

Klimatologisch standaardjaar op dagbasis voor heden en toekomst

*Alexander Bakker, Timo Kroon,
Janette Bessembinder en Bart van den Hurk*

KNMI technical report = technisch rapport; TR-310

De Bilt, 2009

PO Box 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
De Bilt
The Netherlands
<http://www.knmi.nl>
Telephone +31(0)30-220 69 11
Telefax +31(0)30-221 04 07

Auteurs: Bakker, A.M.R.
Bessembinder, J.J.E.
Kroon, T.
Hurk, B.J.J.M. van den



Klimatologisch standaardjaar op dagbasis voor heden en toekomst

Alexander Bakker (KNMI)
Timo Kroon (Waterdienst)
Janette Bessembinder (KNMI)
Bart van den Hurk (KNMI)

September 2009

Technisch rapport; TR - 310

Voorwoord

Deze studie is onderdeel van het project, Cs7 "*Tailoring Climate data for Impact Assessment*", dat mede mogelijk is gemaakt door het onderzoeksprogramma "*Klimaat voor Ruimte*". Onze dank gaat uit naar Franziska Keller, die dit project gestart is en naar Winus van de Scheur voor zijn hulp bij de eerste analyses. Ook zijn wij veel dank verschuldigd aan Rien Pastoor van het Planbureau voor Leefomgeving (het voormalige MNP), voor het draaien van de STONE simulaties.

Inhoud

Samenvatting	7
1. Inleiding	9
1.1. Het standaardjaarconcept	9
1.2. Standaardjaar voor de toekomst	9
1.3. Opzet rapport.....	10
2. Fase 1: standaardjaar op decadebasis	11
2.1. Methode en gegevens.....	11
2.2. Constructie standaardjaren.....	11
2.3. Evaluatie	12
2.4. Conclusie.....	14
3. Data en methode	15
3.1. Modelinstrumentarium STONE2.1	15
3.2. Neerslag en verdamping	16
3.3. Klimaatscenario's	17
3.4. Constructie standaardjaren op dagbasis	18
3.5. Hydrologische modelruns	19
4. Analyse van standaardjaar voor het huidige klimaat	21
4.1. Hydrologische referentie	21
4.2. Hydrologie volgens de standaardjaren van het huidig klimaat.....	24
4.3. Discussie varianten standaardjaar huidige klimaat	28
5. Analyse standaardjaar KNMI'06 scenario's	31
5.1. Klimaatsignaal hydrologie.....	31
5.2. Plausibiliteit standaardjaren 4 KNMI'06 scenario's.....	37
5.3. Discussie standaardjaar KNMI'06 scenario's	45
6. Conclusies	47
6.1. Standaardjaren.....	47
6.2. Gebruik standaardjaar	47
6.3. Standaardjaar versus referentiejaar.....	48
Literatuur	49

Samenvatting

Concept standaardjaar

In 2006 heeft het KNMI de KNMI'06 klimaatscenario's voor 2050 gepubliceerd (Van den Hurk et al. 2006). Deze klimaatscenario's zijn vertaald in tijdreeksen voor neerslag en verdamping voor de toekomst (Bakker en Bessembinder, 2007; KNMI, 2007), waarmee hydrologische modelsimulaties gedraaid kunnen worden.

Grootschalige hydrologische berekeningen op landelijke schaal worden uitgevoerd om strategische en operationele vragen van waterbeheerders te beantwoorden. Bij voorkeur wordt hiervoor een meteorologische forcering gebruikt van minimaal 30 jaar om zo een groot deel van de natuurlijke variabiliteit in beschouwing te nemen. Dergelijke berekeningen kosten echter vaak veel tijd.

Soms is het noodzakelijk om in korte tijd een groot aantal landelijke modelsimulaties uit te voeren. Omdat 30-jarige berekeningen dan vaak te veel tijd kosten, wordt dan gebruik gemaakt van referentie jaren. De variabiliteit in de verschillende subjaarlijkse tijdschalen komen nooit allemaal overeen met de langjarig gemiddelde variabiliteit. Hierdoor is het maar beperkt mogelijk om de grootschalige hydrologie te reproduceren bij het doorrekenen van een referentiejaar.

Daarom bestaat er behoefte aan standaardjaren, die een groot gedeelte van de natuurlijk temporele en ruimtelijke variabiliteit vertegenwoordigen. Een goed standaardjaar geeft bij hydrologische modellering vergelijkbare resultaten als 30-jarige modelsimulaties. In deze studie zijn zowel voor het huidige klimaat als voor de vier KNMI'06 scenario's standaardjaren op dagbasis ontwikkeld en getoetst.

Resultaten standaardjaar

Als basis voor het standaardjaar is gebruik gemaakt van de neerslag en verdamping volgens een relatief "gemiddeld" referentiejaar. Om de jaarlijkse gang te verbeteren, is vervolgens elke 2-maandelijkse neerslagsom geschaald met het 30-jarig gemiddelde.

Models simulaties met standaardjaren voor het huidige klimaat en voor de KNMI'06 klimaatscenario's schetsen een vergelijkbaar ruimtelijk beeld van de hydrologische situatie, zoals die is berekend met 30-jarige modelsimulaties. De interjaarlijkse variabiliteit wordt echter per definitie niet gevangen in een standaardjaar met als gevolg dat extreme neerslaggebeurtenissen ook meestal ondervertegenwoordigd zijn. Hierdoor wordt vooral de oppervlakteafvoer (sterk afhankelijk van extreme neerslag) met simulaties op basis van het standaardjaar slecht gereproduceerd. Hoewel de reproductie van de GHG heel redelijk is, wordt ook deze variabele stelselmatig licht onderschat.

Het G en W klimaatscenario worden vooral gekenmerkt door een gelijkmatig over het jaar verdeelde lichte toename van de gemiddelde neerslag. Dit resulteert in een toename in alle balanst termen en hogere grondwaterstanden.

Het G+ en W+ klimaatscenario kennen grote ruimtelijke verschillen in het klimaatsignaal. Mits er voldoende water beschikbaar is, neemt de actuele verdamping sterk toe als gevolg van de toename in de potentiële verdamping. In de hoger gelegen gebieden wordt de toename in potentiële verdamping gecompenseerd door een sterke afname in de zomerneerslag. De drainageflux neemt over het algemeen af.

Op basis van modelsimulaties met de standaardjaren kan, zelfs in kwantitatieve zin, een redelijk goed algemeen beeld geschetst worden van de effecten van klimaatverandering. Door de slechte reproductie van de oppervlakteafvoer is het uiteraard niet mogelijk om deze grootte af te leiden van de modelsimulaties met standaardjaren. Voor de GHG worden lokale variaties op het algemene klimaatsignaal niet goed gereproduceerd.

Gebruik standaardjaar

Models simulaties op basis van een standaardjaar geven per definitie minder informatie dan 30-jarige modelsimulaties. Met een standaardjaar is het niet mogelijk om kleine

lokale verschillen te modelleren. Het gebruik van standaardjaren maakt het echter wel mogelijk om in minder tijd een redelijk algemeen beeld te schetsen van de huidige situatie of volgens de KNMI'06 klimaatscenario's.

Soms is het praktisch niet mogelijk om 30-jarige modelsimulaties uit te voeren voor alle gewenste klimaatscenario's en/of adaptieve strategieën. In dergelijke gevallen kan met behulp van de standaardjaren voor een groot aantal combinaties van strategieën en klimaatscenario's een algemeen beeld geschetst worden van de bijbehorende hydrologische situatie. Op basis van deze berekeningen kan besloten worden voor welke situaties een 30-jarige simulatie het meest noodzakelijk of interessant is.

1. Inleiding

1.1. *Het standaardjaarconcept*

Grootschalige hydrologische berekeningen op landelijke schaal worden uitgevoerd om strategische en operationele vragen van waterbeheerders te beantwoorden. In deze berekeningen wordt een meteorologische forcering (neerslag, verdamping) gebruikt als randvoorwaarde van een gedetailleerd hydrologisch model. Idealiter wordt een periode van minimaal 30 jaar doorgerekend, zodat een groot deel van de natuurlijke variabiliteit in beschouwing wordt genomen. Dergelijke berekeningen kosten echter vaak veel tijd. Daarom maken verkennende studies dikwijls gebruik van karakteristieke jaren of referentiejaren. Het doorrekenen van een dergelijk referentiejaar wordt geacht vergelijkbare hydrologische karakteristieken op te leveren als het doorrekenen van een lange klimatologische reeks (Beersma et al., 2004).

Door ruimtelijke verschillen is echter geen enkel jaar voor geheel Nederland "gemiddeld". De variabiliteit in de verschillende subjaarlijkse tijdschalen komen nooit allemaal overeen met de langjarig gemiddelde variabiliteit. Dit heeft grote gevolgen op de reproductie van de hydrologie bij het gebruik van een referentiejaar. Van de Scheur en Keller (2006) hebben de meteorologische forcering voor een standaardjaar met een tijdstap van 10 dagen (decade) ontwikkeld, dat de variabiliteit van de verschillende tijdschalen goed vertegenwoordigt. Dit is bereikt door elk tweemaandelijks neerslag- en verdampingstotaal te schalen met het langjarige gemiddelde.

De interjaarlijkse variabiliteit kan logischerwijs helemaal niet worden gerepresenteerd met een standaardjaar. Ondanks dit gebrek aan de interjaarlijkse variabiliteit kan op basis van modelsimulaties met dit standaardjaar een goed beeld geschetst kan worden van de hydrologie, dat goed overeenkomt met de hydrologie volgens 30-jarige modelruns. Met behulp van dit standaardjaar is het mogelijk om in relatief korte tijd een groot aantal landelijke modelsimulaties uit te voeren, waarmee effectief een quickscan van verschillende beheersmaatregelen gemaakt kan worden.

1.2. *Standaardjaar voor de toekomst*

De afgelopen jaren is er een grote behoefte ontstaan om de mogelijke gevolgen van klimaatverandering in kaart te brengen. Hiervoor heeft het KNMI in 2006 de KNMI'06 klimaatscenario's gepubliceerd (Van den Hurk et al. 2006). Deze klimaatscenario's zijn vertaald in tijdreeksen voor neerslag en verdamping (Bakker en Bessembinder, 2007; KNMI, 2007), waarmee hydrologische modelsimulaties gedraaid kunnen worden. Bij deze effectstudies bestaat er vaak behoefte om in korte tijd een beeld te schetsen van de gevolgen van wijzigingen in het klimaat. Het is echter de vraag of het mogelijk is om met standaardjaren een algemeen beeld te schetsen van de gevolgen van de KNMI'06 scenario's voor de hydrologie.

Binnen RWS Waterdienst en Deltares is men bezig met de overstap van modellen die gebruik maken van decadewaarden naar het modelinstrumentarium NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, NHI projectgroep, 2008) waarbij gebruik wordt gemaakt van dagwaarden. Ook wil men een betere representatie van de ruimtelijke variatie in het klimaat in modellen (o.a. van belang voor een aantal hydrologische parameters t.b.v. waterkwaliteit en wateroverlast).

In deze studie zijn zowel voor het huidige klimaat als voor de 4 KNMI'06 scenario's standaardjaren ontwikkeld en getoetst. Een goed standaardjaar geeft bij hydrologische modellering vergelijkbare resultaten als 30-jarige modelsimulaties. Dit is gedaan in het kader van het Maatwerkproject binnen het "Klimaat voor Ruimte" programma (zie <http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/maatwerk/index.html> en <http://www.klimaatvoorruijme.nl>).

1.3. Opzet rapport

Het onderzoek naar de mogelijkheid van het construeren van standaardjaren kan worden ingedeeld in 3 fasen:

1. gemiddeld standaardjaar op decade basis voor het huidige klimaat
2. gemiddeld standaardjaar op dagbasis voor het huidige klimaat
3. gemiddeld standaardjaar op dagbasis voor de toekomst

In hoofdstuk 2 wordt het werk van Van de Scheur en Keller (2006) samengevat, dat betrekking had op de constructie van een gemiddeld standaardjaar op decadebasis (fase 1). Eerst wordt een beschrijving gegeven van het gebruikte hydrologische modelinstrumentarium en de gebruikte meteorologische tijdreeksen. Vervolgens wordt uitgelegd welke verschillende methoden zijn gebruikt om een standaardjaar te construeren. Ten slotte behandelt hoofdstuk 2 de reproductie van de waterbalans en grondwaterkarakteristieken op basis van modelruns met de geconstrueerde standaardjaren en een beoordeling van de verschillende alternatieven.

Vanaf Hoofdstuk 3 wordt het werk beschreven voor de constructie van een gemiddeld standaardjaar op dagbasis. In hoofdstuk 3 worden eerst het modelinstrumentarium en de gebruikte tijdreeksen beschreven. Vervolgens wordt ingegaan op de constructie van de standaardjaren op dagbasis voor het huidige en toekomstige klimaat en ten slotte op de modelruns. Hoofdstuk 4 behandelt de reproductie van de hydrologische karakteristieken op basis van modelberekeningen met standaardjaren op dagbasis voor het huidige klimaat (fase 2). Hiervoor wordt eerst uitgebreid ingegaan op de hydrologie volgens een 30-jarige modelrun. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de constructie van een gemiddeld standaardjaar voor de toekomst (fase 3), en de veranderingen in de hydrologie. Paragraaf 5.1 beschrijft hoe de waterbalans en grondwaterkarakteristieken veranderen ten opzichte van het huidige klimaat (klimaatsignaal). In paragraaf 5.2 wordt onderzocht of dit klimaatsignaal goed gereproduceerd wordt met standaardjaren voor de klimaatscenario's. Hoofdstuk 6 sluit af met de conclusies.

2. Fase 1: standaardjaar op decadebasis

In fase 1 van dit project hebben Van de Scheur en Keller (2006) een standaardjaar op decadebasis ontwikkeld voor het huidige klimaat. Dit standaardjaar staat aan de basis van de standaardjaren op dagbasis voor het huidige klimaat (hoofdstuk 4) en voor de KNMI'06 klimaatscenario's (hoofdstuk 5). Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van het werk dat is uitgevoerd voor de ontwikkeling van dit standaardjaar.

2.1. Methode en gegevens

Voor de hydrologische berekeningen is gebruik gemaakt van de modellen NAGROM, MOZART en MONA uit het PAWN instrumentarium (Policy Analysis Watermanagement Netherlands), dat is ingezet in de Landelijke droogtestudie (RIZA, 2005). MOZART wordt ingezet voor de simulatie van de processen in het bovenste deel van het hydrologische systeem, zoals de uitwisseling tussen de atmosfeer en bodem, de stroming in de bodem en ondiepe ondergrond, en de uitwisseling tussen het grond- en oppervlaktewater. NAGROM is een diepgrondwatermodel (zie hoofdstuk 3) en MONA zorgt voor de koppeling tussen eerder genoemde modellen. Bij de beoordeling van de verschillende alternatieven zijn voornamelijk de resultaten van het model MOZART geanalyseerd.

Het model MOZART gebruikt meteorologische input per decade (10 dagen). Elke maand bevat 3 decaden, waarbij de eerste 10 dagen de eerste decade vormen, de tweede 10 dagen de tweede decade, en het restant aan dagen (8-11 dagen) de derde decade. Als invoer wordt de som van de neerslag en referentiegewasverdamping per decade gebruikt. Bij de simulatie in MOZART worden interne tijdstappen van één dag gehanteerd. Hiervoor wordt de neerslag of verdamping per decade gelijkmatig verdeeld over de decade; elke dag binnen een decade heeft dan dezelfde hoeveelheid neerslag en verdamping.

Voor de invoer is Nederland verdeeld in 15 districten verdeeld, waarvoor tijdreeksen met neerslag en potentiële verdamping op decadebasis beschikbaar is (zie paragraaf 3.2). Op basis van 30-jarige modelruns (1971-2000) is de hydrologische referentie berekend, waaraan de standaardjaren getoetst zijn.

2.2. Constructie standaardjaren

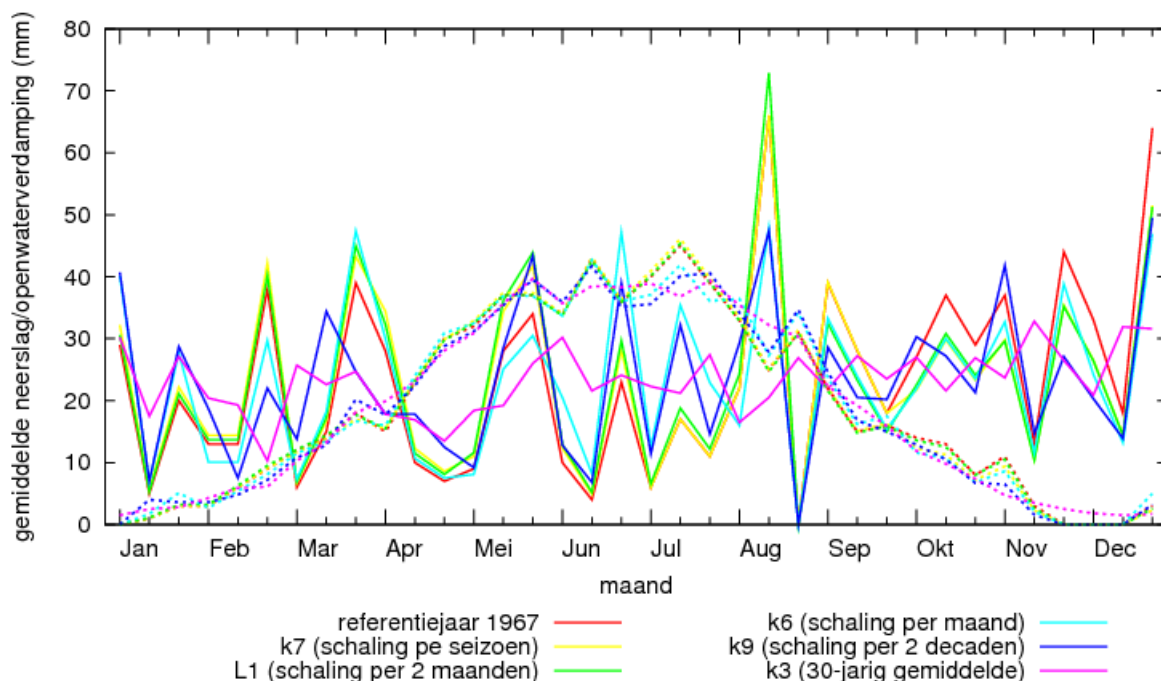
Voor de stapsgewijze ontwikkeling van het standaardjaar op decadebasis zijn tien verschillende alternatieve methoden vergeleken om een standaardjaar te construeren (Tabel 2.1).

Variant	Omschrijving
67	1967 (geen correctie)
73	1973 (geen correctie)
k3	per decade 30-jarig gemiddelde neerslag (1970-1999)
67_5	neerslag 1967, verlaagd met 5%
k9	neerslag 1967 (elke 2 decaden geschaald met 30-jarig gemiddelde)
k6	neerslag 1967 (elke maand geschaald met 30-jarig gemiddelde)
L1	neerslag 1967 (elke 2 maanden geschaald met 30-jarig gemiddelde)
k7	neerslag 1967 (elk seizoen geschaald met 30-jarig gemiddelde)
k8	neerslag district 8 in 1967 voor alle districten (elke maand geschaald met 30-jarig gemiddelde desbetreffende district)
6773	bij dit alternatief worden de karakteristieken die zijn berekend voor de twee referentiejaren 1967 en 1973 gemiddeld

Tabel 2.1: Varianten voor de constructie van standaardjaren door Van de Scheur en Keller (2006)

Het jaar 1973 is het meest gemiddeld wat betreft de totale jaarlijkse neerslagsom. Beersma et al. (2004) hebben het jaar 1967 geïdentificeerd als zeer gemiddeld op basis van het neerslagtekort van 1 april t/m 30 september. Bij de meeste alternatieven is daarom uitgegaan van de neerslag en verdamping van het referentiejaar 1967 van het desbetreffende district. In alternatief k8 is echter voor elk district uitgegaan van de neerslag in district 8 in 1967. Daarnaast is het referentiejaar 1973 ook meegenomen als alternatief. Bij sommige alternatieven (k6, k7, k8, k9 en l1) worden de tijdreeksen met verdamping en neerslag geschaald met het 30-jarig gemiddelde.

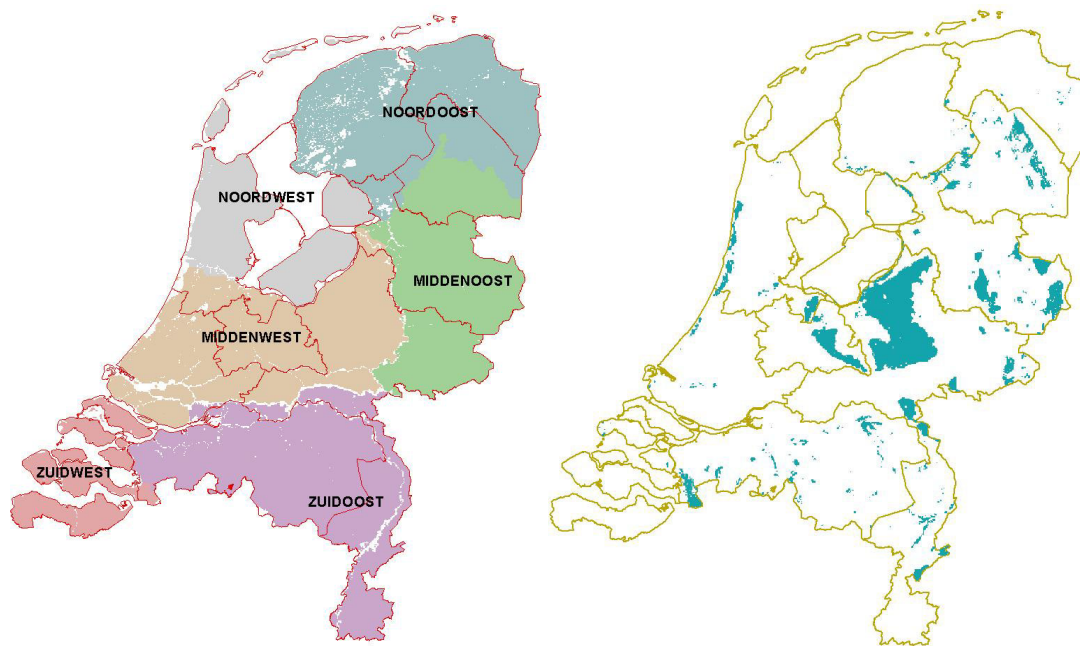
Een goed standaardjaar representeert zowel de jaarlijkse gang als de natuurlijke ruimtelijke en temporele variabiliteit binnen het jaar. De interjaarlijkse variabiliteit kan met een standaardjaar per definitie niet gerepresenteerd worden. Figuur 2.1 toont de neerslag en verdamping in district 8 volgens de verschillende alternatieven, die zijn gebaseerd op 1967 en het 30-jarig gemiddelde. Voor verdamping zijn de verschillen tussen de verschillende seizoenen veel groter dan de natuurlijke variatie daarop. Het schalen van de verdamping heeft dan ook weinig invloed op het standaardjaar. Bij de neerslag zijn de verschillen tussen de seizoenen juist klein ten opzichte van de natuurlijke variatie. Vooral bij de standaardjaren k7, L1 en in mindere mate k6 blijft deze natuurlijke variatie na het schalen goed gehandhaafd.



