijkse gronden en een aantal samengestelde kaarteenheden. Over het algemeen geldt dat de lage GTs gevoelig zijn voor natschade en de hoge GTs voor droogteschade.

De gebiedsdekkende kaarten voor hoogte, drainageweerstand, kwel en GT zijn weergegeven in Figuur 3.

### 3.3 Klimaatgevoeligheid index

Gebruik makend van bovenstaande gegevens zijn vervolgens beslissingstabellen gemaakt waarmee is vast te stellen of bepaalde bosgebieden gevoelig zijn voor klimaatverandering. De basis voor de beslistabellen is het schalen van de gegevens naar waarden tussen 0 en 1, waarbij 0 geldt als "niet gevoelig" en 1 als "zeer gevoelig". Deze waarden kunnen gezien worden als deel componenten van een klimaatgevoeligheid index.

Het kenmerkende van bosgebieden in Nederland is dat deze voor het overgrote deel op locaties staan die niet geschikt waren voor andere vormen van landgebruik. Dit betekent vaak relatief nat of relatief droog. Aangezien klimaatverandering met zich meebrengt dat er meer extremen in zowel natte als droge perioden zullen optreden, is het van belang om de gevoeligheid voor zowel natschade als voor droogschade te evalueren.

Voor elke pixel van 25 bij 25 meter is daarom zowel een natgevoeligheid als droogtegevoeligheid bepaald door voor elke indicator een lineaire interpolatie uit te voeren met een boven- en ondergrens voor minimale gevoeligheid en maximale gevoeligheid. De gevoeligheid wordt gegeven door:

$$\text{Gevoeligheid} = (\text{Waarde} - \text{MinimaleWaarde}) / (\text{MaximaleWaarde} - \text{MinimaleWaarde})$$

In Tabel 4 worden de waarden gegeven die gebruikt zijn voor het bepalen van de klimaatgevoeligheid droog en nat voor de verschillende factoren.

Tabel 4. Waarden voor de klimaatgevoeligheid index.

	Drooggevoelig		Natgevoelig	
	MinWaarde	MaxWaarde	MinWaarde	MaxWaarde
Kwel <sup>1</sup> (mm d <sup>-1</sup> )	0	-5	0	5
Drainage (log (d <sup>-1</sup> ))	3	0	0	5
Grondwaterstand (GWT)	3	7	4	1
Hoogte (cm NAP)	2000	10000	-100	1000

<sup>1</sup> Negatieve waarden geven wegzijging aan.

Deze analyse levert acht verschillende kaarten met klimaatgevoeligheid indices op; vier voor natgevoeligheid en vier voor droogtegevoeligheid. De uiteindelijke gevoeligheidskaarten worden bepaald door deze vier kaarten te combineren volgens een bepaalde weging. Ontwateringskarakteristieken spelen bijvoorbeeld een minder belangrijke rol dan de GT. Deze wegingsfactoren zijn weergegeven in Tabel 5.

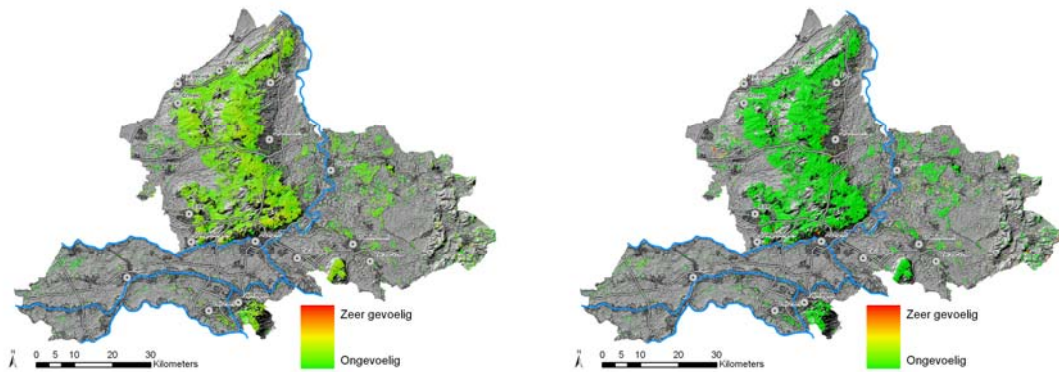
Tabel 5. Weging van de klimaatgevoeligheid index.