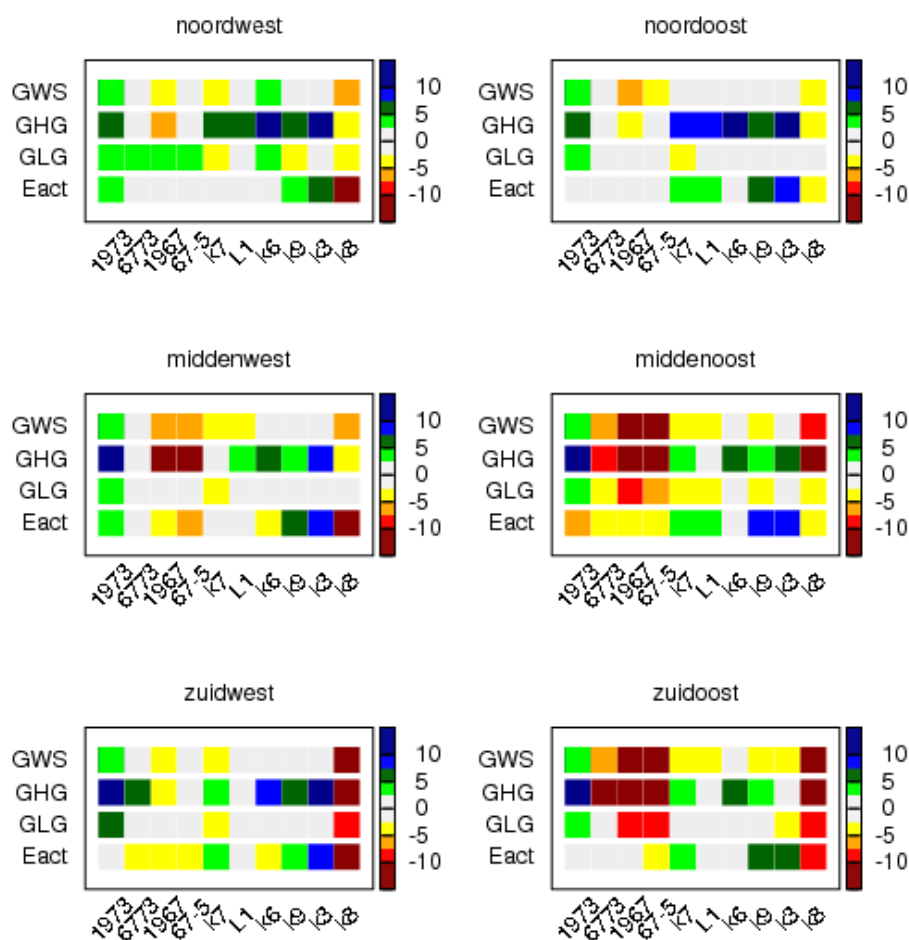
Figuur 2.1 Neerslag en verdamping per decade in district 8 volgens verschillende standaardjaren. Doorgetrokken lijnen zijn tijdreeksen met neerslag en gestippelde lijnen zijn tijdreeksen met verdamping

2.3. Evaluatie

Voor de evaluatie van de verschillende alternatieven voor een gemiddeld standaardjaar op decadebasis is Nederland verdeeld in zes regio's (figuur 2.2a), die grotendeels gebaseerd zijn op de 15 weerdistricten (figuur 3.2). Voor elke regio is het gemiddelde berekend van de gemiddelde grondwaterstand, de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG), de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) en de actuele verdamping (Van de Scheur, 2006). Vervolgens is de procentuele afwijking berekend ten opzichte van het gebiedsgemiddelde dat is berekend met de 30-jarige modelsimulatie. Bij de evaluatie zijn de hoge zandgebieden zoals duinen en stuwwallen (figuur 2.2b) buiten beschouwing gelaten, omdat in deze gebieden de grondwaterstanden vaak onder het gedefinieerde hydrologische topsysteem in MOZART uitzakken. In figuur 2.3 zijn de resultaten van alle standaardjaren samengevat.



Figuur 2.2 A. Regio's voor evaluatie standaardjaren B. Hoge zandgebieden



Figuur 2.3 Procentuele afwijking voor hydrologische termen berekend met standaardjaar ten opzichte van 30-jarige simulaties (grondwatertermen zijn t.o.v. maaiveld)

Modellsimulaties met het referentiejaar 1967 of 1973 leveren af en toe grote afwijkingen op ten opzichte van 30-jarige simulaties. Het jaar 1967 levert echter een iets beter beeld van de gemiddelde hydrologische situatie dan 1973. In de zomer van 1967 viel relatief weinig neerslag. In de gebieden met voldoende aanvulling van water – laaggelegen gebied en rivierengebied – heeft dit weinig invloed op de actuele verdamping. In de overige gebieden resulteert een lage zomerneerslag in een lage actuele verdamping. De winterneerslag was in 1967 juist iets boven normaal met relatief hoge grondwaterstanden tot gevolg.

Simulaties met het jaar 1973 resulteren daarentegen in te lage grondwaterstanden en een te grote actuele verdamping. Middelen van beide simulaties verbetert de reproductie aanzienlijk, maar grote afwijkingen in de grondwaterstanden blijven bestaan.

Bij het alternatief k3, waarbij elke decade het 30-jarig gemiddelde krijgt, wordt de subjaarlijkse variabiliteit in de neerslag sterk onderschat. Hierdoor wordt het aantal zeer natte perioden, waarbij een groot deel via drainage meteen wordt afgevoerd, ook sterk onderschat. Dit heeft tot gevolg dat een relatief groot gedeelte van de neerslag beschikbaar is voor verdamping en dat de GHG te laag wordt ingeschat.

Het schalen van de neerslag en verdamping van 1967 met het langjarige gemiddelde zorgt voor grote verbeteringen. Het schalen per maand (k6), seizoen (k7) en per 2 maanden (L1) geeft zelfs zeer goede standaardjaren. Berekeningen met standaardjaar L1 resulteren in afwijkingen van minder 5% voor de meeste hydrologische karakteristieken. Alleen in het noordwesten en noordoosten wijkt de GHG meer af (respectievelijk 7 en 8% te laag).

Modellsimulaties met standaardjaar k8 geven zeer grote afwijkingen ten opzichte 30-jarige simulaties. Blijkbaar verschilt de temporele variabiliteit per weerdistrict te veel om goede resultaten op leveren.

2.4. Conclusie

De variabiliteit van subjaarlijkse tijdschalen wijkt altijd af van de langjarige variabiliteit. Door een redelijk "gemiddeld" referentiejaar per periode te schalen met het 30-jarig gemiddelde wordt zowel de jaarlijkse gang als de natuurlijke variabiliteit daarop sterk verbeterd. Het standaardjaar, L1 geeft de beste resultaten en is gemiddeld gezien veel beter dan de referentiejaren 1967 en 1973. Standaardjaar, L1 wordt verkregen door de neerslag en verdamping van 1967 per periode van twee maanden te schalen. Modellsimulaties met dit standaardjaar geven een zeer goed vergelijkbare hydrologische situatie, zoals die is berekend met een 30-jarige modelrun.

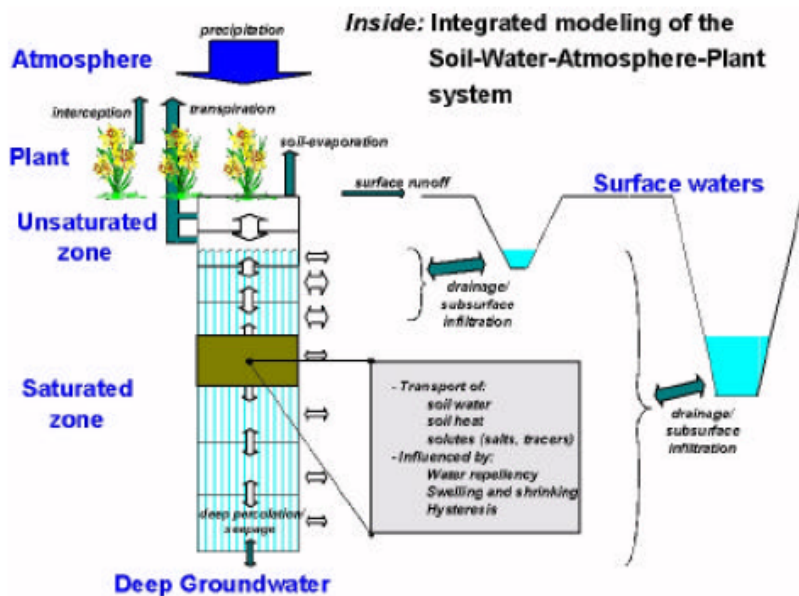
Geen enkel individueel jaar kan de interjaarlijkse variabiliteit van een klimaat volledig representeren. Door een redelijk "gemiddeld" referentiejaar m.b.t. neerslag en verdamping als basis te nemen voor de constructie van een standaardjaar en vervolgens per periode te schalen met het 30-jarig gemiddelde wordt de jaarlijkse gang verbeterd, terwijl de natuurlijke variabiliteit binnen een jaar zo veel mogelijk behouden blijft. Voor het jaar 1967 geeft schalen per periode van twee maanden de beste resultaten (standaardjaar L1). Modellsimulaties met dit gemiddelde standaardjaar geven het beste de gemiddelde hydrologische karakteristieken weer zoals berekend met een 30-jarige modelrun.

3. Data en methode

3.1. Modelinstrumentarium STONE2.1

Voor de hydrologische berekeningen is gebruik gemaakt van de hydrologische componenten van het modelinstrumentarium STONE2.1 (Wolf, 2003). De afgelopen jaren is ten behoeve van gezamenlijke modellering van de nutriëntenproblematiek door Alterra, PBL (voorheen MNP) en RWS Waterdienst (voorheen RIZA) samengewerkt aan dit STONE instrumentarium (Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel). Hierin zijn het onverzadigde-zonemodel SWAP en het landelijke grondwatermodel NAGROM gebruikt om de hydrologische randvoorwaarden van SWAP te bepalen (Massop et al., 2005) In de nabije toekomst zal het NHI hiervoor gebruikt worden. STONE2.1 is geconfigureerd voor 6405 rekeneenheden (plots) in Nederland (van Bakel et al, 2007), waar de bodemeenheden uit een groot aantal laagjes zijn opgebouwd.

SWAP wordt gebruikt voor de simulatie van de processen in het bovenste deel van het hydrologische systeem, zoals de uitwisseling tussen de atmosfeer en bodem, de stroming in de bodem en ondiepe ondergrond, en de uitwisseling tussen het grond- en oppervlaktewater. Figuur 3.1 geeft een schematische weergave van het model SWAP (Kroes et al, 2002). SWAP maakt gebruik van dagelijkse waarden voor neerslag (P) en openwaterverdamping (E_o). In de SWAP-berekeningen worden, afhankelijk van de te doorlopen iteratieve berekeningen, kleinere tijdstappen dan een dag gebruikt.



Figuur 3.1 Schematisering en processen in het model SWAP (Kroes et al, 2002)

Voor de SWAP-berekeningen is aan de onderrand een kwelflux opgelegd met een vaste jaarlijkse gang (sinusvorm). De maximale kwel en maximale wegzijging treden respectievelijk op tijdens dag 90 en 270 van het jaar. Hiervoor is gebruik gemaakt van een kwelkaart, die is ontwikkeld voor STONE2.0 (Massop et al., 2000). De amplitude van de kwel/wegzijging is afgeleid van berekeningen met NAGROM (De Lange en Van der Meij, 1994; Kroon, 2001).

3.2. Neerslag en verdamping

Meetnetwerk

Het KNMI beschikt over een uitgebreid netwerk van ongeveer 325 neerslagstations gelijkmatig verspreid over Nederland. Dagelijks wordt de neerslag (P) van de afgelopen 24 uur om 8.00 UT handmatig afgetapt (Heijboer en Nellestijn, 2002).

Daarnaast worden op ongeveer 35 automatische weerstations (AWS) verscheidene elementen gemeten. De etmaalgemiddelde (0-24 UT) globale straling en temperatuur worden gebruikt om de referentiegewasverdamping E_{ref} te bepalen volgens de methode van Makkink (1957). Tijdreeksen met E_o kunnen afgeleid worden door E_{ref} te vermenigvuldigen met de factor 1,25.

Weerdistricten

Omdat neerslag lokaal sterk kan variëren, is het mogelijk dat de neerslag in een landelijk gemiddeld jaar lokaal sterk afwijkt van het langjarige gemiddelde. Om voor dergelijke lokale afwijkingen te corrigeren is in deze studie gebruik gemaakt van 15 weerdistricten (zie figuur 3.2.). De districtsindeling kent haar oorsprong in het MOW (Maandoverzicht van het weer in Nederland).

Voor de neerslag wordt het districtsgemiddelde bepaald op basis van alle beschikbare neerslagstations binnen het district. Door het gebruik van districtsgemiddelden komt zeer lokale en extreme neerslag in deze tijdreeksen niet voor. Het aantal dagen met neerslag is in deze reeksen ook groter dan voor een individueel station. De districtsverdamping wordt gebaseerd op de berekende E_{ref} van één AWS in of nabij het desbetreffende weerdistrict.

Voor de 15 weerdistricten zijn tijdreeksen met E_{ref} op decadebasis beschikbaar. De dag-op-dag variatie van E_{ref} is zeer klein ten opzichte van de variatie volgens de seizoenen en ten opzichte van de mogelijke dag-op-dag variatie van neerslag. Daarom wordt gebruik van decadewaarden voor E_{ref} . Ten opzichte van dagwaarden geeft dit een zeer geringe fout op de te berekenen waterbalans.

Referentieperiode en basis standaardjaar

Net als in fase 1 van deze studie (Van de Scheur en Keller, 2006) wordt 1971-2000 gebruikt als referentieperiode om de ontwikkelde standaardjaren te toetsen. Voor deze periode zijn er in totaal 283 volledige neerslagreeksen beschikbaar op basis waarvan voor elk district de gemiddelde neerslag op dagbasis is bepaald. Het standaardjaar op decadebasis is gebaseerd op het relatief gemiddelde jaar 1967 (Van de Scheur en Keller, 2006) en (Beersma et al. 2004). Voor het referentiejaar 1967 is een iets kleiner aantal neerslagstations beschikbaar.

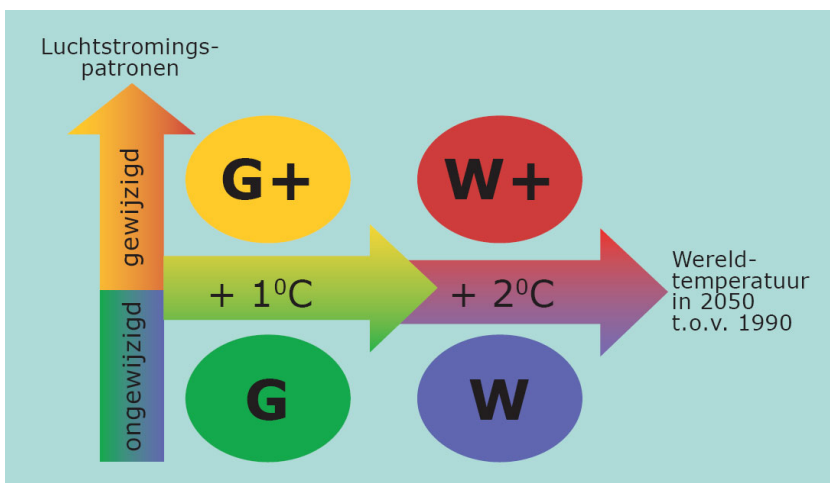
Tot halverwege 1984 waren er voor vijf locaties tijdreeksen beschikbaar om de E_{ref} per district af te leiden. Daarna nam dit aantal snel toe tot ruim 30 locaties met verdampingsreeksen vanaf 1994. Voor elke dag en district wordt de E_{ref} echter altijd gebaseerd op slechts één locatie.



Figuur 3.2 Overzicht neerslagstations en weerdistricten (Heijboer en Nellestijn, 2002)

3.3. *Klimaatscenario's*

In 2006 heeft het KNMI de KNMI'06 klimaatscenario's gepubliceerd (Van den Hurk et al, 2006). Dit is een set van vier klimaatscenario's voor Nederland, die samen een consistent en plausibel beeld geven van mogelijke veranderingen rond 2050 en 2100 ten opzichte van het jaar 1990 (1976-2005). Voor de constructie van de scenario's is uitgegaan van 2 stuurparameters. Ten eerste is onderscheid gemaakt tussen een gemiddelde wereldwijde opwarming van 1°C (scenario's G en G+) en 2°C (scenario's W en W+) in 2050. Ten tweede is onderscheid gemaakt tussen wel (G+ en W+) en geen (G en W) verandering in grootschalige circulatie (zie figuur 3.3).



Figuur 3.3 Schematisch overzicht van de vier KNMI'06 klimaatscenario's

Waargenomen tijdreeksen voor de periode 1971-2000 zijn in overeenstemming met elk van de vier KNMI'06 klimaatscenario's vertaald in tijdreeksen van neerslag en verdamping op dagbasis rond het jaar 2050. Voor de neerslag is gebruik gemaakt van

een algebraïsche transformatie die gebruik maakt van de kentallen in de scenario's (Bakker en Bessembinder, 2007; KNMI, 2007). Hiervoor is eerst het aantal natte dagen (neerslag > 0,05 mm) aangepast. Vervolgens wordt met een machtsfunctie de verandering in het gemiddelde en de 99-percentielwaarde aangepast. Met behulp van de 283 getransformeerde neerslagreeksen wordt vervolgens de gebiedsgemiddelde neerslag per district bepaald. Doordat alle neerslagreeksen afzonderlijk getransformeerd worden, neemt de ruimtelijke samenhang tussen de individuele neerslagreeksen vooral in de zomer iets af. De ruimtelijke samenhang tussen de vijftien weerdistricten wordt echter nauwelijks beïnvloed. De historische reeksen voor E_0 zijn omgezet in reeksen voor de toekomst door de gemiddelde verandering per kalendermaand toe te passen (Lenderink, 2006).

3.4. Constructie standaardjaren op dagbasis

3.4.1. Standaardjaar voor huidige klimaat

Hydrologische karakteristieken die zijn berekend met het standaardjaar op decade basis (Van de Scheur en Keller, 2006) komen goed overeen met modelruns die 30-jarige meteorologische reeksen als input hebben gebruikt. Dit impliceert dat de variaties op tijdschalen van een decade en langer goed gerepresenteerd worden. De methodiek van Van de Scheur en Keller (2006) is als uitgangspunt gebruikt voor de ontwikkeling van standaardjaren op dagbasis.

Het standaardjaar op decadebasis is gebaseerd op de neerslag en verdamping van 1967. Elke periode van twee maanden (6 decaden) in dit jaar is geschaald met de totale neerslag in het langjarige gemiddelde voor dezelfde twee maanden over de periode 1971-2000. Het standaardjaar voor de openwaterverdamping is op gelijke wijze samengesteld. Dit gemiddelde standaardjaar op decadebasis (alternatief L1) is gebruikt als basis voor de constructie van een gemiddeld standaardjaar op dagbasis.

Voor neerslag is op vier verschillende manieren dagelijkse variatie toegevoegd aan dit standaardjaar op decadebasis:

Gelijkmatig verdeelde neerslag (g)

In deze variant wordt de volledige decadesom gelijkmatig over de dagen verdeeld. Hierbij wordt dus geen onderscheid gemaakt tussen natte en droge episoden binnen een decade.

Natuurlijke variatie (n)

In deze variant wordt de decadesom in dezelfde verhoudingen over de verschillende dagen verdeeld als de neerslag in het referentiejaar 1967. Droge dagen in 1967 zijn in het standaardjaar dus ook droog. Deze variant geeft een realistisch beeld van de dag-op-dagvariatie. In alle districten zijn de waargenomen jaarmaxima in het jaar 1967 regelmatig overschreden in de periode 1971-2000. Extreme neerslag met een herhalingsstijd van minder dan eens per jaar wordt in deze variant daardoor onderschat.

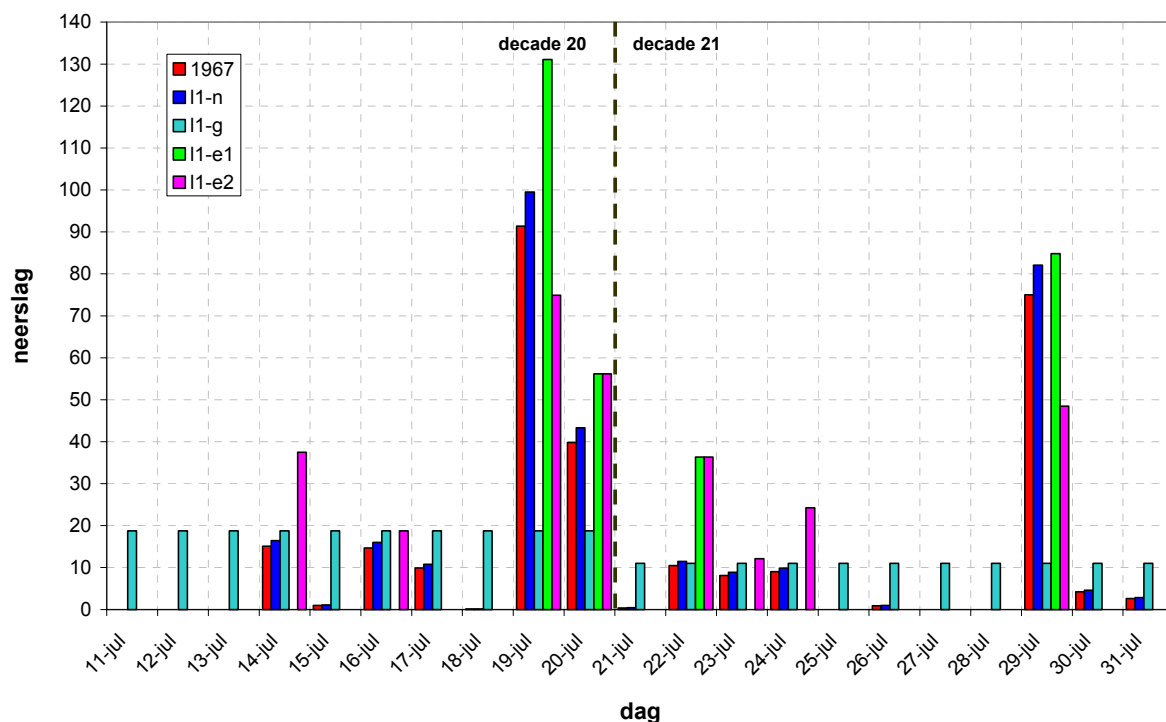
Zeer extreme variant (e1)

Om de invloed van relatief extreme neerslag op de hydrologie te toetsen, wordt in deze variant de totale decadesom verdeeld over twee dagen. De dag die in 1967 de meeste neerslag kende krijgt 70% van de neerslag toegewezen. De dag met de op één na hoogste neerslagsom krijgt de overige 30%.

Matig extreme variant (e2)

Deze variant lijkt op de vorige variant, maar is minder extreem. Bij deze variant wordt de neerslag verdeeld over 4 dagen in de verhoudingen: 40%, 30%, 20% en 10%.

Een voorbeeld van elke variant is weergegeven in figuur 3.4.



Figuur 3.4 Standaardjaar op decadebasis (L1) met verschillende varianten voor dagvariatie.

Voor de verdamping is geen apart standaardjaar op dagbasis samengesteld. Het standaardjaar op decadebasis wordt geschikt geacht, omdat de dag-op-dagvariatie van verdamping veel kleiner is dan de variatie binnen het jaar.

3.4.2. Standaardjaren voor de toekomst

Voor elk van de 4 KNMI'06 klimaatscenario's is één standaardjaar ontwikkeld voor het klimaat rond 2050. Op grond van de berekeningen voor het huidige klimaat is de variant met natuurlijke dag-op-dagvariatie geselecteerd (zie hoofdstuk 4) om standaardjaren te genereren voor de toekomst. De methodiek is verder gelijk aan de constructie van de standaardjaren voor het huidige klimaat. Eerst worden alle neerslagreeksen in de periode 1971-2000 getransformeerd, zodat de relatieve veranderingen passen bij het desbetreffende KNMI'06 scenario. Vervolgens worden uit deze getransformeerde neerslagreeksen, tijdreeksen afgeleid met districtsgemiddelde neerslag (zie paragraaf 3.3). De 2-maandelijke neerslagsommen in het getransformeerde referentiejaar 1967 worden geschaald met het langjarige gemiddelde van de 30-jarige toekomstige reeksen. Daarna wordt de geselecteerde variant toegepast om dagelijkse variatie aan de reeksen toe te voegen (zie paragraaf 3.4.1 en 4.3.).

3.5. Hydrologische modelruns

Er zijn twee typen runs uitgevoerd: 30-jarige runs en runs met een standaardjaar. Er zijn vier varianten met dag-op-dagvariatie van het standaardjaar voor het huidige klimaat. Daarnaast is er voor elk van de vier KNMI'06 scenario's één standaardjaar geproduceerd. De acht verschillende standaardjaren zijn met STONE2.1 doorgerekend en vergeleken met de referenties op basis van 30-jarige meetreeksen (vijf runs: 1 voor de periode 1971-2000 en 4 voor het klimaat rond 2050 voor de KNMI'06 scenario's).