Index	Weging
Kwel	30%

Drainage	10%
Grondwaterstand	30%
Hoogte	30%

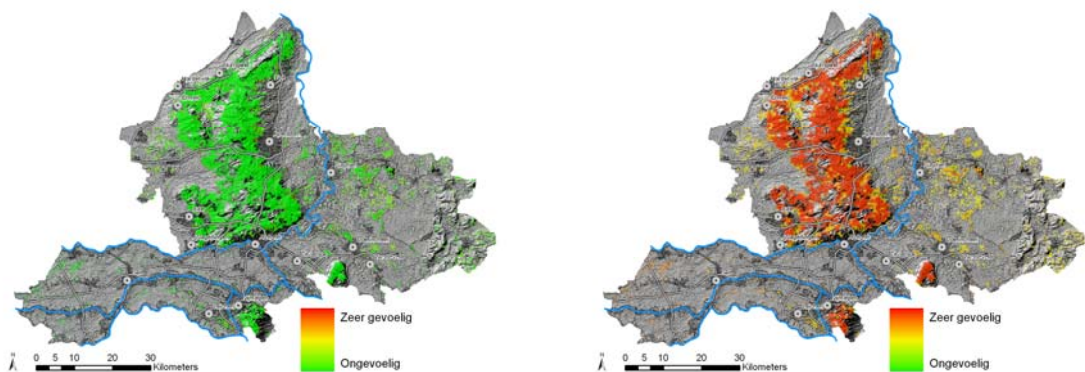
## 4 Resultaten

Voor elk van de factoren is een gevoeligheidsindex bepaald zoals beschreven in de voorgaande paragraaf.



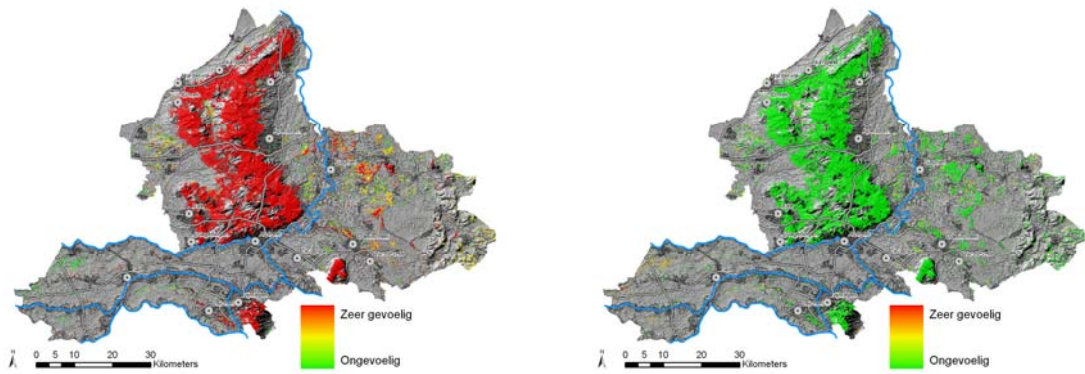
*Figuur 4. Klimaat gevoeligheidsindex voor kwel. Links voor droogtegevoeligheid en rechts voor natgevoeligheid.*

De gevoeligheid voor kwel is gering in zowel de droge situatie als de natte situatie (Figuur 4). De meeste bosgebieden worden gekarakteriseerd door 1 à 2 mm wegzijging en er is dus wel een beperkte droogtegevoeligheid.



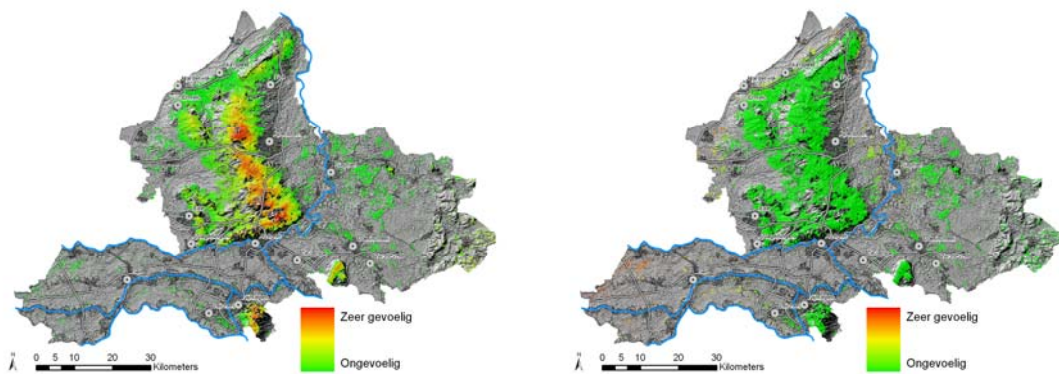
*Figuur 5. Klimaat gevoeligheidsindex voor drainage. Links voor droogtegevoeligheid en rechts voor natgevoeligheid.*

De ruimtelijke verdeling van de gevoeligheid voor ontwateringskarakteristieken laat wel duidelijke verschillen zien tussen nat en droog (Figuur 5). Vooral interessant is het Veluwe massief; door de afwezigheid van sloten en greppels is de drainageweerstand relatief hoog en de natgevoeligheid groot. In andere gebieden is dit veel minder duidelijk het geval. Het is duidelijk dat deze natgevoeligheid van de Veluwe bossen voor het grootste gedeelte wordt gecompenseerd door de doorlatende zandgronden en lage grondwaterstanden.



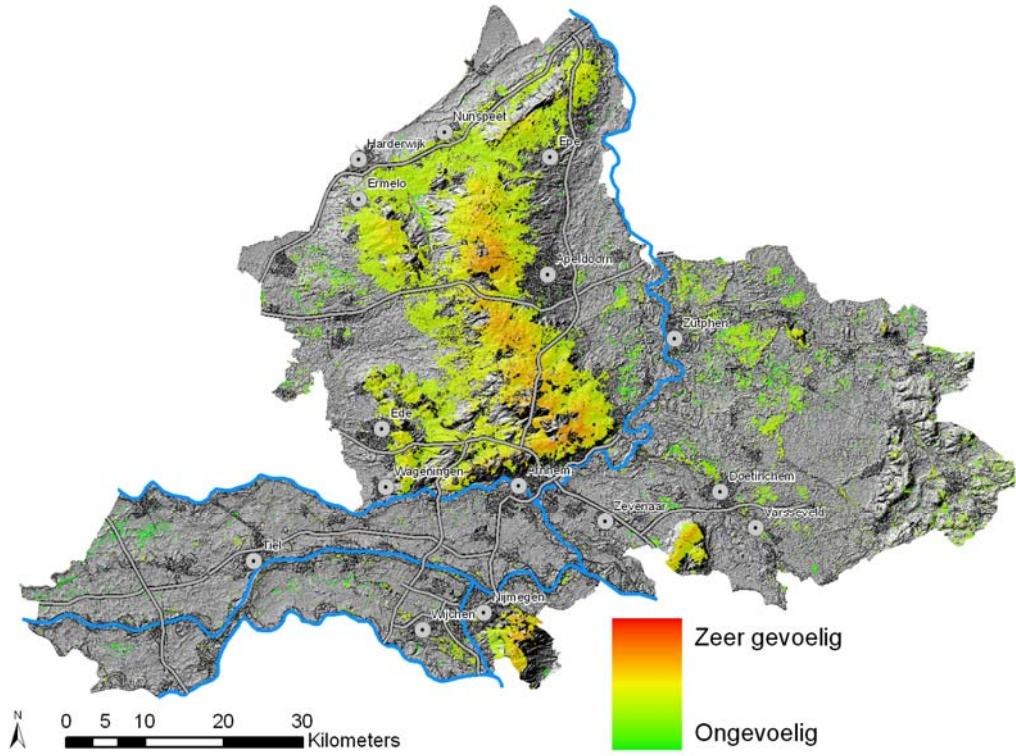
*Figuur 6. Klimaat gevoeligheidsindex voor grondwatertrap. Links voor droogtegevoeligheid en rechts voor natgevoeligheid.*