Voor de runs met de klimaatscenario's is gebruikt van een ongewijzigde onderrand. Dus de kwel en wegzijging is hetzelfde gebleven als bij de runs voor het huidige klimaat.

Initialisatie

Alle runs, zowel met de standaardjaren als met de 30-jarige meetreeksen, met STONE2.1 zijn geïnitieerd met een inlooptijd van 2 jaar. Bij de runs met de standaardjaren is hiervoor het standaardjaar zelf gebruikt. De 30-jarige run voor het huidige klimaat is geïnitieerd met het standaardjaar met natuurlijke dag-op-dagvariatie. Voor de 30-jarige runs voor de KNMI'06 klimaatscenario's is telkens gebruik gemaakt van het bijbehorende standaardjaar.

Keuze te beoordelen gebieden

De STONE-berekeningen zijn geaccumuleerd tot jaartotalen voor elke rekeneenheid. Gebieden waarbij de diepste grondwaterstand gedurende deze accumulatieperiode buiten het simulatiebereik viel, zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. Dit betreft voornamelijk diepe zandgronden.

Bij een aantal gebieden was de grondwaterstand gedurende de gehele simulatie aan een daling onderhevig. Deze continue daling heeft een zeer slechte reproductie van de grondwatertermen tot gevolg. Om te voorkomen dat dit de beoordeling van de standaardjaren te veel beïnvloedt, worden bij de evaluatie van de grondwatertermen de plots waarvoor een GLG onder de 2500 mm of een GHG onder de 1500 mm is berekend buiten beschouwing gelaten.

Beoordeling standaardjaren KNMI'06 scenario's

De verandering van een hydrologische karakteristiek als gevolg van klimaatverandering wordt in deze studie klimaatsignaal genoemd. De ruimtelijke variatie in dit signaal is voor de meeste karakteristieken relatief klein ten opzichte van het verschil tussen modelruns met 30-jarige reeksen en standaardjaren. Daarom is het moeilijk om de standaardjaren bij de KNMI'06 scenario's op basis van één scenario te toetsen.

Door het signaal van alle rekeneenheden en alle vier de klimaatscenario's samen te nemen, wordt de variatie in het klimaatsignaal substantieel groter. Daardoor kan beter beoordeeld worden in hoeverre het klimaatsignaal op basis van twee 30-jarige runs gereproduceerd kan worden met twee runs op basis van standaardjaren.

4. Analyse van standaardjaar voor het huidige klimaat

In dit hoofdstuk wordt onderzocht in hoeverre de modelruns met de vier verschillende standaardjaren op dagbasis voor het huidige klimaat in staat zijn de hydrologie te reproduceren, zoals die berekend is met de 30-jarige modelrun voor de periode 1971-2000. In paragraaf 4.1 wordt eerst de referentie op basis van de 30-jarige simulatie beschreven. In paragraaf 4.2 wordt vervolgens ingegaan op de hydrologie, berekend met de vier standaardjaren.

4.1. Hydrologische referentie

4.1.1. Waterbalans

Op basis van een 30-jarige modelrun met STONE2.1 is voor elke plot een waterbalans op jaarbasis opgesteld:

$$\Delta V = P + K - E_a - R_s - D - S \quad (4.1)$$

ΔV netto verandering in grondwaterberging

P neerslag

K kwel

E_a Actuele verdamping

R_s Oppervlakteafvoer

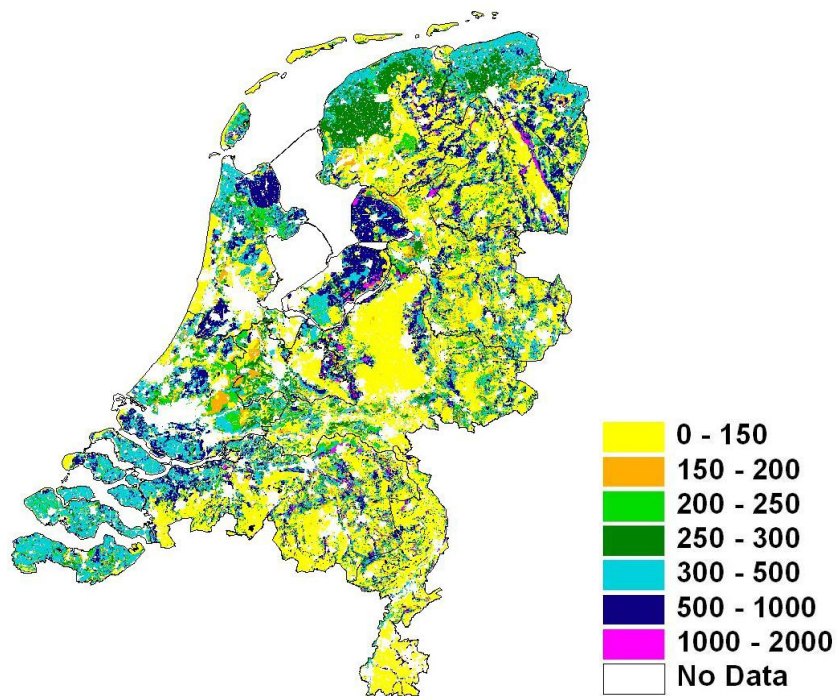
D Drainage

S Wegzijging

Kwel en wegzijging zijn aan STONE2.1 opgelegd (zie sectie 3.1). De jaargemiddelde neerslag is identiek voor alle varianten. Voor gebieden waarin de grondwaterstand binnen het modelbereik bleef zijn variaties in ΔV erg klein. Verschillen tussen de varianten hebben dus vooral effect op de resultaten van E_a , R_s en D . Deze worden hieronder nader beschreven.

Drainage en Subinfiltratie (D)

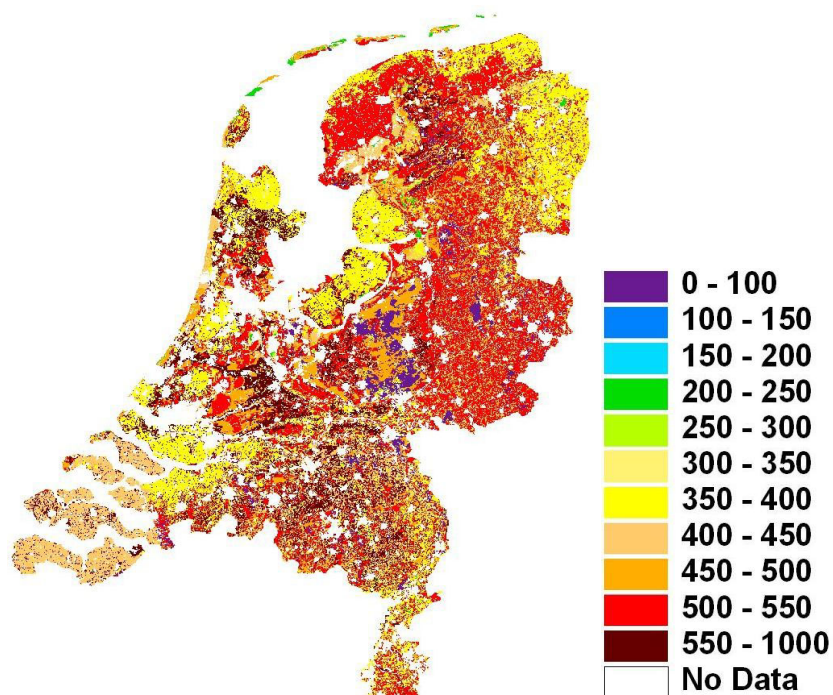
De drainageflux is het transport van grondwater naar de openwaterlopen. Bij enkele gebiedjes vindt er transport plaats van de openwaterlopen naar het grondwater. Dit wordt subinfiltratie genoemd (tegenovergestelde van drainage). De ruimtelijke spreiding van de drainageflux over Nederland is groot (figuur 4.1). De in sommige gebieden zeer grote drainage wordt veroorzaakt door een grote kwelflux in de desbetreffende gebieden.



Figuur 4.1 Drainageflux (mm/jaar), simulatie STONE2.1 (1971-2000)

Actuele verdamping (E_a)

De actuele verdamping (figuur 4.2) is de som van drie componenten: verdamping van interceptiewater, gewasverdamping en bodemverdamping. In gebieden met een grote drainageflux is vaak minder water beschikbaar voor de actuele verdamping.

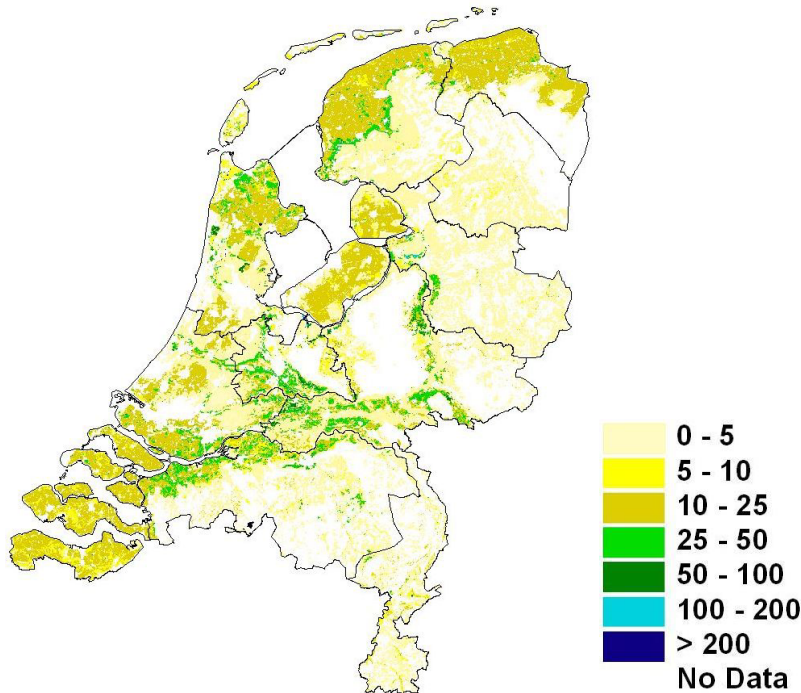


Figuur 4.2 Actuele verdamping (mm/jaar), simulatie STONE2.1 (1971-2000)

Oppervlakteafvoer (R_s)

Oppervlakteafvoer treedt op als de neerslag niet snel genoeg kan infiltreren of als de grondwaterstand boven het maaiveld uitkomt. Omdat in STONE2.1 wordt gerekend met dagwaarden, zal de oppervlakteafstroming als gevolg van het overschrijden van de

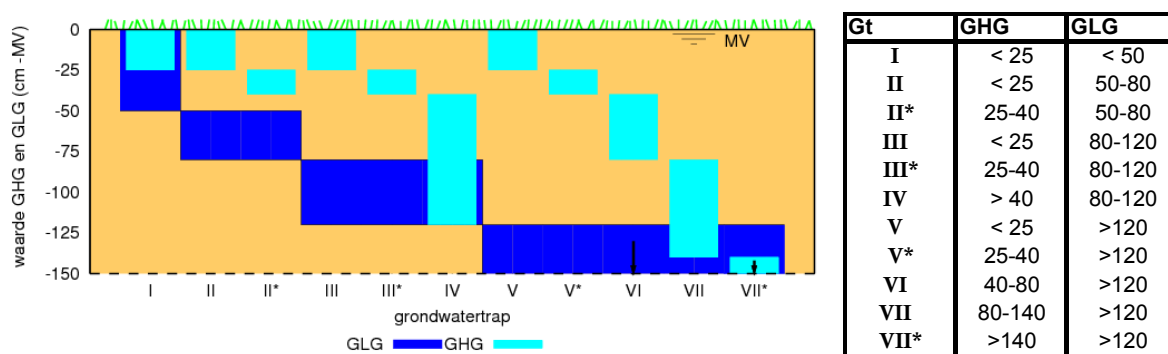
infiltratiecapaciteit onderschat worden. Desalniettemin wordt vooral in het westen van Nederland en in het rivierengebied een aanzienlijke oppervlakteafvoer berekend (figuur 4.3).



Figuur 4.3 Oppervlakteafvoer (mm/jaar) , simulatie STONE2.1 (1971-2000)

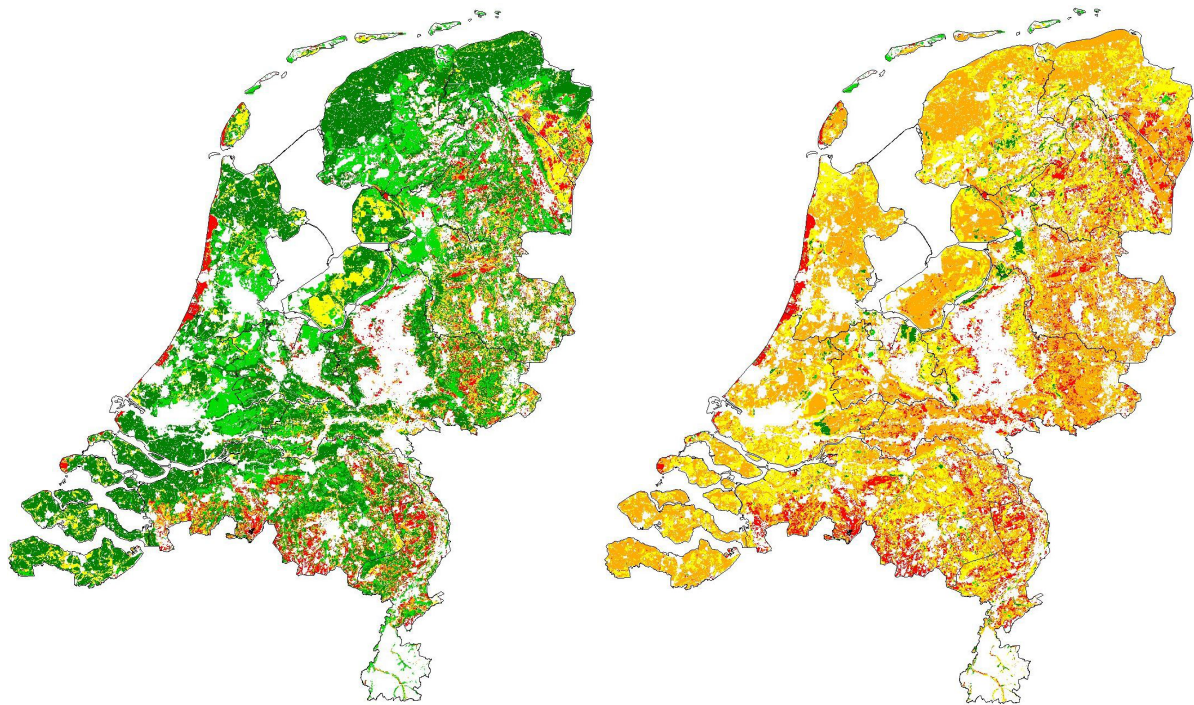
4.1.2. Grondwatertermen

De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de grondwatertrap (Gt) geven inzicht in grondwatervariaties door het jaar heen. De GHG en GLG geven het rekenkundige gemiddelde van de drie hoogste respectievelijk drie laagste waargenomen of gemodelleerde grondwaterstanden in een jaar. De GHG treedt normaliter op in de winter door een neerslagoverschot en de GLG als gevolg van een neerslagtekort in de zomer. De Gt wordt afgeleid van de GHG en GLG volgens figuur 4.4.

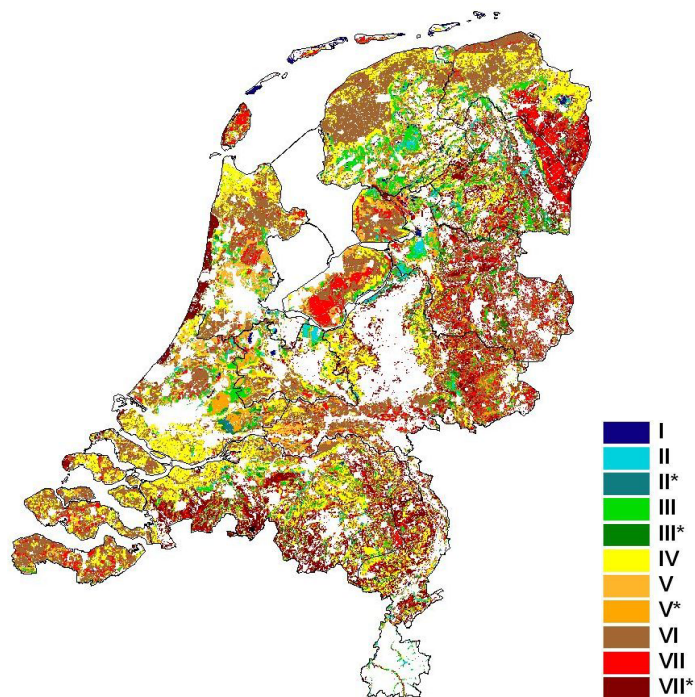


Figuur 4.4 Interval GHG en GLG (cm -mv) voor classificatie grondwatertrap.

Figuur 4.5 geeft een overzicht van de gesimuleerde GHG en GLG voor de periode 1971-2000. Voor een relatief klein aantal gebieden wordt een GLG berekend hoger dan 80 cm -mv. Dit komt ook tot uitdrukking in het kleine aantal gebieden met Gt I, II of II* (figuur 4.6).



Figuur 4.5 GHG en GLG (cm -mv), simulatie STONE2.1 (1971-2000)



Figuur 4.6 Grondwatertrap (Gt), simulatie STONE2.1 (1971-2000)

4.2. Hydrologie volgens de standaardjaren van het huidig klimaat

4.2.1. Evaluatie van de waterbalans

Tabel 4.1 toont de vergelijking van de verschillende balansternen berekend met de vier varianten voor dag-op-dagvariatie met de referentie. De bijbehorende scatterplots zijn weergegeven in figuur 4.7. Elk punt in deze grafieken staat voor één gebied.

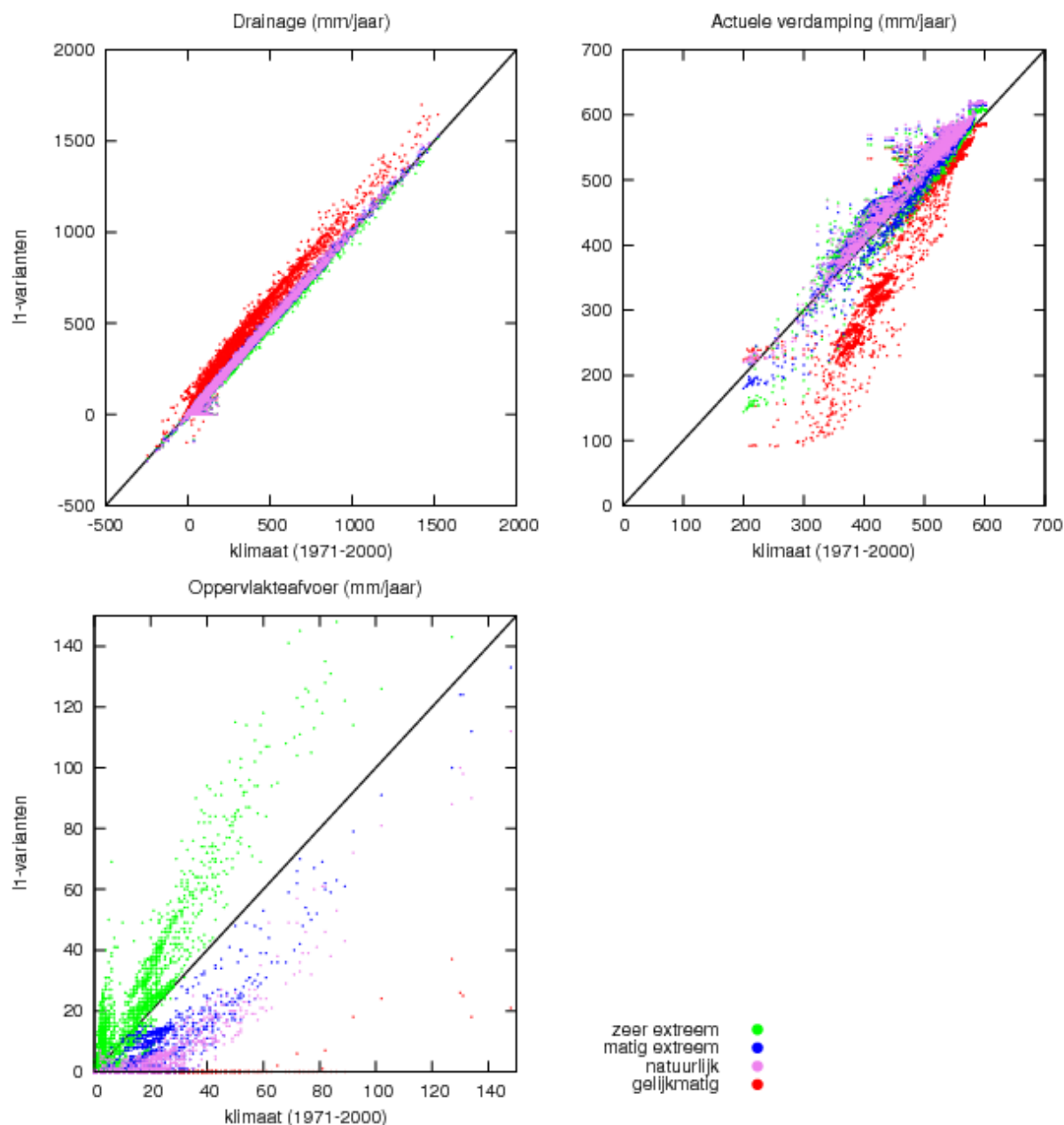
	Drainage	Actuele verdamping	Oppervlakteafoer
gemiddelde (mm/year)	267	472	6.4
standaard deviatie (mm/year)	262	75	13.3
natuurlijk	-0.7	18.2	-5.4
bias zeer extreem	-8.3	11.7	2.6
(mm/j) gematigd extreem	-1.5	13.9	-4.4
gelijkmatig	53.7	-54.4	-6.3
natuurlijk	19.3	13.3	8.2
RMSE zeer extreem	17.8	17.8	8.2
(mm/j) gematigd extreem	18.8	15.7	6.7
gelijkmatig	60.5	58.7	11.7
natuurlijk	100%	97%	67%
R2 zeer extreem	100%	94%	90%
gematigd extreem	100%	96%	77%
gelijkmatig	97%	92%	33%

Tabel 4.1 Reproductie van de balansternen met de vier standaardjaar simulaties volgens de 30-jarige referentieberekening. De twee bovenste rijen geven de ruimtelijke statistieken van de 30-jarige referentierun. In de rijen eronder staan de bias, RMSE en de R2.

De drainage en de actuele verdamping worden goed gereproduceerd. Over het algemeen geeft meer gelijkmatig over de tijd verdeelde neerslag meer actuele verdamping (zie ook hoofdstuk 2). In een groot gedeelte van Nederland verloopt de drainage naar sloten echter effectiever bij een gelijkmatiger dag-op-dagvariatie van de neerslag. Bij een grotere dag-op-dagvariatie (vaker matige tot zware neerslag) zal de drainage vaker stagneren, waardoor de grondwaterstand en verdamping omhoog gaan. De simulatie met de gelijkmatige methode geeft daardoor voor het grootste gedeelte van Nederland te veel drainage (ca. 10%) en als gevolg daarvan te weinig actuele verdamping. Op de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug zorgt de gelijkmatig verdeelde neerslag juist voor een overschatting van de actuele verdamping (zie plots bijlage).

In gebieden met weinig drainageflux en dus veel verdamping wordt de drainage onderschat en de verdamping overschat ten opzichte van de 30-jarige simulatie. Dit komt waarschijnlijk doordat de decade- en maandvariatie in de standaardjaren iets lager is dan in de 30-jarige klimaatreeks. In deze veelal wat hoger gelegen gebieden veroorzaakt een gelijkmatiger verdeling van de neerslag juist een toename van de actuele verdamping.

De oppervlakteafoer wordt minder goed gereproduceerd dan de drainage en de actuele verdamping. Dit komt doordat de varianten met gematigd extreme en natuurlijke dag-op-dagvariatie te weinig extreme neerslaggebeurtenissen kennen. In gebieden waar oppervlakteafoer ook optreedt bij minder extreme gebeurtenissen, wordt deze term wel goed gereproduceerd. De zeer extreme variant kent juist te veel extreme gebeurtenissen, waardoor de oppervlakteafoer voor veel gebieden overschat wordt. Omdat de oppervlakteafoer relatief klein is, heeft deze term echter weinig invloed op de drainage en actuele verdamping.



Figuur 4.7 scatterplots reproductie waterbalanstermen Elk punt in de grafieken staat voor een combinatie van een rekengebied en een standaardjaar. De horizontale as geeft de waarde zoals is berekend met de 30-jarige modelrun en de verticale as geeft de waarde zoals berekend met het standaardjaar. De kleuren geven aan om welk standaardjaar het gaat. De oppervlakteafvoer van enkele gebieden valt buiten de grafiek C.

4.2.2. Evaluatie grondwatertermen

GHG en GLG

Bij de evaluatie van de GHG, GLG en de Gt worden de plots, waarvoor een GLG onder de 2500 mm of een GHG onder de 1500 mm is berekend, buiten beschouwing gelaten (zie paragraaf 3.5.2).

De ruimtelijke variabiliteit van de GHG en GLG van de overige gebieden worden door alle varianten van dag-op-dagvariatie redelijk goed gereproduceerd (tabel 4.2 en figuur 4.8). De GHG is stelselmatig te diep in met name de kustprovincies Friesland, Groningen en Zeeland (zie ook plots in bijlage). De GLG wordt juist stelselmatig te ondiep geschat door de verschillende varianten. De GHG is gevoelig voor zeer natte perioden en de GLG is

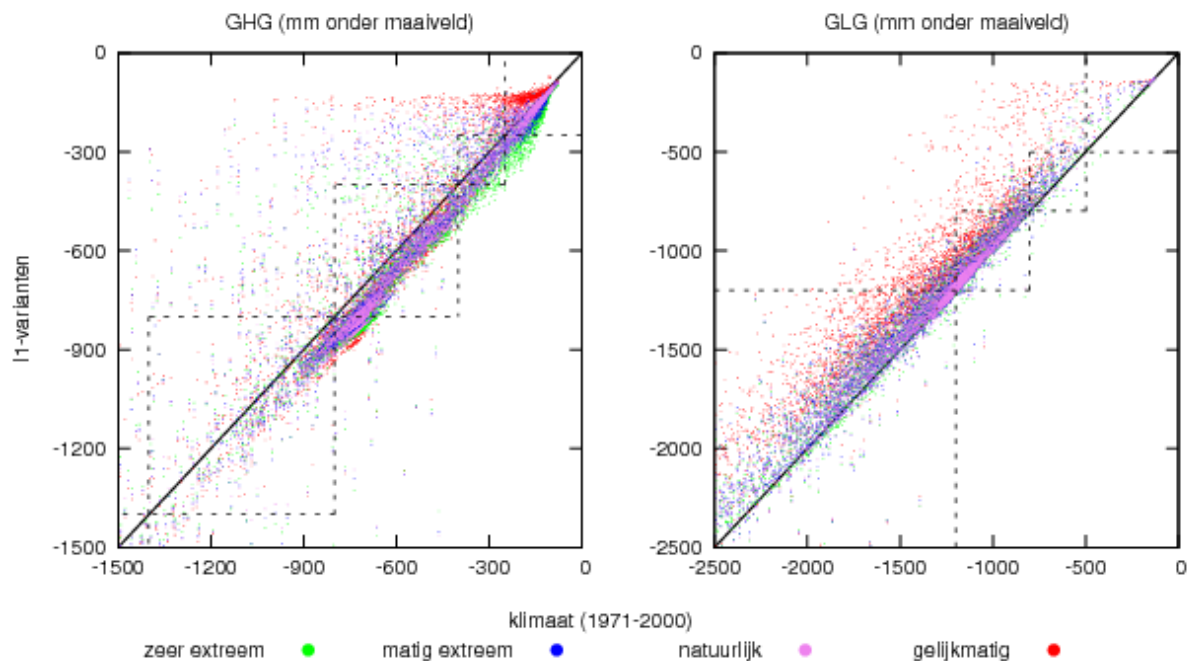
gevoelig van zeer droge perioden, die geen van beide in de standaardjaren vertegenwoordigd zijn. Langdurige natte of droge perioden (meer dan 1 à 1,5 maand) komen door de schaling echter niet voor in de standaardjaren. Daarnaast wordt de jaar-op-jaarvariatie niet vertegenwoordigd door de standaardjaren.

De varianten met matig extreme en natuurlijke dag-op-dagvariatie geven wederom de beste resultaten. In gebieden met hoge GHG wordt deze dikwijls overschat door de variant met gelijkmatige dag-op-dagvariatie en onderschat door de variant met zeer extreme dag-op-dagvariatie. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door respectievelijk de onder- en overschatting van de oppervlakteafvoer met te veel en te weinig infiltratie als gevolg (zie plots bijlage).

In sommige gevallen zijn de afwijkingen zo groot, dat een andere Gt geïdentificeerd wordt. Dit is het geval als de punten in de scatterplots buiten de gestippelde vierkanten vallen.

		GHG	GLG
gemiddelde relatieve bias	natuurlijk	5%	-5%
	zeer extreem	11%	-5%
	gematigd extreem	5%	-5%
	gelijkmatig	-2%	-14%
RMSE relatieve bias	natuurlijk	31%	18%
	zeer extreem	33%	18%
	gematigd extreem	32%	18%
	gelijkmatig	33%	21%
R2	natuurlijk	72%	72%
	zeer extreem	72%	73%
	gematigd extreem	72%	72%
	gelijkmatig	71%	70%

Tabel 4.2 Reproductie van de GHG en GLG met de vier standaardjaar simulaties volgens de 30-jarige referentieberekening. Bovenste rijen geven het gemiddelde van de relatieve fout per plot. Daaronder staat de RMSE van de gemiddelde fout per plot en onderaan de R2.



Figuur 4.8 scatterplots reproductie GHG en GLG. Elk punt in de grafieken staat voor een combinatie van een rekg gebied en een standaardjaar. De horizontale as geeft de waarde zoals is berekend met de 30-jarige modelrun en de verticale as geeft de waarde zoals berekend met het standaardjaar. De kleuren geven aan om welk standaardjaar het gaat. Wanneer punt buiten vierkant valt, zal aan desbetreffend gebied een andere Gt toegekend worden bij gebruik

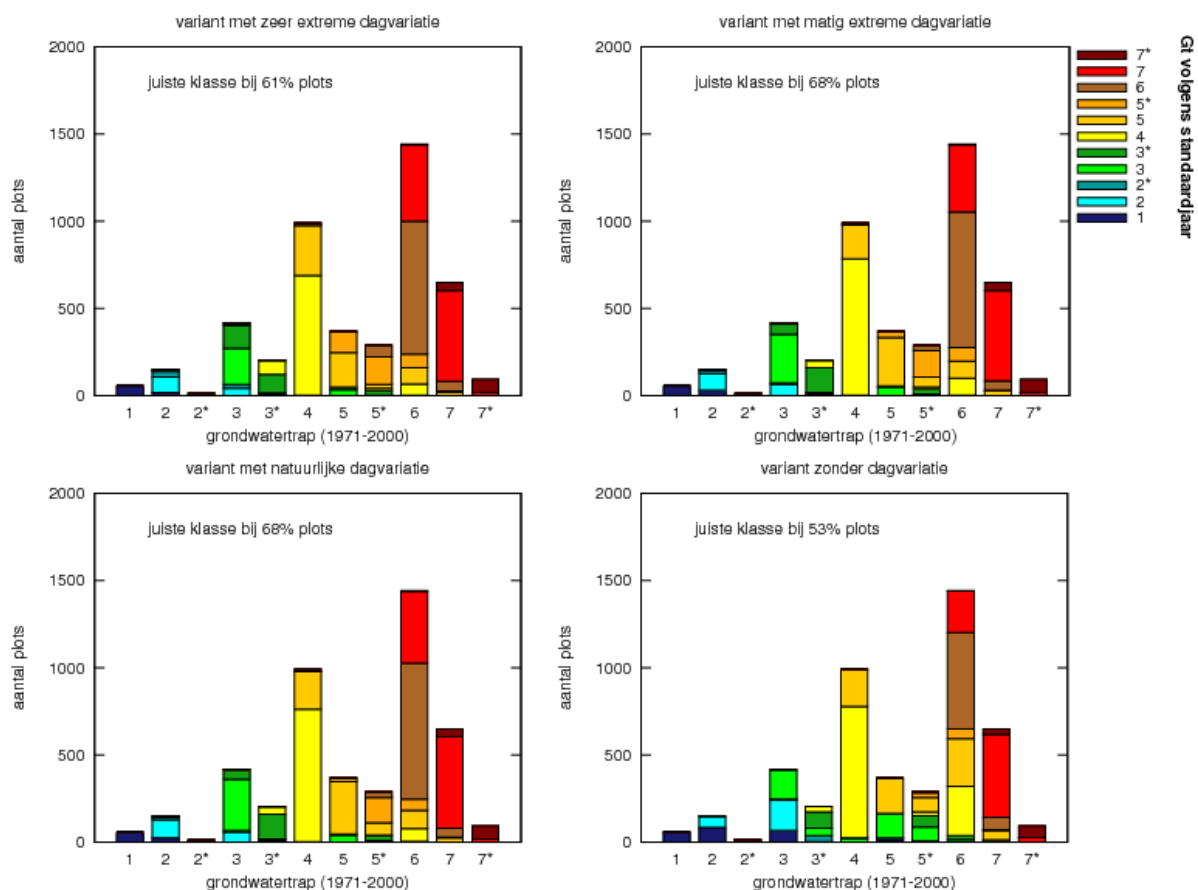
standaardjaar i.p.v. 30-jarige run. De stippellijnen geven de grenzen van de verschillende grondwatertrappen aan. Als een punt buiten een gestippeld vierkant valt, is voor het desbetreffende plot niet de goede grondwatertrap gereproduceerd.

Grondwatertrap

De grondwatertrap (Gt) wordt redelijk goed gereproduceerd door de vier standaardjaren met natuurlijke en gematigd extreme dag-op-dagvariatie (figuur 4.9). Voor veel gebieden, vooral in Friesland en Groningen (zie plots bijlage), geven deze varianten Gt VII in plaats van Gt VI. Dit wordt veroorzaakt door de te laag geschatte GHG.

Door de systematisch te hoog geschatte GLG, produceert de variant zonder dag-op-dagvariatie veelal een lager getal voor de grondwatertrap dan met de 30-jarige run. Gt I is hierdoor bijvoorbeeld sterk oververtegenwoordigd in deze variant. De zeer extreme variant presteert vooral slecht voor Gt III en V, doordat de bijbehorende GHG systematisch te laag wordt geschat.

Het aantal gebieden met grondwatertrap VII* is zeer klein. Dit komt doordat plots waarvoor een GHG lager dan 1500 mm -mv buiten beschouwing zijn gelaten.



Figuur 4.9 Reproductie grondwatertrap huidige klimaat. Op de horizontale as staat de grondwatertrap zoals is afgeleid van de 30-jarige simulatie (1971-2000). De kleuren geven aan welke grondwatertrap werd afgeleid van de simulaties met de standaardjaren.

4.3. Discussie varianten standaardjaar huidige klimaat

De dag-op-dagvariatie in het standaardjaar heeft veel invloed op de te simuleren hydrologische karakteristieken. De variant met gelijkmatig verdeelde neerslag geeft duidelijk minder goede resultaten. De twee varianten, waarbij de neerslag natuurlijk of matig extreem over de dagen wordt verdeeld geven de beste resultaten.

De subjaarlijkse variatie op tijdschalen van meer dan een dag wordt in alle vier de standaardjaren onderschat. De iets te gelijkmatig neerslag leidt in de peilbeheerste

gebieden tot een lichte overschatting van de drainage en onderschatting van de actuele verdamping. In de hoger gelegen is dit andersom.

Het gemis van jaar-op-jaarvariatie bij het gebruik van een standaardjaar zorgt voor een te klein verschil tussen de GHG en GLG en voor een flinke onderschatting van de oppervlakteafstroming. In de weinige gebieden waar oppervlakteafstroming niet alleen afhankelijk is van zeer extreme gebeurtenissen, wordt deze term wel goed gereproduceerd door het standaardjaar.

voorkeur variant met natuurlijke variatie

De varianten met respectievelijk natuurlijk en matig extreme dag-op-dagvariatie geven een zeer goed vergelijkbare reproductie van de hydrologische karakteristieken. De variant met natuurlijke dag-op-dagvariatie is echter eenvoudiger te construeren, omdat het niet nodig is om eerst een standaardjaar op decadebasis op te stellen. Daarom gaat de voorkeur uit naar deze variant.

5. Analyse standaardjaar KNMI'06 scenario's

In dit hoofdstuk wordt onderzocht of de methode voor het ontwikkelen van een standaardjaar voor het huidige klimaat ook geschikt is voor standaardjaren die passen bij de KNMI'06 klimaatscenario's.

In paragraaf 5.1 wordt onderzocht wat de gevolgen van de KNMI'06 klimaatscenario's zijn voor de hydrologie van Nederland op basis van STONE2.1. De veranderingen worden bepaald door het verschil te nemen tussen de hydrologie volgens de 30-jarige simulatie voor het huidige klimaat en de hydrologie volgens de 30-jarige simulaties voor de KNMI'06 scenario's.

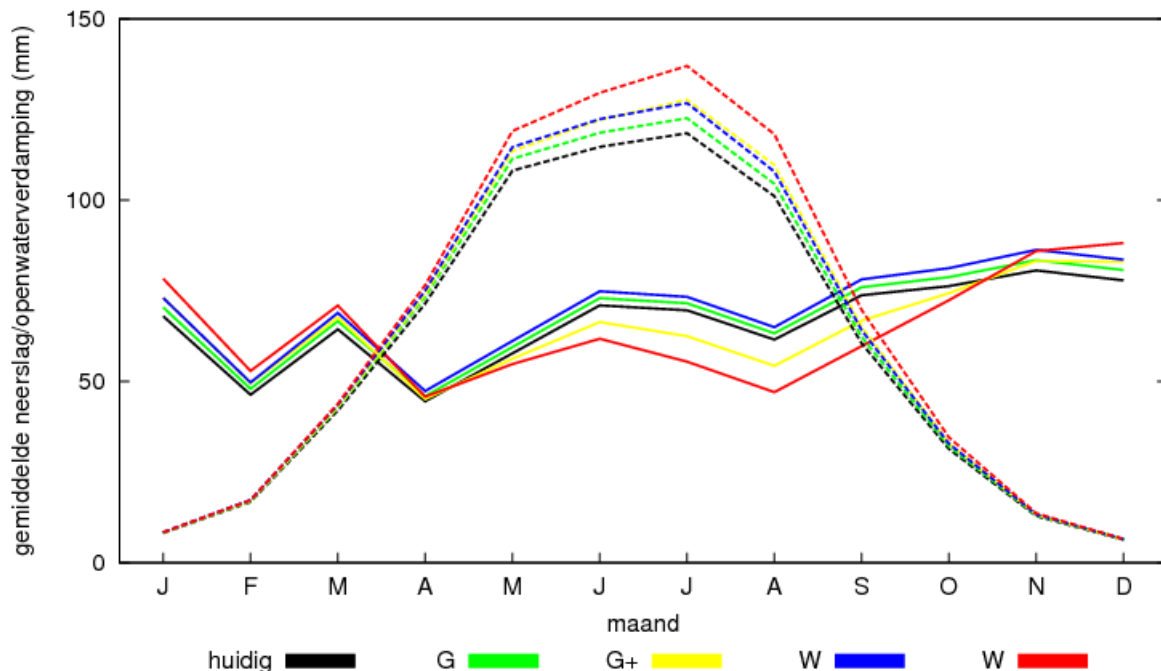
In paragraaf 5.2 wordt gekeken of een run met het standaardjaar voor het huidige klimaat en een run met het standaardjaar voor het desbetreffende KNMI'06 scenario vergelijkbare resultaten geven voor de verandering in de hydrologie van Nederland.

5.1. Klimaatsignaal hydrologie

5.1.1. Verandering neerslag en openwaterverdamping

De veranderingen in de neerslag en potentiële verdamping zijn afhankelijk van de tijd in het jaar. De potentiële verdamping in de winter verandert volgens alle vier de scenario's weinig. In de zomer varieert de toename van 3% volgens het G scenario tot 15% volgens het W+ scenario (gestippelde lijnen figuur 5.1).

In de winter zal de gemiddelde neerslag volgens alle scenario's toenemen van 4% volgens het G scenario tot 14% volgens het W+ scenario. Volgens het G en W scenario zal de neerslag ook in de zomer toenemen. Het G+ en W+ scenario gaan daarentegen juist uit van een afname in de gemiddelde neerslag van respectievelijk -10% en -19% (doorgetrokken lijnen figuur 5.1).



Figuur 5.1 30-jarig gemiddelde neerslag en openwaterverdamping in Nederland voor huidig klimaat en voor de vier KNMI'06 klimaatscenario's. Doorgetrokken lijn is neerslag en gestippelde lijn is openwaterverdamping.

De afname in de zomerneerslag in het G+ en W+ scenario wordt veroorzaakt door een afname in het aantal natte dagen. Het gemiddelde op alleen natte dagen blijft in deze scenario's nagenoeg onveranderd.

Ten slotte nemen de zomerextremen volgens alle vier de scenario's meer toe dan het zomergemiddelde op natte dagen. Het 99% percentiel van de natte dagen neemt met $\pm 6\%$ toe in het G+, met $\pm 12\%$ in G en W+ en met $\pm 24\%$ in het W scenario.

5.1.2. Verandering waterbalans

Door de veranderingen in de neerslag en potentiële verdamping zal de hele waterbalans veranderen. Voor elk klimaatscenario zijn de veranderingen in de waterbalans bepaald door de waterbalans voor het huidige klimaat te vergelijken met de waterbalans voor het scenario in kwestie. Deze balansen zijn berekend op basis van 30-jarige modelruns met STONE2.1. De veranderingen in de balanstermen vormen zelf ook weer een balans:

$$\Delta P = \Delta E_a + \Delta D + \Delta R_s \quad (5.1)$$

ΔP Verandering neerslag

ΔE_a Verandering actuele verdamping

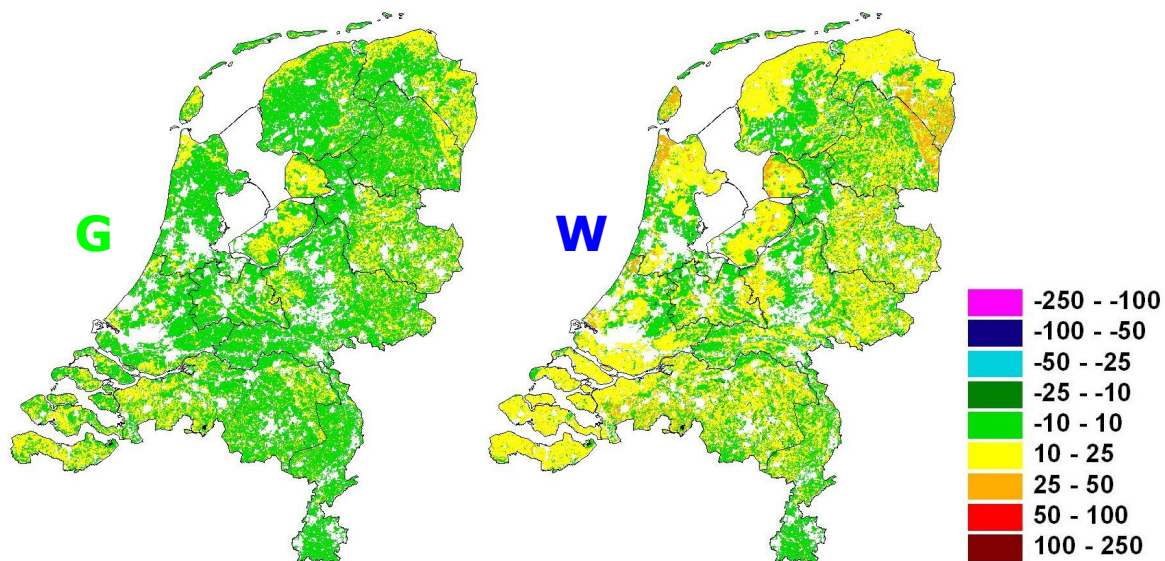
ΔD Verandering drainage

ΔR_s Verandering oppervlakteafvoer

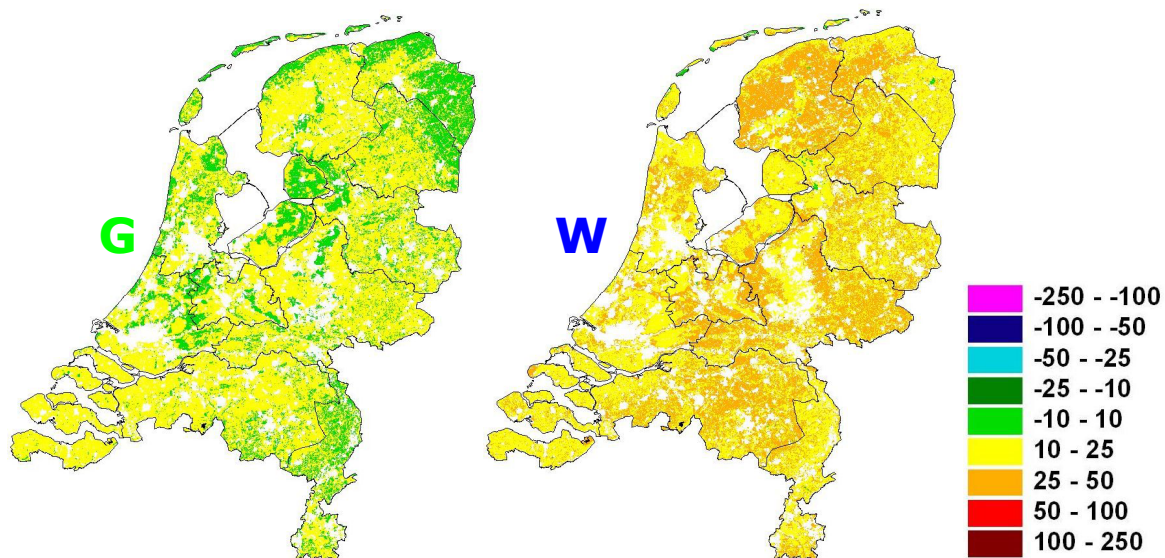
Kwel en wegzijging zijn opgelegd aan STONE2.1. Om de analyse te vereenvoudigen zijn deze variabelen onveranderd voor de toekomstige runs. De veranderingen in E_a , R_s en D worden hieronder nader beschreven.

Verandering als gevolg van G en W klimaatscenario

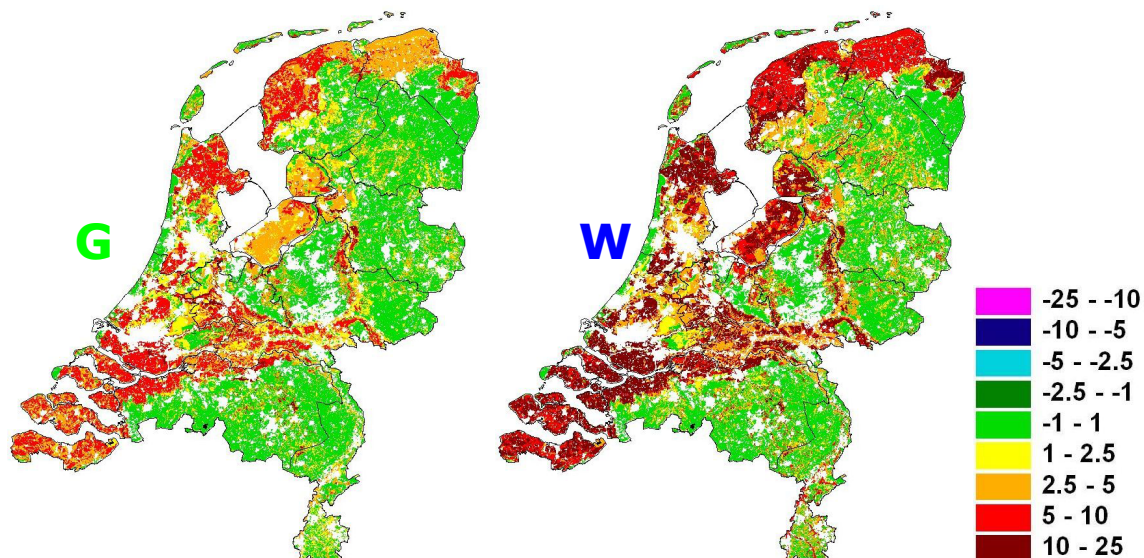
Het G en W scenario worden gekenmerkt door een grote en gelijkmatig over het jaar verdeelde toename van de neerslag. Deze toename in de neerslag leidt tot een toename in alledrie de balanstermen; actuele verdamping, drainage en oppervlakteafvoer (figuur 5.2 t/m 5.4). Door een eveneens grote toename van de potentiële verdamping in de zomer, verlaat het grootste gedeelte van de extra neerslag de gebiedjes door middel van actuele verdamping. In de gebieden met in het huidige klimaat een sterke drainage en/of oppervlakteafvoer neemt de desbetreffende term echter ook aanzienlijk toe.