De bosgebieden op de Veluwe liggen ook bijna allemaal op gronden met de droogte gevoelige GT VII, terwijl de laaggelegen bossen in het rivierenland in het westen wat betreft GT veel minder droogte gevoelig zijn. De bosgebieden in oostelijk Gelderland laten een grote ruimtelijke variatie zien in droogte gevoeligheid (Figuur 6). Logischerwijs is het Veluwe massief het meest droogte gevoelig wat betreft hoogte en de bosgebieden in het Rivierenland het minst (Figuur 7).

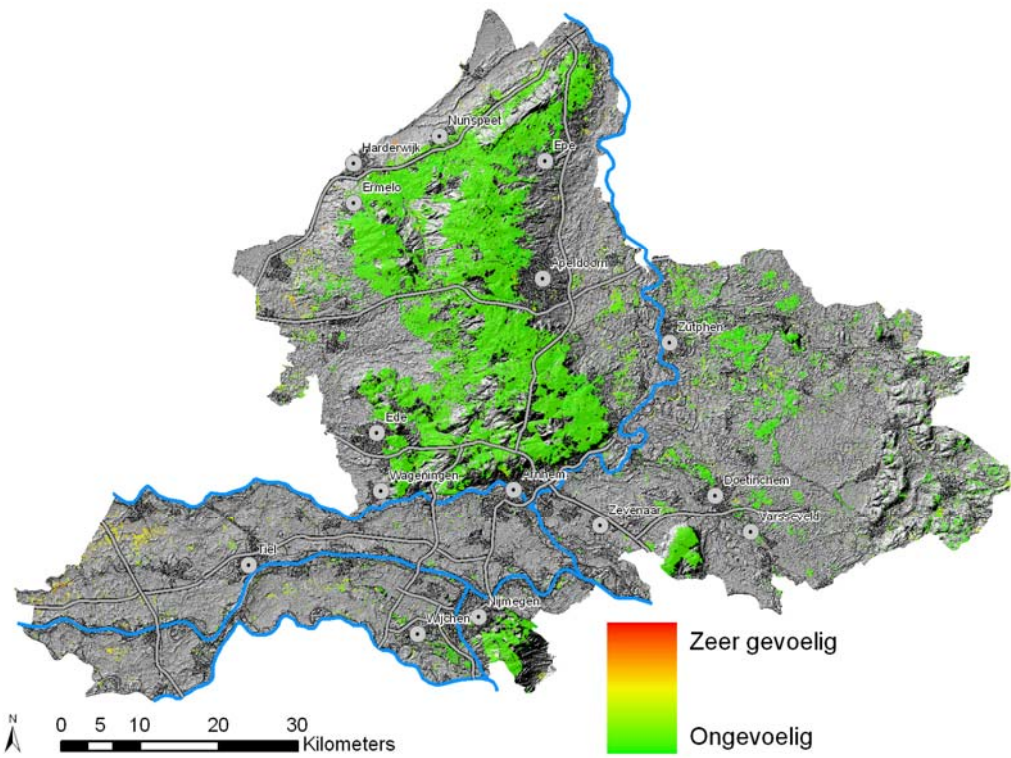


*Figuur 7. Klimaat gevoeligheidsindex voor hoogteligging. Links voor droogtegevoeligheid en rechts voor natgevoeligheid.*