Figuur 5.2 Verandering in drainageflux (mm/jaar) in G en W scenario



Figuur 5.3 Verandering in actuele verdamping (mm/jaar) in G en W scenario



Figuur 5.4 Verandering in oppervlakteafvoer (mm/jaar) in G en W scenario

Verandering als gevolg van G+ en W+ klimaatscenario

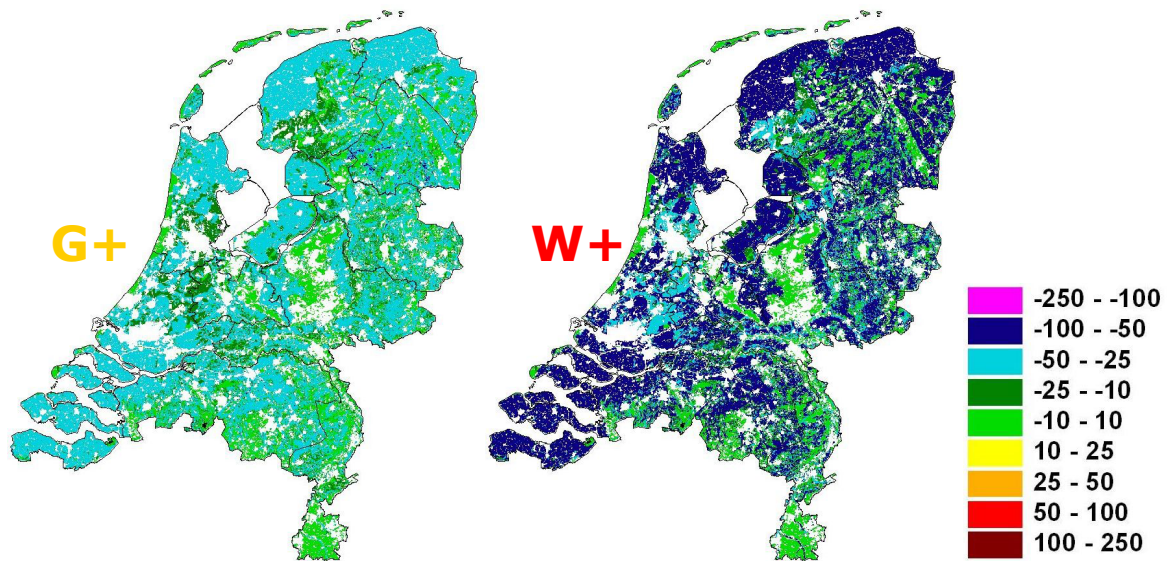
De toename in de gemiddelde winterneerslag in het G+ en W+ scenario is bijna een factor 2 groter dan de toename in respectievelijk het G en W scenario. Deze toename zal in de winter leiden tot een sterke toename van de drainageflux.

De zomer kent daarentegen een zeer sterke afname van de gemiddelde neerslag. Daarbij komt een grote toename van de potentiële verdamping in de zomer. In gebieden met voldoende water – laaggelegen gebieden en rivierengebied – zal E_a toenemen door toedoen van de toename van de potentiële verdamping (figuur 5.6).

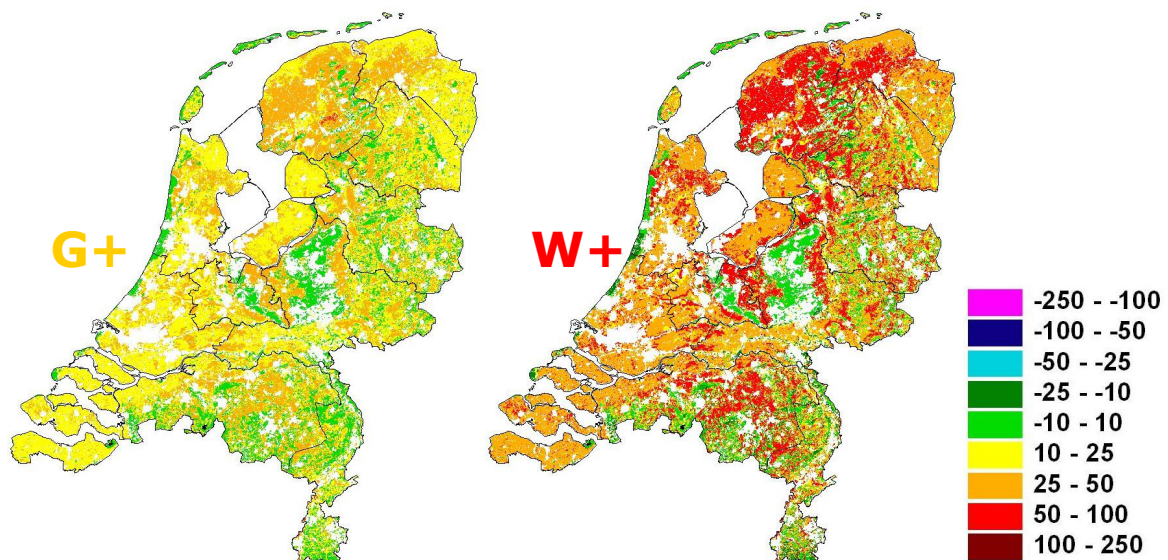
De afname van de neerslag en toename van de actuele verdamping zorgen voor een evenzo grote afname in de drainage. Deze vermindering van de drainageflux in de zomer is veel groter dan de eerder genoemde toename in de winter, waardoor het grootste gedeelte van Nederland een grote daling kent in de jaargemiddelde drainageflux (figuur 5.7).

In een gering aantal gebieden, waaronder het duingebied en andere hoge zandgronden zal E_a juist afnemen als gevolg van de afname in de zomerneerslag. De veranderingen in de drainageflux zijn in deze gebieden klein.

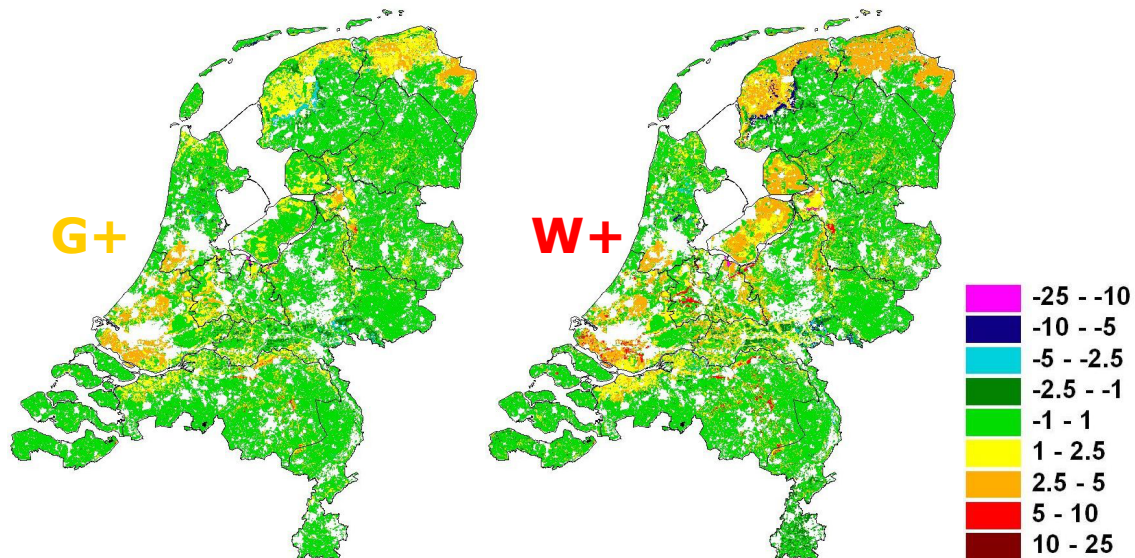
Ondanks de afname van de jaargemiddelde neerslag neemt het aantal hevige neerslaggebeurtenissen licht toe. Hierdoor is er ook sprake van een zeer kleine toename van de oppervlakteafvoer (figuur 5.7).



Figuur 5.5 Verandering in drainageflux (mm/jaar) in G+ en W+ scenario



Figuur 5.6 Verandering in actuele verdamping (mm/jaar) in G+ en W+ scenario



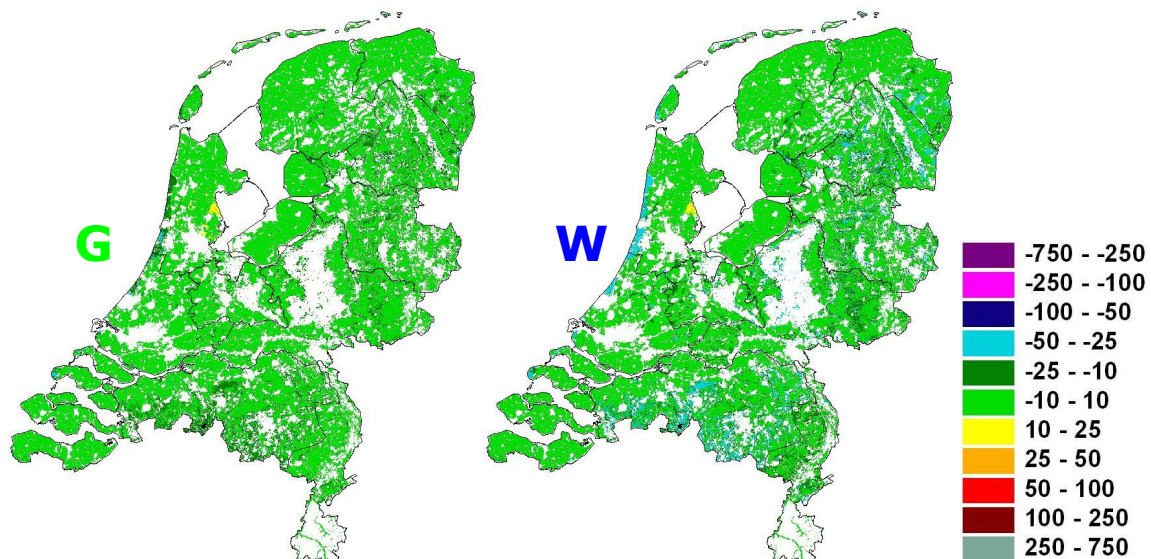
Figuur 5.7 Verandering in oppervlakteafvoer (mm/jaar) in G+ en W+ scenario

5.1.3. Grondwater

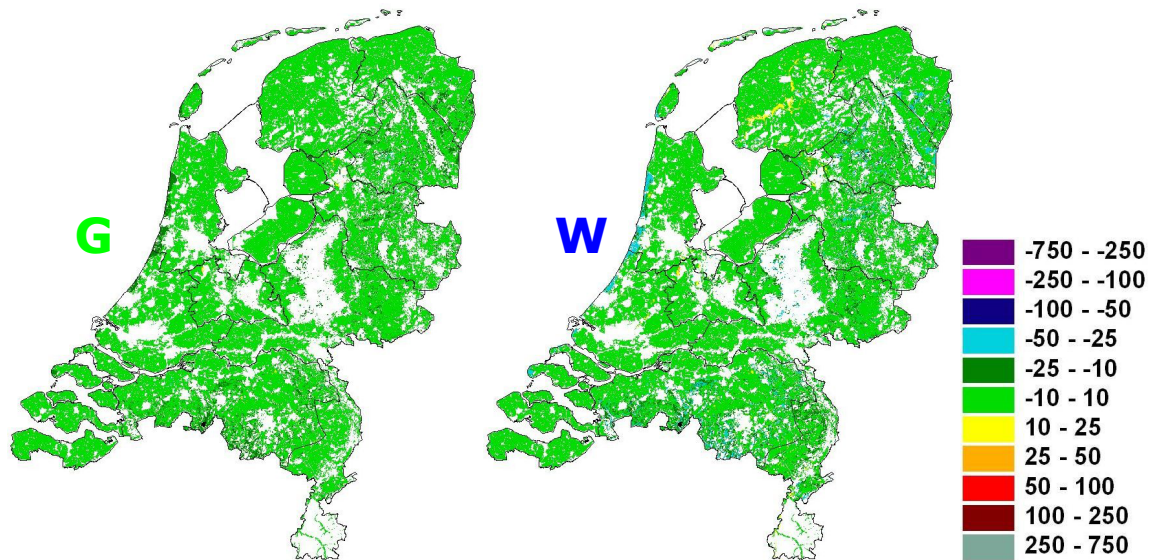
Verandering als gevolg van G en W klimaatscenario

De toename van de neerslag in het G en W scenario heeft minimale gevolgen voor de grondwaterstanden. Alleen in de wat hogere zandgronden, zoals de duinen, is sprake van een kleine stijging van zowel de GHG als GLG (figuur 5.8 en 5.9).

Bij een klein aantal gebiedjes wordt een daling van de GHG en GLG gevonden. Het gaat hier heel waarschijnlijk om gebiedjes waar de grondwaterstand gedurende de gehele 30-jarige run is blijven dalen. Deze daling wordt veroorzaakt doordat de grondwateraanvulling in de deze gebieden onvoldoende is afgestemd op de onderrand. Voor kwel en wegzijging is immers uitgegaan van de huidige situatie.



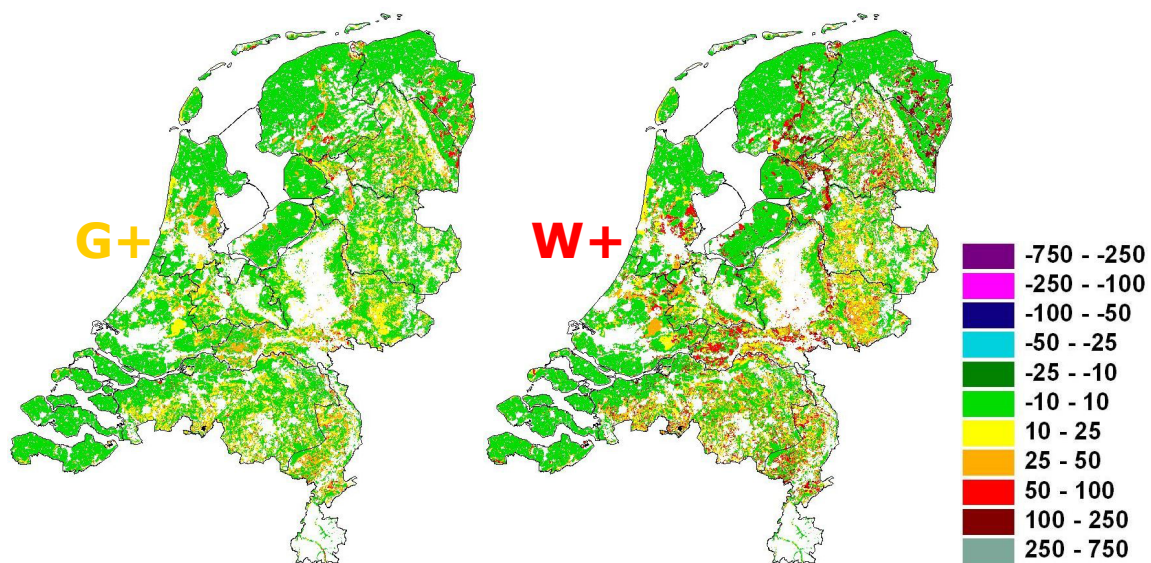
Figuur 5.8 Verandering in GHG (mm -MV) in G en W scenario



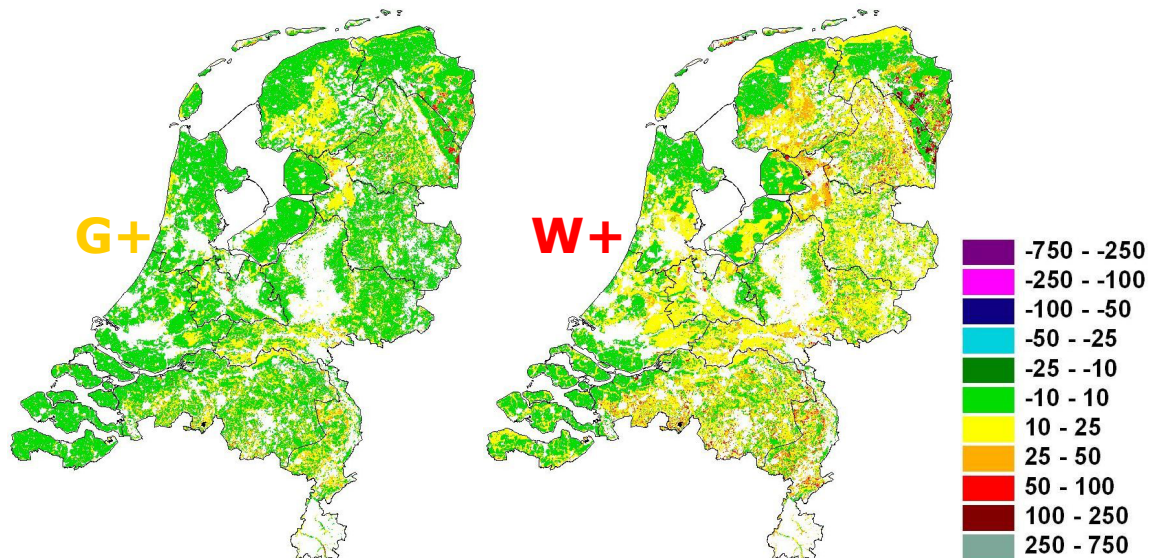
Figuur 5.9 Verandering in GLG (mm -MV) in G en W scenario

Verandering als gevolg van G+ en W+ klimaatscenario

De droge zomers in het G+ en W+ scenario hebben een daling van de GHG en GLG tot gevolg (figuur 5.10 en 5.11). Logischerwijs is de verandering het grootst in de niet-peilbeheerste gebieden met lagere grondwaterstanden; hier is geen drempel-effect van het oppervlaktewatersysteem.



Figuur 5.10 Verandering in GHG (mm -MV) in G+ en W+ scenario

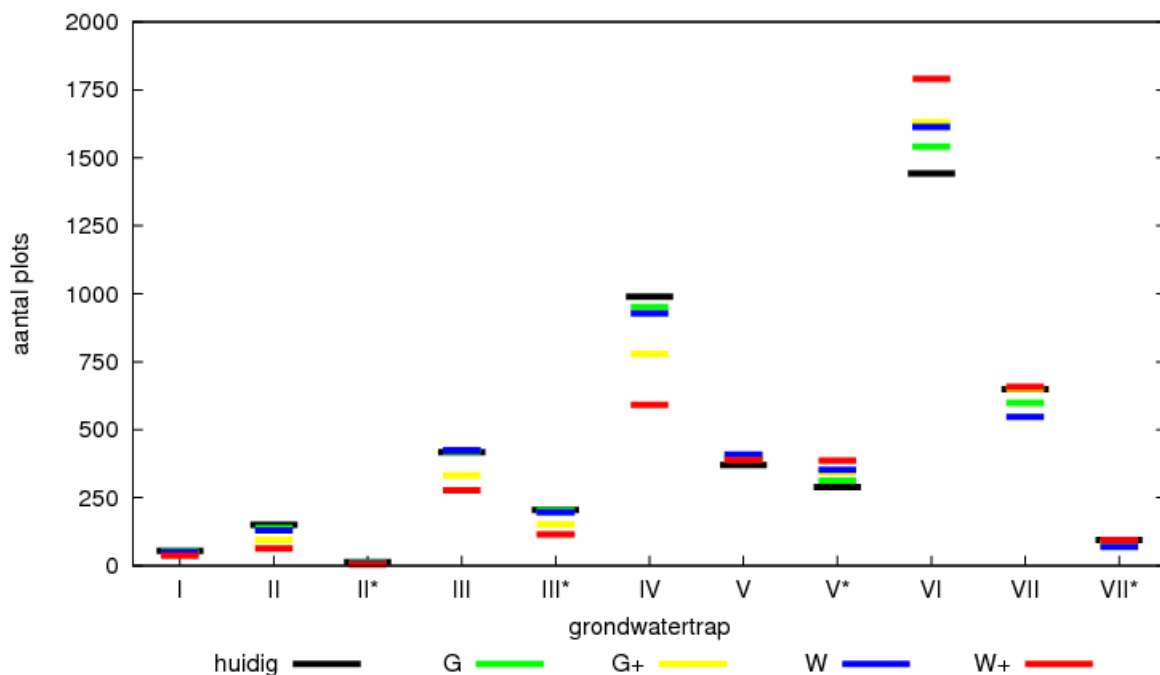


Figuur 5.11 Verandering in GLG (mm -MV) in G+ en W+ scenario

Verandering grondwatertrap

Door de iets hogere GHG in het G en W scenario neemt het aantal gebieden met Gt V, V* en VI toe ten koste van Gt VII. Gt IV daalt licht. Dit komt waarschijnlijk door de daling van de GLG in een klein aantal gebiedjes (figuur 5.12).

In het G+ en W+ scenario dalen in een groot aantal gebieden zowel de GHG als de GLG. Dit veroorzaakt een grote afname in het aantal gebieden met Gt I t/m IV en een toename in het aantal gebieden met Gt V, V* en VI.



Figuur 5.12 Grondwatertrap volgens huidige klimaat en KNMI'06 klimaatscenario's Voor de gebieden met een GHG lager dan 1500 mm -mv of een GLG lager dan 2500 mm -mv is de Gt niet bepaald.

5.2. Plausibiliteit standaardjaren 4 KNMI'06 scenario's

In hoofdstuk 4 zijn verschillende methoden vergeleken om een standaardjaar op dagbasis te construeren. De methodes met gematigd extreme en natuurlijke variatie zijn

hierbij als beste getoetst. De methode met natuurlijke variatie is veel eenvoudiger dan met gematigd extreme variatie (hoofdstuk 4). Daarom wordt voor de standaardjaren voor de verschillende klimaatscenario's gewerkt met de methode met natuurlijke dag-opdagvariatie.

5.2.1. Waterbalans

Met de simulaties aangedreven door de standaardjaren wordt de verandering volgens de klimaatscenario's in de drainageflux en actuele verdamping redelijk goed gereproduceerd (tabel 5.1 en figuur 5.13). De algemene verschillen tussen de verschillende scenario's zijn duidelijk zichtbaar, maar op het niveau van de afzonderlijke rekengebieden wijken de gesimuleerde veranderingen soms veel af van de 30-jarige runs.

		Drainage	Actuele verdamping	Oppervlakteafvoer
gemiddelde verandering (mm)	G	6.1	12.3	2.5
	G+	-24.2	20.6	0.7
	W	11.5	24.4	4.6
	W+	-46.2	36.7	0.9
bias (mm)	G	0.2	1.7	-2.1
	G+	-1.5	3.3	-0.5
	W	0.9	2.2	-3.8
	W+	-0.4	2.6	-0.4
RMSE (mm)	G	6.1	4.0	2.3
	G+	7.6	8.1	1.4
	W	8.7	5.2	4.0
	W+	13.3	14.7	2.0
R2	G	32%	9%	45%
	G+	86%	61%	21%
	W	71%	54%	43%
	W+	87%	70%	32%

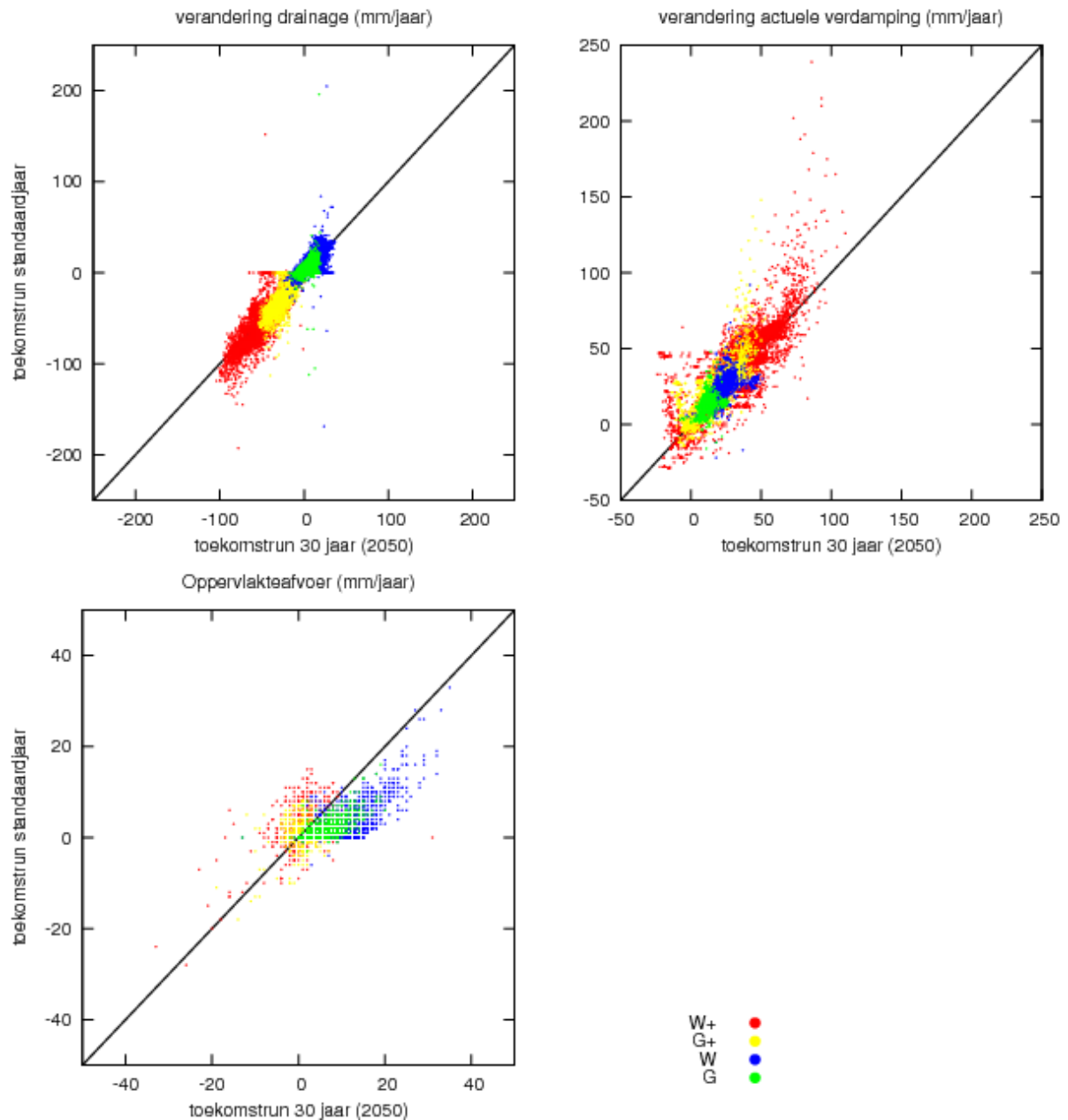
Tabel 5.1 Reproductie van de verandering van de balanst termen volgens de 30-jarige referentiesimulaties met de standaardjaren. In de bovenste rijen wordt per scenario de verandering volgens de referentiesimulaties gegeven.

De opgetreden verschillen houden vaak verband met de onderschatting van de variabiliteit op decade- en maandbasis in de standaardjaren. In het westen, dat over het algemeen een sterke drainage kent (zie paragraaf 4.1), wordt de drainageflux groter bij een gelijkmatiger verdeling van de neerslag. Dit feit veroorzaakt een overschatting van de toename in de drainage volgens het G en W scenario en een onderschatting van de afname volgens het G+ en W+ scenario (figuur 5.14 en 5.15).

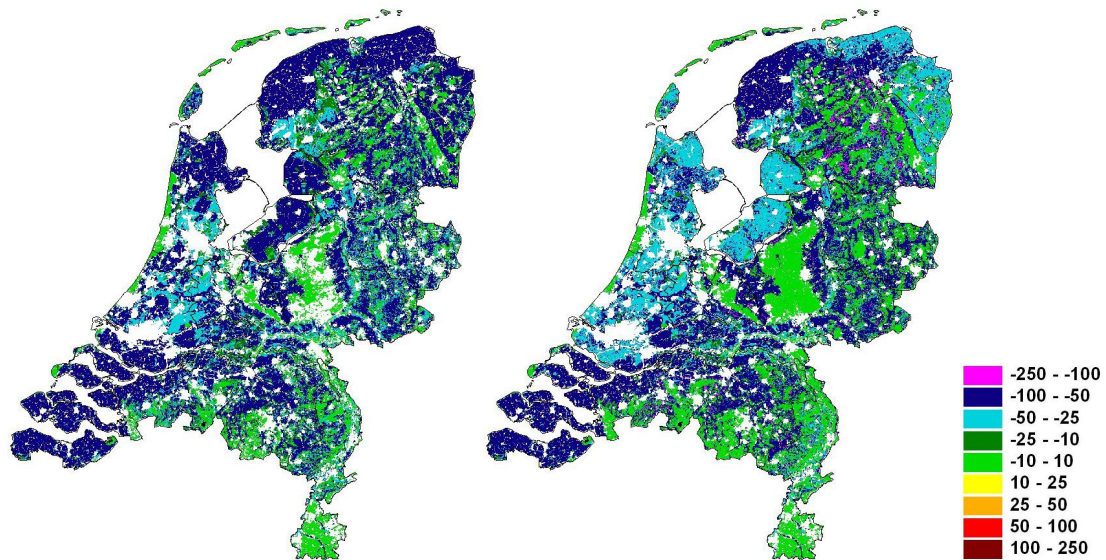
In bovengenoemde gebieden wordt de actuele verdamping juist gereduceerd bij een gelijkmatiger verdeelde neerslag. De toename van de actuele verdamping in het westen wordt dan ook onderschat door de standaardjaren (figuur 5.16 en 5.17).

In het oosten van Nederland leidt een meer gelijkmatige neerslag juist tot meer verdamping en minder drainage. Dit is terug te zien in de verdamping. Een toename van de actuele verdamping volgens de 30-jarige simulaties wordt door de simulaties op basis van de standaardjaren overschat en in overeenstemming wordt een afname onderschat (figuur 5.16 en 5.17).

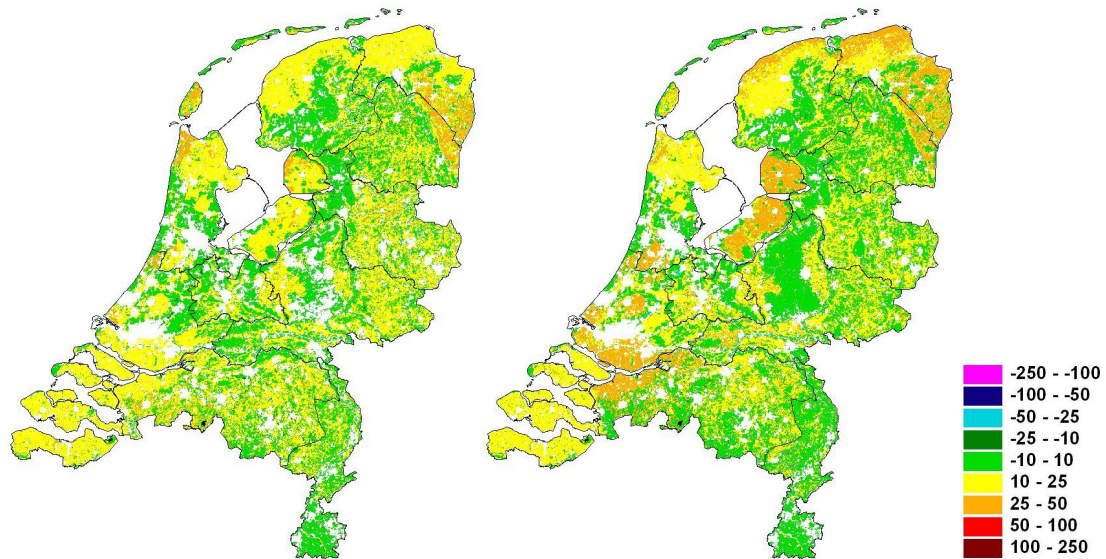
De verandering in de oppervlakteafvoer wordt met de standaardjaren matig gereproduceerd. Dit wordt veroorzaakt doordat de standaardjaren als gevolg van te weinig extreme neerslaggebeurtenissen ook te weinig oppervlakteafvoer genereren. Hierdoor is het ook niet goed mogelijk om de verandering in de oppervlakteafvoer te kwantificeren met simulaties op basis van de standaardjaren (figuur 5.18 en 5.19).



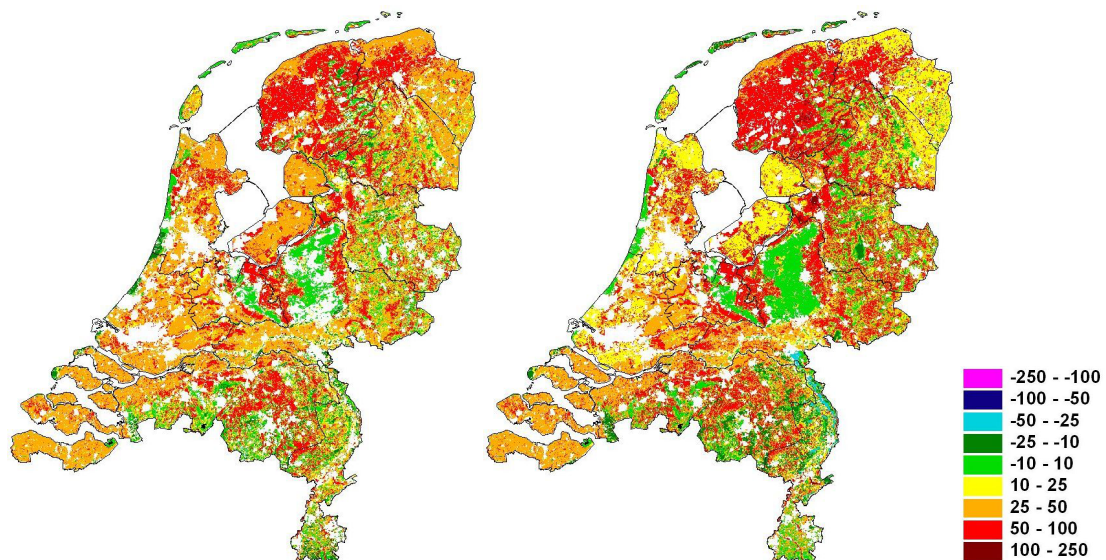
Figuur 5.13 Scatterplots verandering waterbalanstermen Elk punt staat voor een combinatie van een rekengebied en een klimaatscenario. De horizontale as geeft de waarde zoals is berekend met de 30-jarige modelrun en de verticale as geeft de waarde zoals berekend met de standaardjaren. De kleuren geven aan om welk standaardjaar het gaat.



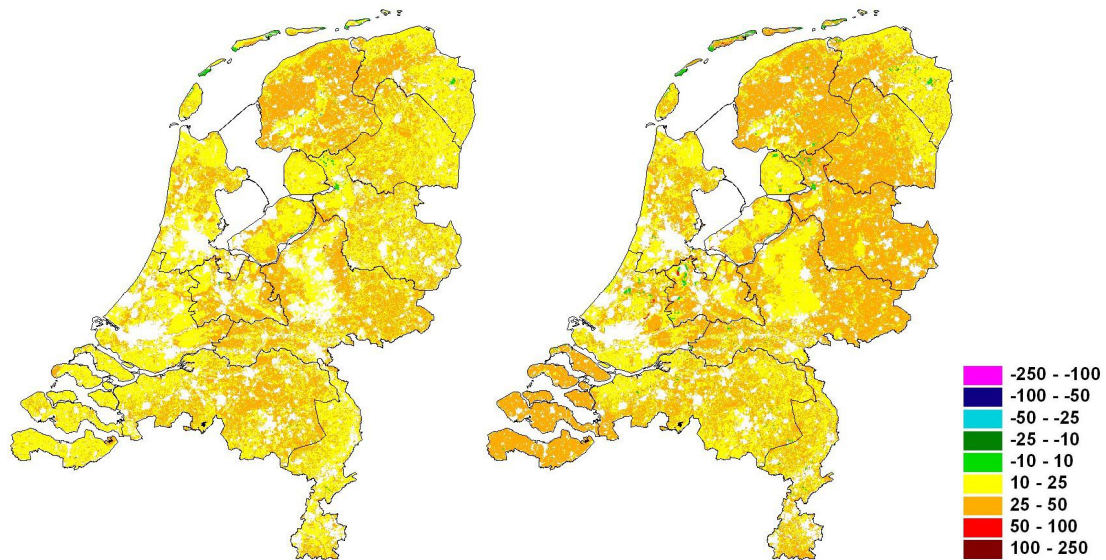
Figuur 5.14. Verandering in drainage $W+$ (mm) met 30-jarige en standaardjaar simulatie



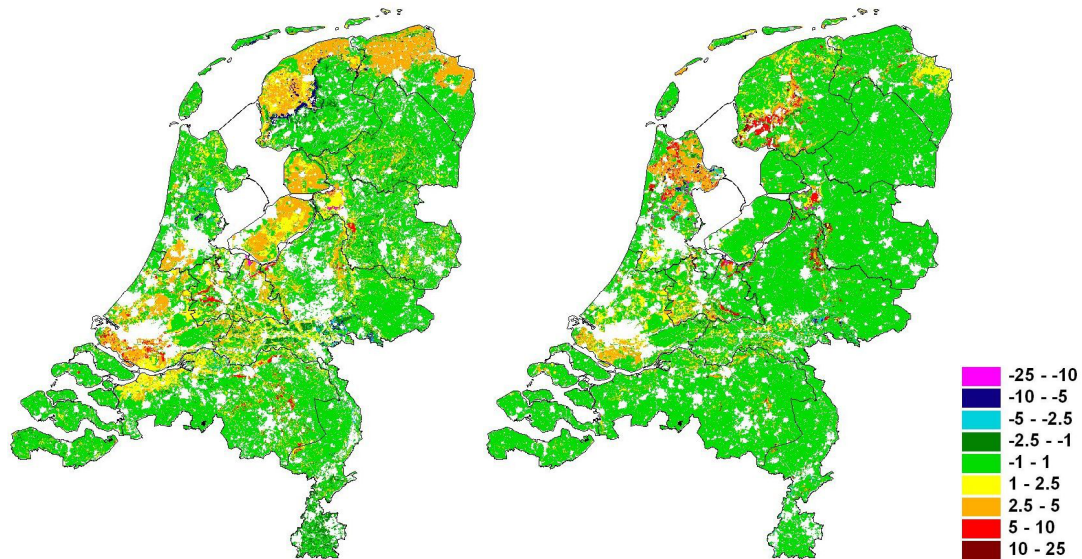
Figuur 5.15. Verandering in drainage W (mm) met 30-jarige en standaardjaar simulatie



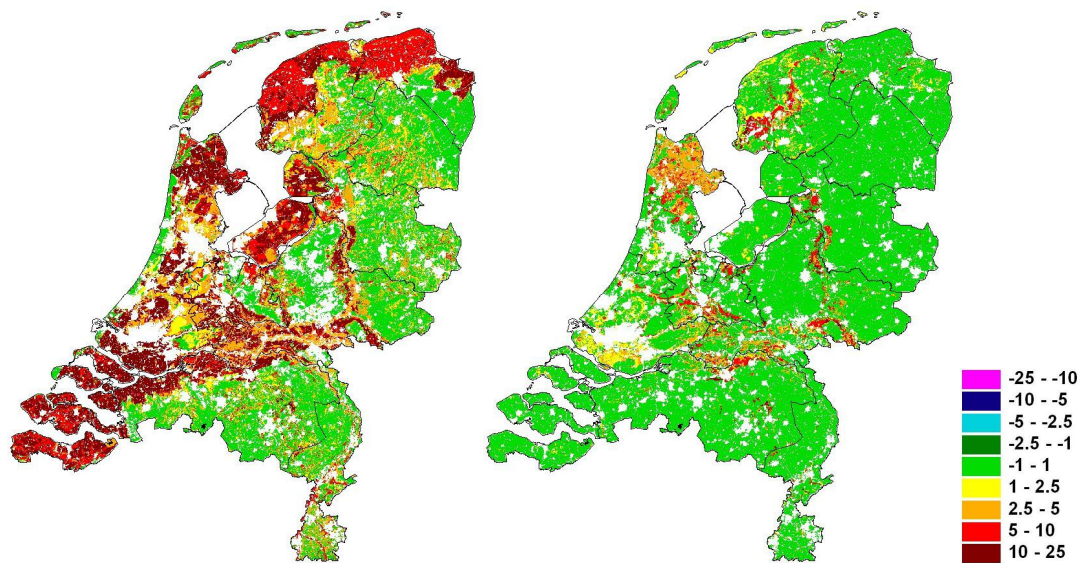
Figuur 5.16 Verandering in $E_a W+$ (mm) met 30-jarige en standaardjaar simulatie



Figuur 5.17 Verandering in $E_a W$ (mm) met 30-jarige en standaardjaar simulatie



Figuur 5.18 Verandering in $R_s W+$ (mm) met 30-jarige en standaardjaar simulatie



Figuur 5.19 Verandering in $R_s W$ (mm) met 30-jarige en standaardjaar simulatie

5.2.2. Grondwater

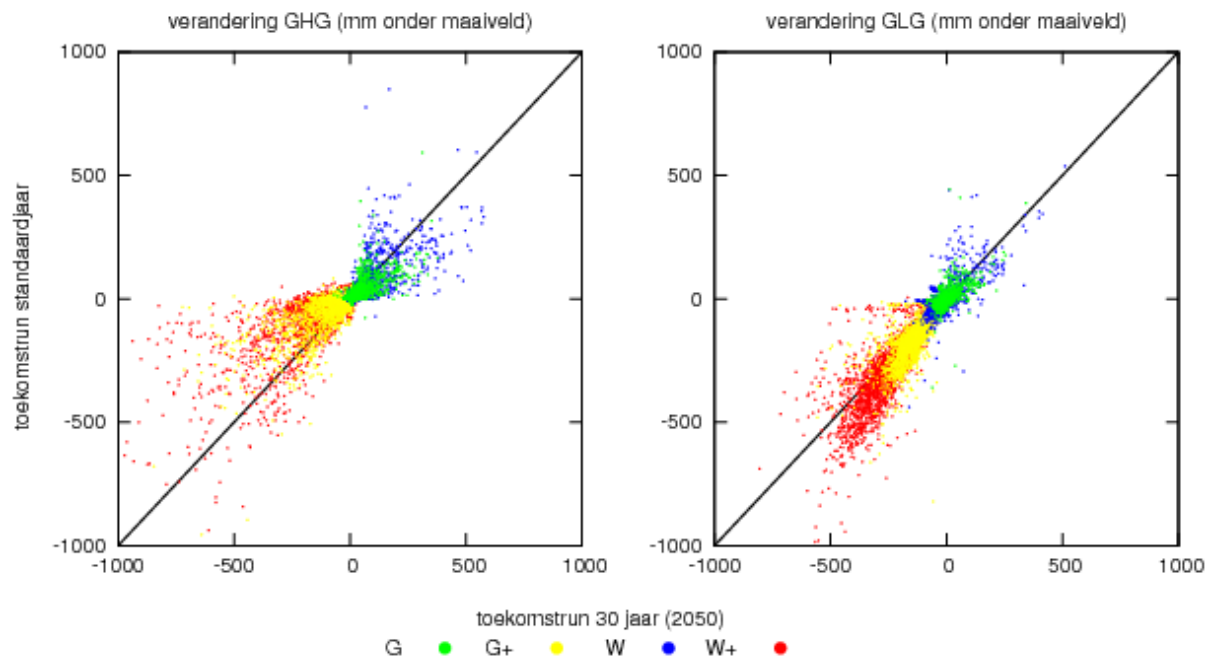
Bij de evaluatie van de GHG, GLG en de Gt worden de plots waarvoor een GLG onder de 2500 mm of een GHG onder de 1500 mm is berekend buiten beschouwing gelaten (zie paragraaf 3.5.2).

De veranderingen in de GHG en GLG volgens de klimaatscenario's worden redelijk gereproduceerd met de standaardjaren (tabel 5.2 en figuur 5.20). Door het gebrek aan jaar-op-jaarvariatie kennen de standaardjaren te weinig zeer droge perioden waardoor de GLG over het algemeen hoger is dan in simulaties op basis van 30-jaar. Wat betreft de GHG kennen de standaardjaren ook te weinig zeer natte perioden, waardoor voor de meeste rekengebieden een te lage GHG wordt bepaald.

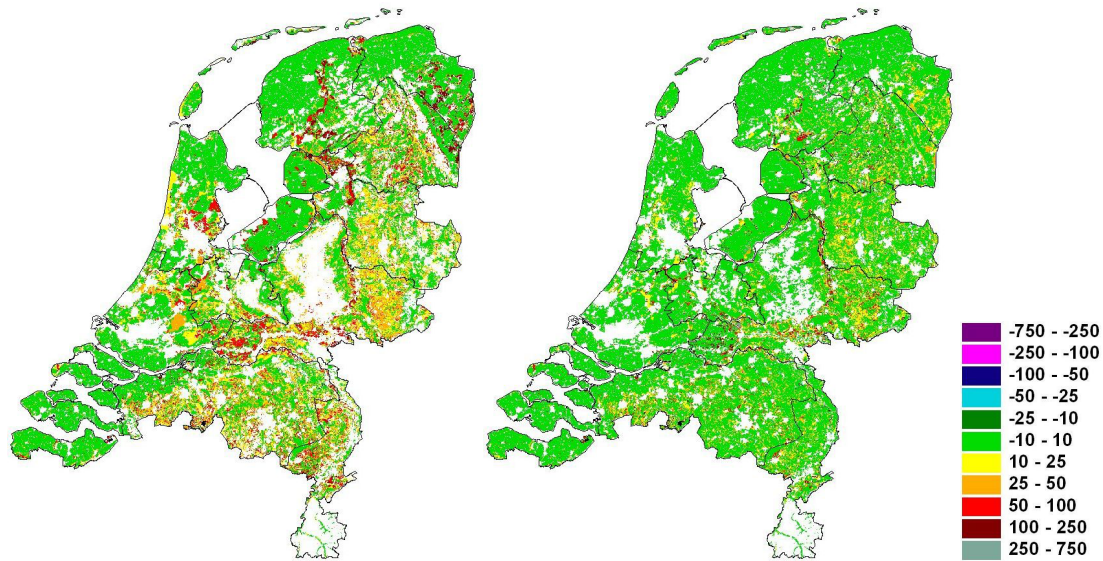
Veranderingen in deze extreem droge en natte perioden volgens de klimaatscenario's komen dan ook niet goed terug in de standaardjaren. Hierdoor wordt het signaal in de GHG en GLG in de regel iets onderschat (figuur 5.21 t/m 5.24).