De uiteindelijke klimaatgevoeligheid kaarten zijn weergegeven in Figuur 8 (droogte) en Figuur 9 (nat). De bosgebieden op de Veluwe lopen het grootste risico en zijn gevoelig voor toename in langdurige structurele en extreme droogte. De voornaamste oorzaak is de diepe grondwaterstand, de hoge ligging en de relatieve steile hellingen, waardoor een groot deel van de neerslag direct wordt afgevoerd. Er zijn grote ruimtelijke verschillen te zien in droogtegevoeligheid. De bossen in het westen van Gelderland in het laaggelegen rivierenland zijn door de relatief hoge drainage weerstanden en hun lage ligging het gevoeligst voor toenames in neerslag.



*Figuur 8. Droogtegevoeligheid bossen voor klimaatverandering*



*Figuur 9. Natgevoeligheid bossen voor klimaatverandering*



## 5 Discussie en aanbevelingen

Deze studie laat zien dat met behulp van geografische informatie de ruimtelijke spreiding in de gevoeligheid van bosgebieden voor klimaatverandering inzichtelijk kan worden gemaakt. Het gebruik van indices die de gevoeligheid schalen tussen 0 en 1 en vervolgens een gewogen gemiddelde berekenen op basis van deze indices is een effectief middel. Van groot belang is het vaststellen van de beslisregels in deze analyse. In andere woorden: wat zijn de fysieke grenswaarden die de standplaats condities dusdanig verslechteren dat bossen in hun voortbestaan worden bedreigd. In deze studie zijn de grenswaarden vastgesteld aan de hand van model simulaties en expertise opgedaan tijdens dit project op andere ruimtelijke schaal (de individuele boom en het landgoed Slangenburg)<sup>1</sup>. Naast de keuze van grenswaarden van de indicatoren is ook keuze van de wegingsfactoren van belang. Hierbij is ervoor gekozen om de drainageweerstand, die indirect de vochthuishouding beïnvloedt, het minste gewicht toe te kennen (10%) en de overige drie indicatoren even zwaar te laten wegen (30%).

De methodiek die is gehanteerd maakt gebruik van grondwatertrappen afgeleid uit de bodemkaart. Er zijn forse verbeteringen mogelijk als grondwater dynamiek landsdekkend als raster bestand (bijvoorbeeld afgeleid uit grondwatermodellen) gebruikt zou worden als invoer. Hierbij is het van belang dat de grondwater dynamiek wordt gebruikt in de analyses. Vooral de vraag in welke mate de grondwaterstand zakt in de zomer en stijgt in de winter is belangrijk. Nu is deze informatie slechts globaal beschikbaar op per vlak uit de bodemkaart.

De eindresultaten van deze studie zijn ook beschikbaar via Google Earth. De analyse is tot nu toe uitgevoerd voor de provincie Gelderland, maar kan relatief makkelijk worden uitgebreid naar bosgebieden in Nederland of Europa.

---

<sup>1</sup> <http://www.futurewater.nl/geobos>

## 6 Literatuur

- Franke R. 1982. Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines. *Comp. & Maths. with Appls.* 8: 237-281.
- 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
- Kroes, J.G. en J.C. van Dam. 2003. *Reference Manual SWAP version 3.0.3*. Alterra, Green World Research. Alterra-report 773. Wageningen, Nederland.
- Kroon, T., P.A. Finke, I. Peereboom, en A.H.W. Beusen. 2001. *Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters*. RIZA rapport 2001.017, Lelystad, Nederland.
- Oreskes, N. 2004. The Scientific Consensus on Climate Change. *Science*, Vol 306, Issue 5702, Page 1686.
- Van Dam, J.C., J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. Van Walsum, P. Groenendijk, and C.A. van Diepen, 1997. *Theory of SWAP version 2.0*. Wageningen Agricultural University and DLO Winand Staring Centre. Technical Document 45.
- Van den Hurk, B., Klein Tank, A. en Bessembinder, J. 2006. *Nieuwe klimaatscenario's beter onderbouwd door het KNMI*. H2O Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer 12:8-9.