		GHG	GLG
gemiddelde relatieve verandering	G	-3%	0%
	G+	6%	6%
	W	-5%	1%
	W+	12%	13%
bias (relatieve verandering)	G	1%	0%
	G+	-3%	2%
	W	1%	0%
	W+	-7%	3%
RMSE (relatieve verandering)	G	3%	2%
	G+	10%	6%
	W	4%	3%
	W+	21%	13%
R2 (absolute verandering)	G	57%	60%
	G+	60%	80%
	W	62%	79%
	W+	63%	85%

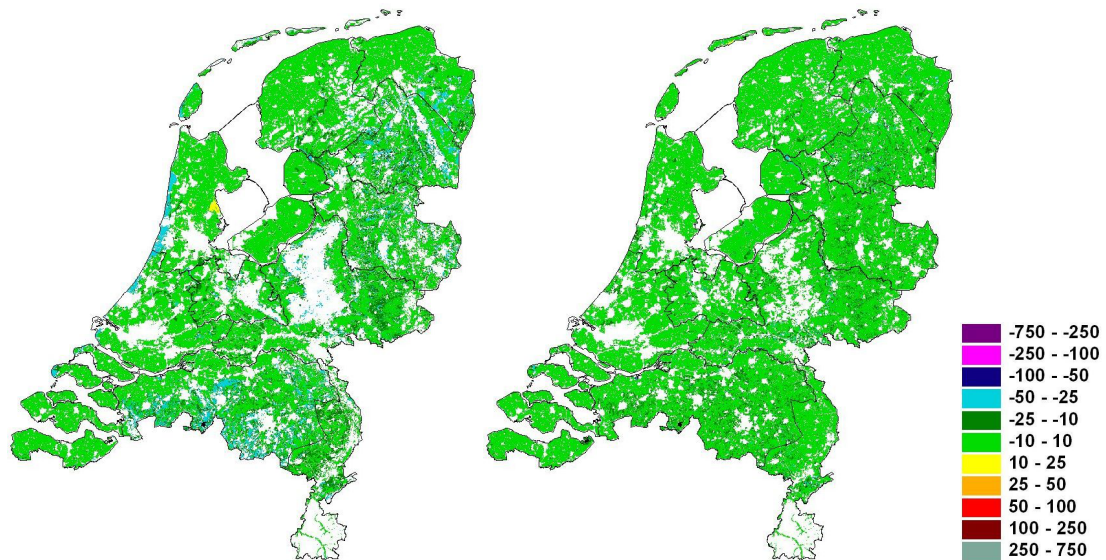
Tabel 5.1 Reproductie van de verandering van de gemiddeld hoogste grondwaterstand GHG en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) volgens de 30-jarige referentiesimulaties met de standaardjaren. In de bovenste rijen wordt per scenario de gemiddelde relatieve verandering volgens de referentiesimulaties gegeven.



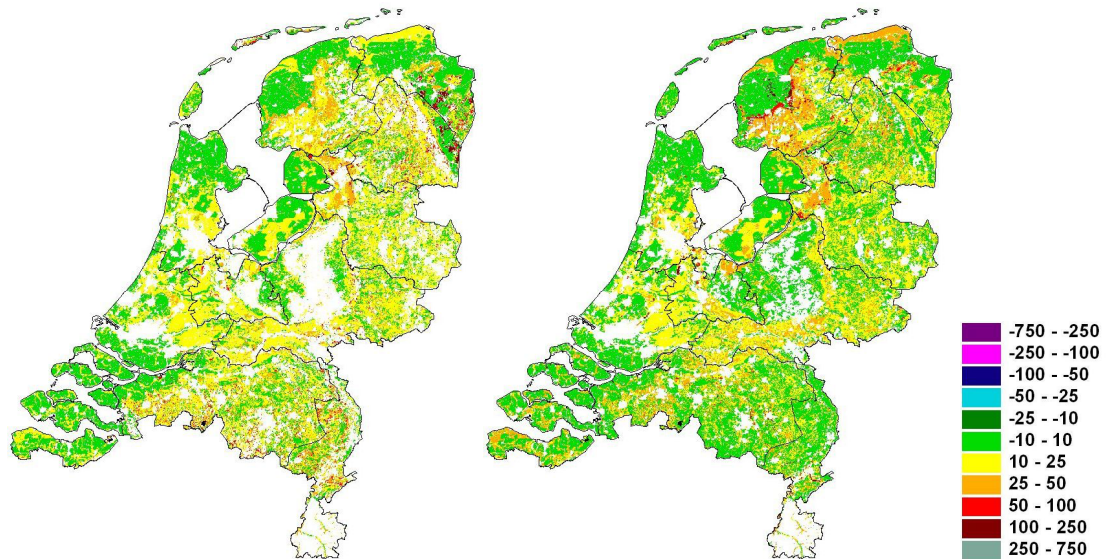
Figuur 5.20 Scatterplots verandering GHG en GLG. Elk punt staat voor een combinatie van een rekengebied en een klimaatscenario. De horizontale as geeft de waarde zoals is berekend met de 30-jarige modelrun en de verticale as geeft de waarde zoals berekend met de standaardjaren. De kleuren geven aan om welk standaardjaar het gaat.



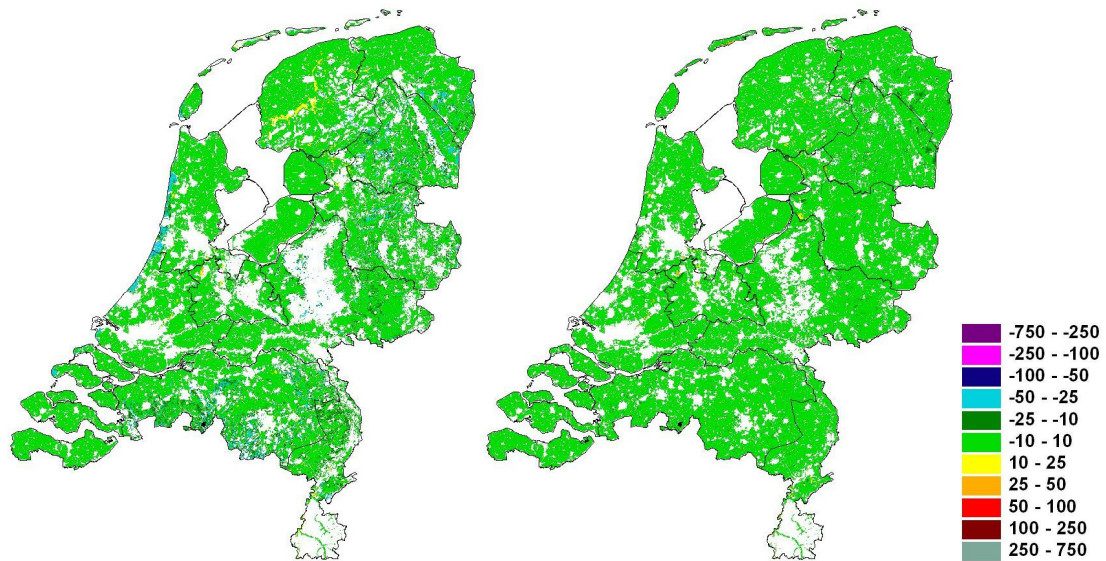
Figuur 5.21 Verandering in GHG W+ (mm) met 30-jarige en standaardjaar simulatie



Figuur 5.22 Verandering in GHG W (mm) met 30-jarige en standaardjaar simulatie



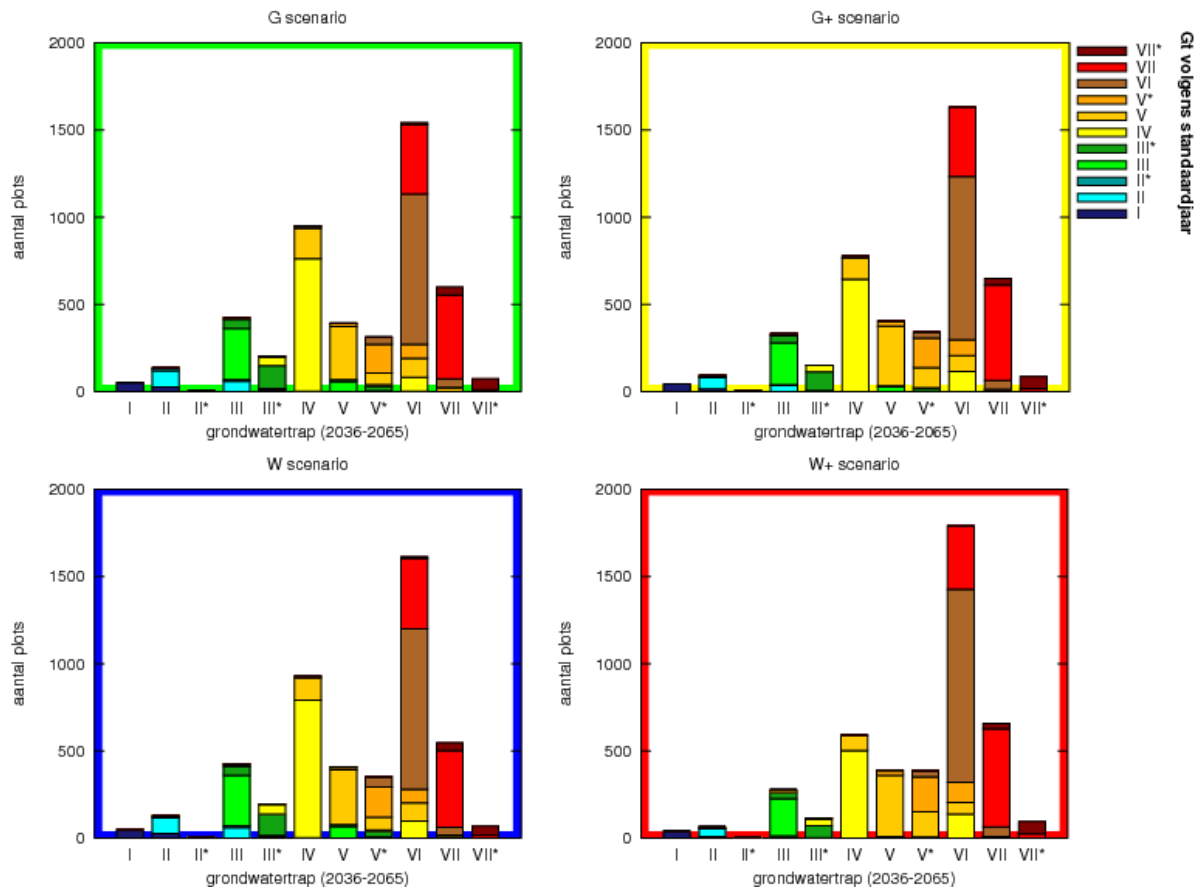
Figuur 5.23 Verandering in GLG W+ (mm) met 30-jarige en standaardjaar simulatie



Figuur 5.24 Verandering in GHG W (mm) met 30-jarige en standaardjaar simulatie

Grondwatertrap

De reproductie van de grondwatertrap voor de klimaatscenario's met de standaardjaren is ongeveer even goed als de reproductie voor het huidige klimaat. Voor ongeveer 70% van de rekegebieden wordt dezelfde grondwatertrap berekend als bij de 30-jarige simulaties (zie figuur 5.25).



Figuur 5.25 Reproductie grondwatertrap KNMI'06 klimaatscenario's. Op de horizontale as staat de grondwatertrap zoals is afgeleid van de 30-jarige simulatie. De kleuren geven aan welke grondwatertrap werd afgeleid van de simulaties met de bijbehorende standaardjaren.

5.3. Discussie standaardjaar KNMI'06 scenario's

Op basis van simulaties met standaardjaren voor het huidige klimaat en voor de KNMI'06 klimaatscenario's kan een algemeen beeld geschetst worden van de veranderingen van de hydrologie van Nederland. Doordat de variatie op decade- of maandbasis en op jaarbasis onderschat wordt, is het echter niet mogelijk om voor elke term de ruimtelijke differentiatie van het klimaatsignaal goed te reproduceren. Wat betreft grondwatertrap is alleen onderzocht voor hoeveel gebieden de juiste Gt bepaald. Dit aantal is iets hoger voor de scenario's dan voor de huidige situatie.

6. Conclusies

6.1. Standaardjaren

Standaardjaar op dagbasis

Modellsimulaties met standaardjaren voor het huidige klimaat en voor de KNMI'06 klimaatscenario's rond 2050 schetsen een goed ruimtelijk beeld van de hydrologische situatie, zoals die is berekend met 30-jarige modellsimulaties. Voor een goede reproductie van de hydrologische situatie moet een standaardjaar de natuurlijke variabiliteit op verschillende subjaarlijkse tijdschalen van dagen tot seizoenen voldoende representeren. Dit wordt bereikt door de neerslag en verdamping per periode van twee maanden te schalen met het 30-jarige gemiddelde.

De interjaarlijkse variabiliteit wordt per definitie niet gevangen in een standaardjaar. Daardoor zijn extreme neerslaggebeurtenissen, die gemiddeld slechts enkele keren of minder dan eens per jaar voorkomen, meestal slecht vertegenwoordigd. In het in dit rapport ontwikkelde standaardjaar wordt het aantal extreme neerslaggebeurtenissen onderschat. Hierdoor wordt met name de oppervlakteafvoer (sterk afhankelijk van extreme neerslag) met simulaties op basis van het standaardjaar zeer matig gereproduceerd. Hoewel de reproductie van de GHG heel redelijk is, wordt ook deze variabele stelselmatig licht onderschat.

KNMI'06 klimaatscenario's

Klimaatscenario's zijn ontwikkeld om te onderzoeken wat er verandert ten opzichte van de huidige situatie. Dit is berekend door het verschil te nemen tussen de hydrologische situatie, die is berekend met een 30-jarige run voor het huidige klimaat en voor het desbetreffende klimaatscenario.

Het G en W klimaatscenario worden vooral gekenmerkt door een gelijkmatig over het jaar verdeelde lichte toename van de gemiddelde neerslag. Dit resulteert in een toename in alle balanstermen en hogere grondwaterstanden. Doordat de extreme zomerneerslag veel sterker toeneemt dan de gemiddelde neerslag, neemt de oppervlakteafvoer in absolute zin bijna net zoveel toe als de actuele verdamping en de drainageflux.

Het G+ en W+ klimaatscenario kennen grote ruimtelijke verschillen in het effect op de hydrologie. In de zomer neemt de gemiddelde neerslag sterk af als gevolg van een daling van het aantal natte dagen. In de winter neemt de gemiddelde neerslag juist sterk toe. Als gevolg van de droge zomers is de verandering van de actuele verdamping sterk afhankelijk van de aanvoer van water via andere bronnen (kwel en subinfiltratie). De modellsimulaties laten in het laaggelegen peilbeheerste gebied en in het rivierengebied een sterke toename zien van de actuele verdamping. In de hoger gelegen zandgronden neemt de verdamping juist af als gevolg van een neerslagafname. In de peilbeheerste gebieden resulteert de toename van de actuele verdamping in een sterke afname van de drainageflux in de zomer. De grondwaterstand wordt als gevolg van de droge zomers volgens het G+ en W+ scenario lager dan in de huidige situatie.

Op basis van modellsimulaties met de standaardjaren kan, zelfs in kwantitatieve zin, een redelijk goed algemeen beeld geschetst worden van het klimaatsignaal. Door de slechte reproductie van de oppervlakteafvoer is het uiteraard niet mogelijk om deze grootheid af te leiden uit de modellsimulaties met standaardjaren. Ook voor andere variabelen worden lokale variaties op het algemene klimaatsignaal niet goed gereproduceerd.

6.2. Gebruik standaardjaar

Modellsimulaties op basis van een standaardjaar zijn nooit zo goed als 30-jarige modellsimulaties. Met een standaardjaar is het niet mogelijk om subtiele lokale verschillen te modelleren. Het gebruik van standaardjaren maakt het echter wel mogelijk om in

minder tijd een redelijk algemeen beeld te schetsen van de huidige situatie of volgens de KNMI'06 klimaatscenario's.

Soms is het praktisch niet mogelijk om 30-jarige modelsimulaties uit te voeren voor alle gewenste klimaatscenario's en/of adaptieve strategieën. In dergelijke gevallen kan met behulp van de standaardjaren voor een groot aantal combinaties van strategieën en klimaatscenario's een algemeen beeld geschetst worden van de bijbehorende hydrologische situatie. Op basis van deze berekeningen kan besloten worden voor welke situaties een 30-jarige simulatie het meest noodzakelijk of interessant is.

6.3. *Standaardjaar versus referentiejaar*

De modelsimulaties met het ontwikkelde standaardjaar geven beduidend betere resultaten dan simulaties met de referentiejaren 1967 of 1973. Dit komt vooral doordat de referentiejaren nooit voor heel Nederland "gemiddeld" zijn. Dit voordeel weegt echter niet automatisch op tegen de tijd en moeite die in de ontwikkeling van een standaardjaar wordt gestoken. Een standaardjaar of referentiejaar zijn immers bedoeld voor snelle, verkennende studies.

Dit rapport toont een aanpak om op betrekkelijk eenvoudige wijze een standaardjaar op te stellen. In deze methode is gezocht naar een optimum tussen natuurlijke variatie op verschillende tijdschalen en de jaarlijkse gang. Het is niet altijd zeker dat de gekozen methode voor elke situatie (gebied, model, referentieperiode) de beste resultaten geeft. Toch is het niet zinvol om voor elke verkennende studie de methode opnieuw te optimaliseren. Voor de analyse is tenminste één lange referentiesimulatie nodig en ook het vergelijken zelf kost ook veel tijd.

In de meeste verkennende hydrologische studies op basis van modelsimulaties met een typische tijdstap van een dag of decade, zal de voorgestelde methode veel betere resultaten geven dan een referentiejaar. Het standaardjaar is voor een groter gedeelte van Nederland "gemiddeld" en representeert de natuurlijke variabiliteit binnen het jaar toch zeer goed.

Literatuur

Bakel P.J.T. van, T. Kroon, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, H.Th.L. Massop en D.J.J. Walvoort (2007), Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1 - Beschrijving reparatie-acties, analyse - resultaten en beoordelingplausibiliteit; WOT Natuur & Milieu, Werkdocument 81

Bakker, A. en J. Bessembinder (2007), Neerslagreeksen voor de KNMI'06 scenario's; H2O, 22, 45-47.

Beersma, J.J., T.A. Buishand en H. Buiteveld (2004), Droog, droger, droogst – KNMI/RIZA bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland; KNMI-publicatie: PUBL-199-II, ISBN 90-369-2260-7

Heijboer, Dick. en Jon Nellestijn (2002), Klimaatatlas van Nederland – De normaalperiode 1971-2000; KNMI, ISBN 90389 1191 2

Hurk, B.J.J.M. van den, A.M.G. Klein Tank, G. Lenderink, A.P. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C.A. Katsman, H.W. van den Brink, F. Keller, J.J.F. Bessembinder, G. Burgers, G.J. Komen, W. Hazeleger en S.S. Drijfhout (2006), KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands; KNMI publication: WR-2006-01, pp82.

KNMI (2007) <http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/tijdreeksformatie>

Kroes, J.G., J.C. van Dam, J. Huygen en R.W. Vervoort (2002), User's guide of SWAP Version 2.0; simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment; Alterra / WU, 2002. Alterra-rapport 610 / Wageningen Univ. Dep. Water Resourc. Rep. 81, pp137

Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom en A. Beusen (2001), Redesign STONE, de nieuwe schematisatie voor STONE – De ruimtelijke toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters ; RIZA Rapp. 2001.017, pp100

Lange, J.W. de en J.L. van der Meij (1994), Serie rapporten NAGROM supra-regio's RIZA en TNO-GG, Delft en Lelystad

Lenderink (2006) http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/PotET.pdf

Makkink, G.F. (1957), Testing the Penman-formula by means of Lysimeters; *J.InstnWat.Engrs*, **11**, 277-288

Massop, H.Th.L., T. Kroon, P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors en J. Huygen (2000), Hydrologie voor STONE. Schematisatie en parameterisering; Alterra rapport 038, ISSN 1566-919 en Reeks milieuplanbureau 9, pp102

Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, T. Kroon, J.G. Kroes, A. Tiktak en W. Werkman (2005) , Op zoek naar de "ware" neerslag en verdamping. Toetsing van de met het STONE2.1-instrumentarium berekende verdamping aan literatuurgegevens en aan regionale waterbalansen, en de gevoeligheid van het neerslagoverschot op de uitspoeling van nutriënten; Alterra-rapport 1158/ Reeks Milieu en Landelijk Gebied 28.

NHI projectgroep (Deltares, Alterra, PBL, RWS Waterdienst) (2008), Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, modelrapportage; hoofdrapport, pp28

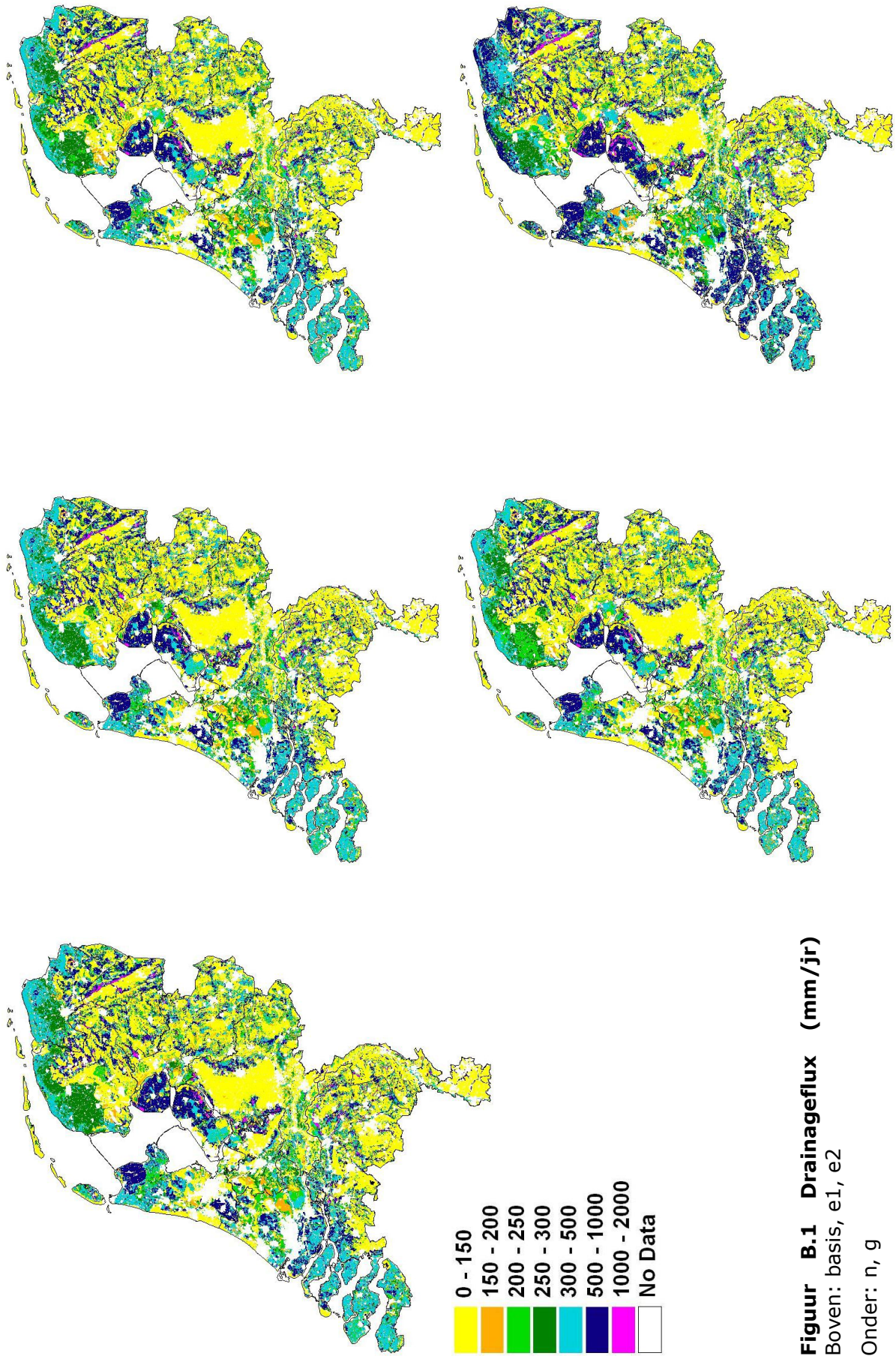
RIZA, HKV, Arcadis, KIWA, Korbee en Hovelynck, Durk Klopstra, Rudolf Versteeg en Timo Kroon (2005), Aard, ernst en omvang van de droogte in Nederland – eindrapport; RIZA-rapport 2005.016; ISBN9036957230

Scheur, W. van de, F. Keller, A. Bakker en T. Kroon (2006) Op zoek naar een klimaatrepresentatief "standaardjaar" – Toetsing van landelijke en regionale hydrologische kenmerken; (RIZA,KNMI)

Wolf, J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter, H. van Zeijts (2003) The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands; *Environmental Modelling and Software* 18 (7), 597-617.

Bijlage

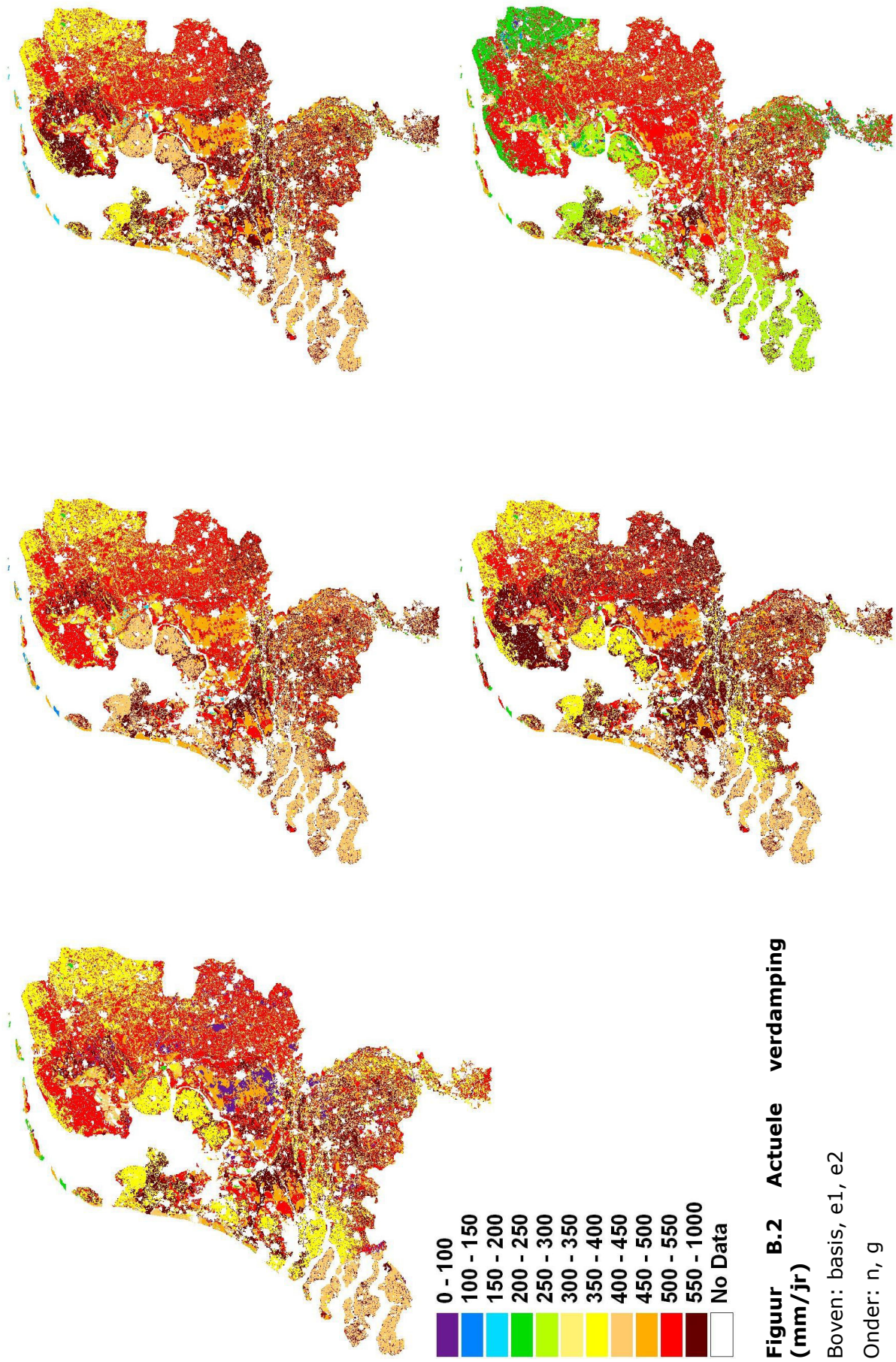
Reproductie hydrologie volgens zoals berekend met de 30-jarige klimatologische simulatie en volgens de 4 alternatieven om een standaardjaar te construeren.



Figuur B.1 Drainageflux (mm/jr)

Boven: basis, e1, e2

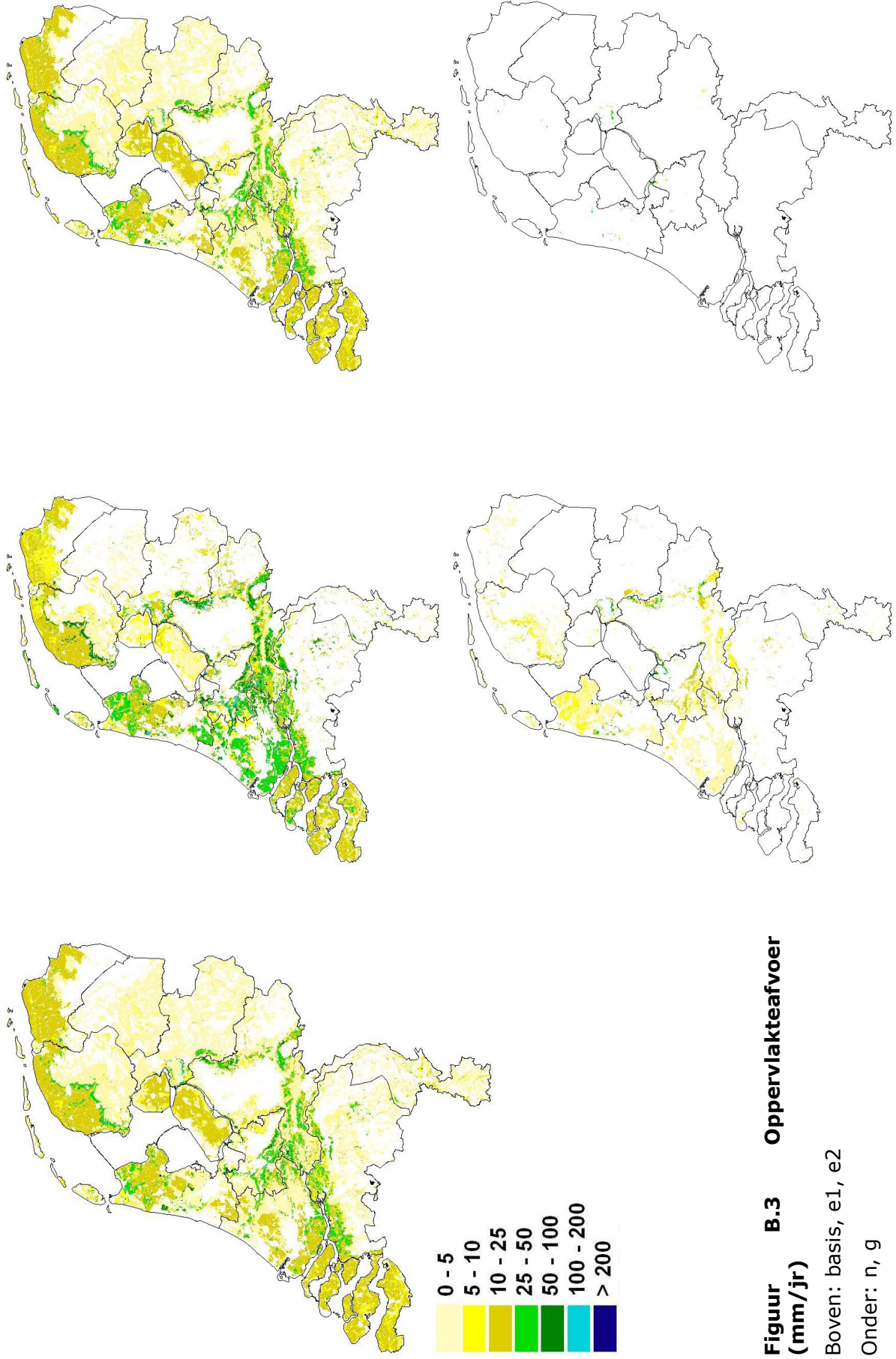
Onder: n, g



Figuur B.2 Actuele verdamping (mm/jr)

Boven: basis, e1, e2

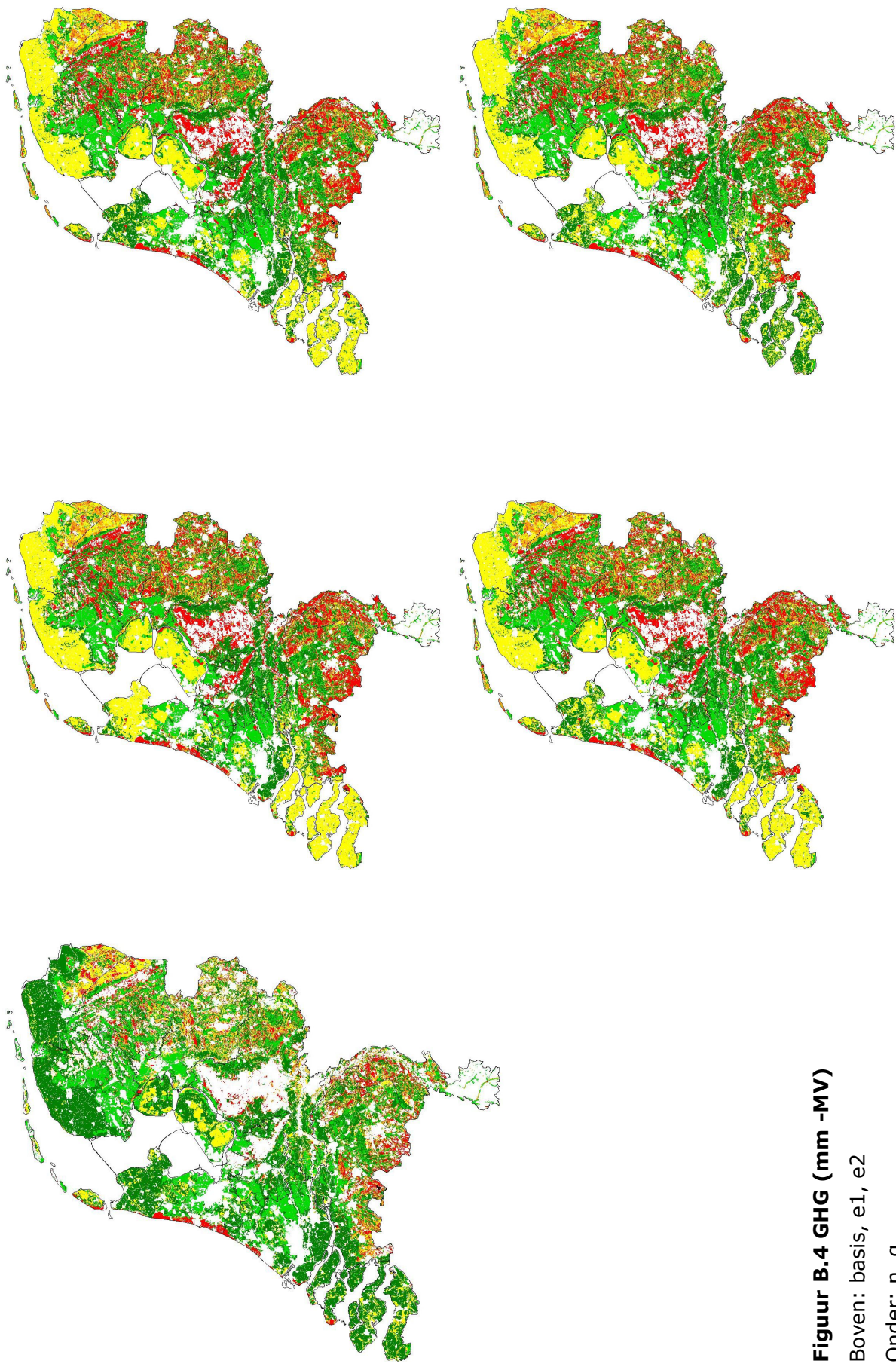
Onder: n, g



Figuur B.3 Oppervlakteafvoer (mm/jr)

Boven: basis, e1, e2

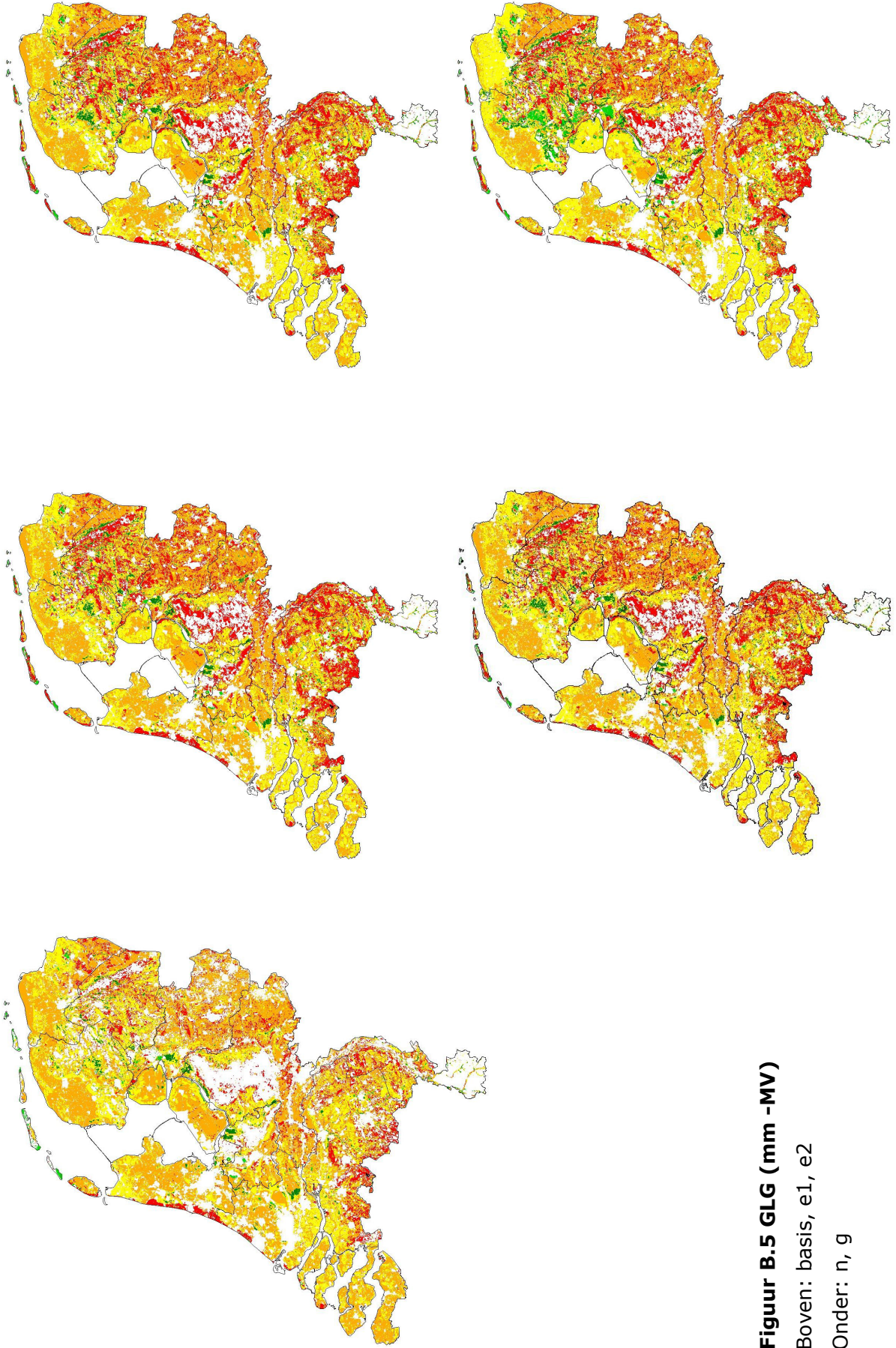
Onder: n, g



Figuur B.4 GHG (mm -MV)

Boven: basis, e1, e2

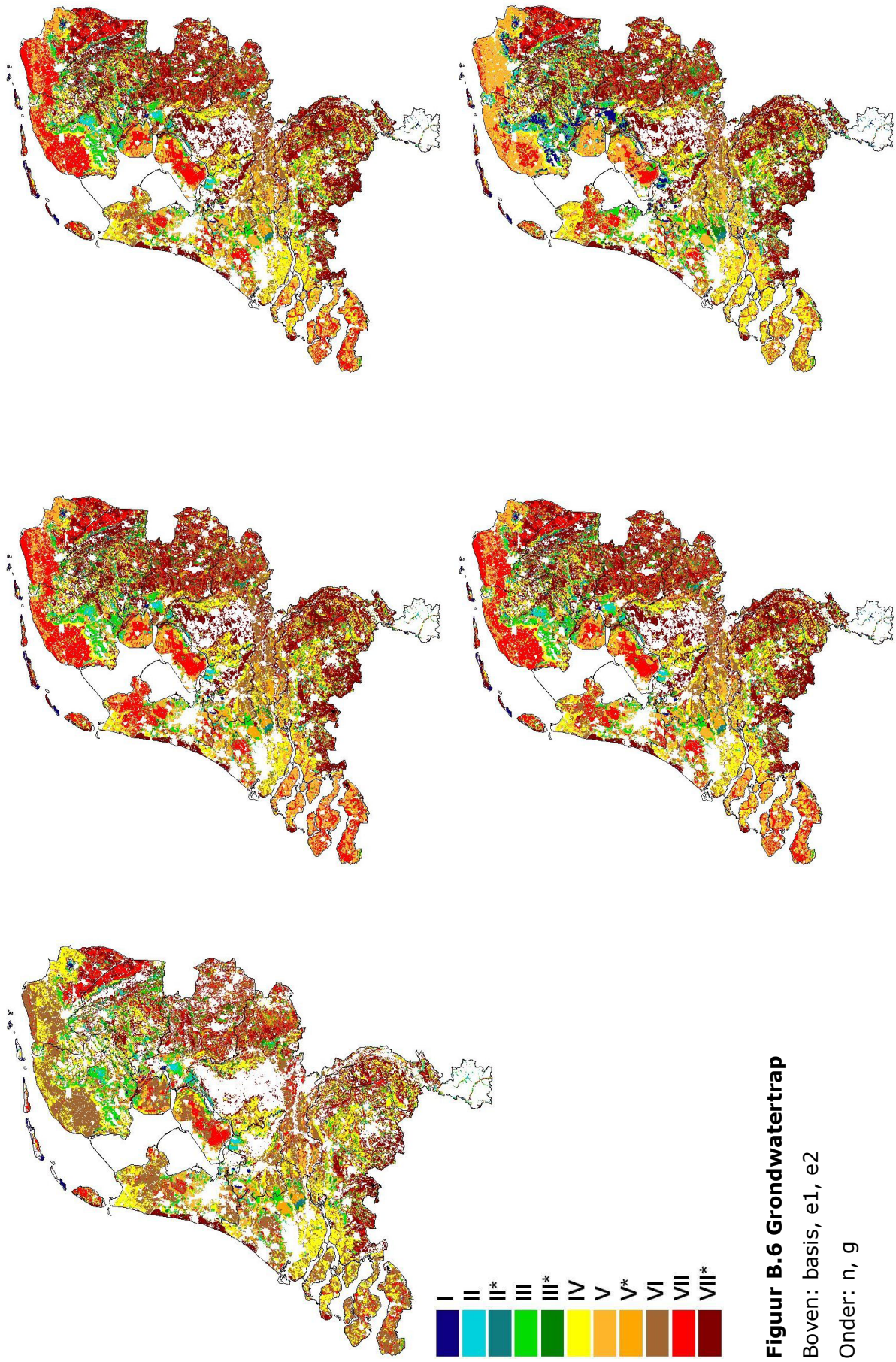
Onder: n, g



Figuur B.5 GLG (mm -MV)

Boven: basis, e1, e2

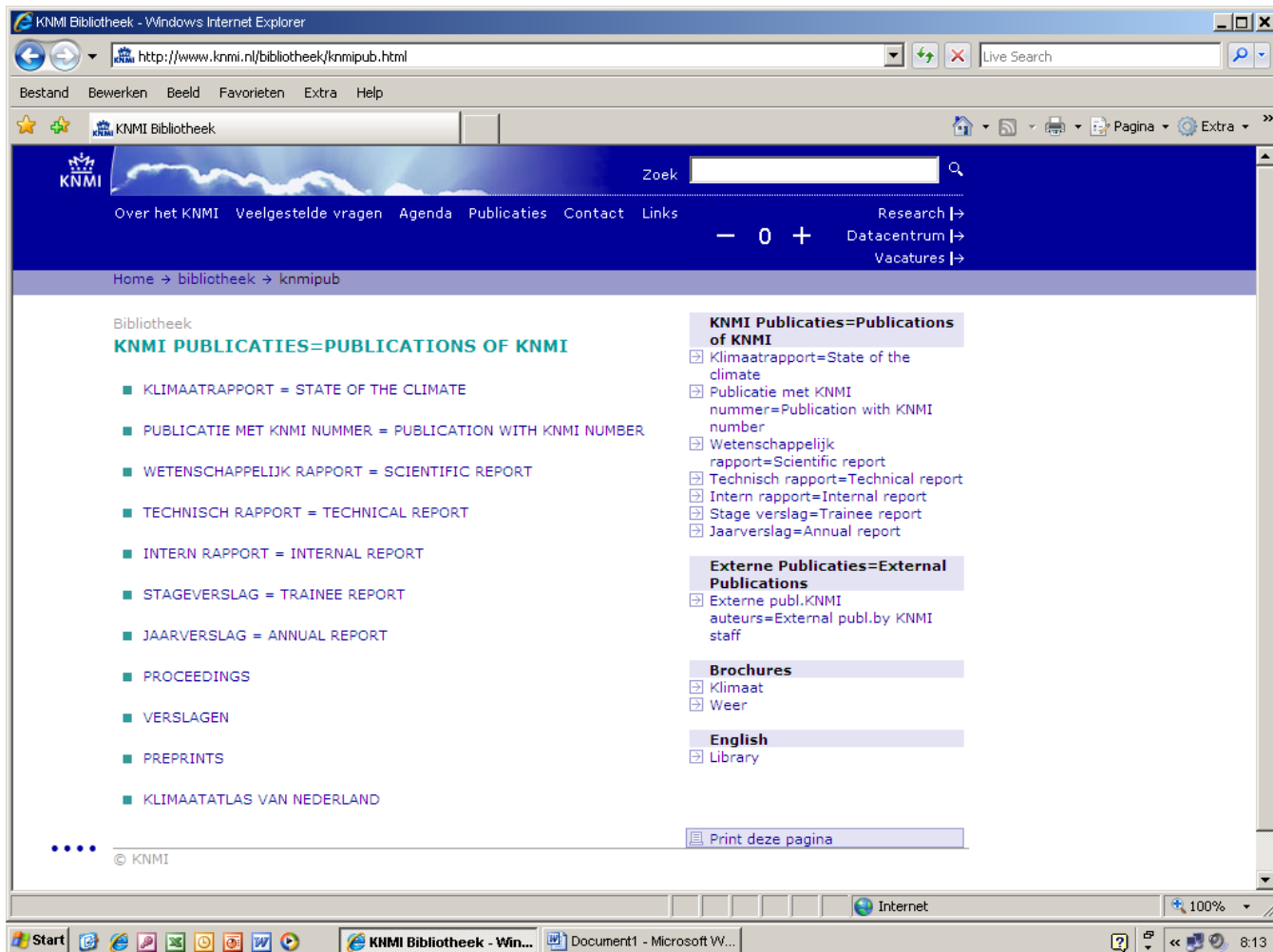
Onder: n, g



Figuur B.6 Grondwatertrap

Boven: basis, e1, e2

Onder: n, 9



All titles of KNMI-publications (and a full text PDF for the most recent ones) can be found on

<http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmipub.html>

If you have any questions, please contact us: bibliotheek@knmi.nl

